

сравнения характера динамики изменения параметров. Настройку начала и окончания временного периода для отображения показателей пользователь может осуществить по календарю. Наглядность представления графических трендов достигается благодаря дополнительным функциональным возможностям системы: наличие средств автоматического масштабирования численных показателей и временной шкалы, пояснение трендов в виде легенды, динамическое масштабирование изображения, поиск символьных обозначений на листе отчета и пр.

Помимо графических трендов, система позволяет отобразить отчетные показатели работы доменных печей и цеха в табличном виде. После выбора соответствующего показателя в окне браузера отобразится отчет, включающий в себя таблицу с набором интерактивных элементов управления. С помощью представленных элементов управления пользователь может изменять форму отчета: выбирать отчетные годы, месяцы и перечень доменных печей. В таблице расположены интерактивные списки, благодаря которым возможно скрывать/отображать численные значения величин по отдельным годам. Итоговый вид отчета также можно экспортировать в форматы документов, с помощью которых можно будет передать отчет конечному пользователю.

Выводы. На основе современных ИТ-инструментов разработана и сдана в опытно-промышленную эксплуатацию система анализа и прогнозирования производственных ситуаций доменного цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», которая предоставляет в распоряжение инженерно-технологического персонала современный информационный сервис для оперативного анализа отчетных показателей

работы. Использование разработанной системы позволяет инженерно-технологического персоналу оперативно проводить оценку производственных ситуаций доменных печей, решать задачи управления технологией выплавки чугуна, что в конечном итоге обеспечивает повышение технико-экономических показателей работы доменного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки металлургии / Н.А. Спиринов, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев и др. Под ред. Н. А. Спирина. – Екатеринбург: изд. УрФУ, 2011. – 462 с.
2. Компьютерные методы моделирования доменного процесса / О.П. Онорин, Н.А. Спиринов, В.Л. Терентьев и др. Под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: изд. УГТУ – УПИ, 2005. – 301 с.
3. Информационные системы в металлургии / Н.А. Спиринов, Ю.В. Ипатов, В.И. Лобанов и др. Под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: изд. УГТУ – УПИ, 2001. – 617 с.
4. Лавров В.В., Спиринов Н.А., Бурыкин А.А., Краснобаев А.В. // Сталь. 2010. № 1. С. 17 – 21.
5. Одинцов И.О. Профессиональное программирование. Системный подход. 2-е изд. перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 624 с.
6. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. 8-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – 1328 с.
7. Лавров В.В., Спиринов Н.А., Бабин И.А. и др. // Сталь. 2008. № 4. С. 10 – 14.
8. Ларсон Б. Microsoft SQL Server 2005 Reporting Services. Традиционные и интерактивные отчеты. Создание, редактирование и управление. – М.: ИТ Пресс, 2008. – 608 с.
9. Лавров В.В., Спиринов Н.А., Бурыкин А.А., Краснобаев А.В. // Известия Томского политехнического университета. 2010. Т. 317. № 5. С. 68 – 73.

© 2012 г. В.Ю. Рыболовлев, В.В. Лавров,
А.В. Краснобаев, Н.А. Спиринов
Поступила 23 марта 2012 г.

УДК 669.046:62 – 503.5

**Л.П. Мышляев¹, В.Ф. Евтушенко¹, Д.Г. Березин¹,
Г.В. Макаров¹, К.А. Ивушкин²**

¹ Сибирский государственный индустриальный университет

² ООО «Сибшхтострой»

ПОНЯТИЯ И УСЛОВИЯ ПОДОБИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ*

Одной из важных практических задач исследования систем управления с использованием любого класса моделей управляемых объектов является задача переноса результатов этих исследований на натурные системы управления и их основные составляющие, включая и входные (контролируемые и неконтролируемые) воз-

действия. Такой перенос будет являться обоснованным, если доказано подобие систем управления натурным объектом и его моделью.

Понятие подобия модели и ее оригинала в свою очередь связано с понятием адекватности модели. В дальнейшем будем ориентироваться на те понятия, которые изложены в работе [1], где под подобием понимается соответствие между оригиналом и моделью, при котором известны правила перехода от параметров модели к параметрам объекта и наоборот, а математическое опи-

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

сание (если оно известно или может быть получено) допускает преобразование их к тождественному виду. В то время как адекватность модели – это ее способность отображать заданные свойства и условия функционирования объекта с требуемой точностью, то можно считать, что адекватность модели является частным случаем подобия.

Современная теория подобия хорошо разработана и эффективно применяется лишь для определения подобия конструктивных характеристик объектов и протекающих в них процессов преобразования энергии и вещества [1]. Использование ее для систем управления в целом и отдельных ее элементов [2, 3] требует существенных дополнений и развития. В то же время можно отметить некоторые примеры применения безразмерных показателей при решении инженерных задач анализа и синтеза систем управления, где возникает необходимость раздельного сопоставления динамических свойств только каналов преобразования изменений входных воздействий объектов управления, характеристик этих воздействий, а также совместное рассмотрение динамических свойств воздействий и каналов их преобразования [4].

В первом случае – это отношение времени чистого запаздывания к постоянной времени инерции, используемое, в частности, в инженерных методах параметрической настройки законов регулирования [4], с помощью которых при равных отношениях получают одинаковые значения параметров настройки для разных объектов регулирования. Во втором случае в задаче прогнозирования технических показателей циклических процессов на длительный интервал времени [5] предложено использовать показатели скейлинга [6] для сопоставления различных участков временных рядов данных. В третьем случае при оценивании области эффективной работы системы регулирования по отклонению сопоставляется время чистого запаздывания динамического канала преобразования воздействий с интервалом спада автокорреляционной функции этих воздействий [4].

Для конструктивного развития основных положений подобия систем управления следует определить основные понятия и утверждения.

Утверждение 1. Системы управления подобны, если их функционирование характеризуется точным или приближенным равенством значений целевых показателей (критериев) эффективности управления.

Условия подобия систем управления, удовлетворяющие утверждению 1, можно записать в виде

$$\left| q_j\{(t-T), t\} - q_l\{(t-T), t\} \right| \leq \delta q_{jl}^*;$$

$$j \neq l; j = \overline{1, L}; l = \overline{1, L}, \quad (1)$$

где q_j и q_l – значения целевых показателей эффективности функционирования на заданном интервале

времени T соответственно j -й и l -й системы управления; δq_{jl}^* – величина, определяемая предельно допустимый (заданный) порог близости показателей q_j и q_l , при котором эффективность этих систем управления считается одинаковой; L – число систем управления.

Это утверждение может быть использовано не только для чисто технических, но и для организационных (активных) систем управления. Подтверждением этого является определение адекватности модели активной системы управления, приведенное в работе [7], где сказано, что для такой модели «критерием адекватности является эффективность управления».

Для того, чтобы количественно оценить близость систем управления друг к другу с точки зрения их подобия, необходимо понятие степени подобия.

Утверждение 2. Под степенью подобия систем управления будем понимать количественную меру близости характеристик критериев эффективности управления этими системами.

В частности, такой количественной мерой может служить коэффициент корреляции между характеристиками целевых показателей, отражающих эффективность функционирования этих систем. Примером этого служит метод коррелированных процессов, изложенный в работе [8], где предлагается осуществлять «установление степени соответствия исходной и упрощенной систем ... по корреляционным моментам статистических значений вероятностных характеристик» этих систем.

Аналогично условию (1) подобия систем управления степень подобия систем управления также целесообразно оценивать с точностью до некоторого порога близости, имеющего примерно такой же смысл, что и в выражении (1).

Утверждение 3. Объекты управления являются подобными, если они удовлетворяют условиям совместного подобия контролируемых и неконтролируемых внешних воздействий и динамических каналов их преобразования.

При этом неконтролируемые воздействия целесообразно расчетным путем или экспериментально приводить к одному из управляющих входов [9], где они будут отображать совокупность влияния всех неконтролируемых воздействий в масштабе управляющего воздействия.

Утверждение 4. Условием совместного подобия объектов и входных воздействий на конечном интервале T является точное или приближенное равенство эффектов влияния входных воздействий на выходные воздействия объекта управления.

Это условие можно записать, например, с помощью следующих выражений:

$$y_j\{(t-T), t\} = y_l\{(t-T), t\}; j \neq l; j = \overline{1, L}; l = \overline{1, L}; \quad (2)$$

$$y_j\{(t-T), t\} = \int_{t-T}^t \varphi_{zj}(t)\{z_j(t)\} dt; \quad (3)$$

$$y_l\{(t-T), t\} = \int_{t-T}^t \varphi_{zl}(t)\{z_l(t)\} dt; \quad (4)$$

$$Z(t) \in \{w_k(t), u_{\text{вн}}(t)\}, \quad (5)$$

где $w(t)$, $u(t)$ и $y(t)$ – соответственно внешние, управляющие и выходные воздействия, отражающие движение объекта управления в момент непрерывного времени t ; T – интервал, на котором оцениваются характеристики показателей эффективности функционирования систем управления; $\varphi_z\{\cdot\}$ – динамический оператор канала преобразования входных в выходные воздействия; индексы « j » и « l » означают принадлежность j -му и l -му объектам управления; « вн », « k » и « z » означают «приведенный к управляющему входу», «контролируемый» и принадлежность совокупности воздействий z .

Условия подобия отдельно рассматриваемых объектов управления и воздействий можно формировать из известных показателей свойств воздействий и объектов, таких как статистические и фрактальные показатели временных рядов и динамические характеристики каналов преобразования этих воздействий.

В нестационарных условиях функционирования систем управления приведенные выше условия подобия будут изменяться. Это естественно приведет к тому, что первоначально подобные системы управления перестанут быть подобными, и тогда перенос результатов исследования или выработки управляющих воздействий [10] с одной системы на другую становится не обоснованным.

В таких ситуациях необходимо изменять динамические свойства одной из систем управления, в частности, системы управления натурным объектом и/или его моделью, а также соответствующие характеристики воздействий с целью выполнения условий (1) – (5). Естественно, что такого рода целенаправленные воздействия являются предпочтительными для модели и приложений к ней воздействий с точки зрения простоты и затрат на реализацию.

Процесс воздействия на систему управления и ее отдельные составляющие, направленные на выполнение условий подобия, является управлением подобием систем управления и их составляющих, и по аналогии с работой [11] такие системы можно отнести к системам управления с новыми типами прямых и обратных связей.

Выводы. Сформулированы основные понятия и условия подобия систем управления и их составляющих, необходимые для развития теории подобия применительно к системам управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. – М.: Высшая школа, 1976. – 479 с.
2. Мышляев Л.П., Евтушенко В.Ф., Зельцер С.Р. и др. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 11. С. 65 – 67.
3. Мышляев Л.П., Евтушенко В.Ф., Березин Д.Г., Макаров Г.В. – В кн.: Системы автоматизации в образовании, науке и производстве. Труды VIII Всероссийской научно-практической конференции / Под ред. С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2011. С. 34 – 36.
4. Ротач В.Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. – М.: Энергия, 1973. – 439 с.
5. Теория и практика прогнозирования в системах управления / С.В. Емельянов, С.К. Коровин, Л.П. Мышляев и др. – Кемерово, М.: Издательское объединение «Российские университеты»: Кузбассвуиздат – АСТШ, 2008. – 487 с.
6. Федер Е. Фракталы. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
7. Новиков Д.А. Обобщенные решения задач стимулирования в активных системах. – М.: изд. Ин-та проблем управления РАН, 1998. – 68 с.
8. Пугачев В.Н. Комбинированные методы определения вероятностных характеристик. – М.: Советское радио, 1973. – 256 с.
9. Барковский В.В., Захаров В.Н., Шаталов А.С. Методы синтеза систем управления. – М.: Машиностроение, 1969. – 385 с.
10. Красовский А.А. // Автоматика и телемеханика. 1979. № 2. С. 156 – 162.
11. Емельянов С.В., Коровин С.К. Новые типы обратной связи: Управление при неопределенности. – М.: Наука. Физматлит, 1997. – 352 с.

© 2012 г. Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко,
Д.Г. Березин, Г.В. Макаров, К.А. Ивушкин
Поступила 19 сентября 2012 г.