$$\frac{\partial[\chi]_0}{\partial t}+\frac{\partial[\chi]_1}{\partial S}=0;\ \frac{\partial[\chi]_k}{\partial t}+\frac{\partial[\chi]_{k+1}}{\partial S}=k\cdot f\cdot[\chi]_{k-1},\ k=1,2.. \qquad (8)$$

Уравнения балансов ПТС (8) в одномоментном описании представляют собой уравнения системной динамики [3].

Литература:

1. Пигнастый О. М. Статистическая теория производственных систем. Х.: ХНУ, 2007. – 388 с.
2. Рушицкий Я. Я., Милованов Т. С. Модифікована модель Філіпса-Лоренца для економічної системи. / Доповіді НАНУ, 1997. № 12, С. 36-40.
3. Форрестер Д. Основы кибернетики предприятия. М.: Прогресс, 1961. – 341 с.

Пигнастый О. М., к.т.н.,
Технология НПФ
Меркулова Т.В., д.э.н.,
Ходусов В.Д., д.ф.-м.н.,
Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОСТОЕНИЯ УРАВНЕНИЙ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРЕДПРИЯТИЯ

Эффективным методом моделирования технологических процессов (ТП) производственно-технических систем (ПТС) является имитационное моделирование. Методология системной динамики (СД) представляет в настоящее время достаточно мощный инструментарий исследования динамических моделей ПТС [1].

Уравнения СД технологического процесса ПТС. Базовая структура уравнений СД для ТП представляет уравнения уровней [2, с. 65], темпов [2, с. 66], вспомогательные [2, с. 66] и уравнения начальных условий [2, с. 68] для взаимосвязанных сетей [2, с. 59]: сети материалов, заказов, денежных средств, рабочей силы, оборудования, информации. Разделение на шесть сетей условно [2, с. 60]. Уравнения уровней есть интегральные уравнения вида [2, с. 65]

$$\{\chi\}_{0,m,n}(t+\Delta t)=\{\chi\}_{0,m,n}(t)+\int_{0}^{\Delta t}\left(\{\chi\}_{1\_in,m,n}-\{\chi\}_{1\_out,m,n}\right)dt,\ n=1..6, \quad (1)$$

где $\{\chi\}_{0,m,n}(t)$, $\{\chi\}_{1\_in,m,n}(t)$, $\{\chi\}_{1\_out,m,n}(t)$ - обозначение уровня, темпа входящего и темпа исходящего потока в момент времени t для m-го объекта n-ой сети. Построение уравнений СД для ТП (рис.1) с помощью статистической теории будем рассматривать на примере одной сети (далее индекс «n» опустим) из m-объектов (склад, производственный участок или технологическое оборудование). Под уровнем $\{\chi\}_{0,m}$ понимается количество базовых продуктов (БП) в межоперационном и страховом заделе перед m-объектом или технологическим оборудованием, а под темпом входящего $\{\chi\}_{1\_in,m}$ и исходящего $\{\chi\}_{1\_out,m}$ потока - поступление/отгрузка БП на склад за единицу времени или темп обработки БП на m-технологической операции ($\{\chi\}_{1\_out,m-1}=\{\chi\}_{1\_in,m}$).

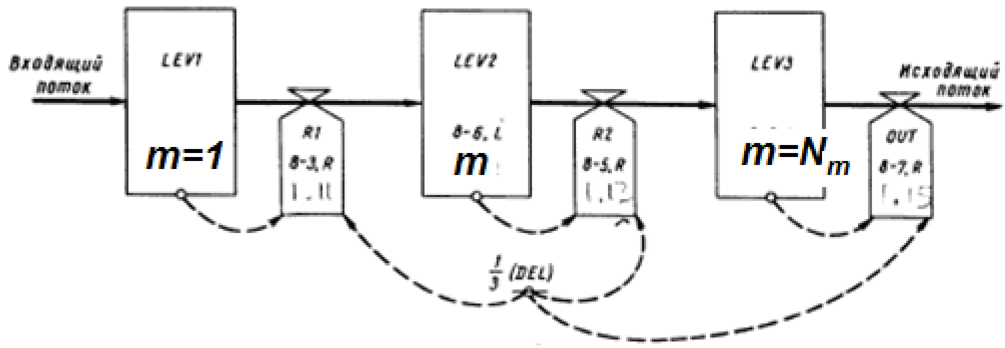

Рис.1. Технологический процесс ПТС

Система уравнений СД для ТП (рис.1) иметь вид

$$\frac{d\{\chi\}_{0,m}(t)}{dt}=\{\chi\}_{1\_in,m}(t)-\{\chi\}_{1\_out,m}(t), \quad (2)$$

уравнения уровней [2, с. 65],

$$\{\chi\}_{1\_in,m}(t)={\{\chi\}_{0,m}(t)}\Big/{T_m}\ ,\ \ m=1..\mathrm{N}_m, \quad (3)$$

уравнения темпов [2, с. 76],

$$\{\chi\}_{0,m}(0)=A_{0,m},\quad \{\chi\}_{1\_in,m}(0)=\mathrm{B}_{in,m},\quad \{\chi\}_{1\_out,m}(0)=B_{out,m}, \quad (4)$$

где T_m - заданная величина (постоянная запаздывания, [2, с. 76]) а уравнения (4) - начальные условия. Дополним систему уравнений (2), (3) дополнительные уравнения [2, с. 68]:

$$\Phi_m\left(\{\chi\}_{0,m_1},\{\chi\}_{1\_out,m_2}(t),\{\chi\}_{1\_out,m_3}(t)\right)=0\,,\quad m_1,m_2,m_3=1..\mathrm{N}_m\,. \qquad (5)$$

Уравнение темпа (3) Форрестер Д. назвал уравнением темпа с запаздыванием показательного типа, что определено видом решения $\{\chi\}_{0,m}(t)$ при подстановке уравнения (3) в (2). Система уравнений СД (2)-(5) является замкнутой системой уравнений для описания ТП.

Уравнения статистической теории ПТС для ТП. Состояние БП будем описывать наблюдаемыми на технологическом уровне микропараметрами: суммой затрат S_j(грн) и затрат в единицу времени μ_j (грн/час), перенесенными технологическим оборудованием на *j*-й БП [3, 4]. Состояние ПТС определено, если известны S_j, μ_j, а в любой момент времени может быть найдено из уравнений состояния БП [4]:

$$dS_j/dt=\mu_j,\quad d\mu_j/dt=f_j(t,S)\,,\quad 0<j<N, \qquad (6)$$

где $f_j(t,S)$ - производственная функция ПТС [4]. Если количество БП много больше единицы, то решить систему из 2*N*-уравнений практиче чески невозможно, требуется переход от микроописания ПТС к макроописанию с элементами вероятностной природы. Вместо рассмотрения состояния ПТС с микропараметрами S_j и μ_j, введем функцию распределения БП $\chi(t,S,\mu)$ в фазовом технологическом пространстве (ФТП). Разобьем ФТП (S,μ) на такое число ячеек, чтобы размеры ячейки $\Delta\mathrm{S}\Delta\mu$ были достаточно малы и содержали внутри себя большое число БП. Состояние БП задается точкой в ФТП. Вместо фиксации точных значения микропараметров БП, будем приближенно характеризовать состояние ПТС числом БП в ячейке $\Delta\mathrm{S}\Delta\mu$. Так как, величина $\chi\cdot d\mathrm{S}d\mu$ представляет число БП в бесконечно малой ячейке $\Delta\mathrm{S}\Delta\mu$, можно по изменению фазовой координаты S и фазовой скорости μ со временем судить об изменении μ со временем судить об изменении самой функции $\chi(t,S,\mu)$ [4]:

$$\frac{\partial\chi}{\partial t}+\frac{\partial\chi}{\partial S}\cdot\mu+\frac{\partial\chi}{\partial\mu}\cdot f=J(t,S,\mu)\,,\quad \frac{dS}{dt}=\mu,\quad \frac{d\mu}{dt}=f(S)\,. \qquad (7)$$

Функция $J(t,S,\mu)$ определяется характеристиками ТП [4]. Функция $f(S)$ есть аналог силы, перемещающий БП по технологической цепочки. При перемещении оборудование воздействует на БП, изменяя его качественно и количественно. Умножив уравнение (8) на μ^k, $k=0,1$ и проинтегрировав по всему диапазону μ, получим 2-х моментную балансовую систему уравнений ПТС [4]:

$$\frac{\partial[\chi]_0}{\partial t}+\frac{\partial[\chi]_1}{\partial S}=0; \qquad \frac{\partial[\chi]_1}{\partial t}+\frac{\partial[\chi]_2}{\partial S}=f\cdot[\chi]_0; \quad [\chi]_2=\frac{[\chi]_{1\psi}\cdot[\chi]_1}{[\chi]_0}, \qquad (8)$$

$$\int_0^\infty \mu^k\chi(t,S,\mu)d\mu\cdot=[\chi]_k, \qquad \int_0^\infty dS\cdot\int_0^\infty d\mu\cdot\chi(t,S,\mu)=N. \qquad (9)$$

Нулевой $[\chi]_0\left(\frac{шт}{грн}\right)$ и первый $[\chi]_1\left(\frac{шт}{час}\right)$ моменты функции распределения в ФТП имеют интерпретацию: заделы БП и их темп движения вдоль технологической цепочки. Условие нормировки есть закон сохранения числа БП в производственном процессе. Система уравнений (2)-(5) является замкнутой балансовой системой уравнений для описания ТП.

Вывод уравнений СД для ТП из уравнений статистической теории ПТС. Проинтегрируем уравнения (8) в ФТП (t,S,μ) в пределах m-ой технологической операции $\Delta S_m=S_m-S_{m-1}$, и положив $\frac{\partial[\chi]_1}{\partial t}=0$, получим

$$\frac{d\{\chi\}_{0,m}(t)}{dt}=\{\chi\}_{1\_in,m}(t)-\{\chi\}_{1\_out,m}(t), \qquad (2a)$$

$$\{\chi\}_{1\_out,m}(t)\approx{\{\chi\}_{0,m}(t)}\Big/{T_m}, \qquad (5a) \quad T_m\approx\sqrt{\frac{\Delta S_m}{f(S)}}, \qquad (3a)$$

где введены обозначения $\{\chi\}_{0,m}(t)=\int_{S_{m-1}}^{S_m}[\chi]_0(t,S)dS\approx\Delta S_m\cdot[\chi]_0(t,S)$,

$$\int_{S_{m-1}}^{S_m}\frac{\partial[\chi]_1(t,S)}{\partial S}dS=[\chi]_1(t,S_m)-[\chi]_1(t,S_{m-1}),$$

$$\{\chi\}_{1\_in,m}(t) = [\chi]_1(t, S_{m-1}), \qquad \{\chi\}_{1\_out,m}(t) = [\chi]_1(t, S_m).$$

Получена система уравнений СД (2)-(5) в предположениях стационарности темпа с постоянной запаздывания вида (5a). Показано, что уравнения СД для сети материалов являются следствием статистического подхода описания ПТС.

Литература:

1. Плотников Ю. М. Теоретические и эмпирические модели социальных процессов. М.: Логос, 1998. – 291 с.
2. Форрестер Д. Основы кибернетики предприятия. М.: Прогресс, 1961. – 341 с.
3. Шкурба В. В. и др. Планирование дискретного производства в условиях АСУ. – К.: Техника, 1975, – 296 с.
4. Пигнастый О. М. Статистическая теория производственных систем. Х.: ХНУ, 2007. – 388 с.

Раевнева Е. В., д.е.н.,

Харьковский национальный экономический университет

МОДЕЛИ ДИАГНОСТИКИ ФРАКТАЛЬНОСТИ В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ УКРАИНЫ

Отличительной особенностью конца XX века и начала XXI века является процесс всеохватывающей глобализации, сопровождающийся возрастающей сложностью, динамизмом и стохастичностью протекания мировых рыночных процессов. В этих условиях экономическая наука оказалась перед необходимостью переосмысления теоретико-методологических основ поведения открытых социально-экономических систем различного уровня иерархии – начиная от отдельно взятого предприятия и заканчивая национальными и наднациональными образованиями. Как результат возникла новая неоклассическая парадигма научных исследований, в рамках которой был разработан новый инструментарий, то есть спектр наук и теорий, одной из которых является синергетика – теория самоорганизации, исходящая из того, что сложным системам,