

## ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 621.74:681.5:519.24

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.44349

**СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ВИДАЧІ РОЗПЛАВУ НА ЛИВАРНИЙ КОНВЕЄР**

©Ткаченко С. М.

*У статті описана схема керування процесом видачі розплаву з електропечі на ливарний конвеєр, характерною особливістю якої є використання в системі «піч – ливарний конвеєр» двопозиційного заливально-го автомату. Описаний підхід до формування схеми забезпечує можливість реалізації алгоритму оптимального керування заливальною установкою, узгоджуючи її роботу з роботою електродугової печі на всіх етапах технологічного процесу.*

**Ключові слова:** заливальний автомат, система «піч – ливарний конвеєр», керування процесом заливки

*The article describes the process control scheme of output of the melt from furnace for casting conveyor, a feature of which is the use of two-position filler machine in the "furnace - foundry line" system. Described approach to forming a framework provides an opportunity of realization the integrated computer-control system of electric stove, regarding it as an element of node service queuing system with failures. This control system can take the form of two- or three-level system and a basis of APCS processes for output of melt foundry conveyor.*

*It is shown that the use of the control circuit is described. The compromise provides performance optimization of criterion taking into account the requirements as to minimize energy costs and demands on minimizing downtime conveyor. The approach to the formation scheme provides the ability to implement optimal control algorithm, coordinating its work with the work of electric arc furnace at all stages of the process*

**Keywords:** filler machine, "furnace - foundry line" system, control of filling process

**1. Вступ**

Модернізація плавильно-заливальних ділянок ливарних цехів на сьогодні є одним із пріоритетних завдань, вирішення якого можливе за рахунок побудови АСУ ТП ливарного виробництва. Однак реалізація всіх необхідних заходів неминує пов'язана з необхідністю подолання великої кількості організаційно-технічних труднощів, серед яких – моделювання плавильно-заливальних систем та їх оптимізація за інтегральним критерієм витрат. На кожному з етапів вирішення завдань комплексної автоматизації виникають свої складнощі, пов'язані, зокрема, з поганою формалізованих задач моделювання технологічних процесів плавки-заливки. Складність представляє також вибір технічних засобів АСУ ТП плавильно-заливальних систем, т. я. цьому має передувати облік вкрай складних зовнішніх атмосферних умов ливарного цеху. У зв'язку з цим представляється актуальною розробка таких підходів до формування комплектації АСУ ТП плавильно-заливальних ділянок, щоб стало можливим створення на їх основі раціональних варіантів комп'ютерно-інтегрованих систем керування електродуговою плавкою.

Синтез системи керування процесом електродугової плавки, інтегрованою з процесом видачі форм під заливку і процесом видачі розплаву на конвеєр, повинен припускати реалізацію таких процедур, застосування яких дає можливість побудови оптимального керування. Таке керування повинно забезпечувати

мінімізацію функціонала, що описує інтегральні витрати, пов'язані з перевитратою технологічної електроенергії з причини витримки в печі-міксері «зайвого» розплаву і простоями ливарного конвеєра через відсутність металу в момент генерації на нього заявки з боку ливарного конвеєра. Іншими словами, передбачається, що між електропіччю і заливальною ділянкою конвеєра повинна знаходитися заливальна установка, управління якою має розглядатися з позиції інтегрованого управління роботою всього плавильно-заливочного комплексу. Зрозуміло, що керування процесом видачі розплаву при цьому має здійснюватися відповідно до оптимальної технологічної схеми плавки.

**2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

Якщо вважати, що ливарний цех представляє собою організаційно-технічну систему, то очевидно головною метою її функціонування є виготовлення високоякісної продукції у вигляді виливків. При цьому під терміном «високоякісний» треба розуміти відповідність заданим параметрам якості виливків, що класифікуються за ознаками металургійного [1] та технологічного характеру. Зокрема, до останніх відносяться геометрична та розмірна точність, чистота якості поверхні, зовнішній вигляд. Ці параметри забезпечуються головним чином формувальним обладнанням та технологічними процесами формувальності [2–3]. Таким чином, за критерій якості керу-

вання необхідно обирати якість виливків та вирішувати задачу пошуку оптимального за кінцевим станом керування. Це передбачає максимальну ймовірність отримання показників якості виливків на момент видачі розплаву на конвеєр, тобто на момент заливки зібраної форми, якість котрої гарантована з заданою мірою ймовірності процесом формування. З іншого боку, металургійна складова якості формується на етапі виплавки сплаву, який, у разі електродугової плавки, значним чином залежить від ефективності функціонування енерготехнологічного комплексу, у складі якого працює електродугова піч [4–6]. При цьому, однак, очевидно, що не можливо обмежуватись лише критерієм якості сплаву, а треба враховувати також витратні показники, до яких відносяться як енергетичні витрати, так і витрати, пов'язані з можливим простоям ливарного конвеєру за відсутності розплаву на той момент часу, коли це потрібно. З цього витікає, що критерій якості керування повинен бути інтегральним, тобто враховувати як якість сплаву, так і енергетичні витрати на плавку і термочасову обробку сплаву та ймовірні простоя конвеєра внаслідок відсутності розплаву. Обговорення та обґрунтування вибору такого критерію якості керування викладено в циклі праць [7–10]. При цьому слід відмітити, що мова взагалі йде про автоматизовану систему управління технологічним процесом (АСУ ТП), що реалізується на плавильно-заливально-формульній ділянці ливарного цеху. Тобто абстрагуючись від конкретного об'єкту треба брати до уваги системні характеристики, присутні будь-яким АСУ промислових [11–14], транспортно-логістичних [15–18] чи теплоенергетичних систем [19–21]. Такі системні характеристики дозволяють вирішувати питання щодо інтеграції локальних систем в дво- чи три рівневі системи АСУ ТП (SCADA-системи), для яких сьогодні йде активний пошук раціонального програмно-апаратного забезпечення [22–25].

Якщо розглядати процес видачі розплаву як складову загального технологічного процесу, що реалізується на плавильно-заливально-формульній ділянці, то треба брати до уваги необхідність інтегрування її до SCADA-систем. Одним з питань при цьому стає питання автоматизації процесів керування, зокрема питання обґрунтованого вибору інформаційно-керуючих систем [26, 27] та синтезу регуляторів [28–35]. Врахування усіх цих складових дозволяє говорити про синтез оптимального регулятора контрольованих параметрів процесів, що відбуваються на плавильно-заливально-формульній ділянці ливарного цеху [36, 37] та можливість системного підходу до синтезу оптимально керування [38, 39].

Для реалізації описаних вище можливостей необхідно мати модель, яка дозволила б отримувати оптимальні за інтегральним критерієм технологічні схеми та бути основою для пошуку оптимального керування.

### 3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є пошук оптимального керування процесом видачі розплаву на конвеєр. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести моделювання роботи плавильно-заливальної системи;
- розробити функціональну схему автоматизації процесу плавки-заливки;
- обрати технічні засоби АСУ ТП плавильно-заливальної ділянки цеху.

### 4. Математичне моделювання роботи плавильно-заливальної ділянки

Математична модель, що може бути використана для побудови комп'ютерно-інтегрованої системи керування процесом видачі розплаву, представляє собою модель організаційно-технічної системи типу систем масового обслуговування (СМО). Було висунуто гіпотезу, що така система може бути описана за допомогою аналітичних критеріїв СМО з відмовами. Для побудови моделі були проведені дослідження в промислових умовах ливарного цеху ВАТ «Кременчуцький завод дорожніх машин» (м. Кременчук, Україна). Для цього було проведено хронометрування процесу видачі розплаву з електродугової печі на ливарний конвеєр та графік видачі розплаву з електродугової печі. Схема плавильно-заливально-формульній ділянки та граф станів системи показано на рис. 1.

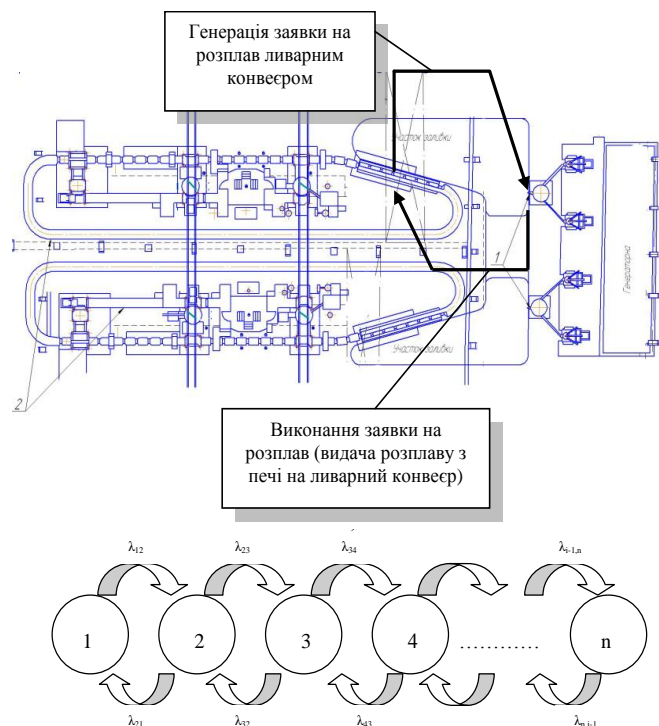


Рис. 1. Представлення дугової печі як елемента СМО

Система функціонує наступним чином. Ливарний конвеєр генерує потік заявок на розплав з деякою інтенсивністю  $\lambda_{ji}$ . Дугова піч, працюючи як міксер, видає на конвеєр розплави з деякою інтенсивністю  $\lambda_{ij}$ . Якщо в заданий момент часу надходження заявки вона не може бути виконана (електродугова піч не видає розплаву), ливарна форма рахується не залитою і даний факт кваліфікується як відмова в обслуговуванні. Заливка здійснюється тільки тієї наступної форми, до надходження якої на ділянку заливки розплаву може бути випущений з печі. Отже, систему

«піч – ливарний конвеєр» можна представити як СМО з відмовами. Якщо представити електропіч багатоканальним вузлом обслуговування, то каналами вузла слід вибрати ту величину ємності печі, яка відповідає фактичній потребі заливальної ділянки у рідкому металі в одиницю часу (або об'єму ливарного ковшу), тобто інтенсивності. Відмінною ознакою такого багатоканального вузла є змінюючись в часі число каналів внаслідок випуску розплаву або додавання нових його порцій. Отже, при такому розгляді оптимізація структури СМО полягає у визначенні оптимального числа каналів у кожен момент часу по ходу процесу плавки. У структуру функціоналу, що мінімізується, входять: прості на ділянці заливки, інтенсивність потоку заявок на розплав, що генерується конвеєром, вірогід-

ність відмови в обслуговуванні заявки внаслідок відсутності необхідної кількості розплаву у печі або неможливості його видачі на конвеєр через погану якість, середнє число каналів, що використовуються (кількість розплаву у печі в заданий момент часу), витрати, пов'язані з перевитратою електроенергії.

На основі результатів хронометражу були розраховані значення інтегрального критерію витрат, що характеризують процесу функціонування заливального комплексу, що є «посередині» елементу СМО «піч – ливарний конвеєр» для різних інтервалів часу витримки розплаву в печі.

Приклад результатів моделювання СМО за інтервал часу між двома суміжними моментами видачі розплаву з печі на конвеєр наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати моделювання при  $\tau=15$  хв

Параметри СМО "піч - ливарний конвеєр" [8]	Число каналів СМО "піч – ливарний конвеєр "					
	1	2	3	4	5	6
	Маса розплаву в печі, т					
	2	4	6	8	10	12
$P_0 = \left[ 1 + \sum_n \frac{(\lambda\tau)^n}{n!} \right]^{-1}$	0,154	0,0462	0,0202	0,0116	0,0078	0,006
$P_{омк}(n) = \frac{(\lambda\tau)^n}{n!} P_0(n)$	0,846	0,6994	0,5618	0,4409	0,3266	0,2304
$\lambda P_{омк}(n)$	0,019	0,0160	0,0129	0,0101	0,0075	0,0053
$P(m(\tau))$	0,039	0,0320	0,0258	0,0202	0,015	0,0106
$Q_k P(m(\tau))$	9,308	7,6936	6,1802	4,8496	3,5924	2,5343
$S_1 Q_k P(m(\tau))$	27923,08	23080,92	18540,73	14548,86	10777,21	7603,02
$(1 - P_{омк}(n))$	0,154	0,3006	0,4382	0,5591	0,6734	0,7696
$\lambda(1 - P_{омк}(n))$	0,004	0,0069	0,01	0,0128	0,0154	0,0176
$[n - m_k(n)]$	1,313	3,313	5,313	7,313	9,313	11,313
$S_2 [n - m_k(n)]$	132,35	333,95	535,55	737,15	938,75	1140,35
$Z(m(\tau))$	28055	23415	19076	15286	11716	8743,4

Розрахунок оптимального моменту часу витримки розплаву до видачі чергової порції на конвеєр  $\tau_y(u)$  може бути здійснено з використанням критерію, що характеризує вірогідність отримання браку при обраному проміжку часі

$$B = 1 - \left[ \Phi \left( \frac{y_{max} - \bar{y}}{\sigma} \right) - \Phi \left( \frac{y_{min} - \bar{y}}{\sigma} \right) \right], \quad (1)$$

де  $B$  – доля браку,  $y_{max}$  – верхня межа поля допуску на значення показнику якості сплаву,  $y_{min}$  – нижня межа поля допуску на значення показнику якості сплаву,  $S$  – середньоквадратичне відхилення показнику якості сплаву,  $\bar{y}$  – математичне очікування показнику якості сплаву.

На основі розрахунку критерію (1) може бути проведено апроксимацію експериментально-промислових даних за методом найменших квадратів та визначено оптимальний проміжок часу до видачі розплаву з печі на конвеєр. Приклад такої апроксимації показано на рис. 2.

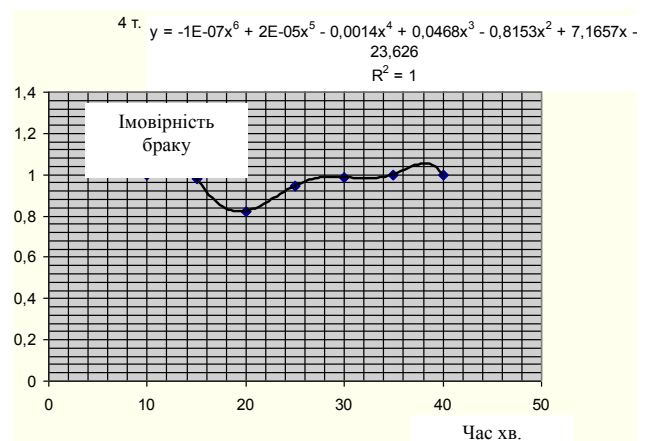


Рис. 2. Оцінка оптимальної величини  $\tau_y(u)$  при  $m=4$  т

Враховуючи, що видача розплаву на конвеєр повинна передбачати точне дозування чергової порції, необхідно знати цю величину, котра повинна визначається з оптимальної по критерію (рис. 2) на основі технологічної схеми процесу. Ця величина є завданням

для системи керування прямим і зворотнім ходом печі при видачі розплаву, котра є частиною системи управління в комплексі «піч – конвеєр». Отже, задача синтезу системи керування на етапі термотимчасової обробки, як складової частини функціонуючої системи «піч – конвеєр» повинна передувати задачі моделювання процесу, причому моделлю для виконання цієї процедури, є оптимальна технологічна схема електроплавки. Отже, об'єкт керування представляє собою плавильно-залівальну систему, центральною частиною якої є електродугова піч (рис. 3).

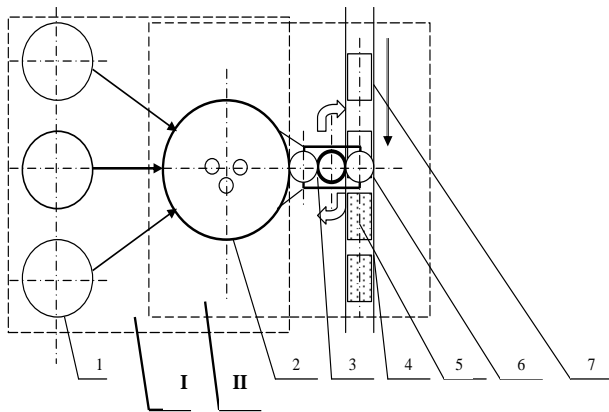


Рис. 3. Об'єкт керування – плавильно-залівальна система: I – плавильна ділянка,

II – плавильно-залівальна ділянка, 1 – первинний плавильний агрегат (індукційна піч, електродугова піч), 2 – електродугова піч-міксер, 3 – двопозиційний залівальний автомат, 4 – ливарний конвеєр, 5 – залита ливарна форма, 6 – залита ливарна форма на позиції заливки, 7 – зібрана під заливку форма

Конструктивна схема двопозиційного залівального автомату 3 (рис. 3) показано на рис. 4. Автомат має основу 1, на якій встановлена тумба 4 з колоною 5, захищеною кожухом 6, і гідроциліндром повороту касети 19. На колоні монтується поворотна рама 7, до неї кріпляться консолі 8. На осях консолей повертаються касети 12 зі встановленими на них ковшами 11. До касет прикріплені сектори 13. У петлі сектору запасений трос 9, який огибає сектор і блок 10 та кріпиться до рами. Блоки встановлені на підйомних штангах 14. Рама обертається на вертикальній осі 15, що опирається на опорний підшипник 17 тумби 4. При ході вгору гідроциліндра заливки його шток піднімає штангу з блоком. Останній витягає трос, і через це касета з ковшем повертається.

В той час, як на одній позиції машини метал заливають у форми, на протилежній змінюють ковші – знімають опорожнені і встановлюють повний. Поворот машини для зміни ковшів проходить під час переміщення форми на позицію заливки. Точність установки машини відносно форми регулюється болтами 2, 3, 16, 18. Точність дозування металу при заливці визначається відповідним кутом повороту ковша. В разі використання секторного ковша цей кут постійний при постійній дозі залитого металу і повороту ковша навколо осі, проходячої через точку 0.

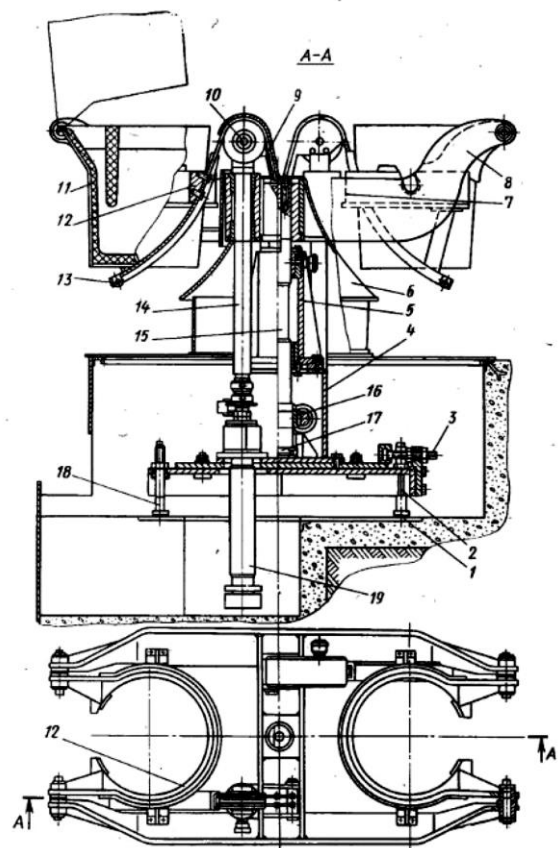


Рис. 4. Конструктивна схема двопозиційного залівального автомату

## 5. Розробка АСУТП плавильно-залівальної ділянки

### 5.1. Вибір програмно-апаратного забезпечення

Задача програмно-технічної реалізації оптимального керування на основі моделювання роботи плавильно-залівальної системи як СМО, може бути вирішена в площині синтезу комп'ютерно-інтегрованої розподіленої дворівневої системи управління. На нижньому рівні система включає в себе: засоби контролю доступних для вимірювання параметрів процесу плавки: температури, маси розплаву, положення виконавчих органів, електричних режимів; системи регулювання відповідних параметрів; виконавчі механізми. На даному рівні вирішується задача регулювання електричних режимів плавки, управління процесами насичення ванни вуглецем (фізико-хімічними процесами), температурою в печі, процесом видачі розплаву на конвеєр, загрузки, коректування хімічного складу введенням феросплавів і флюсів. В якості технічних засобів регулювання температурного режиму ванни можуть бути використані мікропроцесорні регулятори напруги.

На верхньому рівні вирішується задача визначення оптимальних технологічних параметрів процесу і вибору управляючих впливів. Для реалізації системи може бути використана система керування піччю на платформі автоматизації Siemens Simatic s7-300.

Апаратна частина програмно-технічного комплексу системи керування піччю включає в себе: контролер SIMATIC S7-317 2DP; пристрої нормування і гальванічної ізоляції аналогових сигналів;

пристрої збору даних розміщені на шині PROFIBUS-DP, наприклад, абсолютний енкодер SIMODRIVE, призначений для визначення положення електроду, або електрона вимірювальна система UMG-507, призначена для вимірювання та індикації електричних параметрів; пристрої збору

даних розміщені на шині K-BUS контролера; промисловий комп'ютер; сенсорний дисплей.

При такому підході щодо формування АСУ ТП плавильно-заливальною системою функціональна схема автоматизації може відповідати наведеній на рис. 5.

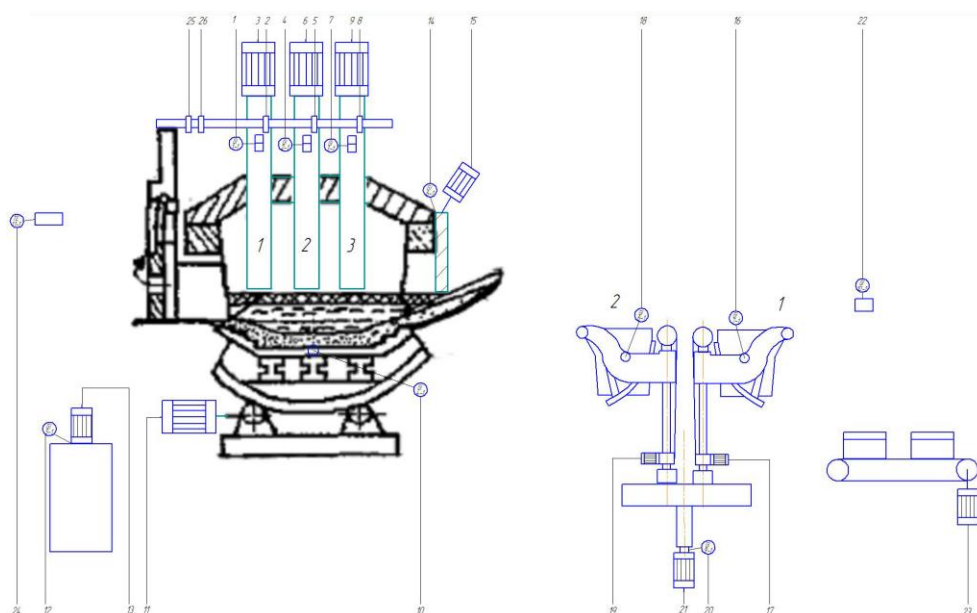


Рис. 5. Функціональна схема автоматизації плавильно-заливальної ділянки

### 5.1. Контури керування

*Контур керування опусканням/підйомом електродів*

Первинним датчиком положення електродів є сенсорна головка датчика лінійного переміщення типу CD4 (поз. 1–1). Сигнал з сенсорної головки подається на вторинний перетворювач типу CCD (поз. 1–2). Уніфікований токовий сигнал (4–20mA) зі вторинного перетворювача подається на аналоговий вхід ПЛК типу Siemens Simatic s7-300 (поз. 1–3). Паралельно здійснюється вимір сили струму на електроді за допомогою безконтактного датчика струму типу LEM HAZ 4000...20000 – SBI/SP1 (поз. 1–4). Уніфікований токовий сигнал (4–20 mA) з датчика струму подається на аналоговий вхід ПЛК. В залежності від значень положення електрода та значення поточної сили струму на електроді ПЛК відпрацьовує командний сигнал, що подається на частотний перетворювач типу OMRON 3G3FV (поз. 1–5), який керує електродвигуном редуктора механізму підйому/опускання електрода.

Управління електродами 2 та 3 здійснюється аналогічно: сенсорні датчики (поз. 2–1, 2–2, 3–1, 3–2), датчики струму (поз. 2–3, 3–3), частотні перетворювачі (поз. 2–4, 3–4).

*Контур керування нахилом печі*

Датчик поточного значення кута повороту печі типу Kubler 2400 (поз. 4–1) встановлений на поворотній осі печі. Значення кута повороту перетворюється датчиком у вихідний токовий уніфікований сигнал (4–20 mA), що подається на вхід ПЛК. В разі розсогласування поточного значення з заданим ПЛК відпрацьовує командний сигнал, що подається на

частотний перетворювач типу OMRON 3G3FV (поз. 4–2), який керує електродвигуном редуктора механізму нахилу печі.

*Контур керування перемиканням ступені пічного трансформатора*

Датчик поточного значення кута повороту механізму зміни ступеней типу Kubler 2400 (поз. 5–1) встановлений на поворотній осі механізму. Значення кута повороту, що відповідає заданій ступені напруги перетворюється датчиком у вихідний токовий уніфікований сигнал (4–20 mA), що подається на вхід ПЛК. В разі розсогласування поточного значення з заданим ПЛК відпрацьовує командний сигнал, що подається на частотний перетворювач типу OMRON 3G3FV (поз. 5–2), який керує електродвигуном редуктора перемикання ступеней пічного трансформатора.

*Контур керування закриванням/відкриванням дверці випускного вікна печі*

Датчик поточного значення кута відкриття дверці випускного вікна печі типу Kubler 2400 (поз. 6–1) встановлений на петлі дверці. Значення кута повороту перетворюється датчиком у вихідний токовий уніфікований сигнал (4–20 mA), що подається на вхід ПЛК. В разі розсогласування поточного значення з заданим ПЛК відпрацьовує командний сигнал, що подається на частотний перетворювач типу OMRON 3G3FV (поз. 6–2), який керує електродвигуном редуктора механізму відкривання/закривання дверці печі.

*Контур керування нахилом заливального ковша двопозиційної заливальної машини*

Датчик поточного значення кута нахилу заливального ковша двопозиційної заливальної машини

типу Kubler 2400 (поз. 7–1) встановлений на осі механізму наклону ковша. Значення кута наклону перетворюється датчиком у вихідний токовий уніфікований токовий сигнал (4–20 mA), що подається на вхід ПЛК. В разі розсогласування поточного значення з заданим ПЛК відпрацьовує командний сигнал, що подається на частотний перетворювач типу OMRON 3G3FV (поз. 7–2), який керує електродвигуном редуктора механізму тросу натягу, який приводить в дію механізм наклону заливального ковша.

*Контур керування поворотом двопозиційної заливальної машини*

Датчик поточного значення кута повороту двопозиційної заливальної машини типу Kubler 2400 (поз. 9–1) встановлений на осі опорного підшипника колони машини. Значення кута повороту перетворюється датчиком у вихідний токовий уніфікований токовий сигнал (4–20 mA), що подається на вхід ПЛК. В разі розсогласування поточного значення з заданим ПЛК відпрацьовує командний сигнал, що подається на частотний перетворювач типу OMRON 3G3FV (поз. 9–2), який керує електродвигуном редуктора механізму повороту опорної колони двопозиційної заливальної машини.

## 6. Выводы

Показано, що математична модель для пошуку оптимального керування процесами видачі розплаву на плавильно-заливально-формульній ділянці ливарного цеху представляє собою сукупність аналітичних критеріїв, якими описуються системи масового обслуговування з відмовами. При такому підході щодо створення моделі, може бути запропонована схема керування процесом заливки ливарних форм за допомогою двопозиційного заливального автомата.

Запропонована схема керування дозволяє вирішити ряд питань з забезпечення високої якості сплаву та мінімізації витрат на процес плавки. Вона також може бути врахована при реалізації процедури логічного синтезу системи керування плавильно-заливальним комплексом та бути інтегрована до багаторівневих АСУ ТП ливарного виробництва.

## Литература

1. Дьомін Д. О. Деякі аспекти управління якістю чауна з пластинчастим графітом [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д. О. Дьомін. – Харківський політехнічний інститут ХПІ, 1995. – 24 с.
2. Фролова, Л. В. Выбор путей совершенствования конструктивных элементов формовочных встряхивающих машин [Текст] / Л. В. Фролова // Технологический аудит и резервы производства. – 2012. – Т. 1, № 1 (3). – С. 30–34. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4873>
3. Фролова, Л. В. Выявление резервов энергосбережения на основе технологического аудита работы формовочных встряхивающих машин [Текст] / Л. В. Фролова // Технологический аудит и резервы производства. – 2011. – Т. 2, № 2(2). – С. 8–13. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4859>
4. Труфанов, И. Д. Общетеоретические аспекты разработки стохастической системы автоматизированной экспертной оценки динамического качества производственных ситуаций электросталеплавления [Текст] / И. Д. Труфанов, К. И. Чумаков, А. А. Бондаренко // Во-

сточно-Европейский журнал передовых технологий . – 2005. – Т. 6/2 (18). – С. 52–58.

5. Труфанов, И. Д. Математическое моделирование и опытно-экспериментальное исследование энергоэффективности электротехнологического комплекса мощной дуговой сталеплавильной печи [Текст] / И. Д. Труфанов, К. И. Чумаков, А. И. Лютый // Восточно-Европейский журнал передовых технологий . – 2007. – Т. 4, № 1 (28). – С. 64–69.

6. Труфанов, И. Д. Научные основы разрешения инновационных проблем идентификации в системах автоматизации процессов электрометаллургии стали и сплавов [Текст] / И. Д. Труфанов, А. П. Лютый, К. И. Чумаков, И. А. Андрияс, Т. И. Казанская, В. В. Джигоев // Восточно-Европейский журнал передовых технологий . – 2010. – Т. 3, № 10(45). – С. 8–23.

7. Демин, Д. А. Методология формирования функционала для задачи оптимального управления электроплавкой [Текст] / Д. А. Демин // Технологический аудит и резервы производства. – 2011. – Т. 1, № 1 (1). – С. 15–24. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4082>

8. Демин, Д. А. Совершенствование процессов управления электроплавкой [Текст] / Д. А. Демин // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – 2010. – № 4. – С. 33–44.

9. Демин, Д. А. Управление процессом выдачи расплава на плавильно-заливочном участке литейного цеха [Текст] / Д. А. Демин // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер.: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2013. – № 56. – С. 208–216. – Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/vcpinrct\\_2013\\_56\\_39.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/vcpinrct_2013_56_39.pdf)

10. Демин, Д. А. Применение искусственной ортогонализации в поиске оптимального управления технологическими процессами в условиях неопределенности [Текст] / Д. А. Демин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 5, № 9 (65). – С. 46–55. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/18452>

11. Богушевський, В. С. Замкнута система керування температурним режимом конвертерної плавки [Текст] / В. С. Богушевський, К. М. Зубова, В. Ю. Сухенко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – Т. 5, № 3 (59). – С. 7–10. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/4496/4184>

12. Савеленко, Г. Розробка програмно-апаратного пристрою автоматизованої системи стабілізації процесу розмірної обробки дугою [Текст] / Г. Савеленко, Ю. Єрмолаєв, О. Собінов, В. Гуцул // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – Т. 1, № 3(21). – С. 22–28. doi: 10.15587/2312-8372.2015.36244

13. Зубрецька, Н. А. Нейро-нечітке управління точністю та стабільністю технологічних процесів механічної обробки деталей [Текст] / Н. А. Зубрецька // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – Т. 3, № 3 (63). – С. 49–53. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/14738/12516>

14. Бабіченко, А. Технологічний аудит в контексті підвищення ефективності систем управління виробництвом аміаку [Текст] / А. Бабіченко, І. Красніков, Ю. Бабіченко, В. Вельма // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2014. – Т. 2, № 1(16). – С. 45–48. doi: 10.15587/2312-8372.2014.23449

15. Забара, С. С. Разработка автоматизированной системы оптимизации работы перегрузочного комплекса [Текст] / С. С. Забара, М. Т. Дехтярук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 1, № 3 (73). – С. 8–12. doi: 10.15587/1729-4061.2015.36256

16. Назаренко, І. В. Побудова і моделювання уніфікованих систем управління виконавчими механізмами

об'єктів газотранспортної системи [Текст] / І. В. Назаренко, М. Я. Николайчук, В. Д. Ференець, Д. Є. Суханов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – Т. 1, № 2 (67). – С. 41–48. doi: 10.15587/1729-4061.2014.21204

17. Гнатюк, Ю. Критерий эффективности для оптимизации верхнего уровня систем управления запасами [Текст] / Ю. Гнатюк // Технологический аудит и резервы производства. – 2012. – Т. 4, № 1 (6). – С. 7–8. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4768>

18. Голиков, С. Оптимальное управление электроприводом траловой лебедки [Текст] / С. Голиков // Технологический аудит и резервы производства. – 2013. – Т. 5, № 5(13). – С. 41–43. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/18407>

19. Слесаренко, А. Теоретичне обґрунтування оптимізації режимів керування енергопотоками живлення нагрівників електрообігрівної підлоги [Текст] / А. Слесаренко, М. Романченко, О. Сорока // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2013. – Т. 5, № 2(13). – С. 28–33. – Режим доступу: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/18365>

20. Чайковська, Є. Розробка комплексного методу інтелектуального управління у складі когенераційної системи [Текст] / Є. Чайковська // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2014. – Т. 6, № 5(20). – С. 36–39. doi: 10.15587/2312-8372.2014.31735

21. Доценко, С. Метод моделирования диалогового управления энергоэффективностью [Текст] / С. Доценко // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – Т. 6, № 1(20). – С. 16–21. doi: 10.15587/2312-8372.2014.30017

22. Степанець, О. Сучасні методи керування в умовах квазістаціонарності об'єктів [Текст] / О. Степанець // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2012. – Т. 4, № 1(6). – С. 17–18. – Режим доступу: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4773>

23. Турчинов, Р. В. Застосування методу аналізу ієрархії при функціональному синтезі автоматизованих систем керування [Текст] / Р. В. Турчинов, С. О. Змій, В. П. Мороз, В. Ф. Кустов, В. І. Мойсенко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – Т. 2, № 3 (56). – С. 33–36. – Режим доступу: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/3689/3456>

24. Бодненко, Т. Використання сучасних комп'ютерних технологій для автоматизації виробничих процесів [Текст] / Т. Бодненко // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – Т. 2, № 2 (22). – С. 43–49. doi: 10.15587/2312-8372.2015.40869

25. Стеценко, Д. Розробка інтелектуальних алгоритмів керування брагоректифікаційною установкою [Текст] / Д. Стеценко // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2013. – Т. 6, № 1(14). – С. 51–54. – Режим доступу: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/19551>

26. Оборский, Г. А. Выбор метрологического обеспечения управления сложными объектами литейного производства с трудноизмеримыми параметрами [Текст] / Г. А. Оборский, А. Л. Становский, И. В. Прокопович, М. А. Духанина // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 6, № 3 (72). – С. 41–47. doi: 10.15587/1729-4061.2014.32420

27. Орнатський, Д. П. Аналоговий інтерфейс для дистанційних вимірювань переміщень диференціально-трансформаторними індуктивними датчиками [Текст] / Д. П. Орнатський, М. В. Михалко, О. І. Осмолівський // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – Т. 1, № 2 (67). – С. 52–57. doi: 10.15587/1729-4061.2014.21078

28. Жученко, О. А. Дослідження системи керування процесом екструзії полімерів в умовах дії збурень [Текст] / О. А. Жученко, О. О. Анікєєв // Східно-Європейський жур-

нал передових технологій. – 2014. – Т. 4, № 2 (70). – С. 37–41. doi: 10.15587/1729-4061.2014.26194

29. Тевяшев, А. Д. Об одном методе синтеза много-связных регуляторов [Текст] / А. Д. Тевяшев, В. Н. Щелкалин, Ю. М. Епифанов, Ю. С. Козьмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – Т. 5, № 3 (41). – С. 56–64. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/22581/20204>

30. Ковриго, Ю. М. Методи забезпечення стійкості систем регулювання на базі ПІ та ПІД регуляторів [Текст] / Ю. М. Ковриго, Т. Г. Баган, О. С. Бунке // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – Т. 3, № 3 (63). – С. 58–63. – Режим доступу: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/14740/12518>

31. Сапрыка, А. В. Анализ переходных процессов в последовательном колебательном контуре [Текст] / А. В. Сапрыка // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 2, № 3 (62). – С. 35–37. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/11712/9854>

32. Волянский, Р. Статические характеристики электромеханических систем со скользящими режимами второго порядка [Текст] / Р. Волянский // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – Т. 6, № 5(20). – С. 42–46. doi: 10.15587/2312-8372.2014.32251

33. Лагойда, А. Застосування багатопараметричних регуляторів для керування газоперекачувальним агрегатом [Текст] / А. Лагойда // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2014. – Т. 6, № 4(20). – С. 39–41. doi: 10.15587/2312-8372.2014.32580

34. Свістельник, С. Розробка методу визначення параметрів регулятора для керування астатичним об'єктом третього порядку [Текст] / С. Свістельник, А. Квачук, Т. Ляницький, Р. Правденко // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – Т. 1, № 3(21). – С. 41–45. doi: 10.15587/2312-8372.2015.37770

35. Савеленко, Г. Обоснование структуры экстремального регулятора по производительности автоматизированного процесса электроэрозионной обработки [Текст] / Г. Савеленко, Ю. Ермолаев // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – Т. 6, № 4 (20). – С. 42–47. doi: 10.15587/2312-8372.2014.32750

36. Demin, D. A. Synthesis of optimal temperature regulator of electroarc holding furnace bath [Text] / D. A. Demin // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2012. – Vol. 6. – P. 52–58.

37. Демин, Д. А. Типизация математического описания в задачах синтеза оптимального регулятора технологических параметров литейного производства [Текст] / Д. А. Демин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 1, № 4 (67). – С. 43–56. doi: 10.15587/1729-4061.2014.21203

38. Луценко, И. Практический метод определения оптимального управления [Текст] / И. Луценко // Технологический аудит и резервы производства. – 2013. – Т. 6, № 4 (14). – С. 22–24. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/19639>

39. Луценко, И. Синтез структуры управляемой системы преобразования в среде разработки управляемых систем EFLY [Текст] / И. Луценко, Н. Николаенко // Технологический аудит и резервы производства. – 2011. – Т. 2, № 2(2). – С. 20–23. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4861>

## References

1. Demin D. O. (1995). Dejaki aspekti upravlinnja jakistju chavuna z plastinchastim grafitom. Harkivs'kij politehničnij institut KhPI, 24.
2. Frolova, L. (2012). Choice of ways to improve design elements of machines moulding shaking. Technology audit

and production reserves, 1/1 (3), 30–34. Available at: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4873>

3. Frolova, L. (2011). Identification provision of energy saving on the basis of audit process moulding machines shaking. Technology audit and production reserves, 2/2 (2), 8–13. Available at: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4859>

4. Trufanov, I. D., Chumakov, K. I., Bondarenko, A. A. (2005). Obshheteoreticheskie aspekty razrabotki stohasticheskoy sistemy avtomatizirovannoy jekspertnoj ocenki dinamicheskogo kachestva proizvodstvennyh situacij jelektrostaleplavlenija. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6/2 (18), 52–58.

5. Trufanov, I. D., Chumakov, K. I., Ljutjy, A. I. (2007). Matematicheskoe modelirovanie i opytno-jekspertnol'noe issledovanie jenergojeffektivnosti jelektrotehnologicheskogo kompleksa moshhnoj dugovoj staleplavil'noj pechi. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4/1 (28), 64–69.

6. Trufanov, I. D., Ljutjy, A. P., Chumakov, K. I., Andrijas, I. A., Kazanskaja, T. I., Dzhioev, V. V. (2010). Nauchnye osnovy razreshenija innovacionnyh problem identifikacii v sistemah avtomatizacii processov jelektrometallurgii stali i splavov. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3/10(45), 8–23.

7. Demin, D. A. (2011). Methodology of forming functional in the optimal control electric smelting. Technology audit and production reserves, 1/1 (1), 15–24. Available at: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4082>

8. Demin, D. A. (2010). Sovershenstvovanie processov upravlenija jelektroplavkoj. Visnik nacional'nogo tehničnogo universitetu «KhPI», 4, 33–44.

9. Demin, D. A. (2013). Upravlenie processom vydachi rasplava na plavil'no-zalivochnom uchastke litejnogo ceha. Visnik Nacional'nogo tehničnogo universitetu "KhPI". Ser.: Novi rishennja v suchasnih tehnologijah, 56, 208–216. Available at: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/vcpinrct\\_2013\\_56\\_39.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/vcpinrct_2013_56_39.pdf)

10. Demin, D. A. (2013). Artificial orthogonalization in searching of optimal control of technological processes under uncertainty conditions. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5/9 (65), 46–55. Available at: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/18452>

11. Bogushevs'kyj, V. S., Zubova, K. M., Suhenko, V. Ju. (2012). The closed control system of temperature behavior of melting. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5/3 (59), 7–10. Available at: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/4496/4184>

12. Savelenko, G., Jermolajev, Ju., Sobinov, O., Gucul, V. (2015). Development of software and hardware device of automated system of the process stabilization of arc dimensional processing. Technology audit and production reserves, 1/3 (21), 22–28. doi: 10.15587/2312-8372.2015.36244

13. Zubrec'ka, N. A. (2013). Neuro-fuzzy control of precision and stability of mechanical wordpart procedures. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3/3 (63), 49–53. Available at: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/14738/12516>

14. Babichenko, A., Krasnikov, I., Babichenko, Ju., Vel'ma, V. (2014). Technology audit in the context of increasing the efficiency of ammonia production control systems.

Technology audit and production reserves, 2/1 (16), 45–48. doi: 10.15587/2312-8372.2014.23449

15. Zabara, S. S., Dehtjaruk, M. T. (2015). Development of an automated optimization system of the transshipment complex. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1/3 (73), 8–12. doi: 10.15587/1729-4061.2015.36256

16. Nazarenko, I. V., Nykolajchuk, M. Ja., Ferenec', V. D., Suhanov, D. Je. (2014). Construction and modeling of unified control systems of actuating mechanisms for objects of gas-transport system. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1/2 (67), 41–48. doi: 10.15587/1729-4061.2014.21204

17. Gnatjuk, Ju. (2012). Performance criteria for optimization of upper level management systems inventory. Technology audit and production reserves, 4/1 (6), 7–8. Available at: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4768>

18. Golikov, S. (2013). Optimal control of electric drive of trawl winch. Technology audit and production reserves, 5/5 (13), 41–43. Available at: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/18407>

19. Slesarenko, A., Romanchenko, M., Soroka, O. (2013). Theoretical substantiation of optimizing the control modes of energy flows of power supply of electrically heated floor heaters. Technology audit and production reserves, 5/2 (13), 28–33. Available at: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/18365>

20. Chajkovs'ka, Je. (2014). Development of complex method of intellectual control in cogeneration systems. Technology audit and production reserves, 6/5 (20), 36–39. doi: 10.15587/2312-8372.2014.31735

21. Docenko, S. (2014). Justification of the dialog control method by energy efficiency. Technology audit and production reserves, 6/1 (20), 16–21. doi: 10.15587/2312-8372.2014.30017

22. Stepanec, O. (2012). Modern control methods in a quasistationary objects. Technology audit and production reserves, 4/1 (6), 17–18. Available at: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4773>

23. Turchynov, R. V., Zmij, S. O., Moroz, V. P., Kustov, V. F., Mojsejenko, V. I. (2012). Application of the method of analysis of hierarchies in functional synthesis of automated control systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2/3 (56), 33–36. Available at: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/3689/3456>

24. Bodnenko, T. (2015). Using modern computer technology for automatization of production processes. Technology audit and production reserves, 2/2 (22), 43–49. doi: 10.15587/2312-8372.2015.40869

25. Stecenko, D. (2013). Algorithms intellectual development of bragorectification setting. Technology audit and production reserves, 6/1 (14), 51–54. Available at: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/19551>

26. Oborskij, G. A., Stanovskij, A. L., Prokopovich, I. V., Duhanina, M. A. (2014). Selection of metrological support of management of complex foundry objects with hardly measurable parameters. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6/3 (72), 41–47. doi: 10.15587/1729-4061.2014.32420

*Рекомендує до друку док. техн. наук, проф. Акімов О.В.  
Дата надходження рукопису 15.05.2015*

**Ткаченко Сергій Миколайович**, кафедра ливарного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002