

облучении чугуна, модифицированного 1,0 % ФС 45, его температура не должна превышать 700 °С.

**Выводы.** Для повышения физико-механических и эксплуатационных свойств модифицированных кремнием чугунов необходима определенная продолжительность облучения расплавов: для достижения максимальной теплопроводности она должна соответствовать 25 мин; теплопроводность чугуна при этом повышается примерно в 1,5 – 1,6 раз; для повышения плотности модифицированных 1,0 – 2,0 % ФС 45 чугунов необходимо их облучение в течение 20 – 25 мин; чугунов, модифицированных 3,0 % ФС 45, – 5 мин; для повышения коррозионной стойкости модифицированных 1,0 и 3,0 % ФС 45 чугунов продолжительность облучения должна соответствовать

5 мин, а чугунов с 2,0 % ФС 45 – 20 – 25 мин; увеличение длительности облучения расплавов положительно влияет на твердость и износостойкость модифицированных чугунов, особенно в высококремнистом чугуне (3,0 % ФС 45): твердость и относительная износостойкость возрастают в 1,23 и 1,44 раза при 25-мин облучении. Облучение расплавов повышает окалинстойкость модифицированных чугунов, особенно с 2,0 и 3,0 % ФС 45; например, при 1000 °С и 25-мин облучении чугуна с 3,0 % ФС 45 его окалинстойкость повышается в 1,67 раза, при 700 °С – в 1,4 раза и при 500 °С – в 2,0 раза.

© 2013 г. Э.Х. Ри, Хосен Ри, М.А. Ермаков,  
Г.А. Князев, В.Э. Ри  
Поступила 4 декабря 2012 г.

УДК 669.046:62-503.5

**Л.П. Мышляев<sup>1</sup>, В.Ф. Евтушенко<sup>1</sup>, К.А. Ивушкин<sup>2</sup>, Г.В. Макаров<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Сибирский государственный индустриальный университет

<sup>2</sup> ООО «Сибшахтострой»

## О ПОДОБИИ НАТУРНОЙ И МОДЕЛЬНОЙ СИСТЕМ ПРИ УПРАВЛЕНИИ С ФИЗИЧЕСКОЙ ПРОГНОЗИРУЮЩЕЙ МОДЕЛЮ\*

**Аннотация.** Отмечена специфика и развиты условия подобия для систем управления с физической прогнозирующей моделью.

**Ключевые слова:** физическая прогнозирующая модель, система управления, динамическое подобие.

## ON THE SIMILARITY OF FULL-SCALE AND MODEL SYSTEMS WHEN CONTROLLING WITH THE PROGNOSTIC PHYSICAL MODEL

**Abstract.** The authors mark the specificity and develop the conditions of similarity of control systems with prognostic physical model.

**Keywords:** prognostic physical model, control system, dynamic similarity.

К современным системам управления предъявляют все большие требования, что ведет к их значительному усложнению, поэтому при создании систем управления важная роль отводится этапу модельных исследований, в том числе и с использованием физических моделей. Физическое моделирование, в основу которого положены методы и критерии теории подобия, часто применяют при создании и исследовании новых технологических объектов и систем управления ими. В теории управления имеется специальный класс систем управления с использованием физических прогнозирующих моделей [1]. Прогнозирующий режим функционирования физических моделей, которые являются, как правило, малоразмерными, обеспечивается в этих системах

ускоренным временем протекания технологического процесса.

Процесс управления с использованием физических моделей осуществляется в таких системах (рис. 1), в которых натурная и модельная системы управления функционируют параллельно, а результаты выработки модельных управляющих воздействий после их соответствующего пересчета передаются в управляющую часть натурной системы, например, в виде советов. Такая же схема взаимодействия натурной и модельной систем управления имеет место и при решении различного рода исследовательских задач, требующих использования моделей. На рис. 1 приняты следующие обозначения:  $U$  и  $Y$  – управляющие и выходные воздействия; индексы «н», «м» и \* – натурное, модельное и задающее воздействия; «нм» и «мн» – пересчитанные для натурального объекта модельное управляющее и для физической модели натурное выходное воздействия. Перенос

\* Работа выполнена в рамках государственного задания № 7.4916.2011 Министерства образования и науки на выполнение СибГИУ научно-исследовательских работ.

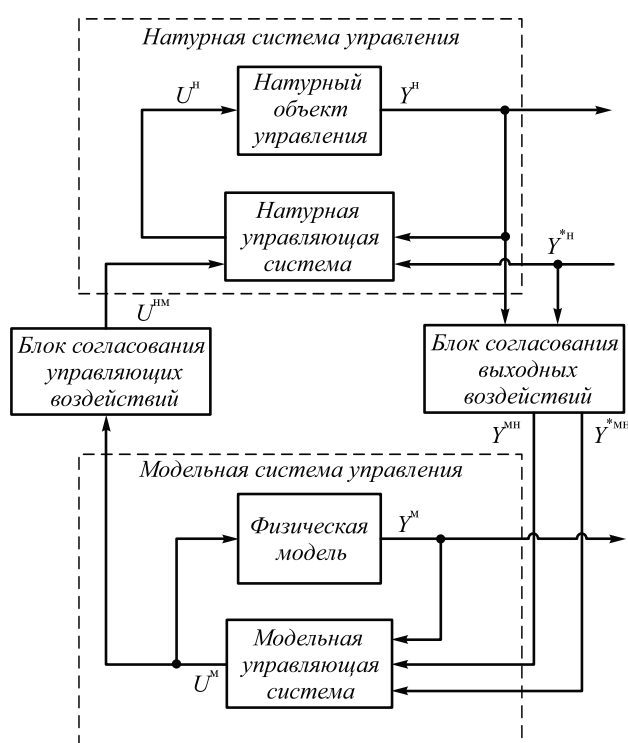


Рис. 1. Взаимодействие натурной и модельной систем при их параллельном функционировании

результатов с модельной системы на натурную в этом случае возможен тогда, когда эти системы подобны. Основные условия их подобия приведены в работе [2].

Система же управления с физической прогнозирующей моделью имеет другую структуру (рис. 2). Отличительной ее особенностью является то, что модельная система управления является составной частью натурной системы управления, непосредственно встроенной в ее управляющую часть.

Успешное функционирование этой системы (рис. 2) обеспечивается так же, как и в первом случае, когда доказано подобие натурной и модельной систем. Здесь наряду с известными условиями [2] для динамического подобия натурной и модельной систем необходимо выполнение следующего условия:

$$\Phi^n \cup F^n \equiv \varphi(\Phi^m \cup F^m), \quad (1)$$

где  $\Phi$  – математическая модель объекта;  $F$  – алгоритм управления;  $\equiv$  – равенство по определению;  $\varphi$  – функция согласования по времени и координатам;  $\cup$  – символ объединения.

Принимая, что

$$F^n = \varphi \frac{\Phi^m F^m}{1 + \Phi^m F^m}, \quad (2)$$

выражение (1) можно записать в виде

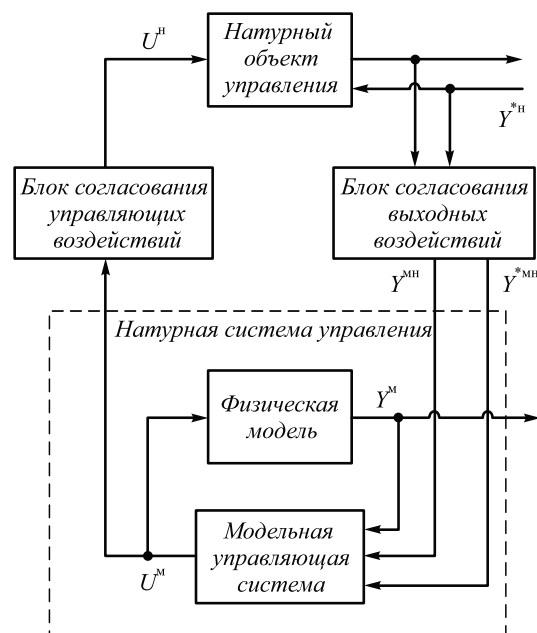


Рис. 2. Взаимодействие натурной и модельной систем при управлении с физической прогнозирующей моделью

$$\Phi^n \cup \varphi \frac{\Phi^m F^m}{1 + \Phi^m F^m} = \varphi(\Phi^m \cup F^m). \quad (3)$$

Конкретизируя в соответствии с рис. 2 объединение, получим

$$\frac{\Phi^n \varphi \frac{\Phi^m F^m}{1 + \Phi^m F^m}}{1 + \Phi^m \varphi \frac{\Phi^m F^m}{1 + \Phi^m F^m}} = \varphi \frac{\Phi^m F^m}{1 + \Phi^m F^m}. \quad (4)$$

Из уравнения (4) с учетом ограничений на устойчивость натуральных и модельных систем выводятся аналитические выражения для пересчета модельных значений воздействий в их натурные значения и наоборот.

**Выводы.** Необходимым условием эффективного функционирования систем управления с физической моделью является динамическое подобие натурной и модельной систем управления. Для обеспечения такого подобия в этих системах необходимо дополнительное временное и координатное согласование воздействий.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Красовский А.А. // Автоматика и телемеханика. 1979. № 2. С. 156 – 162.
2. Мышляев Л.П., Евтушенко В.Ф., Березин Д.Г. и др. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2012. № 12. С. 58 – 60.

© 2013 г. Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко,  
К.А. Ивушкин, Г.В. Макаров  
Поступила 1 октября 2013 г.