

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.9:658.512:536.75

Академик П. И. ЯЩЕРИЦЫН, А. А. ШИПКО, М. Л. ХЕЙФЕЦ, Н. Н. ПОПОК

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СОЗДАНИЯ УСЛОВИЙ ДЛЯ САМООРГАНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБЪЕКТОВ

Основными проблемами совершенствования и развития производства являются сокращение сроков и снижение затрат на проводимые технические и организационные мероприятия.

Одним из направлений решения этих проблем может служить создание на основе анализа производственной системы с синергетических позиций [1, 2] условий для преемственности как технических, так и организационных мероприятий. Целью мероприятий является реорганизация производства для обеспечения автоматизированного управления технологическими процессами и объектами.

Взаимозависимые процессы движения и обмена материальными и информационными потоками в подсистемах производства описываются энтропией [3, 4]

$$\varepsilon = -K \int_0^{\infty} p \ln p dp, \quad (1)$$

где  $K$  — постоянный коэффициент;  $p$  — плотность распределения вероятных состояний подсистемы.

Уравнение баланса локальной плотности энтропии  $\rho\varepsilon$  по времени  $\tau$

$$\partial(\rho\varepsilon)/\partial\tau + \nabla \cdot (\rho\varepsilon\vec{v}) + \nabla \cdot \vec{F}_\varepsilon = E, \quad (2)$$

где  $\vec{F}_\varepsilon$  — плотность потока энтропии;  $\vec{v}$  — скорость потока;  $E$  — производство энтропии:

$$E = d\varepsilon/d\tau, \quad (3)$$

дает возможность рассмотреть критерии, описывающие переходы различных состояний производственной системы.

Исследования состояний подсистемы производства, изучение самоорганизации технологическо-эксплуатационных процессов [1] при комбинированных методах обработки [5—7] позволили представить модель анализа процессов формирования изделий [8]:

$$\partial\rho/\partial\tau + \nabla \cdot (\rho\vec{v}) = 0; \quad (4)$$

$$\partial(\rho\vec{v})/\partial\tau + \nabla \cdot (\rho\vec{v}\vec{v}) + \nabla \cdot \vec{P} = \rho\vec{F}; \quad (5)$$

$$\partial(\rho\varepsilon)/\partial\tau + \nabla \cdot (\rho\varepsilon\vec{v}) + \nabla \cdot \vec{F}_q = \vec{F} \vec{F}_\alpha - \vec{P} \cdot \nabla \cdot \vec{v}, \quad (6)$$

где  $\rho$  — массовая плотность обрабатываемого материала;  $\rho\vec{v}$  — плотность импульса;  $\rho\varepsilon$  — плотность энергии;  $\vec{P}$  — тензор давления;  $\vec{F}$  — распределенная сила тяжести;  $\vec{F}_q$  — плотность теплового потока;  $\vec{F}_\alpha$  — плотность диффузионного потока.

Уравнения (4)—(6) дают возможность описать технологическо-эксплуатационные переходы в процессах формирования изделий термодинамическими критериями [9, 10]:

$$\text{Прандтля } Pr = \lambda/\omega; \quad (7)$$

$$\text{Рейнольдса } Re = vl/\lambda; \quad (8)$$

$$\text{Грасгофа } Gr = \beta gl^3 \Delta\Theta/\lambda^2, \quad (9)$$

где  $\omega$  — температуропроводность;  $l$  — характерный определяющий размер;  $\beta$  — коэффициент объемного расширения;  $g$  — ускорение силы тяжести;  $\Delta\Theta$  — разность температур;  $\lambda$  — вязкость обрабатываемого материала:

$$\lambda = (v/S)(\sigma_v/\sigma_s), \quad (10)$$

$v/S$  — соотношение скоростей главного движения  $v$  и дополнительно перемещения инструмента  $S$ ;  $\sigma_v/\sigma_s$  — соотношение напряжений обрабатываемого материала в направлениях движений  $v$  и  $S$ .

Модель анализа технологическо-эксплуатационных процессов в формируемом изделии и инструменте потребовала разработки методов расчета полей напряжений  $\sigma$  и температурных  $\Theta$  полей [11]. С учетом совместных действий различных технологическо-эксплуатационных факторов состояние материала в методиках расчета оценивалось в зависимости от температуры нагрева  $\Theta$  при различных значениях коэффициента

$$\chi_\Theta = \sigma_0^+/\sigma_0^- \quad (11)$$

напряжениями

$$\sigma_\Theta = (1 - \chi_\Theta)(\sigma_x + \sigma_y)/2 + (1 - \chi_\Theta) \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2/4 + \tau_{xy}^2}, \quad (12)$$

где  $\sigma_0^+$  и  $\sigma_0^-$  — напряжения, предельные для обрабатываемого или инструментального материала при одноосном растяжении и сжатии;  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  и  $\tau_{xy}$  — нормальные и касательные напряжения.

Компьютерный расчет по формулам (11), (12) состояний формирующихся изделий, а также эксплуатируемых инструментов и рассмотрение по формулам (7)—(10) переходов различных состояний технологических подсистем дают возможность аналитически определить условия самоорганизации технологических процессов.

Создание данных условий призвана обеспечить технологическая подготовка производства. Изучение возможностей перевода производства на автоматизированное управление показало необходимость компьютерных расчетов не только на стадиях проектирования продукции и процессов ее изготовления, но и на стадии подготовки производства к выпуску новой продукции.

Комплексная автоматизация поставила вопрос о разработке методик статистической обработки данных об объектах и процессах производства [12].

Условия работы предприятий, характеризующиеся частой сменой выпускаемой продукции, постоянным изменением объемов выпуска и размеров запускаемых партий предложено описывать законами распределения случайных величин [13]:

$$\text{равномерным } f(x) = 1/(\mu_1 - \mu_0), \text{ при } \mu_0 \leq x \leq \mu_1; \quad (13)$$

$$\text{экспоненциальным } f(x) = (1/\mu) \exp(-x/\mu), \text{ при } \mu > 0, x > 0; \quad (14)$$

$$\text{нормальным } f(x) = (1/(\sigma\sqrt{2\pi})) \exp(-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)), \\ \text{при } \sigma > 0, -\infty < \mu < \infty, -\infty < x < \infty \quad (15)$$

или др., где  $\mu$  — математическое ожидание;  $\mu_0$  и  $\mu_1$  — ограничения;  $\sigma^2$  — дисперсия случайных величин  $x$ .

Судить о степени соответствия статистических данных выбранному закону распределения (13)—(15) позволяет отношение Романовского [14]:

$$R = (\lambda_p^2 - k) / \sqrt{2k}, \quad (16)$$

где  $\lambda_0^2$  — критерий Пирсона;  $k$  — число степеней свободы, т. е. количество групп в изучаемом ряду рассчитанных ( $\mu$ ,  $\sigma$  и др.) и используемых при вычислении теоретического распределения (13)—(15) статистических характеристик.

Статистический анализ характеристик производства в рамках широкой номенклатуры применяемых технологий, оборудования и оснастки позволяет ограничить дальнейший рост номенклатуры объектов и процессов. Формирование технологических регламентов только из узких диапазонов режимов обработки, изолированных условиями самоорганизации (7)—(10), и составление ограничительных перечней из объектов, применяемость которых статистически значима (16), создают условия для самоорганизации технологических процессов и объектов на стадии подготовки производства.

При выборе количества ограничителей номенклатуры объектов и числа позиций технологических регламентов целесообразно рассмотреть взаимозависимость противоречивых требований к производственной системе по ее надежности и гибкости. Соотношение надежности — устойчивости и гибкости — адаптивности может служить критерием, позволяющим принять решение о рациональной структуре, обеспечивающей совершенствование производства.

В самоорганизующихся системах можно управлять гибкостью и надежностью, изменяя число подсистем [15]. Каждая подсистема  $i$  имеет выходы: детерминированный строго определенный  $q_1$  и флуктуирующий с рассеянными характеристиками  $q_2$ . Полный выход подсистемы в первом приближении с учетом аддитивности материальных и информационных потоков

$$q^{(i)} = q_1^{(i)} + q_2^{(i)}. \quad (17)$$

Считая, что в условиях производства  $q^{(i)}$  — независимая случайная величина, полная величина выхода следующая:

$$Q = \sum_{i=1}^n q^{(i)}. \quad (18)$$

Полный выход (18), согласно предельной центральной теореме [15], растет пропорционально числу подсистем  $n$ , в то время как величина рассеяния растет пропорционально квадратному корню  $\sqrt{n}$  аналогично отношению (16). Эти оценки основаны на анализе линейного соотношения (17), на самом же деле обратная связь, присущая уравнениям (4)—(6) и (2), приводит к еще более значительному подавлению рассеяния характеристик.

Таким образом, совершенствование производственных систем с целью обеспечения автоматизированного управления технологическими процессами и объектами целесообразно проводить на основе создания условий для их самоорганизации. Реорганизация, обеспечивающая формирование условий самоорганизации, должна включать следующие этапы анализа производства:

выбор необходимых для изучения свойств и состояний системы (1), (12) и (18);

выделение и описание подсистем аналитическими и статистическими методами, уравнениями и функциями (2), (4)—(6) и (13)—(15), (17);

рассмотрение условий перехода подсистем из одного состояния в другое по критериям (3), (7)—(11) и (16).

В результате реализации предложенных этапов реорганизации производства создаются условия для самоорганизации технологических объектов и процессов формирования изделий.

## Summary

The paper deals with production system development that provides complex automatization, the stages of the production analysis being proposed for the purpose of creating conditions for self-organization of production objects and processes.

## Литература

1. Я щ е р и ц ы н П. И., К о ж у р о Л. М., С е н ч и л о И. А., Х е й ф е ц М. Л. // Докл. АН Беларуси. 1995. Т. 39, № 1. С. 117—120.
2. Х е й ф е ц М. Л. // Вестник машиностроения. 1994. № 2. С. 22—25.
3. Э б е л и н г В. Образование структур при необратимых процессах: Введение в теорию необратимых структур. М., 1979.
4. Х а к е н Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. М., 1991.
5. Ш и п к о А. А., П о б о л ь И. Л., Г о р е л и к Г. Е., К о р о л е в А. Е. // Вестн АН БССР. Сер. физ.-техн. наук. 1985. № 1. С. 24—28.
6. Я щ е р и ц ы н П. И., Б о р и с е н к о А. В., П о п о к Н. Н., Х е й ф е ц М. Л. // Докл. АН Беларуси. 1992. Т. 36, № 5. С. 429—432.
7. Я щ е р и ц ы н П. И., Д е е в Г. А., К о ж у р о Л. М., Х е й ф е ц М. Л. // Докл. АН Беларуси. 1993. Т. 37, № 4. С. 114—117.
8. Х е й ф е ц М. Л. // ИФЖ. 1994. Т. 67, № 1—2. С. 141—145.
9. Д е е в Г. Ф., Г е р а с и м е н к о Т. А., П е в з н е р Е. П. // Сварочное производство. 1993. № 2. С. 31—32.
10. Х е й ф е ц М. Л. // ИФЖ. 1994. Т. 67, № 1—2. С. 146—153.
11. П о п о к Н. Н., Х е й ф е ц М. Л. // Трение и износ. 1993. Т. 14, № 3. С. 552—562.
12. П о п о к Н. Н., Х е й ф е ц М. Л., М а к а р о в В. И. и др. // Машиностроитель. 1992. № 4. С. 15—16.
13. С и г о р с к и й В. П. Математический аппарат инженера. Киев, 1977.
14. П а с х в е р И. С. Закон больших чисел и статистические закономерности. М., 1974.
15. Х а к е н Г. Синергетика. М., 1980.

Физико-технический институт  
АН Беларуси,  
Институт надежности машин  
АН Беларуси,  
Полоцкий государственный университет

Поступило 28.08.95