

# УСТОЙЧИВОСТЬ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ

В.Ю. Столбов, М.Б. Гитман, С.А. Федосеев

Пермский государственный технический университет

Предложен принцип устойчивости иерархической многоуровневой модели управления сложной производственной системой. Сформулированы достаточные условия устойчивости по Адамару, с помощью которых определяются число необходимых структурных уровней и степень неопределенности модели на каждом уровне. Дано сравнение современных систем производственного планирования и управления JIT и MRP.

## ВВЕДЕНИЕ

При математическом моделировании сложных производственных систем и процессов широко применяется структурный подход, заключающийся в построении нескольких связанных между собой моделей на различных структурных уровнях [1, 2]. Однако, как отмечено в работе [3], отдельные подсистемы обычно настолько сильно взаимосвязаны между собой множеством прямых и обратных связей, что изменение одной из них может повлечь за собой значительные изменения в других частях системы и потере ее устойчивости. Поэтому возникает проблема обоснования необходимого числа уровней декомпозиции и установления связей между ними, при которых структурная модель была бы устойчивой по Ж. Адамару [4]. В этом случае важную роль играет количественная информация, получаемая на каждом структурном уровне системы управления, и степень ее неопределенности [5].

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ УСТОЙЧИВОСТИ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ

Пусть задана  $n$ -уровневая структурная веерная модель управления некоторой производственной системой, и на каждом уровне связь между входными и выходными параметрами задана с помощью некоторого оператора  $F$ , определенного с точностью до конечного числа неопределенных параметров:

$$J_i = F_i(x_i, y_i), \quad i = \overline{1, n},$$

где  $J_i$  — вектор выходных параметров на  $i$ -м уровне;  $x_i$  — вектор входных параметров на  $i$ -м уровне,

включая и параметры управления;  $y_i$  — вектор неопределенных параметров на  $i$ -м уровне размерности  $m_i$ .

Таким образом, полагается, что степень неопределенности системы на каждом структурном уровне определяется некоторой мерой  $m(y_i)$ , зависящей от числа и типа неопределенных параметров. Отметим, что при моделировании производственных систем и процессов оператор  $F$  обычно представляет собой систему нелинейных алгебраических или дифференциальных уравнений, а вектор  $y$  связан с отсутствием полной информации о предыстории процесса, а также с внешним влиянием окружающей среды. Эти параметры обычно входят в краевые условия задачи управления и носят случайный характер. Кроме этого, вектор  $y$  может содержать неопределенные параметры, связанные с незнанием свойств самой системы и невозможностью их определения из прямых экспериментов. В последнем случае эти параметры называются внутренними переменными или параметрами порядка системы и возникает необходимость построения моделей на более мелких масштабных уровнях для их описания. Будем считать, что связь между уровнями модели задается следующими соотношениями

$$y_i = f_i(x_j, y_j), \quad i, j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где  $f_i$  — заданные агрегирующие операторы  $i$ -го уровня.

Следуя системному подходу [6], можно считать, что неопределенные параметры на  $i$ -м уровне зависят от параметров системы только ближайших уровней, т. е. в соотношениях (1)  $j = i - 1, i + 1$ .

Будем считать, что задача  $J = F(x, y)$ ,  $\forall y \in Y$ , на каждом структурном уровне является устойчивой



по Ж. Адамару [4] на тройке метрических пространств  $(G, X, Y)$ . Необходимо отметить, что если параметр  $y$  является случайной величиной, то пространства  $G, Y$  должны иметь вероятностную меру [6].

В этом случае неустойчивость всей структурной модели будет связана только с некорректностью задачи (1). Эта некорректность может быть двух типов. Первая связана с попыткой определения вектора  $y$  из решения обратной задачи на данном структурном уровне при фиксированных значениях вектора  $x$ . Тогда оператор  $f = F^{-1}$  и задача  $y = F^{-1}(J, \bar{x})$  называется задачей идентификации и в общем случае является некорректной [4].

Второй тип некорректности связан с задачей синтеза производственной системы [2], когда вектор  $y_i$  является агрегат-оператором векторов  $x_{i+1}, y_{i+1}$ . Очевидно, что вектору  $y_i$  могут соответствовать различные системы взаимодействующих элементов на  $(i+1)$ -м структурном уровне, заданном оператором  $f_{i+1}$ . Другими словами, от того, какие неопределенности и управляющие решения возникают на нижних уровнях, зависит уровень неопределенности на верхних уровнях системы управления. Важную роль играют способы передачи информации с нижнего на верхний уровень (обратные связи), которые задаются видом оператора  $f_{i+1}$ . Если обратные связи являются положительными, то система управления становится неустойчивой даже по отношению к неопределенностям, возникающим внутри самой системы, что часто наблюдается на практике.

## 2. ПРИНЦИП УСТОЙЧИВОСТИ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ

Далее будем рассматривать только второй тип некорректности, который напрямую связан с необходимостью построения иерархической структурной модели управления. Как известно [5], любой вид иерархии связан с потерей части информации при переходе с одного уровня на другой. Иерархия считается удачной относительно поставленной цели, если уровень неопределенности системы снижается по сравнению с системой без иерархии. С другой стороны, согласно закону сохранения организации [5], замкнутая система на каждом структурном уровне имеет постоянную сумму реализованной неопределенности (организации) и нереализованной неопределенности (деорганизации). Это означает, что для устойчивой производственной системы с уменьшением масштабного уровня число  $K$  элементов системы возрастает, но организация этой подсистемы также должна возрастать, а неопределенность по отно-

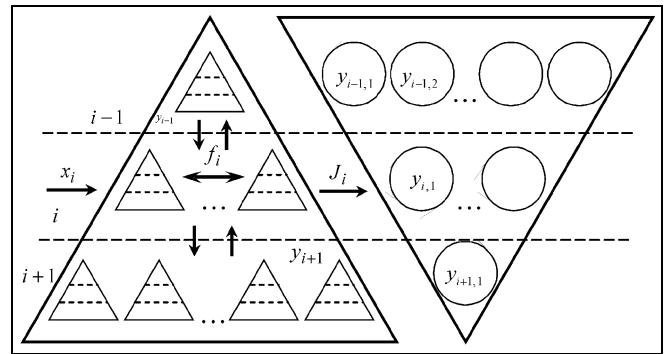


Рис. 1. Иерархическая структура модели системы управления

шению к поставленной цели уменьшаться. Другими словами, при увеличении элементов системы ее организованность должна возрастать благодаря механизмам самоорганизации и проявляться в некотором новом системном свойстве, которое можно описать меньшим числом параметров порядка  $u$ . Это схематично можно отобразить в виде двух конусов (рис. 1). Первый из них представляет иерархическую структурную модель управления системы, а второй (перевернутый) — необходимое снижение неопределенности системы при увеличении структурного уровня.

Очевидно, что если выполняется условие  $\lim_{i \rightarrow n} m_i = 0$ , то модель становится устойчивой не только на  $n$ -м уровне, но и в целом. Однако на практике при математическом моделировании сложных производственных систем трудно добиться, чтобы неопределенность полностью бы исчезала. Это ведет к неустойчивости модели и неоднозначности решения. Поэтому необходимо стремиться к меньшему числу неопределенных параметров на каждом структурном уровне, а на последнем уровне степень неопределенности  $m$  не должна превышать заданного числа  $\varepsilon$ , при котором задача (1) еще остается корректной. Например, если мерой неопределенности системы является число параметров неопределенности, то в качестве  $\varepsilon$  можно взять 1. Из этого условия можно находить необходимое число структурных уровней  $n^*$  (рис. 2). Управляя этим параметром порядка на заданном множестве, можно добиться достижения поставленной цели при устойчивом поведении структурной модели. Все вышесказанное можно сформулировать в виде следующего принципа устойчивости структурной модели [7].

*Для абсолютной устойчивости иерархической  $n$ -уровневой структурной модели замкнутой производственной системы достаточно, чтобы функция, задающая неопределенность параметров на каждом структурном уровне, была монотонно убывающей и*

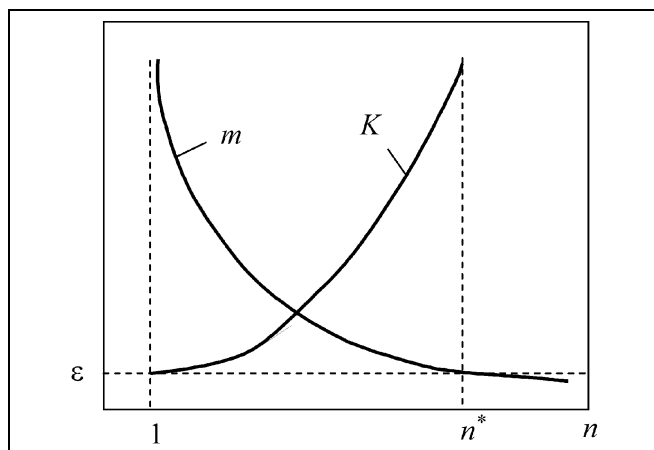


Рис. 2. Зависимость неопределенности системы от числа уровней

выполнялось условие  $\lim_{i \rightarrow n} m_i = 0$ . Для  $\varepsilon$ -устойчивости системы должно существовать такое  $n^*$ , при котором  $\lim_{i \rightarrow n} m_i \leq \varepsilon$ .

Сформулированный принцип несложно обобщить на случай стохастической устойчивости [8], если ввести вероятностную меру неопределенности параметров модели.

### 3. УСТОЙЧИВОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ

Рассмотрим применение данного принципа к построению системы управления дискретным производством. Управление производством представляет собой сложный процесс, протекающий во времени в условиях недостаточной текущей информации и непрерывно возникающих конфликтов между элементами системы, вызванных различными интересами у элементов, связанных как производственными, так и социальными отношениями. Как известно [2], обычно планирование и управление производством осуществляется на трех структурных уровнях: стратегическом, тактическом и оперативном. На каждом из них имеется свой необходимый объем информации, без которого управление становится невозможным. На стратегическом уровне решается задача формирования производственной программы на планируемый период времени с учетом спроса на планируемую продукцию, ценовой политики, мощности предприятия, возможных действий конкурентов, а также выгодности имеющихся заказов. Результатом ее решения является главный календарный план производства, оптимальный в смысле прибыльности предприятия, но учитывающий только ограничения на суммарную мощность и основные ресурсы предприятия. Поэтому без учета интере-

сов производства этот план вряд ли будет выполнен. Проблема заключается в том, как учесть все потребности производства, не снизив значительно прибыльности предприятия. Здесь могут применяться различные управленческие решения. Обычно в план закладывается определенный страховой запас на ресурсы, который затем используется на тактическом и оперативном уровнях управления. Очевидно, что чем больше запас, тем устойчивей производственная система, но эффективность ее снижается. Поэтому необходимо уметь рассчитывать минимальный запас, при котором система оставалась бы устойчивой к изменениям состояния отдельных ее элементов. Для этой цели при построении модели системы управления производством необходимо включить в нее так называемые интеллектуальные элементы [9, 10], отвечающие за поддержку принимаемых управленческих решений. В качестве таких элементов могут выступать оптимизационные модели календарного планирования и распределения ресурсов на тактическом и оперативном уровнях управления [10]. Задавая уровень неопределенности на оперативном уровне, с помощью этих элементов возможно обосновать оптимальный план производства, обеспечивающий устойчивость производственной системы.

Наглядными примерами практического применения принципа устойчивости структурной модели могут служить системы производственного планирования JIT (Just In Time — точно в срок) и MRP (Material Requirements Planning — планирование потребности в материалах) [2]. Система JIT относится к вытягивающему типу. Она определяется как система производства необходимых компонентов изделий в требуемых количествах точно в то время, когда в них возникает потребность. Момент возникновения потребности в изделиях для данного производственного подразделения определяется следующим по технологической цепочке производственным подразделением, которое «вытягивает» из предшественника требуемые комплектующие путем обращения к нему с соответствующим заказом. В результате наибольшая часть неопределенных для предприятия параметров сосредотачивается на верхних уровнях управления, сталкивающихся с независимым спросом на этапе составления бизнес-планов, планов продаж и операций, а также главных календарных планов производства. На нижних уровнях управления в производственных подразделениях неопределенные параметры практически отсутствуют, так как действия каждого из этих подразделений оперативно и точно регулируются заказами, поступающими от следующего смежного подразделения. Поэтому данную модель системы управления можно отнести к абсолютно устойчивой. Однако для ее внедрения на предприятии необходимо ор-



ганизовать полный порядок с учетом незавершенного производства и выполнением производственных заказов в срок, что, конечно, не так-то просто реализовать на практике и потому примеров удачного внедрения подобной модели системы управления совсем мало [2].

Система MRP относится к выталкивающему типу. Она определяется как система, планирующая наличие необходимых компонентов изделий в нужном месте в установленное время и в требуемом количестве для наиболее полного удовлетворения зависимого спроса на них. Планирование в системе MRP осуществляется централизованно, при этом каждое производственное подразделение получает конкретное задание на плановый период и отчитывается о его выполнении перед центральным плановым органом предприятия. Каждое отдельное подразделение при таком планировании существует как бы изолированно. Его не интересует, что будет с продукцией, которое оно отправило в следующее смежное подразделение или на промежуточный склад. В результате число неопределенных параметров для производственных подразделений предприятий, применяющих систему MRP, увеличивается. При этом резко возрастает роль обратных связей, благодаря которым корректируются производственные планы отдельных подразделений предприятия. Для уменьшения возникающей неопределенности производственные подразделения создают страховые запасы необходимых компонентов изделий, что отрицательно сказывается на эффективности работы предприятия. Размер этих страховых запасов может служить мерой неопределенности при управлении производством на каждом уровне планирования. Поэтому данную модель управления можно считать  $\epsilon$ -устойчивой в том случае, когда размер страхового запаса достаточен, чтобы уровень неопределенности на нижнем уровне планирования позволял выполнить все производственные задания в срок. При попытке необоснованного снижения страховых запасов с целью повышения эффектив-

ности производства возможна потеря устойчивости системы управления MRP, что часто наблюдается на предприятиях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

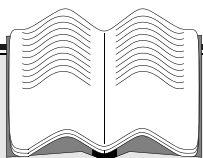
Применение предложенного принципа устойчивости структурной модели позволяет построить иерархическую трехуровневую модель управления и рассчитать с ее помощью оптимальный план производства, обеспечивающий не только его эффективность, но и устойчивое развитие предприятия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Введение в математическое моделирование: Учебное пособие / Под ред. П.В. Трусова. — М.: Логос, 2005. — 440 с.
2. Дэниел О'Лири. ERP-системы. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. — М.: ООО «Вершина», 2004. — 272 с.
3. Прангшвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. — М.: СИНТЕГ, 2000. — 528 с.
4. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. — М.: Наука, 1986. — 288 с.
5. Горский Ю.М. Системно-информационный анализ процессов управления. — Новосибирск: Наука, 1988. — 327 с.
6. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа. — СПб.: Изд-во СПб ГТУ, 2001. — 521 с.
7. Столбов В.Ю., Гитман М.Б. Принцип структурной устойчивости и его применение при математическом моделировании физико-механических систем // Материалы 2-й междунар. конф. «Инфоком-2». — Ставрополь, 2006. — С. 123—129.
8. Gitman I.M., Gitman M.B. and Askes H. Quantification of stochastically stable representative volumes for random heterogeneous materials // Archive of Applied Mechanics (Ingenieur Archiv). Publisher: Springer-Verlag GmbH. — 2006. — Vol. 75, N 2, 3. — P. 79—92.
9. Цыганов В.В., Бородин В.А., Шишкин Г.Б. Интеллектуальное предприятие. — М.: Университетская книга, 2004. — 770 с.
10. Столбов В.Ю., Гитман М.Б., Федосеев С.А. Структурная модель интеллектуальной системы управления производством // Материалы 2-й междунар. конф. «Инфоком-2». — Ставрополь, 2006. — С. 189—194.

☎ (342) 239-12-97, e-mail: svu@matmod.pstu.ac.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.Ю. Рутковским. □



## Уважаемые читатели!

С экстратекстом журнала "Проблемы управления" вы можете ознакомиться в Интернете, посетив сайт <http://www.extratext.by.ru/>.

Экстратекст — это новый инструмент информационной поддержки инноваций.

Экстратекстом научной статьи мы называем информационный объект, элементами которого являются: Библиографическое описание, Аннотация, Введение, Заключение (выводы) и Список литературы.

Экстратекст дает сжатое представление о перечне и сути рассматриваемых вопросов, полученных результатах, позиции и эрудиции автора.

Об экстратексте читайте статью В.Л. Эпштейна в следующем номере журнала.

Редакция