

может быть оценена по разогреву на этой полке, а средняя активность катализатора на второй, третьей и четвертой полках — по температуре входа на четвертую полку. По результатам расчетов коэффициентов активности было установлено, что при загрузке нового катализатора в течение первых месяцев его активность на первой полке уменьшается с более высокой скоростью, чем на остальных, а далее до конца срока службы катализатора (два года) наблюдается равномерное падение активности на всех полках.

Полученные данные могут быть использованы для оптимизации процесса замены катализатора.

Заключение

Имитационное моделирование процесса синтеза метанола позволяет оперативно отслеживать и предска-

Коробейникова Ульяна Юрьевна — аспирант, Федоров Владимир Иванович — канд. техн. наук, доцент, Лисицын Николай Васильевич — д-р техн. наук, проф., ректор, заведующий кафедрой Санкт-Петербургского государственного технологического института (Технического университета).

Контактный телефон (812) 316-22-61.

E-mail: uliana@ntik.ru gti@restech.ru

Методы и средства поддержки принятия решений при проектировании формовочных линий

М.В. Зенькович (ЗАО "Литаформ"), Ю.Г. Древец (НИЯУ МИФИ)

Рассмотрены методы и программные средства, позволяющие оценивать эффективность работы и проводить сравнение альтернативных проектов формовочных линий. Оценка осуществляется при помощи имитационного моделирования.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, имитационная модель, формовочная линия, агрегативная система.

Технологический процесс изготовления отливок в разовых песчано-бентонитовых формах в настоящее время является наиболее распространенным способом производства литых заготовок. Формовочная линия — главное синхронизирующее звено сложной технологической системы производства отливок в разовых песчано-бентонитовых формах. От ее работы зависят производственные и экономические показатели литейного цеха. В настоящее время в литейных цехах устанавливаются либо автоматизированные, либо автоматические формовочные линии (АФЛ).

Рассмотрим методы и программные средства, позволяющие оценивать эффективность инвестиционных проектов по созданию производств отливок на базе АФЛ. Оценка производится с учетом специфики производимой продукции, рыночной конъюнктуры и предпочтений лиц, принимающих решения (ЛПР). Оценка может осуществляться как для индивидуального проекта, так и для группы альтернативных проектов, из которой выбирается наилучший. Если по результатам проведенной оценки значения характеристик наилучшего инвестиционного проекта удовлетворяют ЛПР, то принимается решение о его реализации; если нет, то анализируются проблемные места проекта, в него вносятся изменения, и процедура оценки проекта производится заново.

Создание нового или модернизация имеющегося производства отливок на базе АФЛ — достаточно до-

зывать изменения, происходящие в системе синтеза, дает возможность найти оптимальные значения технологических параметров, снизить вероятность перегрева катализатора, отследить снижение его активности по каждой из полок реактора, а также позволяет своевременно решать задачу изменения расхода продувки для снижения инергов в рециркулирующем газе.

ПО используется на действующем производстве.

Список литературы

1. *Розовский А.Я., Лин Г.И.* Теоретические основы процесса синтеза метанола. М.: Химия, 1990.
2. *Караваев М.М., Мастеров А.П.* Производство метанола. М.: Химия, 1973.
3. *Померанцев В.М., Редин А.В., Туболкин А.Ф.* Равновесие синтеза метанола при повышенных давлениях // Химическая промышленность. 1998. №6.

рогостоящая задача с длительным сроком окупаемости. В таких проектах будущая прибыль зависит от размещения долгосрочных инвестиций, однако окупаемость проектов может растянуться на длительный период. Поэтому необходимо произвести сравнение величины требуемых инвестиций и прогнозируемых доходов. При этом сравниваемые показатели относятся к различным моментам времени, и ключевой проблемой в этом случае является корректное их сопоставление. При осуществлении подобных оценок на их результат большое влияние оказывает ряд объективных и субъективных условий: темп инфляции, размер инвестиций и генерируемых поступлений, горизонт прогнозирования, уровень квалификации аналитика и т.д. К критическим моментам в процессе оценки инвестиционного проекта относятся: а) прогнозирование объемов реализации с учетом возможного спроса на продукцию, б) оценка притока денежных средств по годам.

В общем виде инвестиционный проект P можно представить в виде следующей модели [1]: $P = \{IC_j, CF_k, p, r\}$, где IC_j — инвестиция в j -ом году, $j = 1, 2, \dots, q$ ($q \leq p$, часто считается, что $q = 1$); CF_k — приток (отток) денежных средств в k -ом году, $k = 1, 2, \dots, p$; p — продолжительность проекта; r — ставка дисконтирования.

Существует множество критериев оценки эффективности инвестиционных проектов. Для решения поставленной задачи используются следующие кри-

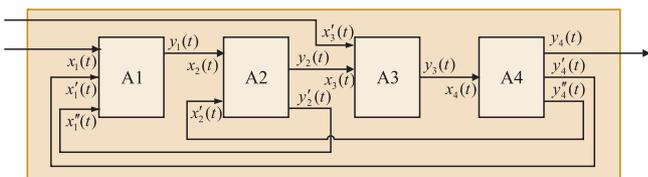


Рис. 1. Агрегативная система, описывающая АФЛ

терии [1]: чистый приведенный эффект (*Net Present Value, NPV*), индекс рентабельности (*Profitability index, PI*) и внутренняя норма доходности (прибыли) инвестиции (*Internal rate of return, IRR*).

Годовой приток денежных средств зависят от: дохода от реализации продукции за год, издержек за год и налога на прибыль, уплаченного за год. Одним из главных факторов, влияющих на величину дохода от реализации продукции за год, наряду с рыночной потребностью и ценой, является число годных отливок, изготовленных на АФЛ за год. Прогнозирование числа годных отливок, изготовленных на АФЛ за год, — достаточно сложная задача. Под годной будем понимать отливку, значение технологических характеристик которой лежат в определенных пределах допустимости. Технологические характеристики отливки: 1) время от изготовления полуформы до сборки формы; 2) время от сборки формы до заливки; 3) температура заливки формы; 4) продолжительность охлаждения отливки в форме; 5) продолжительность охлаждения отливки после выбивки; 6) содержание бентонита в формовочной смеси, из которой была изготовлена форма; 7) содержание углеродосодержащей добавки в формовочной смеси, из которой была изготовлена форма. На значения этих параметров кроме простоев оборудования, входящего в состав АФЛ, и квалификации персонала существенное влияние оказывают конструктивные особенности конкретной АФЛ. Если хотя бы одна из характеристик отливки выходит за допустимые пределы, будем считать данную отливку негодной.

Под альтернативным проектом будем понимать совокупность технологических (требуемые характеристики выпускаемых отливок), экономических (цены на отливки, сырье, энергоресурсы и др.), конструктивных (число веток охлаждения, передаточных тележек и др.) параметров, описывающих проект АФЛ. В данной работе значения параметров, характеризующих производительность рассматриваемого проекта АФЛ, предлагается определять при помощи эксперимента с имитационной моделью АФЛ. Значения экономических и технологических параметров устанавливаются ЛПП на основе экспертных оценок.

Рассмотрим методологию построения такой модели.

Для формализованного описания АФЛ была выбрана теория агрегативных систем [2]. Этот подход позволяет описывать поведение непрерывных и дискретных, детерминированных и стохастических систем, то есть является обобщенным. В данном подходе состояние каждого агрегата описывается

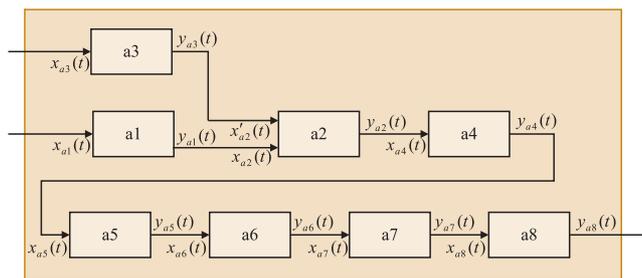


Рис. 2. Агрегативная система, описывающая участок заливки и охлаждения

вектором, компоненты которого являются функциями времени. Зависимости от времени могут носить как непрерывный (например, температура отливки), так и дискретный (например, состояния позиций на ветках) характер.

Рассмотрим АФЛ как агрегативную систему, состоящую из четырех агрегативных подсистем, описывающих соответствующие им производственные участки линии. В свою очередь, каждая из агрегативных подсистем состоит из конечного числа агрегатов, описывающих устройства, входящие в состав описываемого подсистемой производственного участка. Схема агрегативной системы, описывающей АФЛ, представлена на рис. 1.

Сигналы системы: $x_1(t)$ — освежающие добавки в формовочную смесь; $x_1'(t)$, $y_4'(t)$ — отработанная формовочная смесь; $x_1''(t)$, $y_2'(t)$ — просыпавшаяся формовочная смесь; $y_1(t)$, $x_2(t)$ — формовочная смесь; $x_2'(t)$, $y_4''(t)$ — опока; $y_2(t)$, $x_3(t)$ — форма; $x_3'(t)$ — металл из плавильного отделения; $y_3(t)$, $x_4(t)$ — залитая форма; $y_4(t)$ — отливка. Данная агрегативная система состоит из следующих агрегативных подсистем: $A1$ — участок смешеприготовления; $A2$ — участок формовки; $A3$ — участок заливки и охлаждения; $A4$ — участок выбивки и охлаждения после выбивки.

В состав каждого участка может входить различное число устройств одного наименования (заливочные ветки, ветки охлаждения и т. д.). Для каждой конкретной компоновки участка агрегативная система, описывающая этот участок, будет состоять из различного числа агрегатов. Рассмотрим в качестве примера этих агрегативных систем представление участка заливки и охлаждения (рис. 2).

Сигналы системы: $x_{a2}'(t)$, $x_{a3}(t)$, $y_{a2}(t)$ — металл; $x_{a1}(t)$, $y_{a1}(t)$, $x_{a2}(t)$ — незалитая форма; $y_{a2}(t)$, $x_{a4}(t)$, $y_{a4}(t)$, $x_{a5}(t)$, $y_{a5}(t)$, $x_{a6}(t)$, $y_{a6}(t)$, $x_{a7}(t)$, $y_{a7}(t)$, $x_{a8}(t)$, $y_{a8}(t)$ — залитая форма. Агрегативная система, представляющая участок заливки и охлаждения, состоит из следующих агрегатов: $a1$, $a4$, $a6$ и $a8$ — передаточные тележки для транспортировки форм; $a2$ — заливочная ветка; $a3$ — заливочная машина с установленным на ней заливочным ковшом; $a5$ и $a7$ — ветки охлаждения.

Каждый агрегат, входящий в любую агрегативную систему $A1$, $A2$, $A3$ и $A4$, может быть отнесен к одной из следующих групп: 1) транспортное устройство: передаточные тележки для транспортировки полуформ, форм и отливок; 2) поточно-транспортная ветка: вет-

ки для полуформ, заливочные, охлаждения и охлаждения отливок после выбивки; 3) устройство, изготавливающее объект: формовочная машина и устройство сборки форм; 4) смеситель/бункер для формовочной смеси: бункер усреднитель-накопитель, смеситель, бункеры для формовочной смеси и формовочной машины; 5) заливочная машина с установленным на ней заливочным ковшом; 6) устройство разборки объекта: устройство распаровки опок, устройство выдавливания кома из опоки и выбивная решетка; 7) ленточный конвейер.

Алгоритмическое представление агрегатов, принадлежащих каждой из групп, строится на основе модели обобщенного агрегата, которая описывает общие для агрегатов из этой группы свойства.

Рассмотрим описание обобщенного агрегата на примере агрегата "Транспортное устройство". Состояние системы опишем в виде вектора $z(t)$ со следующими компонентами: $z_1(t)$ – время, оставшееся до окончания выполнения агрегатом текущей операции; $z_2(t)$ – момент начала выполнения агрегатом текущей операции; $z_3(t)$ – номер технологической позиции, на которую перемещается или на которой находится транспортное устройство; $z_4(t), \dots, z_{n+3}(t)$ – сведения о транспортируемом объекте, где n – число компонент, содержащих сведения о транспортируемом объекте.

Входной сигнал. Если на транспортное устройство поступает транспортируемый объект (отливка, форма, полуформа и т. п.), то будем считать, что в систему поступает входной сигнал $x(t)$. Опишем его в виде n -мерного вектора, компоненты которого содержат сведения об этом объекте.

Управляющий сигнал. Если транспортному устройству поступила команда переместиться на новую позицию, то будем считать, что в систему поступил управляющий сигнал $g(t)$. Опишем его в виде вектора со следующим компонентом: $g_1(t)$ – расстояние от текущей технологической позиции транспортного устройства до позиции, на которую необходимо его переместить; $g_2(t)$ – идентификатор технологической позиции, на которую необходимо переместить транспортное устройство.

Рассмотрим операторы V, V', U, W и G , описывающие функционирование рассматриваемого агрегата.

1) Пусть в момент времени $t = t_1$ на транспортное устройство поступает транспортируемый объект. Эта ситуация описывается с помощью оператора V вида:

$$z_i(t_1 + 0) = z_i(t_1), \quad i = 1, \dots, 3;$$

$$z_j(t_1 + 0) = x_k(t_1), \quad j = 4, \dots, n+3; \quad k = 1, \dots, n.$$

2) Пусть в момент времени $t = t_2$ транспортному устройству поступила команда переместиться на новую технологическую позицию. Эта ситуация описывается с помощью оператора V' вида:

$$z_1(t_2 + 0) = f(g_1(t_2)); \quad z_2(t_2 + 0) = t_2;$$

$$z_3(t_2 + 0) = g_2(t_2); \quad z_i(t_2 + 0) = z_i(t_2), \quad i = 4, \dots, n+3,$$

где $f(g_1(t_2))$ – определяется кинематическими характеристиками транспортного устройства.

3) Пусть в момент времени $t = t_3$ с транспортного устройства снимают транспортируемый объект. Эта ситуация описывается с помощью оператора W вида:

$$z_i(t_3 + 0) = z_i(t_3), \quad i = 1, \dots, 3;$$

$$z_j(t_3 + 0) \text{ – не определяются, } j = 4, \dots, n+3.$$

4) Выходным сигналом этого агрегата будем считать сведения о транспортируемом объекте, снятом с транспортного устройства. Опишем его в виде n -мерного вектора $y(t)$, компоненты которого содержат сведения об этом объекте. Оператор G можно записать следующим образом:

$$y_i(t_3) = z_j(t_3), \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 4, \dots, n+3.$$

5) В полуинтервалах $(t_i, t_{i+1}]$ между особыми моментами времени t_i и t_{i+1} к которым относятся моменты поступления в агрегат входных и управляющих сигналов, а также моменты выдачи выходных сигналов, состояния агрегата изменяются по закону, задаваемому оператором U , который можно записать следующим образом:

$$z_1(t) = z_1(t) - (t - z_2(t)), \quad z_1(t) - (t - z_2(t)) > 0;$$

$$z_1(t) = 0, \quad z_1(t) - (t - z_2(t)) \leq 0;$$

$$z_i(t) = z_i(t), \quad i = 2, \dots, n+3.$$

Кратко опишем основные принципы создания имитационных моделей АФЛ. Более подробно эти вопросы рассмотрены в работе [3]. Имитационная модель АФЛ строится на основе четырех автономных моделей производственных участков АФЛ. Модели всех участков АФЛ состоят из двух модулей: структурной модели и описания алгоритмов взаимодействия ее элементов. Общими модулями модели АФЛ являются монитор моделирования и интерфейс пользователя. При построении модели был использован дискретно-событийный метод. В качестве принципа изменения времени был использован механизм продвижения времени с постоянным шагом.

При построении имитационной модели использовался объектно-ориентированный подход, а для реализации модели – язык программирования C++. Все элементы модели описаны в виде классов в понимании языка C++. Разработана библиотека этих классов, что позволяет легко внедрять новые элементы в модель. Все элементы библиотеки являются наследниками базового класса или наследниками наследников базового класса. Наследниками базового класса являются классы, описывающие группы устройств (выделенные выше), такие как транспортное устройство, поточно-транспортная ветка и т.д. Наследниками классов, описывающих группы устройств, являются классы, описывающие устройства, входящие в состав АФЛ (передаточная тележка, заливочная ветка, ветка охлаждения и т.д.). Описание алгоритмов взаимодействия между элементами модели организовано на условно-событийном принципе. Такой подход к реализации управления позволяет легко модифицировать алгоритм функционирования системы и моделировать

любые нештатные ситуации. Новые элементы внедряются в структурную часть модели, не затрагивая уже отработанного алгоритма функционирования.

При изучении рассматриваемых систем посредством имитационного моделирования нет возможности собрать данные по временам простоев устройств, входящих в состав АФЛ (так как линия находится на стадии проектирования). Поэтому для выбора распределений времен простоев устройств, входящих в состав АФЛ, воспользуемся следующим методом [4]. Допустим, что случайная величина X , характеризующая время простоя устройства, является непрерывной на интервале $[a, b]$, и ее функция плотности скошена вправо (опыт работы с реальными данными показывает [4, 5], что функции плотности таких случайных величин часто имеют подобную форму). Функции плотности многих теоретических непрерывных распределений вероятностей имеют такую форму (например, бета-, гамма-, Фишера и др.). Предположим, случайная величина X имеет бета-распределение. Известно, что функция плотности вероятности бета-распределения скошена вправо, если выполняется следующее соотношение для параметров этого распределения: $\alpha_2 > \alpha_1 > 1$. Среднее μ и мода c такого распределения задаются формулами [5]:

$$\mu = a + \frac{\alpha_1 \cdot (b-a)}{\alpha_1 + \alpha_2} \quad \text{и} \quad c = a + \frac{(\alpha_1 - 1) \cdot (b-a)}{\alpha_1 + \alpha_2 - 2}.$$

При наличии экспертных оценок μ и c можно решить эту систему уравнений и получить следующие оценки α_1 и α_2 :

$$\hat{\alpha}_1 = \frac{(\mu - b) \cdot (2c - a - b)}{(c - \mu) \cdot (b - a)} \quad \text{и} \quad \hat{\alpha}_2 = a + \frac{\hat{\alpha}_1 \cdot (b - \mu)}{\mu - a}.$$

При задании μ и c необходимо учитывать следующее условие: при $\mu > c$ плотность скошена вправо; при $\mu < c$ – скошена влево.

Аналогичные соотношения можно получить и для других распределений.

Перед проведением эксперимента с имитационной моделью для каждого устройства, входящего в состав АФЛ, ЛПП выбирает распределение вероятностей, характеризующее его время простоя, а затем задает значения μ и c .

Данная методика применяется ЗАО "Литаформ" для анализа альтернативных проектов АФЛ, выбора наилучших структур линий и при разработке алгоритмов управления ими.

Список литературы

1. Ковалев В.В. Введение в финансовый менеджмент. – М.: Финансы и статистика. 2004.
2. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука. 1978.
3. Древш Ю.Г., Зенькович М.В., Любченко А.С. Имитационное моделирование автоматизированных формовочных линии для изготовления отливок // Автоматизация в промышленности. 2008. №7.
4. Лоу А., Кельтон В. Имитационное моделирование. – СПб.: Питер. 2004.
5. Jerry Banks, John S. Carson II, Barry L. Nelson, David M. Nicol. Discrete-Event System Simulation, Fourth Edition. Pearson: Prentice Hall. New Jersey. 2004.

*Зенькович Михаил Валерьевич – инженер ЗАО "Литаформ",
Древш Юрий Георгиевич – д-р техн. наук, проф. кафедры "Управляющие интеллектуальные системы"
Национального исследовательского ядерного университета "МИФИ".
Контактный телефон (495) 324-34-54. E-mail: ydrevs@ya.ru zmv@litaform.ru*

ИТЕРАЦИОННАЯ РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩИХ АЛГОРИТМОВ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

В.Е. Зюбин (Институт автоматики и электрометрии СО РАН)

Рассмотрена проблема использования имитационного моделирования при разработке управляющих алгоритмов уровня ПЛК. Предлагается итерационный способ создания программ ПЛК на базе концепции виртуальных объектов управления, позволяющий повысить эффективность и надежность разрабатываемых алгоритмов.

Ключевые слова: имитационное моделирование, виртуальные объекты управления, итерационная модель разработки ПО, программирование ПЛК.

Средства компьютерного моделирования уверенно вошли в практику промышленной автоматизации при проектировании новых производственных комплексов, подготовке операторов и оптимизации существующего, как правило, непрерывного ТП. Ведущие игроки на рынке SCADA-систем и программируемых контроллеров часто предлагают в дополнение к своим основным продуктам многофункциональные моделирующие комплексы. Программные пакеты Unisim (Honeywell), SimSci-Esscor (Invensys), Omega Land (Yokogawa), Mynah – MiMiC (Emerson), HYSYS (AspenTech), Ideas Simulation and Control (Andritz

automation), Tecnomatix Plant Simulation Tool (Siemens), Arena (Rockwell Automation) – лишь верхушка айсберга инструментальных средств моделирования, представленных на рынке. Наблюдаемые сдвиги в области промышленной автоматизации отражают общую тенденцию к тотальной компьютеризации: переход от математического и физического моделирования к моделированию компьютерному.

Несмотря на привлекательность и очевидную необходимость использования компьютерного моделирования на полевом уровне при программировании ПЛК, тестирование управляющих алгоритмов при