***Peregudova T.V.*** **Minimization of risks of investments into vocational training the personnel.**
This article is about of investments into vocational training the personnel are considered. The approach concerning minimization of risks of investments into vocational training the personnel on the basis of formation of strategy of vocational training is offered, to an estimation of motives of the personnel in professional growth, improvement of fastening of the rights and duties in contracts.
***Keywords:*** The personnel, investments, vocational training, risks, expenses for vocational training, motives of vocational training.

Перегудова Т.В. – к.е.н., доцент Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Поступило до редакції 28.02.2011
Рецензент: Рамазанов С.К. докт. екон. наук, докт. техн. наук, проф.

УДК658.51.012

О.М. Пигнастый, В.Я. Заруба

# ЭНТРОПИЙНЫЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Записано выражение для энтропии технологического процесса. Показан механизм необратимости технологических явлений производственно-технических систем.

**Ключевые слова:** статистическое описание технологических процессов, энтропия, обратимость технологических явлений.

**Постановка проблемы и анализ публикаций**. Известны два фундаментальных похода к описанию технологических процессов – феноменологический [1,2,3,4] и статистический [5,6,7]. Феноменологический подход позволяет установить основные закономерности технологических явлений [2,8] без использования модельных представлений [7] о механизме стохастического воздействия технологического оборудования на предмет труда и коллективного взаимодействия предметов труда. Общие закономерности большинства установившихся технологических процессов известны. Разным технологическим процессам соответствуют разные уравнения состояния [1, 2, 8]. Уравнения состояний в аналитическом виде могут быть получены в рамках статистического похода, который позволяет однозначно связать макроскопические потоковые характеристики технологического процесса с микроскопическими предметно-технологическими параметрами [5,6,7] достаточно большого количества предметов труда. Движение по технологическому маршруту предметов труда, задается динамическими балансовыми уравнениями переноса [2, 5, 7, 8], описывающими эволюцию в пространстве и времени макропараметров технологического процесса в масштабе принятого усреднения микропараметров предметов труда. Колебания значений микропараметров предмета труда при технологической обработки определяют поведение макроскопических величин технологического процесса и, что особенно важно, участвуют в формировании необратимого процесса. При изменении макроскопического состояния технологического процесса возникает переходной процесс, микропараметры предметов труда изменяются [1]. Через время, соответствующее характерному масштабу времени $\tau_{rel}$, устанавливаются новые значения макропараметров технологического процесса. Среди множества технологических процессов можно выделить класс квазистатических технологических процессов [1]. Время $\tau_{tex}$, за которое происходит значительное изменение макропараметров квазистатических технологических процессов много больше характерного времени производственного цикла, что дает возможность представить такой процесс как последовательность равновесных состояний макропараметров. Поскольку квазистатический технологический процесс представляет последовательность равновесных состояний, то его можно провести в прямом и обратном направлении через последовательность тех же состояний. Такого рода процессы являются обратимыми [3, 4]. Понятие квазистатического технологического процесса является идеализацией. Для его точного осуществления потребовалось бы вести переход от одного равновесного состояние в другое достаточно медленно, что соответствует требованию малости параметра $K_m = {}^{\tau_{rel}}\!/_{\tau_{tex}} \to 0$ [7]. Феноменологическое описание технологических процессов удается провести последовательно только для квазистатических процессов, которое базируется на понятиях о том, что вне зависимости от начального состояния микропараметров предметов труда для макропараметров технологического процесса установится равновесное состояние. Изменение состояния предметов труда может быть осуществлено вследствие совершения работы над ними.

**Цель статьи.** Целью работы являются исследование, обоснование и разработка теоретических основ и концептуальных положений энтропийного подхода к описанию технологических процессов производственно-технических систем для повышения эффективности планирования и управления процессами изготовления продукции.

**Материали и результаты исследований.** В качестве функции состояния технологического процесса возможно ввести функцию, характеризующую меру его неопределенности [3,4]. На важность применения энтропийных методов в процесса управления указал Дж. Фон Нейман. Энтропийный подход в описании технологических процессов детально рассмотрен Б.Н. Петровым [1]. Известно [3, 4], что энтропия технологического процесса, может быть записана через функцию распределения предметов труда по микросостояниям $\chi(t,S,\mu)$,

$$H_{\Omega} = \int_{0}^{\infty} \chi(t,S,\mu) \cdot \ell\mathrm{n}\left(\frac{e}{\chi(t,S,\mu)}\right) d\mu \,. \qquad (1)$$

где $S$ и $\mu$ соответственно усредненные по бесконечно малой ячейке фазового технологического пространства $\Delta\Omega$ характеристики состояния предметов труда $S_j$, $\mu_j$, представляющие затраты, перенесенные на предмет труда и интенсивность переноса технологических ресурсов на предмет труда

Функция распределения предметов труда по микросостояниям определяется кинетическим уравнением технологического процесса [7].

$$\frac{\partial\chi(t,S,\mu)}{\partial t}+\frac{\partial\chi(t,S,\mu)}{\partial S}\ \mu+\frac{\partial\chi(t,S,\mu)}{\partial\mu}\ f(t,S)=$$

$$\lambda(t,S)\cdot\left\{\int_0^\infty\psi\left(t,S,\mu\right)\cdot\tilde{\mu}\cdot\chi(t,S,\tilde{\mu})d\tilde{\mu}-\mu\cdot\chi(t,S,\mu)\right\},\ \chi(t,S,0)=0,\ \chi(t,S,\infty)\to 0\,. \quad (2)$$

Производственная функция обобщенной единицы технологического оборудования $f(t,S)$ определяется из способа производства. Оборудование воздействует на предмет труда, изменяя его качественно и количественно. Учитывает вероятностный характер воздействия технологического оборудования на предмет труда функция $\psi(t,S,\mu)$, определяющая вероятность того, что после воздействия технологического оборудования на предмет труда скорость переноса затрат станет равной $\mu$. Определим моменты $[\psi]_k$ и $[\chi]_k$ функции $\psi(t,S,\mu)$ и $\chi(t,S,\mu)$ следующими выражениями:

$$\int_0^\infty\psi(t,S,\mu)d\mu=1,\quad \int_0^\infty\mu^k\cdot\psi(t,S,\mu)d\mu=[\psi]_k,\quad k=1,2\ldots \quad (3)$$

$$\int_0^\infty\chi(t,S,\mu)d\mu=[\chi]_0,\quad \int_0^\infty\mu^k\cdot\chi(t,S,\mu)d\mu=[\chi]_k, \quad (4)$$

Если функция $\psi(t,S,\mu)$ не зависит от состояния предметов труда до испытания воздействия со стороны технологического оборудования, то уравнение (1) примет вид:

$$\frac{\partial\chi(t,S,\mu)}{\partial t}+\frac{\partial\chi(t,S,\mu)}{\partial S}\ \mu+\frac{\partial\chi(t,S,\mu)}{\partial\mu}\ f(t,S)=\lambda(t,S)\{\psi(t,S,\mu)[\chi]_1-\mu\chi(t,S,\mu)\}. \quad (5)$$

Используя (6), изменение энтропии технологического процесса со временем может быть определено.

$$\frac{dH_\Omega}{dt}=\frac{d}{dt}\int_0^\infty\chi(t,S,\mu)\cdot\ell\mathrm{n}\left(\frac{e}{\chi(t,S,\mu)}\right)d\mu=-\int_0^\infty\lambda(t,S)\cdot\{\psi(t,S,\mu)\cdot[\chi]_1-\mu\cdot\chi(t,S,\mu)\}\cdot\ell\mathrm{n}\chi(t,S,\mu)d\mu\,. \quad (6)$$

Состояние статистического равновесия полностью симметрично относительно замены будущего настоящим. При изменении знака времени надо переставить состояния до воздействия и после воздействия технологического оборудования на предмет труда. Мы можем, следовательно, утверждать, что в состоянии статистического равновесия число взаимодействий продуктов труда с технологическим 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 технологическим оборудованием $\psi^*(t,S,\mu^*)\cdot[\chi]^*_1$ при переходе в состояние $\mu^*\cdot\chi^*(t,S,\mu^*)$ (обратный процесс). Правая часть уравнения (6) для прямого процесса в состоянии статистического равновесия имеет вид

$$J = J_{pr} = -\int_0^{\infty} \lambda(t,S) \cdot \{\psi(t,S,\mu) \cdot [\chi]_1 - \mu \cdot \chi(t,S,\mu)\} \cdot \ell\mathrm{n}\chi(t,S,\mu) d\mu . \qquad (7)$$

Если провести замену $\mu \cdot \chi(t,S,\mu)$ на $\mu^* \cdot \chi^*(t,S,\mu^*)$ и $\psi(t,S,\mu) \cdot [\chi]_1$ на $\psi^*(t,S,\mu^*) \cdot [\chi]^*_1$, то для обратного процесса можно записать

$$J = J_{obr} = -\int_0^{\infty} \lambda(t,S) \cdot \{\psi^*(t,S,\mu^*) \cdot [\chi]^*_1 - \mu^* \cdot \chi^*(t,S,\mu^*)\} \cdot \ell\mathrm{n}\left(\frac{\psi^*(t,S,\mu^*) \cdot [\chi]^*_1}{\mu^*}\right) d\mu . \qquad (8)$$

Не меняя значения интеграла, представим

$$J = \frac{J_{pr} + J_{obr}}{2} = -\frac{1}{2} \cdot \int_0^{\infty} \lambda(t,S) \cdot \{\psi(t,S,\mu) \cdot [\chi]_1 - \mu \cdot \chi(t,S,\mu)\} \cdot \ell\mathrm{n}\chi(t,S,\mu) d\mu -$$

$$-\frac{1}{2} \cdot \int_0^{\infty} \lambda(t,S) \cdot \{\psi^*(t,S,\mu^*) \cdot [\chi]^*_1 - \mu^* \cdot \chi^*(t,S,\mu^*)\} \cdot \ell\mathrm{n}\left(\frac{\psi^*(t,S,\mu^*) \cdot [\chi]^*_1}{\mu^*}\right) d\mu . \qquad (9)$$

Используя соотношения

$$\mu^* = -\mu , \qquad \chi^*(t,S,\mu^*) = \chi(t,S,\mu), \qquad [\chi]^*_1 = -[\chi]_1, \qquad \psi^*(t,S,\mu^*) = \psi(t,S,\mu). \qquad (10)$$

Интеграл (6) может быть записан окончательно

$$\frac{dH_\Omega}{dt} = -\frac{1}{2} \cdot \int_0^{\infty} \lambda(t,S) \psi(t,S,\mu) [\chi]_1 \left\{1 - \frac{\mu \cdot \chi(t,S,\mu)}{\psi(t,S,\mu)[\chi]_1}\right\} \ell\mathrm{n} \frac{\chi(t,S,\mu) \cdot \mu}{\psi(t,S,\mu)[\chi]_1} d\mu \geq 0 . \qquad (11)$$

Подынтегральное выражение, а следовательно и весь интеграл положителен. Действительно, величина $\lambda(t,S)\psi(t,S,\mu)[\chi]_1$ положительна по определению. Функция же вида $(1-y)\ell\mathrm{n}y$ положительна при всех $y > 0$, поскольку $\ell\mathrm{n}y > 0$ при $y > 1$ и $\ell\mathrm{n}y < 0$ при $y < 1$. Таким образом мы приходим к результату, выражающему для технологического процесса закон возрастания энтропии. Равенство выполняется только для квазистатических процессов, когда макропараметры технологического процесса находятся в состоянии установившегося равновесия:

$$\frac{dH_\Omega}{dt} = 0 \ . \qquad (12)$$

Средние значения параметров технологического процесса, определяемые через функцию распределения предметов труда по микросостояния $\chi(t,S,\mu)$ [1, 5, 7] могут быть определены как для равновесного состояния, так и для неравновесного состояния технологического процесса. Функция распределения $\chi(t,S,\mu)$ характеризует степень неполноты задания микросостояний ансамбля предметов труда. При этом возможно выделить два характерных случая:

А) технологический процесс находится в равновесном состоянии с заданными межоперационными заделами и темпом выпуска продукции. Состояние предметов труда определяется набором параметров технологического оборудования и параметрами системы управления запасами предприятия. Число задаваемых параметров технологического процесса много меньше полного числа степеней свободы предметов труда, находящихся в технологическом процессе (для технологического процесса с 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 $\mu$ в фазовом технологическом пространстве $(\mathrm{S}, \mu)$. В этом случае из уравнений Эйлера

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial I}{\partial \dot{\mathrm{S}}_{\mathrm{i}}} = \frac{\partial I}{\partial \mathrm{S}_{\mathrm{i}}}, \qquad \text{i=1..N.} \qquad (13)$$

описывающего перемещение предмета труда вдоль технологического маршрута производственно-технической системы с целевой функцией $I(\mathrm{S},\mu)$ можно однозначно найти значения координат $S$ и $\mu$ в произвольный момент времени. Поэтому функция распределения предметов труда по микросостояниям $\chi(t, S, \mu)$ для технологического процесса представима в виде

$$\chi(t,S,\mu) = \sum_{j=1}^{N} \delta_j \left(S_j - S_j\left(S_{j0}, t - t_0\right)\right) \qquad (14)$$

Этот случай соответствует полному динамическому описанию.

Два случая являются предельными. Первый соответствует максимальной неопределенности состояния предметов труда, находящихся в технологическом процессе. Неопределенность задания состояния предметов труда во втором случае равна нулю. Между этими крайними случаями есть огромное множество различных вариантов функционирования технологического процесса, соответствующих той или иной степени неопределенности его состояния, выраженного через состояния предметов труда. Для неравновесных технологических процессов различные степени неопределенности производственно-технической системы соответствуют различным стадиям релаксационных процессов. Практика показывает, что релаксационные технологические процессы являются необратимыми. В то же время исходные уравнения Эйлера (13) являются обратимыми. Формально это проявляется в том, что уравнения Эйлера (13) остаются неизменными при замене

$$t \to -t, \qquad \mu_j \to -\mu_j, \qquad (j = 1,2,.....,N) \qquad (15)$$

Вопрос о том, на какой стадии и по каким причинам исходные уравнения Эйлера (13) 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.

При точном задании начальных условий $S_j\left(t_0\right)$ в момент времени $t_0$ можно однозначно предсказать состояние предмета труда $S_j\left(t\right)$ в произвольный момент времени $t$. При задании начальных условий для предметов труда $S_j\left(t_0\right)$ с небольшой погрешностью $\Delta S_j\left(t_0\right)$ возможны ситуации: расхождение траектории $\Delta S_j\left(t\right)$ с начальными условиями $\Delta S_j\left(t_0\right)$ в любой последующий момент времени $t$ остается малым $\lim\limits_{t\to\infty} \Delta S_j(t) \to 0$, и расхождение траекторий $\Delta S_j\left(t\right)$ становится сколь угодно большим $\left|\lim\limits_{t\to\infty} \Delta S_j(t)\right| \to \infty$. В последнем случае говорят о неустойчивости поведения микропараметров предметов труда. Можно утверждать, что в фазовом технологическом пространстве $(\mathrm{S},\mu)$ происходит перемешивание фазовых технологических траекторий. Если расходимость траекторий происходит по экспоненциальному закону, то имеет место стохастизация. Последнее означает, что с точки зрения динамической теории траектории движения предметов труда в фазовом технологическом пространстве $(\mathrm{S},\mu)$ 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 специальную характеристику, получившую название энтропии Крылова-Колмогорова или К-энтропии. Для технологического процесса К-энтропия определяется формулой

$$k(t) = \frac{1}{t}\cdot \ln\left( \sqrt{\sum_{j=1}^{N}\left(\Delta S_j(t)\right)^2} \Bigg/ \sqrt{\sum_{j=1}^{N}\left(\Delta S_j(0)\right)^2} \right), \quad (j = 1,2,\ldots\ldots,N) \qquad (16)$$

Если движение предметов труда по технологическому маршруту является асимптотически устойчивым, то $\lim\limits_{t\to\infty} \Delta S_j(t) \to 0$ и $\lim\limits_{t\to\infty} k(t) \to 0$.

Таким образом, необратимость явлений при движении предметов труда по технологическому маршруту заключается во взаимодействии предметов труда с технологическим оборудованием. Траектории движения предметов труда в фазовом технологическом пространстве $(\mathrm{S},\mu)$ после взаимодействия с технологическим оборудованием оказываются непредсказуемыми. Становится возможным лишь статистическое предсказание. Так, можно предсказать только наиболее вероятное поведение средних характеристик технологического процесса.

**Выводы.** Используя понятие энтропии технологического процесса производственно-технической системы [1], доказано, что для замкнутой производственно-технической системы возможно только возрастание энтропии.

Постоянство энтропии характеризует квазистатические технологические процессы, являющиеся идеализацией реальных технологических процессов производственно-технических систем.

### Литература


1. 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
2. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия. М.: Прогресс, 1961. 341 с.
3. Вильсон А.Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем: Пер.с англ.- М.:Наука, 1978г. - 248с.
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. Власов В.А., Тихомиров И.А., Локтев И.И. Моделирование технологических процессов изготовления промышленной продукции. – Изд. Томского политехнического университета, 2006. – 300 с.
6. Якимович С.Б. Постановка и решение задачи синтеза и оптимального управления технологическими процессами лесозаготовок. // Лесной вестник.-М: МГУЛ, 2003, №3, с.96-103
7. Пигнастый О.М. Статистическая теория производственных систем. – Х.: Изд. ХНУ им.Каразина, 2007. – 388 с.
8. Леонтеьв В.В. Исследования структуры американской экономики. – М.: Государственное статистическое издательство, 1958. - 640 с.
9. Тихонов А.Н., Кальнер В.Д. Гласко В.Б. Математическое моделирование технологических процессов и метод обратных задач в машиностроении. М.: Машиностроение, 1990. – 264 с.



***Пигнастий О.М., Заруба В.Я.*** **Ентропійний підхід до опису технологічних процесів.**

Записано вираз для ентропії технологічного процесу. Показаний механізм необоротності технологічних явищ виробничо-технічних систем.



Ключові слова: статистичний опис технологічних процесів, ентропія, оборотність технологічних явищ.



***Pignasty O.M., Zaruba V.J.*** **Entropy approach to the description of technological processes.**

An expression for the entropy of the process. The mechanism of the irreversibility of technological effects of production and technical systems.



Keywords: statistical description of the process, entropy, reversibility of technological phenomena.



Пигнастый Олег Михайлович – к.т.н, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» Министерства образования и науки Украины, кафедра Компьютерного мониторинга и логистики, (г.Харьков)

Заруба Виктор Яковлевич – доктор экономических наук, професор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» Министерства образования и науки Украины, заведующий кафедрой экономической кибернетики и маркетингового анализа, (г.Харьков)



Поступило до редакції 13.03.2011