

УДК 658.012.122

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ПРОДУКТОВ*И.П. Внуков, канд. техн. наук, В.С. Пигнастая**Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»*

Предпринята попытка описания производственных процессов с точки зрения «физической экономики», на основе использования функции распределения эквивалентных продуктов, что позволяет наперед с заданной точностью осуществить описание фактически действующей производственной системы.

Зроблено спробу описання виробничих процесів з точки зору “фізичної економіки”, на основі використання функції розподілення еквівалентних продуктів, що надає можливість насамперед із заданою точністю здійснити описання фактично існуючої виробничої системи.

The attempt was undertaken of manufactory process description on the view of “physical economic” by using the function of distribution of equivalent products that allow to released description of really existence manufactory system in advance with assignment precision.

Проблема управления предприятием состоит в исследовании влияния различных внешних и внутренних событий на параметры бизнес-процессов и в корректном изменении этих параметров для достижения требуемой эффективности функционирования всей системы.

Сложность управления состоит в том, что не только предприятие «движется» к целевому назначению, но и само пространство, в котором происходит движение, изменяется. Правильно поставленное управление позволяет: получить информацию, необходимую для расстановки приоритетов в деятельности фирмы; планировать дальнейшую работу; сформировать базу для оценки перспективности открывающихся возможностей; обеспечить механизм контроля за исполнением принятых решений.

На сегодняшний день бурно развиваются малые и средние предприятия в таких отраслях как легкая, пищевая промышленность, производство стройматериалов, отдельных комплектующих в машиностроении и т.д. Отличительной особенностью таких предприятий является то, что они уже могут позволить себе производить продукцию крупными партиями (сериями), но при этом не могут позво-

лить себе допустить даже малейшие ошибки в производственной политике в сложившихся рыночных условиях. Для этого им необходимо быстро реагировать на изменения спроса со стороны потребителей, выбрать цель и стратегию развития предприятия. На этапе разработки программы по достижению цели труднее всего определить, насколько близка цель программы с направлениями, по которым движется предприятие, т.е. предусматривается увязка задачи достижения с ресурсами, формированием структуры и установлением пропорций производства в соответствии с потребностями в том или ином продукте. При этом рынок воздействует на производство путем реакции потребителя на уже произведенную продукцию. План выступает как попытка предвидеть реакцию потребителя, в соответствии с чем и нужно составлять программу производства. Обычно при планировании проводят анализ состояние предприятия на основе имеющейся статистики, исходя из чего делают прогноз, что будет при определенных экономических условиях. Нестабильность экономики, изменение спроса покупателей и конкуренция уменьшают точность прогноза, поэтому использование описанного порядка планирования без существенной доработки приво-

дит к значительному перерасходу средств. Для этого необходимо разработать унифицированную модель, которая позволяла бы представить производственный процесс для предприятия с серийным выпуском продукции с учетом внешних и внутренних факторов.

В теоретической экономике существует несколько направлений. Наиболее развита классическая (и неоклассическая) экономика. Она хорошо оснащена математически и сейчас представляет собой замкнутое внутри себя направление, со своим специфическим понятийным аппаратом, своей аксиоматикой и методологией [1]. Это направление обособлено от естественных наук. Такое положение теоретической экономики вызывает негативную реакцию и со стороны прогрессивных экономистов, а также специалистов в области моделирования процессов, происходящих в реальном обществе, по следующим причинам:

- самоизоляция препятствует развитию любой науки и сейчас, во время интеграции наук и развития смежных дисциплин, это особенно ощутимо;
- неоклассическая экономика не смогла ни предвидеть, ни объяснить развитие реальной экономики за последние десятилетия. Об этом упоминали Нельсон и Уинтер еще 20 лет назад [2], и события последнего времени подтверждают справедливость их предвидения;
- в естественных науках накоплен богатый опыт построения и исследования динамических моделей развивающихся систем, к которым относится производство.

В результате появились альтернативные направления. Их объединяет общая идея о том, что теоретическая экономика не должна обособляться от других естественных наук, а, напротив, должна развиваться вместе с ними и использовать их достижения [3]. В первую очередь речь идет о теории развивающихся систем (ее называют также синергетикой). В ней используется арсенал современной математики, но предпочтение отдается теории ди-

намических систем. Важным является то, что динамические модели в экономике позволяют качественно описать переходы между состояниями и выявить главные параметры, управляющие этими процессами. Кроме того, существует понятие «физическая экономика», которое предложил экономист Линдер Ларуш [4]. Под словом «физическая» Ларуш понимает экономику, построенную по образу и подобию точных и естественных наук. Необходимо понять причины происходящего и объяснить их на принятом в естественных науках языке.

При большом числе выпускаемых изделий использование сложных методик по управлению производством данных изделий оказывается громоздким и малоэффективным, а стоимость внедряемых информационных систем может перекрыть предполагаемую экономию. Поэтому в зависимости от затрат на производство или вида технологического процесса производимые изделия делят на группы.

В данной статье предпринята попытка рассмотреть экономические вопросы с точки зрения статистической механики.

При построении моделей, описывающих различные физические процессы, довольно часто используют подход, когда случайные параметры рассматриваются детерминированными или описываются наперед заданной функцией распределения случайной величины. Данный подход находит в последнее время широкое применение и в других теориях, например, управлении запасами и управлении ресурсами, когда спрос или потребление задается одним из известных законов, полученных главным образом из статистики поведения подобных систем. В частности, решение задачи будет определяться выбором функции распределения, которая обычно аппроксимируется на основании имеющейся статистики для соответствующего продукта (услуги) или заключения экспертов, если такая статистика отсутствует. С другой стороны, каждый новый продукт (услуга) обладает своими присущими только ему, конкретными параметрами, которые, в частности, и

определяют вид функции распределения. Таким образом, задача получения реальной функции распределения позволяет с наперед заданной точностью осуществить описание фактически действующей производственной системы.

Для построения модели производственного процесса введем понятие *эквивалентный продукт*. Параметры и величины, описывающие состояние *эквивалентного продукта* системы, будем называть микропараметрами и микровеличинами, а подход описания производственной системы через них – микроописанием.

Исходя из сказанного выше, рассмотрим варианты выбора *эквивалентного продукта* для моделирования различных производственных систем. Так, например, при построении модели производственного процесса для однопродуктового предприятия с серийным выпуском продукции за эквивалентный продукт модели может быть взято выпускаемое производством *изделие*. Подобный подход применим и для производственного предприятия, серийно выпускающего несколько видов продукта, каждый из которых при построении модели серийного производственного процесса характеризуется своими законами продвижения по этапам технологической цепочки производственного процесса. При изготовлении предприятием большого количества изделий разных видов, сильно отличающихся друг от друга по технологическим признакам, времени и себестоимости изготовления, за *эквивалентный продукт* целесообразно брать понятие *договор*, заключенный на выпуск продукции соответствующего ассортимента по соответствующей цене и в соответствующем количестве. Часто в производственной практике название *договор* заменяют на *заказ*. Показательная система работы предприятия позволяет, с одной стороны, отслеживать выполнение заказов, представляющих собой выполнение обязательств по заключенному договору со сторонним предприятием, с другой стороны, минимизировать складские запасы как сырья и материалов, так и готовой про-

дукции. Однако недостаток подобного подхода при построении моделей производственного процесса состоит в том, что каждый заказ имеет присущие только ему параметры: например, срок изготовления продукции по договору T_d и сумма затрат на изготовление продукции по договору S_d , что приводит к большому количеству переменных $[T_{d_j}, S_{d_j}]$ в модели производственного процесса предприятия, природа возникновения которых носит вероятностный характер (j – индекс соответствующего заключенного договора). Если количество договоров за отчетный период небольшое, то обычно в целях повышения эффективности системы управления производственным процессом используется разбиение договоров на более мелкие этапы работ (разделение на подзаказы, недельные или декадные задания). Следующий подход заключается в переводе выпускаемой производством однотипной номенклатуры к *базовому изделию*, которое может быть принято за *эквивалентный продукт*. Для описания состояния *базового изделия* введем, например, понятие *эквивалентный срок* изготовления T_d и понятие *эквивалентная себестоимость* S_d .

Количество вариантов выбора *эквивалентного продукта* системы может быть достаточно велико. Окончательный вариант выбора *эквивалентного продукта* системы определяется, с одной стороны, получением наиболее простой в решении модели производственного процесса, с другой стороны, наиболее близко описывающей реальный производственный объект. Принимая во внимание рассмотренные выше варианты выбора *эквивалентного продукта*, перейдем к построению модели, описывающей серийное производство на основании микропараметров производственной системы.

Главное в таком описании состоит в том, что состояние производственной системы определяется состоянием множества элементов *эквивалентного продукта* системы. Поведение каждого

эквивалентного продукта подчиняется определенным законам. Эти законы определяются установленными на предприятии технологическими процессами изготовления конкретно взятой продукции, производственным планом, трудовыми ресурсами, количеством оборудования и его готовности к выполнению работ. Состояние производственной системы, ориентированной на выпуск *эквивалентных продуктов*, в некоторый момент времени будет задано, если будет задано состояние каждого элемента из множества *эквивалентного продукта*, а состояние производственной системы в любой другой момент времени может быть просто определено из решения уравнений состояния элементов множества *эквивалентного продукта*. Однако, если количество элементов *эквивалентных продуктов* N_j много больше единицы, то решить систему из N_j уравнений состояния элементов *эквивалентного продукта*, описывающих состояние производственной системы, практически невозможно. Последнее уточнение требует перехода от микроописания производственной системы к макроописанию, включающему в себя некий элемент вероятностной природы. Основная трудность в таком описании состоит в том, чтобы выделить те основные характеристики множества всех микросостояний элементов *эквивалентного продукта*. Тем самым, макровеличины посредством точных уравнений связаны с другими макровеличинами через интегральные параметры микрорассмотрения. Таким образом, значения одних лишь макровеличин в настоящем не определяют однозначно их значения в будущем, т.е. макровеличины изменяются во времени не автономно.

Для наглядности рассмотрим однопродуктовое предприятие с серийным выпуском продукции. За *эквивалентный продукт* модели возьмем изделие. Состояние *эквивалентного продукта* в виде изделия будем описывать макровеличинами (S_j, μ_j) , где S_j (грн) - сумма общих затрат, поне-

сенных предприятием на изготовление j -го элемента *эквивалентного продукта* на текущий момент времени, выраженных в гривнах;

$\mu_j = \frac{\Delta S_j}{\Delta t}$; $\Delta t \rightarrow 0$ (грн/ч) - сумма затрат в единицу времени, которые несет предприятие на изготовление j -го элемента *эквивалентного продукта* в текущий момент времени.

Состояние производственной системы в некоторый момент времени будет определено, если определены в некоторый момент макровеличины $(S_1, \mu_1; \dots; S_{N_j}, \mu_{N_j})$ всех элементов конкретного *эквивалентного продукта*. Положение системы в любой другой момент времени может быть найдено из системы уравнений состояния множества элементов *эквивалентного продукта*:

$$\begin{cases} \frac{dS_j}{dt} = \mu_j, \\ \frac{d\mu_j}{dt} = f_j(t), \end{cases} \quad j = 1..N_j$$

где $f_j(t)$ - функция, характеризующая установленные на предприятии технологические процессы изготовления конкретно взятого *эквивалентного продукта* в соответствии с производственным планом, трудовыми ресурсами, количеством и характеристиками оборудования.

Вместо того, чтобы рассматривать начальное состояние производственной системы макровеличинами $(S_1, \mu_1; \dots; S_{N_j}, \mu_{N_j})$, рассмотрим дискретную функцию распределения $\chi(t, S, \mu)$ числа N_j элементов *эквивалентного продукта* в фазовом пространстве (t, S, μ) . Предполагается при этом, что функция распределения соответствующим образом нормирована.

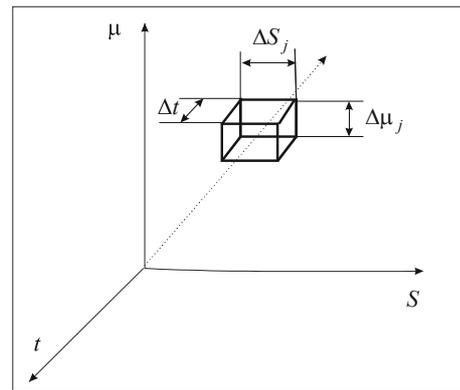
При больших N_j эта функция распределения будет хорошо аппроксимироваться *непрерывной* функцией распределения $\chi(t, S, \mu)$. Запишем макровеличины производственной системы в тер-

минах функции распределения. Если производственная система состоит из нескольких множеств разного вида эквивалентных продуктов, то для описания системы потребуется получить вид функции распределения для каждого множества конкретного эквивалентного продукта.

Идея описания эквивалентного продукта производственной системы в фазовом пространстве (t, S, μ) с помощью непрерывной функции распределения в какой-то мере парадоксальна. При больших N_j такое описание вполне разумно. Однако с качественной точки зрения оно совершенно неприемлемо, так как при любом конечном N_j истинная функция распределения будет всегда дискретна. Поэтому если мы хотим на основании такого описания сформулировать строгие утверждения, то придется сделать предельный переход при $N_j \rightarrow \infty$. Здесь, собственно, и возникает макроописание состояния производственной системы (рисунок). Его можно представить себе, например, следующим образом. Разобьем фазовое пространство (t, S, μ) на большое число ячеек и вместо того, чтобы фиксировать точные значения микровеличин (S_j, μ_j) каждого эквивалентного продукта, будем приближенно характеризовать состояние производственной системы, задавая число эквивалентных продуктов в каждой ячейке (число заполнения). Если ячейки $\Delta t \cdot \Delta S_j \cdot \Delta \mu_j$ достаточно малы (т.е. их размеры таковы, что в них помещается только один элемент эквивалентного продукта), то приближенное описание будет нести в себе почти столь же подробную информацию, что и точное. Рассмотрим теперь другую предельную ситуацию, когда количество элементов эквивалентного продукта гораздо больше, чем ячеек, тогда мы получим описание, весьма далекое от точного.

Определим макроописание как исходное разбиение фазового пространства на конечное число ячеек, объявляя при этом соответствующие числа

заполнения макронаблюдаемыми. Таким образом, мы приходим к необходимости наряду с основным пределом при $N_j \rightarrow \infty$ рассматривать и предельный случай - переход к непрерывной функции распределения при стремящихся к нулю размерах ячейки. Конечно, в первую очередь следует учитывать предельный переход при $N_j \rightarrow \infty$ (или требовать, чтобы N_j гораздо быстрее стремилось к бесконечности, чем размеры ячейки к нулю). Интуитивно ясно также, что, с одной стороны, ячейки должны быть выбраны столь малыми, чтобы они удовлетворяли условию *бесконечной малости*, а с другой стороны, они должны быть достаточно велики, чтобы каждая из них содержала большое число элементов эквивалентного продукта.



Макроописание эквивалентного продукта

В силу того, что величина $\chi(t, S, \mu) \cdot dS \cdot d\mu$ представляет собой среднее число элементов эквивалентного продукта в заданной бесконечно малой ячейке фазового пространства (t, S, μ) , мы можем по изменению фазовой координаты S и фазовой скорости μ базового элемента со временем судить и об изменении самой функции $\chi(t, S, \mu)$. Запишем уравнение, описывающее поведение функции распределения $\chi(t, S, \mu)$:

$$\frac{d\chi(t, S, \mu)}{dt} = J(t, S, \mu),$$

где $J(t, S, \mu)$ - некоторая функция, определяемая технологическим процессом предприятия. Данная

функция $J(t, S, \mu)$ стремится при $t \rightarrow \infty$ свести начальное распределение элементов эквивалентного продукта, описанное посредством функции распределения $\chi(\theta, S, \mu)$, к распределению эквивалентных продуктов с функцией распределения $\chi(t, S, \mu)$, определяемой технологическим процессом. Запишем полную производную функции распределения по времени

$$\frac{d\chi}{dt} = \frac{\partial\chi}{\partial t} + \frac{\partial\chi}{\partial S} \cdot \frac{dS}{dt} + \frac{\partial\chi}{\partial\mu} \cdot \frac{d\mu}{dt} = \frac{\partial\chi}{\partial t} + \frac{\partial\chi}{\partial S} \mu + \frac{\partial\chi}{\partial\mu} f,$$

в которой μ и f могут быть найдены из системы уравнений состояния элементов эквивалентного продукта:

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = \mu; \\ \frac{d\mu}{dt} = f(t, S, \mu), \end{cases} \quad \text{где } f(t, S, \mu) \text{ - функция, характе-}$$

ризуемая установленными на предприятии технологическими процессами изготовления конкретно взятой продукции, производственным планом, трудовыми ресурсами, наличием количества и состояния оборудования. Функцию $f(t, S, \mu)$ будем называть производственной.

Используя подстановки, запишем уравнение, описывающее поведение функции распределения $\frac{\partial\chi}{\partial t} + \frac{\partial\chi}{\partial S} \mu + \frac{\partial\chi}{\partial\mu} f = J(t, S, \mu)$.

Считаем функцию распределения $\chi(t, S, \mu)$ нормированной $\int_0^{\infty} dS \int_0^{\infty} d\mu \cdot \chi(t, S, \mu) = N_I$, где N_I - количество изделий (элементов), находящихся в производственном процессе на всей технологической цепочке производственного подразделения. Условие нормировки представляет собой закон сохранения количества изделий, находящихся в производственном процессе.

В заключение еще раз напомним, что когда мы рассматриваем бесконечно малый объем $d\Omega = dS \cdot d\mu \cdot dt$, то подразумевается не математически, а физически малый объем фазового про-

странства (S, μ, t) , т.е. участок пространства, размеры которого малы по сравнению с характерными размерами задачи, но в котором содержится большее количество элементов эквивалентного продукта с характерными временами протекания микропроцессов, много меньшими времени рассмотрения задачи.

Дальнейшие исследования целесообразно проводить в направлении получения макропараметров производственной системы и уравнений, связывающих их между собой, а также выводе производственной функции из инженерных расчетов, а не из статистического анализа деятельности предприятия.

Заключение

В данной статье предпринята попытка описания производственных процессов с точки зрения «физической экономики» на основе процесса получения реальной функции распределения эквивалентных продуктов. Это позволяет наперед с заданной точностью осуществить описание фактически действующей производственной системы.

Литература

1. Ашманов С.А. Введение в математическую экономику. - М.: Наука, 1984.
2. Нельсон Р.Р., Уинтер С.Дж. Эволюционная теория экономических изменений. - М.: Наука, 1984.
3. Сильверберг Дж. Вестн. Молодых ученых. Сер. Экономические науки (6) 76 (2000).
4. Ларуш Л. Физическая экономика как платоновская эпистемологическая основа всех отраслей человеческого знания. - М.: Научная книга, 1997.

Поступила в редакцию: 14.04.03.

Рецензенты: д-р техн. наук, профессор Жихарев В.Я., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков; канд. техн. наук Дашков А.В., НПФ «Технология», г. Харьков.