

CONTROL SYSTEM OF THE DIE CASTING MACHINE

V. Bogyshevsky, Y. Antonevich

National Technical University of Ukraine «KPI»

Key words:

Management
System
Parameters
Die casting

ABSTRACT

The article describes the possibilities of the automation of the technological process of the die casting. The ratio of the initial casting transfer is taken as the criterion of the control. The influence of the various system parameters on the stability of the machine operation and the ways of their correction in the process are investigated. The control system of the die casting machines which showed an improvement of the technical and economic performance is developed.

Article history:

Received 10.10.2012
Received in revised form
01.11.2012
Accepted 19.11.2012

Corresponding author:

E-mail:
npnuht@ukr.net

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МАШИНАМИ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ

В.С. Богусhevський, Я.К. Антонеvич

Національний технічний університет України «КПІ»

Розглянуто можливості автоматизації технологічного процесу лиття під тиском. За критерій управління було прийнято коефіцієнт первинного виходу відливок. Досліджено вплив різноманітних параметрів системи на стабільність роботи машини та шляхи їх корегування в процесі роботи. Розроблена система керування машинами ЛПТ, яка показала поліпшення техніко-економічних показників роботи.

Ключові слова: керування, система, параметри, лиття під тиском

Процес лиття під тиском (ЛПТ) — найбільш перспективний спосіб виготовлення виробів, що підготовлений до автоматизації завдяки повністю механізованому устаткуванню. Незважаючи на це, сучасні машини ЛПТ випускаються у кращому випадку із датчиками контролю деяких параметрів і системами керування циклом виробництва відливок [1]. Зміна параметрів металу (температура, хімічний склад) і устаткування (температура прес-форми, час витримки відливки, кількість змащувального матеріалу і його консистенція), якщо вона не супроводжується зміною параметрів регулювання (швидкості преспоршня, тиску пресування й підпресовки) призводять до погіршення якості відливок і браку. Це свідчить про актуальність розробки АСК машинами ЛПТ.

Розробити систему автоматичного контролю й керування машинами ЛПТ, що підвищує ефективність процесу виробництва відливок.

Як критерій управління вибрано коефіцієнт первинного виходу відливок.

Мета управління — збільшення коефіцієнта при роботі з АСКПІ на 0,15...0,2 у порівнянні з роботою без системи [2].

АВТОМАТИЗАЦІЯ

Критерій управління, як мінімізацію функціонала U , запишемо у вигляді

$$U = (A_0 - A)^2, \quad (1)$$

де A_0 і A — відповідно задане значення показника якості відливки із умови рівності окремих його складових заданим значенням і фактичне [3].

Спроектвана АСКТП виконує інформаційні й керуючі функції. Інформаційні функції:

- автоматичний збір і первинна обробка інформації, зокрема вимірювання параметрів, фільтрація вимірів, перевірка інформації на достовірність, масштабування;
- оперативне відображення технологічних параметрів, сигналізація про вихід параметрів за критичні межі, видача значень параметрів у АСК верхнього рівня й оператора.

Керуючі функції:

- замкнуте управління процесом, зокрема порівняння поточних значень параметрів зі заданими, визначення керуючих діянь, видача їх на виконавчі механізми, а також повне керування циклом машини по заданій циклограмі;

- замкнуте управління процесом у напівавтоматичному режимі (виконуються визначена кількість тактів керування машиною за циклограмою, для подальшої роботи необхідна команда оператора-ливарника).

Система управління вирішує наступні задачі: термостатування сплаву в заливальній установці; розрахунок і регулювання дози сплаву; регулювання температури робочої рідини у гідросистемі, тиску робочої рідини машини ЛПП; розрахунок і регулювання тривалості кристалізації відливки й прес-залишку; контроль положення і регулювання швидкості прес-поршня при запресовці; регулювання тиску і тривалості підпресовки, змикання форми й зусилля закривання; програмне керування циклом машини ЛПП, маніпулятора знімання відливок й змазчика.

У склад технічного забезпечення АСК ТП (рис. 1) входять прилади контролю технологічних параметрів, засоби управління виконавчими механізмами, пристрої відображення інформації про хід технологічного процесу, пульт оператора-ливарника (181), керуючий обчислювальний комплекс (182).

Регулювання температури й дози сплаву в заливальній установці (МДН) проводиться наступними засобами. Температура металу в МДН і металоводі вимірюється термопарами ТХА-0515 серії Метран 200 (12 і 11), рівень металу визначається контактним рівнеміром (8), тиск повітря в металоводі — датчиком тиску серії Метран 100 ДИ (7). Наявність металу у прес-камері реєструється фотореле ФГ60-16М (10). Зміна потужності індукторів (14) і електромагніта МДН (34) проводиться тиристорами (54...57), а витрати повітря в МДН — електромагнітами (1...6).

Як зворотні зв'язки про стан устаткування використовуються контактні реле: імпульсних трансформаторів керування індукторами й електромагнітом (31...33), електромагнітних клапанів малої й великої витрати повітря в тигель (25, 26) й із нього (27, 28), електромагнітів клапанів витрати повітря у металопрвід (29) й із нього 30.

Для регулювання температури прес-форми використовують термопари ТХК-529 серії Метран 200 (126...131). Нагрівачі підключаються тиристорними ключами (172...180). Клапани перемішування, подання води і повітря вклучаються електромагнітами (159...163). Температура рідини в термостатах вимірюється термопарами ТХК-529 серії Метран 200 (144, 145).

Як зворотні зв'язки про стан устаткування використовуються контакти реле магнітів перемішування праворуч (164) і ліворуч (165), продувки повітрям (166), подачею води у змішувач (167) і теплообмінник (168), нагрівачів (169), датчика тиску повітря (170).

Температура робочої рідини машини ЛПП вимірюється термометрами опору ТСП-047 серії Метран 200 (124). Регулювання виконується електромагнітом (81), що керує охолодженням робочої рідини, й тиристорами (139, 140), що керують її нагрівом.

Як зворотні зв'язки про стан устаткування використовуються контактні реле електромагнітного клапана подання води для охолодження робочої рідини (146), насоса (147) й електромагніта вклучення нагрівача робочої рідини (148).

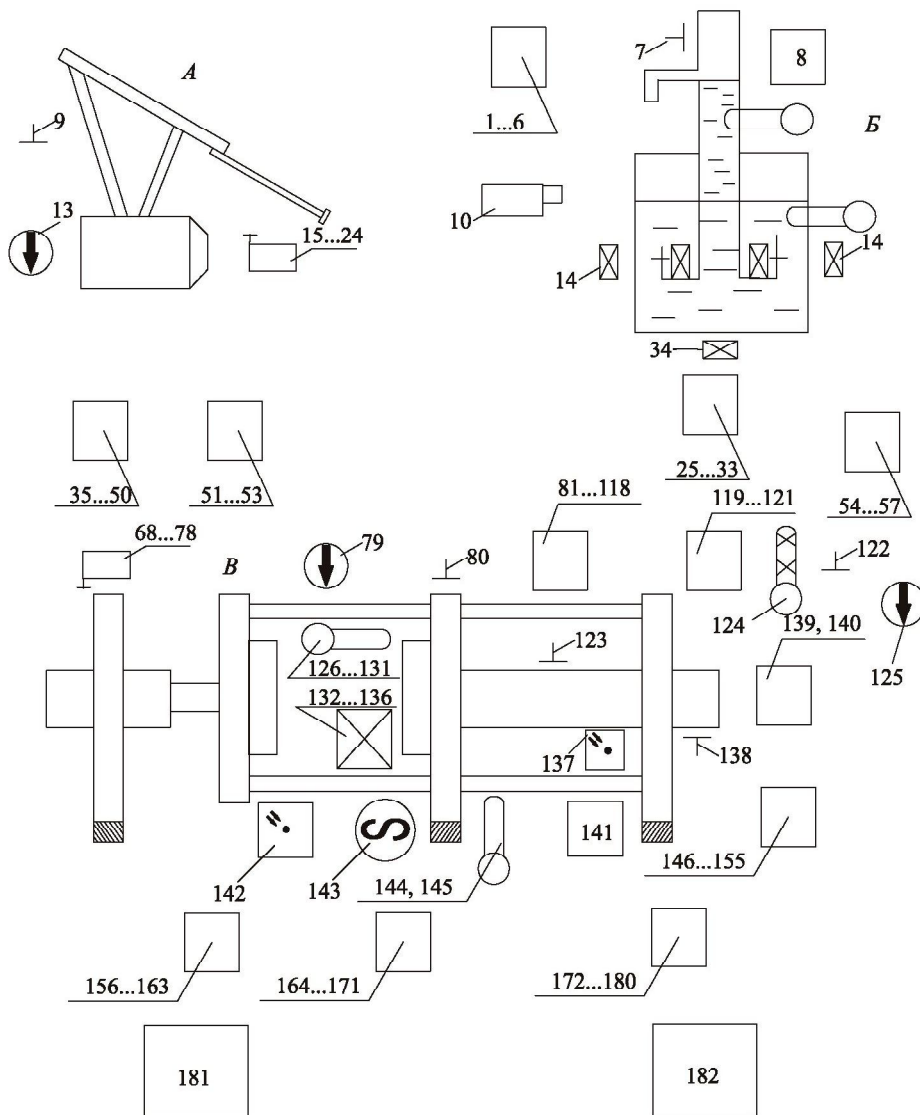


Рис. 1. Структурна схема системи:

А — маніпулятор, Б — індукційна роздаточна піч з дозатором розплаву, В — машина лиття під тиском зі змащувачем

Тиск робочої рідини в гідросистемах машини, маніпулятора й змазчика вимірюється датчиком тиску серії Метран 100 ДИ (відповідно 122, 9, 80). Регулювання проводиться насосами відповідно 125 (що керуються електромагнітами 82, 83), 13 (що керуються електромагнітами 49, 50) і 79 (що керуються електромагнітами 84 і 85).

Як зворотний зв'язок про стан устаткування, використовуються контактні реле відповідних електромагнітів відсічного клапану (51, 119, 149), включення двигуна в напрямку більше (52, 120, 150) і менше (53, 121, 151).

Для регулювання процесу заpresовки в циліндрі пресування вимірюється тиск датчиком ПДІ-060 (123) і положення прес-поршня — датчиком швидкості ФЕВ (137).

АВТОМАТИЗАЦІЯ

Регулювання відбувається слідкуючим золотником (141). Як зворотний зв'язок про стан золотника використовуються контакти реле (171).

Для регулювання процесу підпресовки вимірюється зазор між півформами закритої прес-форми мікрометричним датчиком зусиль ДСТБ-С-060 (132), а тиск в акумуляторі підпресовки датчиком ПДЛ-060 (138). Як зворотний зв'язок про стан устаткування використовуються контакти реле слідкуючого золотника регулювання «нуль-зазору» (152), електромагнітів швидкодіючого клапану (153), з'єднання акумулятора з насосом (154) і зливом (155).

Для регулювання натягу колон зусилля на окремі колони вимірюються датчиками ДСТБ-С-060 (133...136). Кут оберту реверсивного двигуна контролюється датчиком ФЕВ (142). Регулювання відбувається реверсивним двигуном 143, що керується електромагнітами (157, 158).

Регулювання процесу кристалізації відбувається поданням води і повітря через клапани, що керуються електромагнітами (159, 160).

Керування циклом машини ЛПТ відбувається електромагнітами змикання (86) і розімкнення (87) плит, руху виштовхувача (88) і прес-поршня вперед (89), запресування (90), централізованої системи змащування (91) закриття двері (94), обдування (95, 96), подання мастила (97) і повітря (98) в систему змащування, блокування змикання плит 99, повернення виштовхувача (100), змащування прес-поршня (101), повернення прес-поршня (102), відкриття двері (103), управління змазчиком (104), уводу першого (105) і другого (106) стрижнів, виводу першого (107) і другого (108) стрижнів, номінального (109) і максимального (110) навантаження насосу, включення відсічного клапану (111), опускання опори (112), змикання (113) і розімкнення (114) верхнього і нижнього повзунів, відсічки акумулятора (115), змикання (116) і розімкнення (117) правого і лівого повзунів, відводу стрижня (118), обертання стріли маніпулятора навкруги першої осі при прямому (35) і зворотному (36) ході, обертання стріли маніпулятора навкруги другої осі при зворотному (37) і прямому (38) ході, поступальний рух стріли вперед (39) і назад (40), розфіксація кисті (41), закриття схвату (42), прискореного руху стріли (43), важеля до машини (44) і від машини (45), згинання руки (46), фіксація кисті (47), відкриття схвату (48).

Як зворотні зв'язки про стан устаткування використовують датчики положення: плити розімкнуті (58), плити замкнуті (59), прес-поршень в початковому положенні (60), виштовхувач висунутий (61), захисні двері зачинені (62) і відкриті (63), виштовхувач у початковому положенні (64), захисні двері зачинені (64), перший стрижень введений (65) і виведений (66), другий стрижень введений (67) і виведений (68), змазчик введений (69) і виведений (70), рука у зоні прес-форми при гідровиштовхувачі в початковому (15) і виведеному положенні (16), знімач в початковому положенні (17) і в зоні прес-форми (18), початкове положення стріли відносно другої осі (19), стріла втягнута (20) і висунута (21), стріла повернута навколо першої осі при прямому ході (22) і в зворотному напрямку (23), обертання стріли навколо другої осі (24), стрижень спереду (71), опора внизу (72), зімкнуті верхній (73), нижній (74), правий (75) і лівий (76) повзуни, перешкода двері при закритті (77) і відкритті (78).

Регулювання окремими операціями відбувається наступним чином.

Розплавлений метал подається в машину із магнітно-динамічного насосу (МДН). Температура розплаву регулюється активною потужністю змінного струму, що підводиться до індукторів. Середня потужність на навантаженні становить

$$\bar{N}_n = \chi N_n, \quad (2)$$

де \bar{N}_n, N_n — відповідно середні потужності на навантаженні і прямого підключення, кВт; χ — коефіцієнт передачі потужності.

Діапазон і закон зміни коефіцієнта χ залежить від способу керування виконавчим органом і його типу. Найбільш універсальними виконавчими органами є тиристори, характеристики яких дозволяють багатократно комутувати їх протягом кожного напівперіоду напруги джерела живлення. Зміна потужності на навантаженні проходить

АВТОМАТИЗАЦІЯ

дискретно, так як тиристори виконавчого органу можуть знаходитись тільки у двох стійких станах: включеному й виключеному. Коефіцієнт передачі χ також приймає дискретні значення. Номінальна температура металу t_n установлюється в діапазоні ± 1 °С (t_n визначається видом сплаву і відливки). При додаванні металу в МДН його температура може значно відрізнятись від номінальної. Її доведення до номінального значення проводиться за ПД законом регулювання. Зміна потужності нагрівання відбувається з дискретністю $0,1N_{\text{макс}}$. Потужність нагріву кожного з двох індукторів обирається видаленням визначеного числа півхвиль живлячої синусоїди (закриття тиристора) за законом: 1 — проходження півхвилі, 0 — відсутність півхвилі (табл.).

Таблиця. Зміна потужності індуктора МДН, К (частка від $N_{\text{макс}}$)

К	Положення тиристорів на тактах																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0,3	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
0,4	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
0,5	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
0,6	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0
0,7	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
0,8	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Такий спосіб забезпечує імпульсну дискретизацію коефіцієнта χ , при якій квантування потужності у часі йде за двома рівнями: один нульовий, другий — відповідає значенню потужності прямого підключення навантаження до мережі.

Беручи до уваги, інерційність МДН, як об'єкта регулювання температури, цикли зміни потужності організують з дискретністю 60 с.

При цьому, якщо температура металу відрізняється від заданої ПД-законом регулювання більше ніж на 1 °С, значення потужності збільшується на $0,1 N_{\text{макс}}$, якщо метал не догрітий і зменшується, якщо перегрітий. При низькій температурі металу і необхідності його заливки в машину ЛПТ нагрівають металопровід перекошуванням потужності індукторів (в одному із індукторів потужність знижується на $0,1 N_{\text{макс}}$). Внаслідок малої маси металу в метало-проводі цикл нагрівання установлюють 0,1 с.

Метал із МДН в машину ЛПТ подається через металопровід. Необхідний рівень металу в металопроводі підтримується тиском повітря на розплав. Напір металу забезпечується магнітодинамічною силою і надлишковим тиском стисненого повітря на розплав металу у тиглі. Для створення напору одночасно діють обидва фактори: два індуктори і електромагніт, а також подання стисненого повітря.

При необхідності заливки спочатку метал знаходиться тільки під дією електромагнітної сили, що створює напір, при цьому потужність електромагніта максимальна. По мірі зростання тиску повітря потужність, що подається в індуктори і електромагніт МДН знижується з дискретністю $0,1 N_{\text{макс}}$. Регулювання напору за відхиленням відбувається з урахуванням зворотного зв'язку від контактної датчика. При повному відключенні електричної потужності подальше регулювання ведеться регулюванням подачі стиснутого повітря у піч.

Після закінчення заливки миттєво знижується напір металу. Для цього одночасно включаються реверс електромагніта МДН на максимальній потужності і клапан, що скидає тиск повітря. Електромагнітна сила, що невілює інерцію сили тиску повітря, відсікає струмінь металу. Далі по мірі падіння надлишкового тиску повітря потужність електромагніту МДН знижується ступенями по $0,1 N_{\text{макс}}$. Одночасно у допоміжному патрубку знижується тиск до атмосферного. Потужність електромагніта МДН знижується до нуля, а рівень металу на зрізі металопроводу підтримується тільки надлишковим тиском у тиглі. Контроль проводиться контактним датчиком.

АВТОМАТИЗАЦІЯ

Коректується доза за результатами заливки попередньої порції розплаву, а вимірюється за положенням прес-поршня в кінці такту підпресовки.

Температура прес-форми регулюється прокачуванням через теплообмінні канали у порожнині прес-форми термостатуючої рідини. Регулювання температури рідини відбувається у двох теплообмінниках, кожний з яких може знаходитися у режимі нагріву або охолодження. Об'єм рідини вибирається таким чином, щоб при повному заповненні одного теплообмінника і каналів у прес-формі рідина у другому теплообміннику була відсутня. У процесі регулювання температури прес-форми термостатуюча рідина періодично перекачується із одного теплообмінника в другий і назад, проходячи через канали у прес-формі. Перекачування забезпечується поданням стиснутого повітря у відповідний теплообмінник із магістралі.

Швидкість теплообміну регулюється частотою перекачування термостатуючої рідини. Повний цикл теплообміну проходить при періоді переключення в 60 с. Контроль температури прес-форми проводиться декількома датчиками, що установлені в найбільш відповідних місцях рухомої й нерухомої півформи. При цьому попередньо обчислюється середнє значення температури. Керуюче діяння визначається в залежності від відхилення температури прес-форми на поточному циклі з урахуванням величини відхилення на попередньому циклі й тривалості останнього.

Регулювання температури робочої рідини відбувається в режимі трипозиційного регулятора. Якщо значення температури робочої рідини вище верхньої допустимої межі, вклячається охолоджувач рідини, якщо нижче нижньої допустимої межі — нагрівач. Регулювання проводиться між циклами машини ЛПТ.

Регулювання тиску робочої рідини проводиться окремо в гідросистемах машини ЛПТ, маніпулятора для знімання відливок і змазчика. Якщо поточне значення тиску вище номінального, то формується постійне керуюче діяння на реверсивний двигун, що направлене на зменшення тиску в системі і навпаки. Тривалість підрегулювання тиску в системі становить 1 с. Підрегулювання проводиться між циклами машини ЛПТ при відключеній магістралі з напірним золотником і датчиком тиску.

При регулюванні швидкості прес-поршня при запресуванні весь шлях його поділяється на ряд ділянок із своїми законами регулювання. Перша ділянка визначає рух прес-поршня до перекриття заливального вікна. Для ліквідації виплесків металу із заливального вікна прискорення на цій ділянці повинно бути невеликим $0,1 \dots 1 \text{ м/с}^2$. Довжина ділянки може бути $30 \dots 100 \text{ мм}$. На початку запресування на слідкуючий гідрозолотник видається початкове керуюче діяння I_0 , задаються програми зміни шляху L_i , швидкості v_i і прискорення a_i на кожному кроці керування i . Фактичне значення параметрів руху поршня визначається за формулами прямолінійного рівноприскореного руху

$$v_i = 2(L_i - L_{(i-1)})/\Delta\tau - v_{(i-1)}; \quad (3)$$

$$a_i = (v_i - v_{(i-1)})/\Delta\tau, \quad (4)$$

де $v_i, v_{(i-1)}$ — швидкість прес-поршня на поточному (i -му) і попередньому ($i-1$) кроці керування, м/с; $L_i, L_{(i-1)}$ — шлях, що пройдений на поточному і попередньому кроці керування, м; $\Delta\tau = 10^{-3}$ — тривалість кроку керування, с.

Величина коректуючого діяння на гідрозолотник на i -му кроці визначається як

$$\Delta I_i = \alpha_1 \Delta L_i + \alpha_2 \Delta v_i + \alpha_3 \Delta a_i, \quad (5)$$

ΔI_i — коректуюче діяння на i -му кроці керування, мА; $\Delta L_i, \Delta v_i, \Delta a_i$ — відхилення фактичних значень зміщення, м, швидкості, м/с, й прискорення м/с^2 прес-поршня від заданих табличних значень на i -му кроці керування.

Регулятор виробляє керуючі діяння на слідкуючий гідрозолотник у відповідності з виразом

$$I_i = \begin{cases} 0,7\alpha_4 v_{Ti}, & \text{якщо } \Delta I_i \leq -0,3\alpha_4 v_{Ti}; \\ 1,3\alpha_4 v_{Ti}, & \text{якщо } \Delta I_i > 0,3\alpha_4 v_{Ti}; \\ \alpha_4 v_{Ti} + \Delta I_i, & \text{якщо } -0,3\alpha_4 v_{Ti} < \Delta I_i \leq 0,3\alpha_4 v_{Ti}, \end{cases} \quad (6)$$

де I_i — керуюче діяння на i -му кроці, мА; α_4 — коефіцієнт; v_{Ti} — задане табличне значення на i -му кроці керування, м/с.

АВТОМАТИЗАЦІЯ

Після того, як положення прес-поршня досягне величини, що визначає перекриття заливального вікна, починається другий етап запресовки, на якому потрібно швидше досягнути заданої величини швидкості прес-поршня з достатньо великим прискоренням. Швидкість запресовки від 0,2 до 10 м/с, прискорення — від 1 до 1200 м/с². На другій ділянці запресовки керуюче діяння формується за табличними заданими значеннями параметрів організацією кроків опитування по *i* аналогічно тому, як це відбувалося на першій ділянці. Коли швидкість прес-поршня на ділянці розгону досягне заданого значення, починається третій етап, що характеризується постійною швидкістю прес-поршня. В процесі розгону може початися заповнення прес-форми металом, що супроводжується зростанням тиску в циліндрі пресування вище заданого значення. В цьому випадку формується ознака бракованої відливки.

На третій ділянці запресовки керуючі діяння формують аналогічно першому етапу опитуванням по *i* поки не почнеться заповнення прес-форми, що визначається за величиною тиску в циліндрі пресування. Процес регулювання продовжується до моменту закінчення заповнення прес-форми, після чого починається четвертий етап, який характеризується тим, що при організації опитування по *i* задається таблиця днів на гідрозолотник, а не заданих значень шляху, швидкості, та прискорення.

Як базовий засіб автоматизації машини ЛПТ обрано обчислювальний комплекс (КОК), що складається із чотирьох контролерів. Перший реалізує задачі керування процесами запресовки і підпресовки, регулювання натягу колон, температури і дози розплаву. Другий реалізує задачі регулювання процесів кристалізації відливки і прес-залишку, тиску і температури робочої рідини, термостатування прес-форми. Третій здійснює керування технологічними операціями машини ЛПТ у визначеній послідовності. Четвертий — зв'язок КОК із пультом оператора-ливарника й системою верхнього рівня.

Висновки

Розроблена система керування машинами ЛПТ. Промислові іспити системи показали поліпшення техніко-економічних показників роботи машини при використанні системи.

Література

1. Моисеев Ю.В., Личак А.И. Автоматизация специальных способов литья // Процессы литья. — № 1. — 2008. — С.
2. Богущевський В.С. АСКТП комплексу лиття під тиском // Автоматизація виробничих процесів. — 2001. — № 2 (13). — С. 53 – 55.
3. Богущевський В.С., Антоневич Я.К. Автоматизация технологического процесса литья под давлением // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. — 2012. — № 4. — С. 29 – 33.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МАШИНОЙ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

В.С. Богущевський, Я.К. Антоневич

Національний технічний університет України «КПІ»

Рассмотрены возможности автоматизации технологического процесса литья под давлением. Как критерий управления был принят коэффициент первичного выхода отливок. Исследовано влияние различных параметров системы на стабильность работы машины и пути их корректировки в процессе работы. Разработана система управления машинами ЛПТ, которая показала улучшение технико-экономических показателей работы.

Ключевые слова: управление, система, параметры, литья под давлением.