

УДК 621.74.043.2

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МАШИНОЙ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ**

**Я. К. АНТОНЕВИЧ, В. С. БОГУШЕВСКИЙ**

*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт»*

### **Введение**

Процесс литья под давлением (ЛПД) – наиболее перспективный способ производства изделий, поддающийся автоматизации, так как все технологическое оборудование полностью механизировано и подготовлено для функционирования в составе автоматической системы управления. Главное его преимущество – возможность получения заготовок с минимальными, зачастую нулевыми допусками на механическую обработку и минимальной шероховатостью необрабатываемых поверхностей, обеспечение высокой производительности и низкой трудоемкости изготовления деталей.

Вопросам автоматизации процесса ЛПД посвящено много работ [1]–[4]. Они, как правило, решают отдельные аспекты автоматизации: контроль отдельных параметров, управление наиболее важными операциями, в том числе циклом производства отливок и околomашинными, контроль и управление качеством изготавливаемых отливок. Однако до сего времени вопрос не решен системно, что снижает производительность машины ЛПД и качество отливок.

Исследования, приведенные в статье, проводились в НТУУ «Киевский политехнический институт» по теме «Математическая модель и система управления машинами литья под давлением», Государственный регистрационный номер 0112U002173.

### **Цель исследований**

Повышение точности и надежности управления машиной ЛПД.

### **Результаты исследований**

При управлении температурой пресс-формы значение управляющего тока на регулятор находится в соответствии с формулой

$$I_1 = \alpha_1(t_n - t_{n.зад}) + \alpha_2(\tau_{ц} - \tau_{ц.н}), \quad (1)$$

где  $I_1$  – величина управляющего тока на позиционный регулятор, мА;  $t_n, t_{n.зад}$  – соответственно, текущее и заданное значение температуры пресс-формы, °С;  $\tau_{ц}, \tau_{ц.н}$  – соответственно, текущее и нормативное значение продолжительности цикла, с.

Продолжительность цикла определяется по формуле

$$\tau_{ц} = \tau_{кр} + \tau_{д.о}, \quad (2)$$

где  $\tau_{кр}$  – продолжительность кристаллизации отливки, с;  $\tau_{д.о}$  – продолжительность других операций, с.

Здесь

$$\tau_{кр} = \alpha_3 t_{п} + \alpha_4 t_{м} + \alpha_5, \quad (3)$$

где  $t_{м}$  – температура заливаемого металла, °С,  $t_{п}$  – температура пресс-формы, °С.

Сигналы на выходах регулятора температуры пресс-формы равны:

$$\begin{cases} I_{11} = 1, I_{12} = 0 & \text{при } I_1 > -\alpha_1 \Delta t \\ I_{11} = 0, I_{12} = 0 & \text{при } I_1 \leq -\alpha_1 \Delta t, \\ I_{11} = 1, I_{12} = 1 & \text{при } I_1 < -\alpha_1 \Delta t \end{cases} \quad (4)$$

где  $\Delta t$  – установленная зона возможного отклонения температуры, равная 5 °С;  $\alpha_1 - \alpha_5$  – коэффициенты, соответственно, равные  $\alpha_1 = -0,8$  мА/град;  $\alpha_2 = -0,72$  мА/с;  $\alpha_3 = 1,9 \cdot 10^{-2}$  с/град;  $\alpha_4 = 11 \cdot 10^{-3}$  с/град;  $\alpha_5 = -5 \cdot 10^{-3}$  с.

При регулировании скорости пресс-поршня заданную скорость прессования определяют по формуле

$$V_{зад} = \alpha_6 V_{н} + \alpha_7 (t_{п} - t_{п.зад}) + \alpha_8 (t_{м} - t_{м.зад}) + \alpha_9, \quad (5)$$

где  $V_{зад}$ ,  $V_{н}$  – скорость прессования, соответственно, заданная и номинальная, м/с;  $t_{п}$ ,  $t_{п.зад}$  – значения температуры пресс-формы, соответственно, номинальная и заданная, °С,  $t_{м}$ ,  $t_{м.зад}$  – значения температуры металла, соответственно, номинальная и заданная, °С.

При этом управляющий сигнал, поступающий на регулятор скорости, равен:

$$I_2 = \begin{cases} 0,7\alpha_{13}V_{зад} & \text{при } \Delta I_2 \leq -0,3\alpha_{13}V_{зад}; \\ 1,3\alpha_{13}V_{зад} & \text{при } \Delta I_2 > 0,3\alpha_{13}V_{зад}; \\ \alpha_{13}V_{зад} + \Delta I_2 & \text{при } -0,3\alpha_{13}V_{зад} < \Delta I_2 \leq 0,3\alpha_{13}V_{зад}. \end{cases} \quad (6)$$

$$\Delta I_2 = \alpha_{10} \Delta S + \alpha_{11} \Delta V + \alpha_{12} \Delta a, \quad (7)$$

где  $\Delta S$  – отклонение от заданного значения пройденного пути пресс-поршня, м;  $\Delta V$  – отклонение от заданного значения скорости пресс-поршня, м/с;  $\Delta a$  – отклонение от заданного значения ускорения пресс-поршня, м/с<sup>2</sup>;  $I_2$  – управляющий ток на регулятор, мА;  $\alpha_6 - \alpha_{13}$  – коэффициенты, соответственно, равные  $\alpha_6 = 0,85$ ;  $\alpha_7 = -0,04$  м/(град · с);  $\alpha_8 = -0,031$  м/(град · с);  $\alpha_9 = 0,26$  м/с;  $\alpha_{10} = 2$  мА/м;  $\alpha_{11} = 0,1$  мА/(м · с<sup>-1</sup>);  $\alpha_{12} = 20 \cdot 10^{-4}$  мА/(м · с<sup>-2</sup>);  $\alpha_{13} = 20$  мА/(м · с<sup>-1</sup>).

Управляющий сигнал, поступающий на исполнительный механизм регулирования скорости пресс-поршня, определяется по формуле

$$I_{21} = I_2 \frac{t_{ж}}{t_{ж.н}} \frac{P_{ж}}{P_{ж.н}}, \quad (8)$$

где  $t_{ж}$ ,  $t_{ж.н}$  – соответственно, текущее и номинальное значение температуры рабочей жидкости, °С;  $P_{ж}$ ,  $P_{ж.н}$  – соответственно, текущее и номинальное значение давления рабочей жидкости, МПа.

Управляющие воздействия на остальные исполнительные механизмы пропорциональны: при регулировании температуры заливаемого металла – отклонению температуры от заданной, при регулировании температуры рабочей жидкости – отклонению температуры от заданной, при регулировании давления рабочей жидкости – отклонению давления от заданного, при регулировании давления зарядки аккумулятора – отклонению от пикового давления подпрессовки, при регулировании процесса подпрессовки – отклонению величины зазора между полуформами от заданной.

Система (рис. 1) работает следующим образом. В процессе цикла производства отливки измеряют температуру пресс-формы с помощью датчика 1, установленного в отверстие пресс-формы на расстоянии 0,5 мм от внутренней поверхности. Измеренное напряжение поступает в вычислительный блок 2, в который одновременно поступает напряжение из вычислительного блока 8, пропорциональное продолжительности цикла.

В вычислительном блоке 2 определяется сигнал  $I_1$  на регулятор 3 по формуле (1). Регулятор 3 вырабатывает управляющие сигналы на исполнительный механизм 4, который включает подачу нагретой рабочей жидкости в каналы пресс-формы в случае необходимости ее нагрева либо на подачу воды для охлаждения рабочей жидкости, подаваемой в каналы пресс-формы, в случае необходимости ее охлаждения. Температуру заливаемого металла измеряют датчиком 5, смонтированным в печи для нагрева металла. Измеряемое напряжение поступает на второй регулятор 6, с выхода которого управляющий сигнал подается на исполнительный механизм 7.

Температуру рабочей жидкости измеряют датчиком 14, выходной сигнал которого поступает на регулятор 17. Выходной сигнал регулятора подается на исполнительный механизм 18, который включает ТЭН в случае необходимости нагрева рабочей жидкости или выключает его в случае необходимости ее охлаждения.

Сигналы от датчиков 1 и 5 температуры пресс-формы и заливаемого металла поступают в вычислительный блок 8, в котором производится вычисление продолжительности цикла по формулам (2) и (3). Сигнал с выхода вычислительного блока 8 через регулятор 9 продолжительности цикла поступает на контроллер цикла, в котором при этом изменяется уставка продолжительности кристаллизации отливки. Скорость прессования измеряют датчиком 10. Сигнал, пропорциональный скорости прессования, поступает в вычислительный блок 11, в который одновременно поступают сигналы с датчиков 1 и 5 температуры пресс-формы и температуры заливаемого металла. В вычислительном блоке 11 в соответствии с формулами (5)–(7) определяется управляющий сигнал  $I_2$  на регулятор 12, с выхода которого сигнал, пропорциональный этой величине, поступает на вход блока 13 умножения, на другие входы которого поступают сигналы, пропорциональные температуре и давлению рабочей жидкости. В блоке 13 умножения по формуле (8) производится определение управляющего сигнала  $I_{21}$ , поступающего на исполнительный механизм 16, который в зависимости от величины этого сигнала регулирует слив рабочей жидкости из штоковой полости цилиндра прессования, изменяя тем самым скорость прессования.

Давление рабочей жидкости измеряется датчиком 15, выходной сигнал которого поступает на регулятор 19. Выходное напряжение регулятора 19 поступает на исполнительный механизм 20, который в зависимости от величины напряжения регулирует количество рабочей жидкости, попадающей в магистраль и на слив.

Напряжение, пропорциональное давлению в штоковой полости цилиндра прессования, измеренное датчиком 21, поступает в вычислительный блок 23. Туда же поступает напряжение с датчика зазора между полуформами пресс-формы. В вычислительном блоке 23 производится определение пикового (максимального) давления подпрессовки, и напряжение, пропорциональное его величине, поступает с первого

выхода вычислительного блока 23 в регулятор 24, соединенный, кроме того, с датчиком 25 давления в аккумуляторе. Выходное напряжение регулятора 24 поступает на исполнительный механизм 26, изменяющий давление в аккумуляторе. Регулирование давления в аккумуляторе производится в перерывах между циклами по сигналу от контроллера цикла.

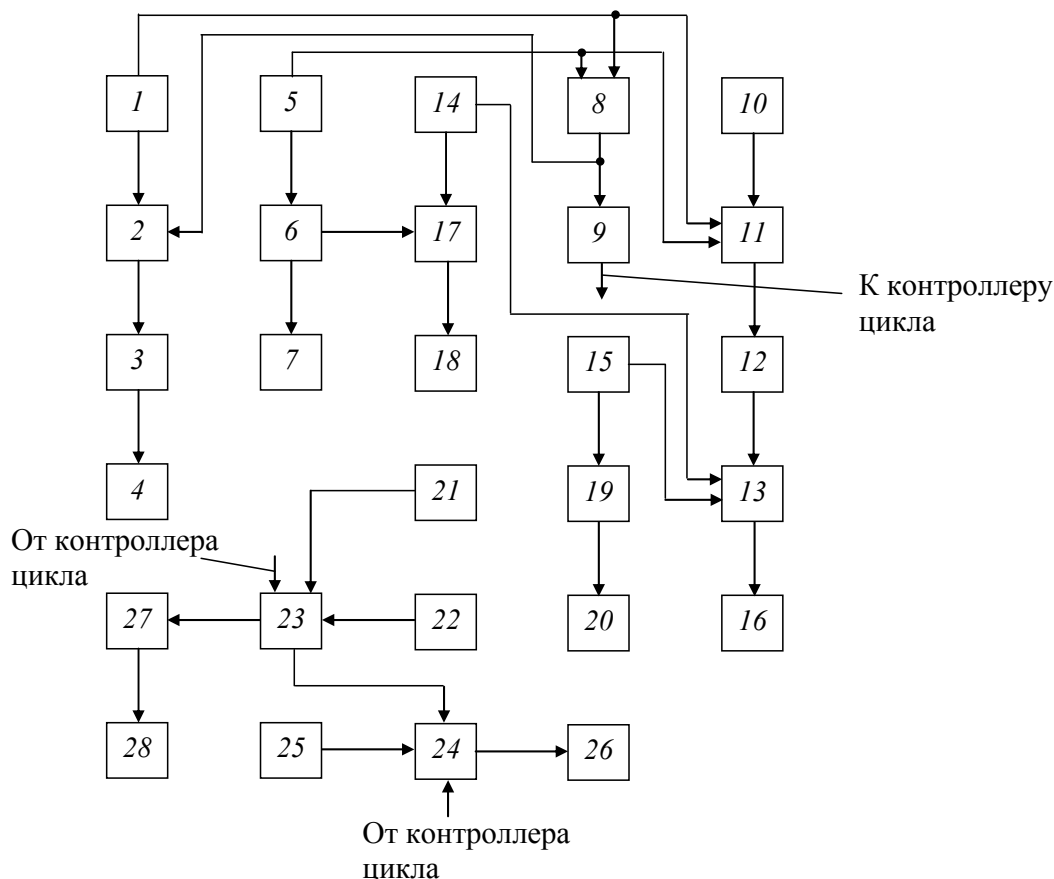


Рис. 1. Блок-схема системы управления машиной литья под давлением

Кроме того, со второго выхода вычислительного блока 23 на регулятор 27 поступают сигналы, пропорциональные текущему значению зазора между полуформами и значению зазора в момент смыкания плит. Выходной сигнал регулятора 27 поступает на исполнительный механизм 28, с помощью которого регулируется величина зазора между полуформами пресс-формы.

Измерение параметров производится стандартными датчиками ГСП: температуры пресс-формы – термопарой ТХК-0529, температуры заливаемого металла – термопарой ТХА-515, температуры рабочей жидкости – термометром сопротивления ТСП-047, скорости прессования – фотоэлектрическим датчиком ДФ1-У4 [5], давления рабочей жидкости и в аккумуляторе – преобразователями Метран-100ДИ [6], давления в штоковой полости цилиндра прессования – преобразователем ПДЛ-60 [7], зазора в пресс-форме – датчиком усилия ДСТБ-С-060 [8]. Регуляторы, блоки и узлы выполнены на базе системы АКЭСР и микросхемах вычислительной техники.

Испытание системы управления машиной ЛПД показало, что использование системы позволяет осуществить регулирование с более высокой точностью, что приводит к увеличению производительности за счет снижения возврата отливок на 15 %, увеличению выхода, годного на 0,5 %.

### Выводы

Разработана система управления машиной ЛПД, обеспечивающая охват всех технологических операций производства отливок. Применение системы улучшает технико-экономические показатели процесса.

Дальнейшие исследования будут проводиться в направлении алгоритмизации решаемых задач и реализации системы на стандартных контроллерах.

### Литература

1. Повышение эффективности литья под давлением (ЛПД) / А. А. Жуков [и др.] // Литейщик России. – 2008. – № 1. – С. 25–30.
2. Богушевский, В. С. Тепловая работа пресс-формы машины литья под давлением / В. С. Богушевский, Я. К. Антонец // Металл и литье Украины. – 2012. – № 6. – С. 7–9.
3. АСУТП машин литья под давлением / В. С. Богушевский [и др.]. – К. : НПК «Киевский институт автоматики», 1994. – 239 с.
4. Богушевський, В. С. АСКТП комплексу лиття під тиском / В. С. Богушевський // Автоматизація виробничих процесів. – 2001. – № 2 (13). – С. 53–55.
5. Богушевський, В. С. Контроль швидкості пресування в машинах лиття під тиском / В. С. Богушевський, О. М. Меженський, Ю. І. Сирбу // Нові матеріали і технології в машинобудуванні : матеріали IV МНТК. – К. : НТУУ «КПІ». – 2012. – С. 115–117.
6. Режим доступа: [www.metran.ru](http://www.metran.ru). Интеллектуальные датчики.
7. Богушевский, В. С. Регулирование скорости пресс-поршня машин литья под давлением / В. С. Богушевский, Я. К. Антонец // Металл и литье Украины. – 2013. – № 4. – С. 27–29.
8. Богушевський, В. С. Інформаційна АСУ машинами лиття під тиском / В. С. Богушевський, Я. К. Антонец // Матеріали для роботи в екстремальних умовах-4 : матеріали МНТК. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – С. 206–210.

*Получено 12.11.2013 г.*