

УДК 004.89

И. А. Гридасов, аспирант

Институт кибернетики им. В. М. Глушкова НАН Украины, г. Киев

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ОРГАНИЗАЦИИ КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассмотрена архитектура кибернетической производственной системы, предложены методы разработки заданий и управления кибернетической производственной системой, средства создания моделей производственного оборудования, а также систем накопления знаний в ходе производственного процесса.

Ключевые слова: *кибернетическая производственная система, неравенство Колмогорова, нечеткая логика, таблица влияний, имитационное моделирование.*

Введение. Со второй половины XX века многие страны вступили на путь интеграции национальных экономик. Находясь на разных стадиях развития, ряд стран оказался вне процесса глобализации, что привело к снижению их экономического потенциала. Попытки поиска решений путем ограничения уровня взаимодействия в большинстве случаев не дали положительных результатов. В связи с этим поиск эффективных решений и подходов к модернизации таких ключевых отраслей как машиностроение и приборостроение представляется исключительно актуальным.

Предшествующие технологические концепции, а именно: гибкие производственные системы (ГПС) [1], интегрированные производственные системы (ИПС) [2], оставаясь актуальными, создали базу для более эффективных решений, прежде всего за счет появления нового ресурса, доступного в неограниченном количестве, — Internet. Данный ресурс позволяет эффективно организовать обмен информацией между персоналом, технологическими машинами и комплексами.

Новые возможности позволяют модифицировать принципы автоматизации и расширить применение кибернетических технологий прежде всего за счет более гармоничной интеграции персонала и непрерывного повышения его квалификации. Параллельно осуществляется развитие программного обеспечения компьютерных средств и технологических машин, следовательно, развивается интеллект системы, снижается зависимость технологического комплекса от «человеческого фактора». Таким образом кибернетическая производственная система последовательно наращивает уровень самоорганизации.

Определение 1. Кибернетическая производственная система — это множество взаимосвязанных объектов, называемых элементами

системы, способных воспринимать, запоминать и перерабатывать информацию, а также обмениваться информацией между собой, созданное на основе широкого использования кибернетического инструментария [3, с. 70].

Особенностью КПС является и то, что технологические машины преимущественно встраиваются в имеющуюся инфраструктуру жизнеобеспечения, сводя к минимуму затраты на создание промышленных городов-центров.

Доступное программное обеспечение позволяет создавать достоверные модели планируемых к созданию производств. Имитационное моделирование даёт возможность однозначно оценивать реальную эффективность и таким образом сводит к минимуму риск невозврата кредитных ресурсов.

Предложенный подход позволяет до осуществления базовых инвестиций оптимизировать КПС, включая подготовку персонала, на основании математических методов и моделирования.

Данная технология синтеза производственных систем излагается впервые и обеспечивает, в отличие от принятого в настоящее время эвристического подхода, большую вероятность того, что характеристики создаваемой КПС будут соответствовать заданным.

Структурная схема и элементы кибернетической производственной системы. Определим производственную систему (ПС) как систему организации промышленного производства. Производство в широком смысле слова — это выпуск товаров, переработка сырья и оказание связанных с этим процессом услуг.

В последнее время актуальной является распределенная схема организации ПС, эффективность производства, в рамках которой, достигается за счет диверсификации и оптимального территориального размещения элементов ПС.

На рис.1 приведена структурная схема КПС.

Как видно из рисунка, КПС состоит из комплексов и отдельных единиц территориально сосредоточенных различных технологических машин, структурных единиц общего назначения, средств информационного обеспечения, программных систем, вычислительной техники и других элементов. Для осуществления функционирования КПС необходимо определить на структуре менеджмент как некоторую систему рациональных воздействий. В дальнейшем сосредоточимся на двух важнейших составляющих общего менеджмента — процесс менеджменте и информационном, включая менеджмент знаний.

КПС прежде всего ориентирована на выполнение индивидуальных и мелкосерийных заказов поток которых обладает достаточно устойчивыми в некотором интервале времени статистическими характеристиками.

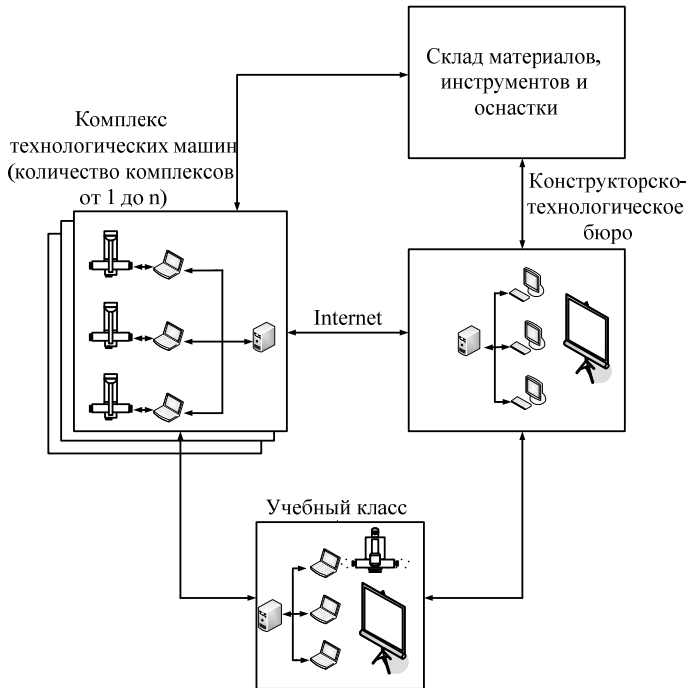


Рис. 1. Структурная схема КПС

Постановка задачи. Учитывая назначение КПС, сформулируем, две задачи, имеющие определяющее значение:

1. Разработка метода определения цели деятельности КПС для последующей оценки эффективности системы.
2. Разработка методов последовательного снижения энтропии КПС.

Причем необходимы решения не только для технических элементов системы, но и применительно к её активной составляющей — функциональному персоналу.

Метод разработки задания (цели) КПС. В силу особенностей современного производства на небольших распределённых предприятиях, в частности, из-за его индивидуального характера, многие важные параметры принимают случайные значения, но при этом изделия различные по форме имеют, тем не менее, много общего по существу, что обуславливает наличие особой закономерности — статистической устойчивости многих характеристик в широком временном интервале.

Разработка прогноза задания для КПС с учетом ограничений по ресурсам осложняется из-за отсутствия достоверной информации о затратах важнейших ингредиентов по предполагаемым к выполнению изделиям,

то есть имеет место планирование в условиях неопределенности данных. Естественной при этом является задача разработки удовлетворительного проекта плана при минимальных затратах на его составление.

Пусть:

N — количество изделий, планируемых к изготовлению;

S — количество рабочих машин в системе.

Обозначим через T_n^s величину, характеризующую длительность выполнения операций на s -ом станке для n -го изделия.

Опираясь на выводы теории расписания [4], будем считать проект-план удовлетворительным на достаточно большом интервале времени, если:

$$T_0 = \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^S T_n^s = T + \varepsilon, \quad (1)$$

причем,

$$\varepsilon \in [-0.1T, 0.1T], \quad (2)$$

где T_0 — суммарная трудоемкость изделий в планируемом периоде, T — суммарный (эффективный) фонд машинного времени в планируемом периоде, ε — погрешность.

Учитывая наличие статистической устойчивости, процедуру перспективного планирования будем осуществлять с учетом анализа множества изделий, имеющих место в прошлые периоды. Это улучшает понимание происходящих процессов с одной стороны и снизит влияние субъективного фактора с другой. Анализ ретроспективы необходим с целью выявления способа прогнозирования структуры трудоемкости совокупности планируемых к изготовлению изделий на основе информации, имеющейся в наличии к моменту составления перспективного плана. Пусть набор признаков, известных к моменту разработки перспективного плана будет представлен как элемент множества. Для определенности обозначим набор признаков, соответствующих некоторому изделию n , через X_n — элемент многомерного пространства вида (X_n^1, \dots, X_n^u) , где u — количество признаков. Структуру трудоемкости изделия n — T_n определим, по аналогии, как элемент, многомерного пространства вида $(T_n^1, T_n^2, \dots, T_n^S)$.

Таким образом, искомый способ прогнозирования — суть отображения:

$$X_n \rightarrow T_n, \quad \forall n, 1 \leq n \leq N. \quad (3)$$

Учитывая разнообразие конструктивных форм деталей и особенности конкретных производств, аналитическое определение отображения для основных видов изделий представляется затруднитель-

ным. Более удобным, в смысле универсальности и простоты, при достаточно высокой точности, (это будет показано ниже) является статистический подход, основывающийся на математических правилах классификации, которые формулируются и выводятся в терминах математической статистики.

В информационном плане процедуру отображения $X_n \rightarrow T_n$ будем рассматривать как процесс получения и преобразования информации. Учитывая статистический характер величин, необходимо обеспечить обоснованную точность при минимальных затратах.

Покажем, что вполне вероятной является разработка удовлетворительного планового значения при некоторой неопределенности значений T'_n , где:

$$T'_n = \sum_{s=1}^S T_n^s. \quad (4)$$

Причем, в некоторых случаях, затраты на уточнение являются неоправданными.

Введем обозначения:

$$M(T'_n) = T'_{n_{cp}} \approx \frac{T_0}{N}, \quad (5)$$

$$\xi_n = T'_{n_{cp}} - T'_n, \quad (6)$$

где M — операция вычисления математического ожидания.

Тогда по неравенству Колмогорова [5, с. 138]:

$$P \left\{ \sup_{1 \leq n \leq N} |\zeta_n| \geq a \right\} \leq \frac{1}{a^2} \sum_{n=1}^N D(\xi_n), \quad a > 0, \quad (7)$$

где

$$\zeta_n = \xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n, \quad n = 1, 2, \dots, N; \quad (8)$$

и

$$D(\xi_n) = M(\xi_n - M(\xi_n))^2 = M(\xi_n)^2 \quad (9)$$

(распределение случайной величины ξ_n — несмещенное и следовательно $M(\xi_n) = 0$).

Выразим через a суммарную трудоемкость

$$a = k T'_{n_{cp}} N = k T_0, \quad (10)$$

где k — коэффициент допустимого отклонения трудоемкости от планируемого уровня.

Тогда:

$$P \left\{ \sup_{1 \leq n \leq N} |\zeta_n| \geq a \right\} \leq \frac{ND(\xi_n)}{k^2 T_{n_{cp}}'^2 N^2} = \frac{D(\xi_n)}{k^2 T_{n_{cp}}'^2 N}, \quad (11)$$

Обозначим:

$$l = \frac{D(\xi_n)}{k^2 T'_{n_{cp}}{}^2} \quad (12)$$

и перепишем неравенство:

$$P \left\{ \sup_{1 \leq n \leq N} |\zeta_n| \geq k T'_{n_{cp}} N \right\} \leq \frac{l}{N}. \quad (13)$$

Для большинства реальных плановых заданий величина l/N имеет значительную величину, поэтому вероятно получение неудовлетворительного планового задания. В этом случае для снижения $\sum_{n=1}^N D(\xi_n)$ целесообразна кластеризация совокупности изделий. Эффективность разбиения рассмотрим для случая равномерного распределения трудоемкости изделий в некотором интервале. Пусть для определенности:

$$\begin{aligned} T'_{n_{\min}} &= b, \\ T'_{n_{\max}} &= c, \end{aligned} \quad (14)$$

где $T'_{n_{\min}}$ и $T'_{n_{\max}}$ — соответственно максимальная и минимальная трудоемкость изделий в совокупности. В этом случае плотность вероятности определится как:

$$\rho(T'_n) = \begin{cases} \frac{1}{c-b}, T'_n \in (b, c) \\ 0, T'_n \notin (b, c) \end{cases}. \quad (15)$$

Дисперсия распределения:

$$D(\xi) = \frac{(c-b)^2}{12}, \quad (16)$$

пусть

$$c-b = L, \quad (17)$$

если разбиение осуществляется на m разных классов (кластеров), то:

$$D(\xi_n) = \frac{L^2}{12m^2}. \quad (18)$$

Подставим значение дисперсии в правую часть (7) получим:

$$P \left\{ \sup_{1 \leq n \leq N} |\zeta_n| \geq k T'_{n_{cp}} N \right\} \leq \frac{L^2}{12m^2 k^2 T'_{n_{cp}}{}^2 N} \quad (19)$$

или, обозначив:

$$p = \frac{L^2}{12k^2 T'_{n_{cp}}{}^2}, \quad (20)$$

окончательно:

$$P \left\{ \sup_{1 \leq n \leq N} |\zeta_n| \geq kT'_{n_{cp}} N \right\} \leq \frac{P}{m^2 N}, \quad (21)$$

Полученное соотношение может быть использовано для предварительного назначения числа классов при классификации изделий, планируемых к изготовлению.

Пример. Рассмотрим численный пример:

Необходимо определить число классов разбиения при планировании производства изделий.

Статистические характеристики:

$$L = 600, T'_{n_{cp}} = 260, k = 0,1. \quad (22)$$

Определим p :

$$p = \frac{L^2}{12k^2 T'^2_{n_{cp}}} = \frac{600}{12 \cdot 0,1^2 \cdot 260^2} = 44. \quad (23)$$

Принимая за базовую вероятность выхода суммарной трудоемкости T_0 из интервала $T \pm 0,1T$ равной 0,1, запишем равенство, вытекающее из (21):

$$\frac{44}{m^2 N} = 0,1. \quad (24)$$

Для случая $D = 25$ единиц изделий на плановый период имеем:

$$m = \sqrt{\frac{44}{25 \cdot 0,1}} \approx 4. \quad (25)$$

Приведенные соотношения можно использовать для назначения числа классов разбиения, т.к. большинство реальных функций плотности вероятности, характеризующих распределение изделий в пределах вида по трудоемкости, имеет односторонние графики и равномерное распределение обеспечивает получения значения числа кластеров, являющегося ограничением сверху.

Метод последовательного снижения энтропии КПС. Для минимизации энтропии системы необходимо решать 2 задачи:

1. Оптимизация технологических параметров.
2. Повышение квалификации функционального персонала.

Оптимизация технологических параметров. Для решения данной задачи будем использовать управление на основе метода нечеткого управления [6, с. 145]. В данном методе органически объединены три составляющих необходимых для выбора параметров управления:

- 1) нечеткая оценка целей управления;

- 2) таблица влияния управляющих воздействий на параметры процесса, формализующая правила типа «при условии.... осуществляет...» в виде правил «если... то»;
- 3) экспертная оценка входных и выходных параметров управления.

Первые две составляющие, задаются экспертом. При достаточном количестве статистических данных они формализуются, и рекомендации для оператора выдаются автоматически, тем самым снижая уровень «человеческого фактора».

При использовании данного подхода вносятся существенные коррективы в алгоритм работы оператора. Теперь он играет роль не просто интерфейса между технологом и технологическим оборудованием, но принимает непосредственное участие в оптимизации технологического процесса.

Схема управления показана на рис. 2. На основе ранее полученных знаний технолог формирует первоначальный вариант управляющей программы (УП). Оператор, получив данную УП, вносит коррективы для оптимизации процесса, используя таблицу влияния. Полученный изменённый вариант с комментариями оператора получает технолог-эксперт, который принимает решение: заменить в информационной базе первоначальную УП на модифицированный вариант программы, частично модифицировать программу или игнорировать изменения.

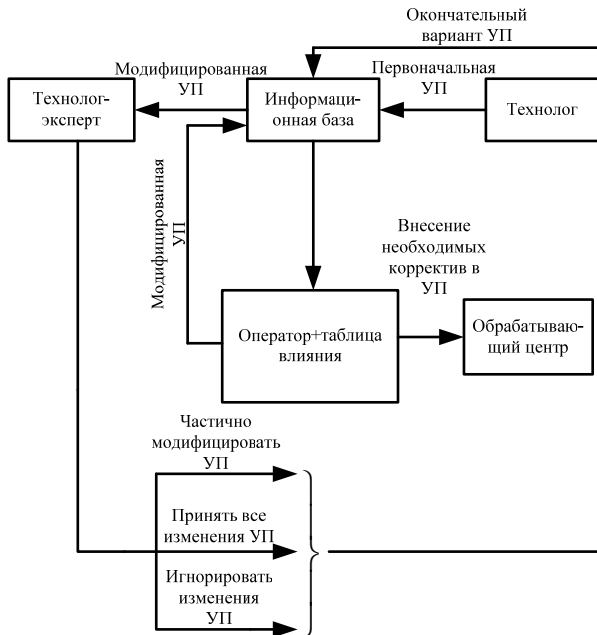


Рис. 2. Структура метода управления

Рассмотрим таблицу влияния и её роль в данном методе. Структура таблицы представлена в таблице 1.

Пусть $a_i, i = 1, \dots, v$; и $\beta_j, j = 1, \dots, r$; — параметры управления и качественных показателей технологического процесса, соответственно. Введём обозначения:

$\uparrow, \uparrow\uparrow, \uparrow\uparrow\uparrow$ — слабое, нормальное и сильное повышения β_j при повышении (в заданных пределах) a_i ,

$\downarrow, \downarrow\downarrow, \downarrow\downarrow\downarrow$ — слабое, нормальное и сильное понижения β_j при понижении (в заданных пределах) a_i

и

— — параметры a_i и β_j независимы.

Под терминами «слабое», «нормальное», «сильное» подразумевается соответствующая взаимозависимость входных и выходных параметров. Нормирование шага изменения a_i и уровней влияния на β_j определяется экспертно при разработке оптимального управления для каждого конкретного случая.

Таблица 1

Пример таблицы влияния параметров управления на характеристики детали

	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5
β_1	$\uparrow\uparrow$	$\downarrow\downarrow\downarrow$	$\uparrow\uparrow$	$\uparrow\uparrow$	$\uparrow\uparrow\uparrow$
β_2	\downarrow	—	\uparrow	$\uparrow\uparrow$	\uparrow
β_3	$\downarrow\downarrow$	\uparrow	$\downarrow\downarrow$	$\downarrow\downarrow$	$\uparrow\uparrow$
β_4	$\uparrow\uparrow\uparrow$	$\downarrow\downarrow$	$\uparrow\uparrow$	—	$\downarrow\downarrow$

Цель — найти кортеж $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_v)$, $i = 1, \dots, v$; при котором функция качества

$$F(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_j, \dots, \beta_r) \rightarrow \max. \quad (26)$$

При достаточной информационной базе изготовленных изделий, проводится кластеризация изделий по типовым технологическим процессам.

Типовой технологический процесс характеризуется единством содержания и последовательности большинства технологических изделий с общими конструктивными признаками. Типовой представитель — изделие, обладающее наибольшей совокупностью свойств изделий, вошедших в эту группу [7, с. 293]. Для каждого типового

технологического процесса закрепляется таблица влияния, оптимизированная для типового представителя, которая незначительно меняется в зависимости от особенностей конкретного изделия. Это позволит сократить время производства.

Повышение квалификации функционального персонала. Для повышения квалификации персонала используется компьютерное моделирование технологического оборудования (рис. 3). Что позволяет обучать персонал ещё до прибытия нового оборудования на предприятие (период изготовления и поставки станка исчисляется месяцами). В ходе обучения определяются характеристики операторов как элементов системы управления, и осуществляется их сравнительная оценка.

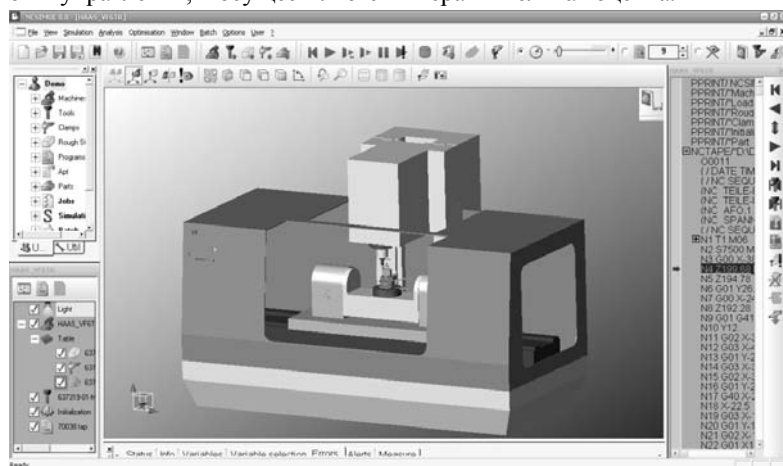


Рис. 3. Визуализации процесса обработки детали на вертикально-фрезерном станке с помощью программного комплекса NCSimul

Заключение. Предложенные в статье подход, методы, технические и программные средства позволяют на их основе осуществлять структурное проектирование КПС, её имитационное моделирование, в процессе которого осуществляется подготовка персонала, а также определять уровень эффективности варианта проекта. Дополнительно предложено решение по совершенствованию компьютерной системы управления технологическим оборудованием, позволяющее последовательно повышать эффективность за счет накопления данных в ходе производства, которое предложено рассматривать и как технологический эксперимент.

Список использованной литературы:

1. Лещенко В. А. / Гибкие производственные комплексы / В. А. Лещенко, В. М. Кисилев, Д. А. Куприянов и др. ; под. ред. П. Н. Белянина и В. А. Лещенко. — М. : Машиностроение, 1984. — 384 с.

2. Аншеева А. О. Интегрированные производственные системы : учебное пособие / А. О. Аншеева, И. Б. Челиаиов, Б. С. Никифоров. — Улан-Удэ : Изд-во ВСГТУ, 2006. — 60 с.
3. Глушков В. М. Кибернетика. Вопросы теории и практики / В. М. Глушков. — М. : Наука, 1986.
4. Конвей Р. В. Теория расписаний / Р. В. Конвей, В. Л. Максвелл, Л. В. Миллер. — М. : Наука, 1975. — 360 с.
5. Гихман И. И. Введение в теорию случайных процессов / И. И. Гихман, А. В. Скороход. — М. : Наука, 1977. — 568 с.
6. Асаи К. Прикладные нечеткие системы / К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др. ; под редакцией Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно ; пер. с япон. — М. : Мир, 1993. — 368 с.
7. Маталин А. А. Технология машиностроения / А. А. Маталин. — Л. : Машиностроение, 1985. — 496 с.

The architecture of cybernetic industrial system has been considered, methods of design tasks and control for cybernetic industrial system, means of creating models of the industrial equipment and knowledge accumulation system during production are proposed.

Key words: *cybernetic industrial system, Kolmogorov's inequality, fuzzy logic, the table of influences, simulation modelling.*

Отримано: 15.04.2011

УДК 004.94

В. А. Іванюк*, канд. техн. наук,
В. О. Тихоход**, канд. техн. наук,
С. Ю. Протасов***, асистент

*Кам'янець-Подільський національний університет
імені Івана Огієнка, м. Кам'янець-Подільський,

**Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ,

***Черкаський національний технологічний університет, м. Черкаси

ІНТЕГРАЛЬНІ МОДЕЛІ ІРАЦІОНАЛЬНИХ ТА ТРАНСЦЕНДЕНТНИХ ЛАНОК

У статті розглядаються типові ланки об'єктів з розподіленими параметрами та їх інтегральні моделі. Побудовано програмні модулі за допомогою квадратурних методів і на основі обчислювальних експериментів досліджено ефективність даного підходу.

Ключові слова: *динамічні моделі, типові ланки, інтегральні моделі, передатні функції, оператор Вольтерри, Matlab.*

При моделюванні динамічних об'єктів, які містять ланки з розподіленими параметрами актуальними і не до кінця розв'язаними є задачі, подібно до задач моделювання об'єктів із зосередженими параметрами, формування елементарних ланок за допомогою яких можна було б фор-