

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ЭНТРОПИЙНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

О.М.Пигнастый

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Украина

Впервые на важность применения энтропийных методов в теории управления указал Дж. Нейман [1]. В работах А.А.Красовского освещены основы термодинамического подхода к задачам управления и анализу сложных стохастических динамических систем [2]. Энтропийный подход к моделированию технологических процессов детально рассмотрен Б.Н.Петровым [3], И.В.Прангшвили [4], в работах которых энтропия системы, представленная через функцию распределения $\chi(t, S, \mu)$ параметров технологического процесса по возможным состояниям μ [3], в явной форме не связана с параметрами, описывающими состояние предметов труда в ходе технологической обработки вдоль технологического маршрута.

$$H_{\Omega} = \int_0^{\infty} \chi(t, S, \mu) \cdot \ln \left(\frac{e}{\chi(t, S, \mu)} \right) d\mu, \quad (1)$$

В то же время, современные традиционные подходы к построению моделей технологических процессов, фундамент которых заложен в работах В.В.Шкурбы [5], А.А.Первозванного [6], Н.П.Бусленко [7], основаны на особенностях движения предметов труда по технологическому маршруту. В связи с этим актуальным является вопрос построение энтропийных моделей технологического процесса производственно-технических систем со статистическим обоснованием закона возрастания энтропии, основанных на модельных закономерностях взаимодействия предметов труда и оборудования. Используем выражение (1), где S и μ усредненные по бесконечно малой ячейке $\Delta\Omega$ фазового технологического пространства характеристики состояния предметов труда S_j, μ_j , представляющие затраты, перенесенные на предмет труда и интенсивность переноса технологических ресурсов. Функция распределения предметов труда по микросостояниям определяется кинетическим уравнением технологического процесса [7]

$$\frac{\partial \chi(t, S, \mu)}{\partial t} + \frac{\partial \chi(t, S, \mu)}{\partial S} \mu + \frac{\partial \chi(t, S, \mu)}{\partial \mu} f(t, S) = \lambda(t, S) \{ \psi(t, S, \mu) [\chi] - \mu \chi(t, S, \mu) \}. \quad \chi(t, S, 0) = 0, \quad \chi(t, S, \infty) \rightarrow 0. \quad (2)$$

Производственная функция [6,7] единицы технологического оборудования $f(t, S)$ определяется из способа производства. Оборудование воз-

действует на предмет труда, изменяя его качественно и количественно. Учитывает вероятностный характер воздействия оборудования на предмет труда функция $\psi(t, S, \mu)$, определяющая вероятность того, что после воздействия оборудования на предмет труда скорость переноса затрат станет равной μ . Определим моменты $[\psi]_k$ и $[\chi]_k$ функции $\psi(t, S, \mu)$ и $\chi(t, S, \mu)$ выражениями:

$$\int_0^{\infty} \psi(t, S, \mu) d\mu = 1, \quad \int_0^{\infty} \mu^k \cdot \psi(t, S, \mu) d\mu = [\psi]_k, \quad \int_0^{\infty} \chi(t, S, \mu) d\mu = [\chi]_0, \\ \int_0^{\infty} \mu^k \cdot \chi(t, S, \mu) d\mu = [\chi]_k, \quad k = 1, 2, \dots \quad (3)$$

Используя (2), изменение энтропии технологического процесса со временем может быть определено как

$$\frac{dH_{\Omega}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_0^{\infty} \chi(t, S, \mu) \cdot \ln \left(\frac{e}{\chi(t, S, \mu)} \right) d\mu \\ = - \int_0^{\infty} \lambda(t, S) \cdot \{ \psi(t, S, \mu) \cdot [\chi]_1 - \mu \cdot \chi(t, S, \mu) \} \cdot \ln \chi(t, S, \mu) d\mu. \quad (4)$$

В состоянии статистического равновесия число взаимодействий продуктов труда с оборудованием $\mu \cdot \chi(t, S, \mu)$ при переходе в состояние $\psi(t, S, \mu) \cdot [\chi]_1$ (прямой процесс) равно числу взаимодействий предметов с оборудованием $\psi^*(t, S, \mu^*) \cdot [\chi]^*_1$ при переходе в состояние $\mu^* \cdot \chi^*(t, S, \mu^*)$ (обратный процесс). Произведя замену $\mu \cdot \chi(t, S, \mu)$ на $\mu^* \cdot \chi^*(t, S, \mu^*)$ и $\psi(t, S, \mu) \cdot [\chi]_1$ на $\psi^*(t, S, \mu^*) \cdot [\chi]^*_1$, используя соотношения $\mu^* = -\mu$, $\chi^*(t, S, \mu^*) = \chi(t, S, \mu)$, $[\chi]^*_1 = -[\chi]_1$, $\psi^*(t, S, \mu^*) = \psi(t, S, \mu)$, интеграл (3) может быть записан в виде:

$$\frac{dH_{\Omega}}{dt} = \\ - \frac{1}{2} \cdot \int_0^{\infty} \lambda(t, S) \psi(t, S, \mu) [\chi]_1 \left\{ 1 - \frac{\mu \cdot \chi(t, S, \mu)}{\psi(t, S, \mu) [\chi]_1} \right\} \ln \frac{\chi(t, S, \mu) \cdot \mu}{\psi(t, S, \mu) [\chi]_1} d\mu \geq 0 \quad (5)$$

Подынтегральное выражение, а следовательно и весь интеграл положителен. Таким образом, мы приходим к закону возрастания энтропии для технологического процесса. Равенство $\frac{dH_{\Omega}}{dt} = 0$ выполняется для квазистатических процессов. Функция распределения $\chi(t, S, \mu)$ характери-

зует степень неполноты задания микросостояний ансамбля предметов труда. Возможно выделить два предельных случая: А) технологический процесс находится в равновесном состоянии. Число задаваемых параметров технологического процесса много меньше полного числа степеней свободы системы (в пространстве (S, μ) для N-предметов труда число степеней свободы производственно-технической системы равно $2 \cdot N$); Б) предполагается, что в начальный момент функционирования технологического процесса известны для каждого предмета труда координата S и μ в фазовом технологическом пространстве (S, μ) . В этом случае из уравнений Эйлера, описывающих перемещение предмета труда вдоль технологического маршрута производственно-технической системы с целевой функцией $I(S, \mu)$, можно однозначно найти значения координат S и μ в произвольный момент времени.

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial I}{\partial \dot{S}_i} = \frac{\partial I}{\partial S_i}, \quad i=1..N. \quad (6)$$

Функция распределения предметов труда по микросостояниям представима в виде $\chi(t, S, \mu) = \sum_{j=1}^N \delta_j (S_j - S_j(S_{j0}, t - t_0))$. Первый случай соот-

ветствует максимальной неопределенности состояния предметов труда, а второй случай - полному динамическому описанию параметров состояния предметов труда, при котором неопределенность равна нулю. Между этими предельными случаями есть огромное множество различных вариантов функционирования технологического процесса, соответствующих той или иной степени неопределенности его состояния. Для неравновесных технологических процессов различные степени неопределенности производственно-технической системы соответствуют различным стадиям релаксационных процессов. Производственная практика показывает, что релаксационные технологические процессы являются необратимыми. В то же время исходные уравнения Эйлера (6) являются обратимыми. Формально это проявляется в том, что уравнения Эйлера остаются неизменными при замене $t \rightarrow -t$, $\mu_j \rightarrow -\mu_j$. Вопрос о том, на какой стадии и по каким причинам уравнения Эйлера (6) заменяются необратимыми уравнениями, является одним из важных вопросов, возникающих при исследовании социально-экономических и производственно-технических систем. Основным фактором, приводящим к необратимости, является неустойчивость (расходимость) технологических траекторий предметов труда [7]. При точном задании начальных условий в момент времени t_0 можно однозначно предсказать состояние предмета труда в произвольный момент времени t . При задании начальных условий для предметов труда

с малой погрешностью возможны ситуации: а) расхождение в любой последующий момент времени t остается малым $\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta S_j(t) \rightarrow 0$; б) рас-

хождение траекторий становится сколь угодно большим $\left| \lim_{t \rightarrow \infty} \Delta S_j(t) \right| \rightarrow \infty$.

Можно утверждать, что в пространстве (S, μ) происходит перемешивание фазовых технологических траекторий. С точки зрения динамической теории траектории движения предметов труда в фазовом технологическом пространстве (S, μ) становятся непредсказуемой. Вследствие непредсказуемости технологической траектории предмета труда становится возможным лишь статистическое предсказание наиболее вероятного поведения средних характеристик технологического процесса. Впервые на роль неустойчивости движения и фактора перемешивания в возникновении необратимости явлений указал Н.С.Крылов. Для оценки меры неустойчивости динамической системы из N -объектов А.Н.Колмогоров ввел характеристику, получившую название энтропии Крылова-Колмогорова или К-энтропии. Для технологического процесса К-энтропия определяется формулой

$$k(t) = \frac{1}{t} \cdot \ln \left(\sqrt{\sum_{j=1}^N (\Delta S_j(t))^2} / \sqrt{\sum_{j=1}^N (\Delta S_j(0))^2} \right), (j=1, 2, \dots, N) \quad (7)$$

Если движение предметов труда по технологическому маршруту является асимптотически устойчивым, то $\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta S_j(t) \rightarrow 0$ и $\lim_{t \rightarrow \infty} k(t) \rightarrow 0$. Не-

обратимость явлений при движении предметов труда по технологическому маршруту заключается во взаимодействии предметов труда с технологическим оборудованием. Траектории движения предметов труда в пространстве (S, μ) после взаимодействия с оборудованием оказываются непредсказуемыми. Становится возможным лишь статистическое предсказание.

Литература

1. Нейман Дж. Теория самовоспроизводящих автоматов. М.: Мир, 1971. – 382 с.
2. Красовский А.А. Фазовое пространство и статистическая теория динамических систем. -М.: Наука, 1974. -232 с.
3. Петров Б.Н., Уланов Г.М., Гольденблат И.И., Ульянов С.В. Теории моделей в процессах управления (Информационный и термодинамический аспекты), М.: Наука, 1978. - 224с.
4. Прангишвили И.В. Энтропийные и другие системные закономерности: Вопросы управления сложными системами / И.В. Прангишвили; Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова. – М.: Наука, 2003. – 428 с

- 5.Шкурба В.В. и др. Планирование дискретного производства в условиях АСУ. – К.: Техника, 1975, 296 с.
- 6.Первозванский А.А. Математические методы в управлении производством. - М.: Наука, 1975. - 616с.
- 7.Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. - М.: Наука, 1978-356 с.
8. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия. М.: Прогресс, 1961. 341 с.

УДК 621.3:004.94

МЕТОД ПОБУДОВИ МАТРИЦІ ІНЦИДЕНТНОСТІ ДЛЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ЗМІШАНОГО ТИПУ

І.В. Волков, С.В. Подольний

Інститут електродинаміки НАНУ, Україна

Для моделювання електроенергетичних систем сучасні програмні засоби створення графічного представлення схеми, що досліджується використовують розвинуті GUI (Graphic User Interface) модулі [1]. Особливістю побудови GUI для електроенергетичних систем, з математичної точки зору, є зручність представлення елементів цієї системи у вигляді множин об'єктів з подальшим трансформуванням їх в топологічні (не направлені) графи [2,3].

Як правило, для отримання топологічного графа використовуються однорідні елементи, однакові за кількістю вхідних та вихідних сигналів. В такому випадку задача побудови топологічного графа зводиться до зручної нумерації вершин та ребер графа зручного для певного математичного методу, що буде використаний надалі.

Зазначена ситуація суттєво ускладниться при аналіз систем змішаного типу. Такі системи будуть мати в множині елементів складові з різномірною структурою. В нашому випадку під різномірною структурою маються на увазі: трифазні трьохпровідні/чотирьохпровідні елементи, елементи постійного струму, елементи з наперед невизначеним станом. Комбінація елементів в цій множині може бути довільною. Під елементом з наперед невизначеним станом маються на увазі такі складові системи, які можуть наслідувати топологічні властивості елементів з визначеною структурою. Наприклад, з'єднувальна лінія може бути 2/3/4- провідною, що не визначено одразу, а уточнюється шляхом аналізу зв'язаних з нею елементів на подальших етапах. Такий підхід надає ряд переваг. По-перше, можна визначити ряд критеріїв фільтрації для бази даних елементів. По-друге, використовувати різну ступінь деталізації схем заміщення.

Метод побудови топологічної матриці має задовольняти двом основним вимогам: здібність перевіряти допустимість комбінацій з'єднання елементів в межах одного сегмента мережі; сортувати всі елементи сегмента в межах одного кластеру топологічної матриці.