

УДК 519+61:681.3

Ю.А. Прокопчук, А.С. Белецкий

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АУДИТ И СУБОПТИМИЗАЦИЯ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ПРЕДЕЛЬНЫХ ОБОБЩЕНИЙ

*В работе рассматривается специфика применения принципа предельных обобщений к технологическому аудиту и субоптимизации, в частности, металлургических процессов. Дано описание Банка тестов, с помощью которого формируется база прецедентов и контекст для построения моделей знаний.*

*ПРИНЦИП ПРЕДЕЛЬНЫХ ОБОБЩЕНИЙ, СИНДРОМНЫЕ И ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ ЗНАНИЙ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АУДИТ*

### 1. Введение

Оптимизация сложных технологических процессов невозможна без наличия математических моделей, обеспечивающих с приемлемой точностью решение задачи синтеза оптимального или субоптимального управления и реализации этого управления на существующих или модернизируемых для этих целей системах управления [1, 2].

Технологический аудит и субоптимизация на основе Принципа предельных обобщений (ППО) [3, 4, 5] позволяют решать, в частности, следующие практические задачи:

- получение новых системных знаний об изучаемом объекте;
- определение конкурирующих наборов управляемых входных параметров, которые минимально достаточны для обеспечения благоприятного течения процесса;
- анализ управляемости процесса (оценка возможностей существующей системы управления обеспечить в каждой реализации процесса заданное качество его функционирования);
- прогноз значений выходных параметров по известным значениям входных параметров, в частности, оперативная оценка значений выходных параметров, лабораторный анализ которых требует значительных затрат времени;
- синтез новых химических соединений и новых композиционных материалов (построение математических моделей

---

© Прокопчук Ю.А., Белецкий А.С., 2012

зависимости между строением определенного класса химических соединений и комплексом их потребительских свойств);

- определение требуемой точности измерения входных параметров.

Рекомендации, полученные в результате аудита и субоптимизации на основе ППО, могут включать:

- оптимизацию действующих технологических процессов по технологическим, экономическим и экологическим критериям или комплексам этих критериев;

- определение научно и технологически обоснованных требований к качеству сырья, при заданных требованиях к качеству функционирования конкретного технологического процесса;

- технологию обеспечения заданного качества функционирования процесса при существенных вариациях состава сырья;

- технологию обеспечения необходимой технологической гибкости, с целью получения продукта, удовлетворяющего индивидуальным требованиям различных заказчиков.

Модель технологического процесса строится на основе эмпирических данных. Каждая реализация процесса рассматривается как отдельный прецедент. Для построения модели все реализации технологического процесса разбивают на  $N$  классов:  $Z = \{1, \dots, N\}$  – множество классов - заключений по комплексному показателю эффективности. В простейшем случае:  $Z = \{1 - \text{благоприятный}; 2 - \text{неблагоприятный}\}$

## 2. Предельные синдромные и вероятностные модели знаний

Пусть  $\{\tau\}$  - множество элементарных тестов, с помощью которых описываются все факторы, обстоятельства и явления, имеющие отношение к изучаемой действительности, например, технологическому процессу. Элементарность теста означает, что результат теста представим в виде: «тест = значение». Конкретный результат теста  $\tau$  будем обозначать через  $\underline{\tau}$ . Результаты тестов могут выбираться (формироваться) из разных доменов (множеств значений со связями), которые образуют оргграф доменов  $G(\tau) = \{T \rightarrow T'\}_\tau$ . Для фиксации того, что в качестве множества результатов теста  $\tau$  используется домен  $T$ , будем использовать нотацию:  $\tau / T$ . Используя разные домены, можно управлять общностью (масштабом)

результата одного и того же теста. В совокупности орграфы доменов образуют Банк тестов. Различные комбинации доменов для всех тестов определяют различные уровни общности описания прецедентов [3]. Пример орграфа доменов или конфигуратора  $G(z) = \{1 \rightarrow 2 \rightarrow 3\}$ :

*Эффективность*  $\hat{z}$  {

3 {Низкая  $\hat{1}$  2; Средняя  $\hat{3}$  4; Высокая  $\hat{5}$  6}

2 {Очень низкая  $\hat{1}$  [0; p1]; Низкая  $\hat{2}$  (p1; p2); Ниже среднего  $\hat{3}$  (p2; p3);

Средняя  $\hat{4}$  (p3; p4); Высокая  $\hat{5}$  (p4; p5); Очень высокая  $\hat{6}$  (p5; 1)}

1 {{0; 1}}.

Для решения целевой задачи формируется база прецедентов с известными исходами  $\Omega(Z) = \{\alpha(\{\underline{\tau} / T\}, \underline{z} / Z)\}$ , где  $Z = \{1, \dots, N\}$  – множество заключений. Без ограничения общности положим, что каждый тест входит в описание прецедента один раз. Кортеж  $\langle \Omega(Z), \{G(\tau)\} \rangle$  образует контекст целевой  $Z$ -задачи, которая может быть связана с диагностикой, прогнозированием или управлением.

Под *формальным синдромом* (или просто *синдромом*) контекста  $\langle \Omega(Z), \{G(\tau)\} \rangle$  понимается неизбыточная совокупность значений тестов, позволяющая однозначно установить заключение:

$$S = (\{\underline{\tau} / T\} \rightarrow \underline{z} / Z). \quad (1)$$

С каждым синдромом  $S$  связано «облако» *предельных синдромов*  $\{S^*\}$ , которое получается путем всех допустимых обобщений в рамках  $\{G(\tau)\}$ . Предельный синдром  $S^*$  является предельным в трех смыслах: его нельзя усилить, т.е. повысить ранг; его нельзя редуцировать и его нельзя обобщить ни по одному входящему тесту.

Совокупность синдромов  $\{S\}$  образует *синдромную модель знаний контекста*  $\langle \Omega(Z), \{G(\tau)\} \rangle$ , если она позволяет определить заключение, как минимум, для любой ситуации действительности из  $\Omega(\{\underline{\tau} / T_0\})$  – априорного описания [5]. Синдромная модель знаний *минимальна*, если из нее нельзя удалить ни один синдром без потери полноты охвата прецедентов из  $\Omega(\{\underline{\tau} / T_0\})$ . Для любой синдромной модели знаний  $\{S\}$  можно построить *сопряженную предельную модель*  $\{S^*\}$ . Можно также найти все предельные синдромы на всех уровнях общности для каждой ситуации  $\alpha \in \Omega(Z)$ . Их объединение представляет собой *полную предельную синдромную модель знаний* в рамках контекста  $\langle \Omega(Z), \{G(\tau)\} \rangle$ , которую обозначим  $\{S^*\}_{Full}$ . На

основе  $\{S^*\}_{Full}$  могут быть построены (абсолютно) минимальные предельные синдромные модели знаний  $\{S^*\}_{Min}$ . Модель  $\{S^*\}_{Full}$  доминирует все другие модели. Можно найти все  $\{S^*\}_{Min}$ , которые эквивалентны  $\{S^*\}_{Full}$ .

Помимо синдромов речь также может идти о вероятностных закономерностях  $\{R\}$  и сопряженных предельных вероятностных закономерностях  $\{R^*\}$ , которые являются ранними предвестниками событий, например, неблагоприятного течения процесса [5]. *Вероятностной закономерностью* появления заключения  $z / Z$  назовем правило вида

$$R = (\{\underline{t} / T\} \rightarrow J_z z / Z), p(R) \geq p^*, v_R = v(R), \quad (2)$$

где  $\{\underline{t} / T\}$  – избыточная совокупность значений тестов;  $J_z$  и  $p(R)$  – ранг или вероятность получения заключения  $z / Z$  при условии  $\{\underline{t} / T\}$ ;  $p^*$  – порог (например, 0.9);  $v_R$  – вес правила, пропорциональный количеству прецедентов с заключением  $z / Z$ , отвечающих правилу  $R$ . Вероятностную закономерность нельзя редуцировать с сохранением ранга. Для веса  $v_R$ , как и для любого теста, существует орграф доменов  $G(v_R)$ . Синонимами вероятностной закономерности можно считать *ассоциативное правило* (обобщение импликаций, когда допускается некоторая доля исключений) и *предвестник*.

Контекст задачи должен быть таким, чтобы некоторые из предельных синдромов можно было отнести к *параметрам порядка* благоприятного и неблагоприятного течения изучаемого процесса. В таком случае предельная синдромная модель знаний будет содержать конкурентные наборы параметров порядка, а управление технологическим процессом и технологический аудит заключаются в синдромной диагностике и задании целевых синдромов (параметров порядка), отвечающих благоприятному режиму (выходу на этот режим и его стабилизации). При этом желательно нейтрализовать предвестники развития неблагоприятного режима, которые содержатся в предельной вероятностной модели знаний. Такой подход реализует синдромный принцип управления сложными процессами любой природы [4].

### 3. Применение ППО в технологическом аудите и субоптимизации

Предельные синдромные и вероятностные модели знаний в сочетании с Банком тестов собственно и являются математической моделью технологического процесса. Для построения конфигураторов тестов и моделей знаний исходная информация представляется в виде 3-х таблиц.

Первая таблица содержит перечень входных параметров, информацию об их минимальных и максимальных значениях, регламентных значениях и единицах измерения. Управляемые переменные необходимо отметить, например символом "\*". Данная таблица позволяет в автоматическом режиме сформировать конфигураторы входных параметров или Банк тестов  $\{G(\tau)\}$ . Схемы конфигураторов могут быть разные. Приведем несколько простых схем.

Схема 1. Обозначим регламентный (или рекомендуемый) интервал значений  $X_i$  через  $[p_1, p_2]$ .

$X_i \in \{ \text{Ниже нормы } ^1 [X_{\min}; p_1]; \text{ Норма } ^2 [p_1, p_2]; \text{ Выше нормы } ^3 (p_2; X_{\max}] \} \cup \{ [X_{\min}; X_{\max}] \}$ .

Схема 2. Разобьем регламентный интервал значений  $X_i$  на две части, а именно:  $[p_1, p_2] = [p_1, q] \cup (q, p_2]$ . Конфигуратор представим в виде:

$X_i \in \{ \text{Ниже нормы } ^a; \text{ Норма } ^b [p_1, q]; \text{ Норма } ^c (q, p_2]; \text{ Выше нормы } ^d (p_2; X_{\max}] \} \cup \{ [X_{\min}; X_{\max}] \}$ .

Схема 3. Примем интервал  $[X_{\min}; X_{\max}]$  за 100% и разобьем его на 5 частей. Получим следующий конфигуратор:

$X_i \in \{ \text{Small } ^1; \text{ Not Small } ^3 \} \cup \{ \text{Medium } ^2; \text{ Not Medium } ^4 \} \cup \{ \text{Large } ^5; \text{ Not Large } ^1 \} \cup \{ \text{Small } ^1; \text{ Medium } ^2; \text{ Large } ^3 \} \cup \{ \text{Very small } ^1 [0; 15]; \text{ Small } ^2 (15; 40]; \text{ Medium } ^3 (40; 60]; \text{ Large } ^4 (60; 85]; \text{ Vary large } ^5 (85; 100] \} \cup \{ [0; 100] \}$ .

Во всех приведенных схемах домен «1» является базовым (наиболее точным).

Вторая таблица содержит информацию о перечне выходных показателей, единицах их измерения и допустимых значениях. Данные таблицы служат для определения интегрального показателя качества процесса (или эффективности)  $z$ . Одна из схем конфигуратора для  $z$  приведена выше.

Третья таблица содержит информацию о значениях входных и выходных переменных в  $m$  реализациях изучаемого процесса. Каждая переменная описывается с помощью базовых доменов:  $X_i / 1$ . Третья таблица является, по-сути, базой прецедентов  $\Omega(Z)$ . Таким образом, построен контекст задачи  $\langle \Omega(Z), \{G(\tau)\} \rangle$ . На основе контекста строятся предельные модели знаний.

#### 4. Выводы

Предельные синдромные модели знаний позволяют определить перечень конкурентных наборов управляемых параметров (параметров порядка), которые минимально достаточны для решения целевой задачи. На основе минимальных предельных моделей знаний проводят оценку возможностей существующей системы управления обеспечить в каждой реализации технологического процесса заданное качество его работы; определяют нормы технологического режима по всем входным параметрам, обеспечивающим снижение себестоимости выпускаемой продукции при условии соблюдения требований по качеству, выбросам вредных веществ в окружающую среду и другим ограничениям.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Химико-технологические системы. Синтез, оптимизация и управление. Под ред. И.П. Мухлёнова. - Л.: Химия, 1986. - 416 с.
2. Давиденко А.М., Кац М.Д. Новые методы изучения действующих производств и их возможности // Восточно – Европейский журнал передовых технологий, 6 (12), 2004. - С. 189 – 193.
3. Прокопчук Ю.А. Методология разработки интеллектуальных приложений на основе принципа предельных обобщений // Вестник Херсонского НТУ, 2011. - №2(41). – С. 32 – 43.
4. Прокопчук Ю.А. Когнитивное моделирование на основе принципа предельных обобщений: методология, задачи, приложения // Искусственный интеллект, 2011. - №3.- С. 82 – 93.
5. Прокопчук Ю.А. Предельные синдромные и вероятностные модели знаний // Научный вестник Херсонской государственной морской академии, 2011. - №2(5). – С. 322 – 333.