

ЭНТРОПИЙНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВОМ С УЧЕТОМ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ ПРЕДПРИЯТИЯ¹

К.С. Пустовойт, Н.Ю. Бухвалов, В.Ю. Столбов, М.Б. Гитман

Рассмотрена задача управления предприятием как открытой производственной системой с заданной иерархией планирования. На основе энтропийного подхода исследованы системы планирования производства с различной степенью открытости. Показано, что чем выше степень открытости, тем более готовой к самоорганизации должна быть эта система на всех структурных уровнях принятия управленческих решений. Для оценки степени открытости предложено использовать частоту перепланирования производства.

Ключевые слова: открытая производственная система, энтропийный подход, планирование производства, самоорганизация, степень открытости.

ВВЕДЕНИЕ

Предмет исследования настоящей работы — система управления объектом масштаба крупного промышленного предприятия. Современные промышленные предприятия, работающие в меняющихся рыночных условиях, можно рассматривать с различных точек зрения, анализируя, например, экономику, технологическую платформу или процесс планирования, организации и контроля хода производства. Почти всегда такой сложный объект как крупное промышленное предприятие рассматривается как иерархическая структура, так или иначе упорядоченная на каждом из уровней.

В качестве меры упорядоченности часто используют энтропию. Известно [1], что энтропия системы — макроскопическая величина, пропорциональная логарифму статистического веса, равного числу микросостояний системы. Под микросостоянием системы здесь понимается один из возможных вариантов взаимного расположения всех элементов в равновесном состоянии системы, описываемый совокупностью фазовых координат.

Управление крупным промышленным предприятием предусматривает постоянный и интенсивный обмен, в том числе информационный, с внешним миром. Такие системы принято называть

«открытыми» или «диссипативными». Синергетика [2] показала, что в сложных открытых системах, при определенных условиях, возможны процессы самоорганизации, т. е. возникновение устойчивых состояний организованности и поддержание порядка в системе без внешнего воздействия.

Попытки исследовать поведение сложной системы через изучение процессов взаимодействия всех ее элементов (например, участников производственной деятельности) на микроуровне бесперспективны. В связи с этим логично исследовать поведение системы на макроуровне, управляя ее упорядоченностью путем снижения или повышения энтропии. В последнем случае можно создавать условия для самоорганизации системы и обоснованно ожидать появления новых структур, приводящих к новому устойчивому состоянию системы. Можно также управлять порядком системы путем добавления в нее полезной информации или подвода дополнительной энергии (производственных ресурсов), что приводит к росту отрицательной энтропии (негэнтропии), т. е. целенаправленно создавать новые структуры, тем самым снижая энтропию системы. Процессы *дезорганизации* и *организации* обычно протекают одновременно, увеличивая или снижая суммарную энтропию всей системы. Чем больше энтропия системы, тем меньше ее упорядоченность. Увеличению энтропии соответствует «упрощение» системы, т. е. снижение степени ее индивидуальности по отношению к окружающему миру.

¹ Работа выполнена при государственной поддержке развития кооперации вузов и промышленных предприятий, договор с Минобрнауки России № 13.G25.31.0093.



Для повышения организованности сложной производственной системы необходимо оказать на нее дополнительное внешнее воздействие, т. е. увеличить степень открытости, которой будет соответствовать новый более высокий критический уровень организации или новое метастабильное состояние сложной системы [3]. В результате в системе будут преобладать процессы упорядочения, увеличивающие порядок до нового критического уровня, при котором система займет новое равновесное состояние по отношению к предыдущему равновесному состоянию.

Таким образом, размыкание системы приводит к увеличению порядка и самоорганизации системы, а замыкание — к дезорганизации. Однако, размыкая систему в целях ее самоорганизации, необходимо обосновать возможную степень ее открытости, так как превышение допустимого порога может привести к тому, что система, не успев самоорганизоваться, разрушится.

Вопросами самоорганизации сложных систем на основе энтропийного подхода занимались многие зарубежные и отечественные ученые, такие как И. Пригожин, Г. Хакен, И. Стенгерс, П. Берже, Ю.Л. Климонтович, Д.И. Трубецков, Ю.М. Горский, В.И. Шаповалов и др. Однако исследования этих авторов в основном посвящались физическим, социальным или информационным системам. Работ, посвященных решению важной научно-технической проблемы — развитию энтропийного подхода к управлению системами масштаба крупного промышленного предприятия, практически нет, что обуславливает актуальность данных исследований.

1. ЗАМКНУТЫЕ И ОТКРЫТЫЕ СИСТЕМЫ

Система называется *абсолютно замкнутой* (изолированной), если она не взаимодействует с внешним миром. Система называется *открытой*, если она взаимодействует с внешним миром путем передачи энергии, вещества или информации. В сложной системе обычно протекают различные процессы, в том числе процессы *самоорганизации* и *дезорганизации*, которые относятся к *необратимым* процессам. Под самоорганизацией понимают спонтанное возникновение и развитие новых структур, а под дезорганизацией — их разрушение.

Современное производственное предприятие может быть рассмотрено как большая и сложная система (*производственная система*), представляющая собой совокупность иерархии целей (номенклатура и объем выпускаемой продукции), иерархии принятия решений (производственное планирование и управление) и иерархии бизнес-процессов (совокупность технологических процессов, связанных в технологические маршруты

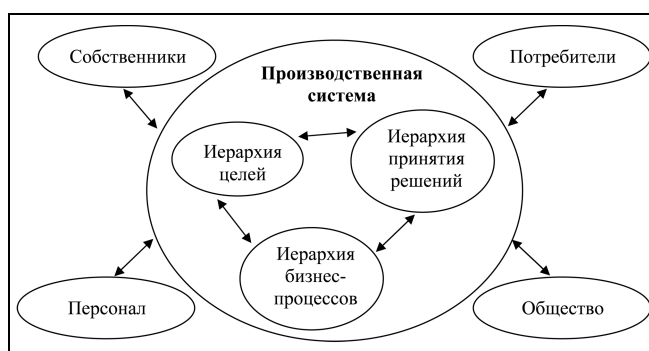


Рис. 1. Структурная модель большой производственной системы

производства каждого вида продукции), представленных на рис. 1.

Производственная система функционирует в окружении рынков продукции, сырья, труда и инноваций. Она взаимодействует с этими рынками, обмениваясь информацией, материальными и трудовыми ресурсами.

Внешней средой для производственной системы также является общество, находящееся на определенном уровне развития, преследующее некоторые цели и взаимодействующее с производственной системой через политические, экономические и социальные институты.

Производственная система вынуждена постоянно адаптироваться к изменениям в окружающей ее среде путем модификации и развития своих внутренних иерархий.

Неотъемлемыми элементами производственной системы являются индивидуумы и их группы. Поэтому производственная система может быть рассмотрена как *организационная система* [4], объединяющая людей, совместно реализующих некоторую программу или цель и действующих на основе определенных процедур и правил. Специфическим и основным элементом организационной системы, определяющим ход решения задач управления, эффективность и своевременность решения, является *лицо, принимающее решения*, т. е. индивидуум или группа индивидуумов, имеющих право принимать окончательные решения по выбору одного или нескольких управляющих воздействий.

В состав производственной системы также входит значительное число технических (пассивных) элементов и подсистем [4]. Поэтому производственная система может быть рассмотрена как частный случай *социально-технической системы* [5], в которой в качестве объекта управления выступает техническая система, непосредственно реализующая технологические операции, а в качестве субъекта управления, наряду с менеджментом предприятия, рассматриваются потребители продукции и все заинтересованные в успешной работе и развитии производственной системы социальные

группы: собственники, инвесторы, персонал, поставщики, общество в целом. При этом менеджмент и обслуживающий персонал входят соответственно в иерархию принятия решений и в иерархию бизнес-процессов, а под «персоналом» на рис. 1 понимаются элементы рынка труда, которые по необходимости могут войти в производственную систему и интересы которых необходимо учитывать при управлении предприятием.

2. ИЗМЕНЕНИЕ ЭНТРОПИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

Отметим, что система обладает определенной самостоятельностью по отношению к элементам, ее образующим. Как отмечено в работе [1], наблюдая за поведением каждого элемента и зная все свойства этих элементов, невозможно предвидеть их коллективное поведение, зависящее как от влияния внешней среды, так и от взаимодействия между элементами. Например, изучая поведение каждого рабочего, нельзя предсказать изменение организации производственной деятельности предприятия. Поэтому управлять организацией сложной системы, какой несомненно является производственная система, более эффективно на «макроуровне», а в качестве меры ее организованности выбрать *энтропию*. Обозначим $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ — множество значений фазовых координат для n элементов системы в некоторый момент времени, которое характеризует микросостояние системы. Фазовым пространством будем считать пространство, точками которого являются микросостояния в различные моменты времени. Каждое состояние системы может быть реализовано собственным набором микросостояний. Число всех неповторяющихся микросостояний из этого набора называется статистическим весом данного состояния и обозначается W . Пусть задана функция распределения микросостояний $f(X)$. Тогда энтропия системы в статистическом смысле может быть определена следующим образом:

$$S = k \ln W = -k \int_X f(X) \ln f(X) dX, \quad (1)$$

где dX — элемент фазового пространства; k — некоторая постоянная, соответствующая природе исследуемой системы (в физических системах это постоянная Больцмана). Интегрирование ведется по всем микросостояниям X в области, которую занимает в фазовом пространстве данное состояние. Считается, что согласно нормировке вероятность того, что данное состояние реализовано любым микросостоянием, принадлежащим данной области, равна 1.

Из формулы (1) видно, что выражение для энтропии содержит только функцию распределения некоторой переменной и, тем самым, характери-

зует только вероятностные свойства фазового пространства. Это означает, что формула (1) применима для описания не только физических, но и систем другой природы, в том числе и производственных систем.

Энтропия служит количественной мерой беспорядка в системе. Чем больше энтропия состояния системы, тем большим числом способов взаимного расположения элементов системы оно может быть реализовано, и тем менее оно упорядочено. Для абсолютного порядка, когда возможен лишь один вариант взаимного расположения элементов системы (вес W равен одному микросостоянию), энтропия $S = 0$. Другими словами, процессы увеличения беспорядка сопровождаются увеличением энтропии, а процессы упорядочения — ее уменьшением.

Известно [1], что в абсолютно замкнутой системе все необратимые процессы сопровождаются увеличением энтропии, по окончании которых энтропия принимает максимальное значение, т. е. приращение энтропии в абсолютно замкнутой системе не может быть отрицательным: $\Delta S \geq 0$.

Однако абсолютно замкнутых систем в природе не существует. Реальные системы можно считать приблизительно замкнутыми.

Показано [3], что существует такая степень незамкнутости (открытости) системы, при которой закон возрастания энтропии действует. При этом внешнее воздействие на систему ограничивает число возможных микросостояний, уменьшая ее энтропию. Действительно, пусть равновесное состояние замкнутой системы описывается переменной X , а $f_1(X)$ — ее функция распределения. Взаимодействие с внешним миром размыкает систему и приводит к появлению в ней особенностей, описываемых новой переменной Y с функцией распределения $f_2(Y)$. Распределение X теперь должно учитывать распределение Y . В результате $f_1(X)$ перейдет в условную функцию распределения $f(X/Y)$, а энтропия $S(X)$ — в условную энтропию $S(X/Y)$ [3]:

$$S(X/Y) = -k \int_X \int_Y f(XY) \ln f(X/Y) dXdY. \quad (2)$$

Справедливы утверждения [3]:

$$\begin{aligned} S(XY) &= S(X/Y) + S(Y) = S(Y/X) + S(X); \\ S(X) &> S(X/Y). \end{aligned}$$

Однако эти утверждения выполняются при условии, что изменение энтропии системы намного больше изменения энтропии внешней среды, вызванное их взаимодействием. Такая внешняя среда называется *энтропостатом*, т. е. изменением энтропии энтропостата можно пренебречь по сравнению с изменением энтропии исследуемой системы.

Рассмотрим, например, две производственные системы, выпускающие однотипную продукцию на разных предприятиях в рамках промышленной



кооперации, т. е. комплектующие для продукции одного предприятия могут выпускаться на другом и наоборот. Это две открытые системы, которые друг для друга не являются энтропостатами. Если же предприятие выпускает на рынок продукцию, которую производит без внешних поставщиков комплектующих, то другие предприятия, производящие эту же продукцию, могут считаться энтропостатом для этого предприятия, влияющим на рассматриваемую производственную систему только как внешняя среда через формирование «спроса-предложения» на рынке сбыта данной продукции.

Все изменения, происходящие при взаимодействии системы и энтропостата, относятся к ней самой. Поэтому для данной системы

$$S(X) > S(X/Y), \quad (3)$$

где $S(X)$ — значение энтропии замкнутой системы в равновесном состоянии; $S(X/Y)$ — условная энтропия, соответствующая значению энтропии в стационарном состоянии, которое отличается от состояния замкнутой системы изменениями в структуре, появившимися благодаря внешнему воздействию энтропостата и описываемыми переменной Y .

Согласно неравенству (3) можно сравнивать энтропию открытых систем. Для этого, следуя работе [3], введем некоторый феноменологический параметр α , который назовем *степенью открытости системы*. Данный параметр характеризует размер всех изменений, которые произошли с системой в результате ее взаимодействия с энтропостатом (внешней средой). Тогда из формулы (2) следует:

$$S_{\alpha=0} > S_{\alpha_1} > S_{\alpha_2} > \dots, \quad (4)$$

где $\alpha_2 > \alpha_1$, $S_{\alpha=0} = S_{A3}$ — энтропия абсолютно замкнутой системы.

Из выражения (4) следует, что для каждой степени открытости системы α существует свое стационарное значение S_α . Если энтропия в системе больше этого значения, то в ней будут преобладать процессы, уменьшающие энтропию, и наоборот, если $S < S_\alpha$, то будут преобладать процессы, увеличивающие энтропию. Если $S = S_\alpha$, то действия процессов, уменьшающих и увеличивающих энтропию, будут компенсировать друг друга и система будет находиться в стационарном состоянии.

Обозначим уровень порядка системы в стационарном состоянии как $\Delta S_\alpha^* = S_\alpha - S_{A3} < 0$.

Тогда изменение энтропии системы со степенью открытости α в стационарном состоянии равно:

$$\Delta S_\alpha = \Delta S_{A3} + \Delta S_\alpha^*. \quad (5)$$

Отсюда следует, что в открытой системе общее приращение энтропии складывается из всегда положительного приращения $\Delta S_{A3} > 0$, обусловленного исключительно действием закона воз-

растания энтропии, и отрицательного приращения $\Delta S_\alpha^* < 0$. Поэтому величину ΔS_α^* назвали *критическим уровнем упорядочения системы*, которому однозначно соответствует степень открытости системы α [3]. Если система организована ниже критического уровня, то в ней преобладают процессы, увеличивающие порядок, если выше — преобладают процессы дезорганизации.

Отсюда следует вывод, что размыкание системы приводит к ее упорядочению и самоорганизации, а замыкание — к дезорганизации.

Однако, размыкая систему в целях ее самоорганизации, необходимо следить, чтобы интенсивность размыкания (скорость возрастания степени открытости системы) не превысила некоторый порог $\dot{\alpha}_{\text{крит}}$, выше которого система, не успев самоорганизоваться, потеряет устойчивость и разрушится.

Оценка ΔS_α^* и $\dot{\alpha}_{\text{крит}}$ для рассматриваемой открытой системы представляет собой достаточно сложную задачу, требующую дополнительных исследований.

Допустим, требуется повысить организованность некоторой производственной системы. Для этого необходимо оказать на нее дополнительное внешнее воздействие, т. е. увеличить степень открытости, которой будет соответствовать новый, более высокий критический уровень организации, например, системы планирования производства. Тогда, согласно изложенному, в производственной системе будут преобладать процессы упорядочения, увеличивающие порядок до нового критического уровня. Так как через функцию распределения $f(X)$ энтропия производственной системы жестко связана с математической вероятностью, на практике действие энтропийных закономерностей будет проявляться в том, что возрастет вероятность событий, им соответствующих.

Рассмотрим, например, энтропию системы производственного планирования (СПП) крупного предприятия.

Пусть СПП состоит из n элементов, в качестве которых выступают производственные операции, привязанные к выпускаемым деталям (комплектующим) и производственному оборудованию (станкам, обрабатывающим центрам и т. п.). Считается, что расположение операции в производственном плане характеризуется фазовой координатой (например, датой исполнения) x_i , $i = 1, \dots, n$. Так как операций много и имеется множество возмущений на план (поломка оборудования, отсутствие комплектующих, изменение сроков поставки продукции со стороны заказчика и т. п.), то координата x_i , $i = 1, \dots, n$, становится случайной величиной.

Совокупность значений x_i всех операций $X = (x_1, \dots, x_n)$ в некоторый момент времени будем

называть микросостоянием СПП. Каждое состояние СПП может быть реализовано собственным набором X .

Допустим, что в течение времени Δt система находится в одном из своих возможных стационарных состояний, т. е. ее макропараметры постоянны (например, общее число обработанных деталей и количество задействованного оборудования не меняется). Однако операции могут изменять свое расположение относительно друг друга, т. е. случайная величина x_i меняется каждый момент времени.

Фазовым пространством в данном случае будет пространство, точками которого являются микросостояния СПП в различные моменты времени. Узнать, какими микросостояниями реализовано данное состояние в конкретный промежуток времени, можно лишь с определенной вероятностью, если известна функция распределения вероятности по микросостояниям $f(X)$. Другими словами, если СПП достаточно долгое время не контролировать, т. е. не контролировать выполнение запланированных операций через заданные (достаточно короткие) промежутки времени, производственный процесс станет случайным, а энтропия СПП резко возрастет.

Поэтому на каждом предприятии стараются контролировать выполнение плана путем введения контрольных сроков сбора данных о выполненных производственных операциях и сроков возможного перепланирования. Обычно данные собираются на оперативном уровне планирования, передаются на тактический уровень, где корректируется операционный план производства с учетом новых стратегических целей предприятия и реально выполненных операций. Однако возникает задача выбора рациональных сроков перепланирования, так как чересчур частая корректировка планов приводит к лишним материальным затратам, а редкая — к резкому росту энтропии системы и потере ее управляемости.

Рассмотрим пример использования описанных выше энтропийных закономерностей при решении некоторых проблем производственного планирования.

3. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ С УЧЕТОМ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ ПРЕДПРИЯТИЯ

Важнейшей составляющей процесса управления производством является планирование. Его ведущая роль в принятии управленческих решений определяется тем, что в ходе планирования ставятся цели и распределяются ресурсы производственной системы. Рассматривать процесс планирования производства целиком не представляется возможным, поэтому выделяют уровни производственного планирования, которые характеризуются гори-

зонтом планирования, периодом перепланирования и др. [6, 7]. Процесс планирования может быть условно разбит на четыре уровня, характеризующиеся собственным набором задач, различными периодами планирования и разным уровнем детализации.

1. *Уровень управления предприятием (бизнес-планирование)*. Рассматриваются стратегические задачи управления предприятием, определяются стратегические цели развития направлений производственной деятельности, распределяются ресурсы и инвестиции. Горизонт планирования составляет от одного до пяти лет, а минимальный период перепланирования — один год.

2. *Уровень стратегического планирования*. Определяются долгосрочные и среднесрочные цели предприятия. Осуществляется сбор информации: прогнозирование, фильтрация и отбор заказов, анализ существующих мощностей и бизнес-целей производства. Результат комплексной работы всех участников процесса заключается в построении главного календарного плана производства (ГКПП), который регламентирует «что?», «к какому сроку?» и «в каких количествах?» будет выпускаться в плановом периоде. Горизонт планирования от года до двух лет. Данный уровень подлежит дальнейшей декомпозиции на подуровни со своими горизонтами планирования и детализацией. Ключевой момент состоит в том, что на этом уровне должен быть сформирован и утвержден ГКПП с детализацией по месяцам. Минимальный период перепланирования составляет один месяц.

3. *Уровень тактического планирования*. На основе ГКПП, с использованием более детальной информации о производственных мощностях, строится детализированный календарный план производства в форме операционного плана, устанавливающий перечень, очередность и длительность технологических процессов (операций) на рабочих центрах в течение планового периода. Горизонт планирования от месяца до шести месяцев (в зависимости от длительности технологических процессов на предприятии и номенклатуры выпускаемой продукции). Детализация плана производится по дням. Отметим, что используемый в стандарте MRP II план потребности в материалах может быть получен автоматически из детализированного календарного плана производства. Минимальный период перепланирования обычно составляет одну неделю.

4. *Уровень оперативного планирования*. В качестве входных данных используется детализированный календарный план выполнения производственных операций, полученный на тактическом уровне планирования. Затем составляется план операций на ближайшие часы или дни. Ввиду того, что многие детали реального производственного процесса не рассматриваются или рассматриваются укрупненно на тактическом уровне плани-



рования, а также в связи с тем, что из-за технологических или иных обстоятельств возникают отклонения от составленного календарного плана производства, необходимо его корректировать и уточнять с учетом постоянно изменяющихся условий. Оперативное перепланирование плана операций также относится к данному уровню. Кроме того, к данному уровню можно отнести модели транспортных перевозок, ремонтных работ, складирования продукции и др. Горизонт планирования от одного дня до недели, детализация плана производится по часам. Минимальный период перепланирования — одна рабочая смена.

На рис. 2 представлена структурная схема системы производственного планирования, которая включает в себя рассмотренные уровни планирования. Каждый уровень характеризуется горизонтом планирования Γ_i и периодом перепланирования γ_i , $i = 1, \dots, 4$. Внешним воздействием на данную систему считаются воздействия со стороны заказчиков, общества и рынков продукции, инноваций, сырья и труда (см. рис. 1).

Внутри СПП также осуществляется взаимодействие. На стратегическом уровне формируется ГКПП, который служит основой для тактического планирования и формирования операционного плана производства (ОПП). В свою очередь, ОПП служит базой для составления сменно-суточных заданий (ССЗ). Как уже отмечалось, на оперативном уровне управления происходит контроль производства продукции и ее составляющих. Поскольку из-за технологических или иных обстоятельств возникают отклонения от составленных календарных планов, то необходимо принимать меры для устранения отклонений в оперативном режиме. Обычно это влечет изменение ОПП. Поэтому на рис. 2 показано обратное воздействие со стороны оперативного уровня на тактический уровень планирования. Считается, что все возникающие отклонения от ГКПП необходимо «гасить» на тактическом уровне планирования (это более выгодно для всех служб предприятия). Хотя, конечно, для этого необходима эффективная СПП. При «плохой» СПП приходится все огрехи планирования и организации производства учитывать путем изменения ГКПП, что приводит к авралам на производстве. Считается, что ГКПП можно изменять только для лучшего взаимодействия с внешними заказчиками продукции, а все производственные отклонения корректируются на тактическом и оперативном уровнях планирования. Задача заключается в определении возможных сроков изменения ГКПП, при которых существующее производство справится с новым планом.

Отметим, что результатом решения задачи производственного планирования на верхних уровнях управления предприятием является ГКПП на планируемый период, оптимальный в смысле крите-

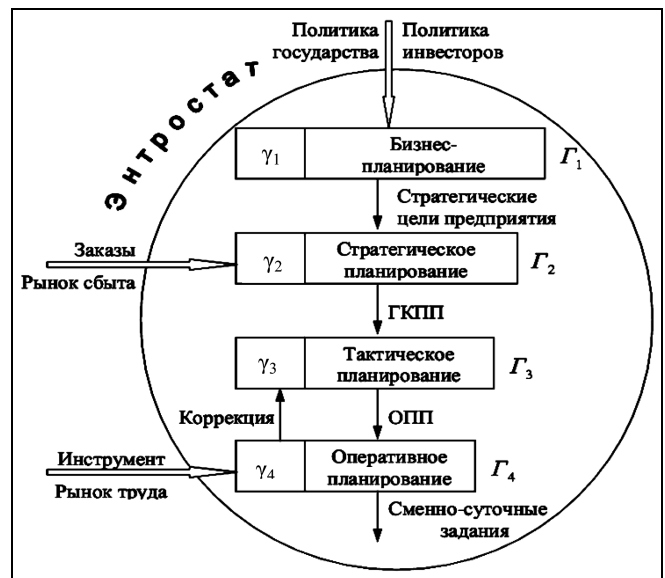


Рис. 2. Структурная схема системы планирования производства

риев, определяемых политикой предприятия, и учитывающий ограничения на производственные мощности, имеющиеся оборотные средства и основные ресурсы предприятия [8]. В общем случае ГКПП — это календарный план выпуска продукции, с указанием объемов и сроков выпуска продукции, разрабатываемый для номенклатурных позиций верхнего уровня иерархии. В качестве таковых могут выступать как готовая продукция, так и сборочные единицы и узлы высокого уровня; как реально (физически) существующие конфигурации продуктов, так и псевдоконфигурации, используемые лишь для целей планирования. Главный календарный план производств предоставляет основу для обоснованного обещания покупателям выполнения поставок в согласованные сроки, эффективного использования мощностей завода, достижения стратегических целей бизнеса в соответствии с планом производства, а также поиска компромиссов между маркетинговыми и производственными подразделениями предприятия [9]. Отметим также, что ГКПП ориентирован в большей степени на увеличение прибыли предприятия и в меньшей степени на комфортность производства. Он учитывает распределение производственных ресурсов только агрегировано (на уровне отдельных производств, цехов и/или участков) и не учитывает распределение имеющихся ресурсов во времени (с учетом трудоемкости каждой операции) и пространству (внутри каждого производственного подразделения), возможности поставок и хранения необходимых материалов, резервов для оперативного управления производством.

Возникающий конфликт должен быть разрешен на следующих структурных уровнях (тактическом и оперативном), на которых детализирует-

ся и уточняется ГКПП. Возможные скорости внесения изменений в тактический и оперативный планы должны быть увязаны между собой и соответствовать степени открытости всей СПП. Другими словами, возможное изменение плана производства на стратегическом уровне, например, путем включения новых заказов, приводит к новому ГКПП. При этом должны произойти изменения на тактическом и оперативном уровнях планирования. Однако в силу нехватки ресурсов изменения на оперативном уровне не всегда могут быть осуществлены. Поэтому необходимо согласовать изменения календарных планов на двух последних уровнях планирования. Если эта корректировка возможна, то новый ГКПП будет допустимым. В том случае, когда ресурсы на двух последних уровнях планирования не могут обеспечить новый ГКПП, то необходимо пересмотреть частоту изменения этого плана. Другими словами, делая систему планирования более открытой благодаря учету интересов потребителей на стратегическом уровне, необходимо следить, чтобы интенсивность размыкания (скорость возрастания степени открытости системы) не превысила некоторый порог $\dot{\alpha}_{\text{крит}}$, выше которого система, не успев самоорганизоваться, потеряет устойчивость и разрушится.

На практике степень открытости всей системы планирования на предприятии обычно подбирается эмпирически — путем введения процедуры согласования планов на трех последних уровнях. Эту процедуру необходимо производить до тех пор, пока СПП не перейдет в некоторое равновесное состояние, когда значение энтропии будет соответствовать определенной степени открытости, отвечающей ресурсам предприятия и удовлетворяющей его менеджмент.

Однако любая модернизация СПП, направленная на повышение открытости системы, требует первоначального обоснования допустимой скорости реализации данного процесса в соответствии с имеющимися ресурсами предприятия и возможностями их структурной реорганизации и самоорганизации.

Введем параметр, характеризующий «гибкость» планирования на каждом структурном уровне СПП:

$$\beta_i = \gamma_i / \Gamma_i, \quad i = 1, \dots, 4, \quad (6)$$

где параметр β_i характеризует календарный период внесения изменений в i -й календарный план производства. Очевидно, что $\beta_i \in [0, 1]$. Если $\beta_i = 1$, то изменений в плане нет, а если $\beta_i = 0$, то изменения плана происходят практически мгновенно. В том случае, когда руководство предприятия стремится к большей открытости для внешних потребителей, то параметр β_2 должен стремиться к нулю (как только приходит новый заказ на предприятие, так сразу корректируется ГКПП). Однако это влечет измене-

ние в ОПП и ССЗ, т. е. параметры β_3 и β_4 также должны стремиться к нулю, что обычно невозможно с позиций организации процесса производства. Другими словами, как уже отмечалось, параметры β_i должны быть согласованы между собой (например, $\beta_1 \geq \beta_2 \geq \beta_3 \geq \beta_4$). Однако любое уменьшение параметров β_i связано с дополнительными издержками производства. Поэтому руководство предприятия обычно стремится сохранять эти параметры как можно ближе к единице, т. е. реже прибегать к процедуре перепланирования производства.

Предположим, что на предприятии сложилась СПП, характеризующаяся некоторым распределением параметров β_i . Пусть в этом состоянии энтропия системы равна S_0 . Как показано ранее, степень открытости системы однозначно определяет значение энтропии этой системы в равновесном состоянии. Согласно соотношению (4), для абсолютно замкнутых систем значение энтропии будет максимальным, а для абсолютно открытых — минимальным. Требования рынка продукции обуславливают необходимость большей открытости и, соответственно, модернизации СПП. Для обеспечения устойчивого перехода СПП в новое равновесное состояние необходимо оценить степень открытости системы α . Для ее оценки можно предложить формулу

$$\alpha = \beta_1 (1 - \max_i \beta_i), \quad i = 2, 3, 4, \quad (7)$$

которая показывает, что степень открытости системы определяется «гибкостью» календарного планирования, причем на самом «узком» уровне. Введение множителя β_1 в формулу (7) позволяет учитывать масштаб предприятия и тип производства, т. е. учет параметра β_1 дает возможность учесть характер производственной деятельности предприятия при оценке степени открытости его СПП. Заметим, что формула (7) не противоречит рассуждениям и формулам, приведенным в § 2. Действительно, для увеличения степени открытости требуется уменьшение параметров β_i , $i = 2, 3, 4$, что, в свою очередь, приводит к уменьшению периода перепланирования и, как следствие, к более частому взаимодействию с внешней средой (учет мнений заказчиков, поставок нового оборудования, сроков ремонтов и т. п.), что и снижает энтропию системы.

При увеличении α открытость системы возрастает благодаря поступлению новой полезной информации и энтропия снижается, а упорядоченность СПП повышается. Однако если степень открытости будет очень высокой, например, информация о перепланировании будет поступать ежедневно, то СПП будет не успевать подстраиваться, что приведет к дезорганизации всей системы управления. Поэтому для каждого конкретного



производства необходимо обосновывать степень открытости СПП путем выбора оптимального значения α , которое зависит от большого числа параметров, характеризующих производство: номенклатуры и масштаба производства, вида применяемого оборудования, имеющихся производственных мощностей, используемых технологий и т. д.

Если в начальный момент модернизации СПП степень ее открытости равнялась α_0 , а требуется обеспечить степень открытости α_1 , причем $\alpha_1 > \alpha_0$, то согласно формуле (5) должен возрасти критический уровень упорядочения системы ΔS_α^* , т. е. в СПП должны пройти процессы организации и самоорганизации, уменьшающие энтропию системы. Например, должно произойти расширение станочного парка предприятия или повышение его универсальности для увеличения «гибкости» производства на оперативном уровне управления (ликвидация «узких» мест), повышение квалификации рабочих и т. п.

Рассмотрим пример влияния распределения параметров β_i на степень открытости СПП.

Пусть заданы исходные данные: $T_1 = 3$ года, $\gamma_1 = 1$ год, $T_2 = 1$ год, $\gamma_2 = 3$ мес, $T_3 = 3$ мес, $\gamma_3 = 1$ нед, $T_4 = 1$ нед, $\gamma_4 = 3$ сут.

По формуле (6) получим: $\beta_1 = 1/3$; $\beta_2 = 1/4$; $\beta_3 = 1/12$; $\beta_4 = 3/7$.

Воспользовавшись формулой (7), можно оценить степень открытости данной СПП: $\alpha = 1/3(1 - 3/7) = 0,19$.

Видно, что рассматриваемая СПП в смысле эффективности управления:

— не обладает согласованностью параметров ($\beta_4 > \beta_3$, $\beta_4 > \beta_2$), что обязательно вызовет конфликт между уровнем ГКПП и реализацией ССЗ, т. е. между требуемыми сроками выполнения заказов и возможностями производства;

— степень открытости этой системы определяется гибкостью системы оперативного управления, которая в данном случае представляет собой «узкое место» системы управления производством;

— система тактического планирования обладает чрезмерной «гибкостью», что приводит к необоснованным материальным затратам.

Для повышения степени открытости рассматриваемой СПП в целях более «гибкого» реагирования на пожелания заказчиков, предлагается снизить значение γ_2 до двух месяцев. Во избежание конфликта с производством необходимо провести его модернизацию, что позволило бы снизить значение γ_4 хотя бы до одного рабочего дня. Кроме этого можно понизить горизонт планирования на тактическом уровне (T_3) до двух месяцев. В этом случае параметры гибкости СПП примут значения: $\beta_1 = 1/3$, $\beta_2 = 1/6$, $\beta_3 = 1/8$, $\beta_4 = 1/7$, которые близки

к согласованным. Степень открытости СПП значительно увеличится, т. е. $\alpha = 1/3(1 - 1/6) = 0,28$, что говорит о том, что в данной системе должны произойти процессы организации и самоорганизации, приводящие к снижению энтропии.

В приведенном примере модернизации СПП «узким» местом планирования становится стратегический уровень, который определяет взаимодействие с заказчиками. Другими словами, те обязательства, которые будут включены в ГКПП, предприятие способно выполнить благодаря «гибкости» перепланирования на тактическом и оперативном уровнях управления производством.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный энтропийный подход к управлению производством предполагает различную открытость систем производственного планирования. Чем выше степень ее открытости, тем более готовой к самоорганизации должна быть эта система на всех структурных уровнях принятия управленческих решений, что обеспечит возникновение нового равновесного состояния с уровнем организации производства, соответствующим стратегическим целям предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хаген Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. — 2-е изд., доп. — М.: КомКнига, 2005. — 248 с.
2. Трубецков Д.И. Введение в синергетику. — М.: Едиториал УРСС, 2004. — 240 с.
3. Шаповалов В.И. Основы теории упорядочения и самоорганизации. — М.: Испо-Сервис, 2005. — 296 с.
4. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. — 2-е изд. — М.: Физматлит, 2008. — 584 с.
5. Гитман М.Б., Столбов В.Ю., Гилязов Р.Л. Управление социально-техническими системами с учетом нечетких предпочтений. — М.: Ленанд, 2011. — 272 с.
6. Гаврилов Д.А. Управление производством на базе стандарта MRP-II. — СПб.: Питер, 2003. — 352 с.
7. Столбов В.Ю., Федосеев С.А. Модель интеллектуальной системы управления производством // Проблемы управления. — 2006. — № 5. — С. 36—39.
8. Производственный менеджмент: / Под. ред. В.А. Козловского. — М.: Инфра-М, 2003. — 574 с.
9. Евстратов С.Н., Вожаков А.В., Столбов В.Ю. Автоматизация планирования производства в рамках единой информационной системы многопрофильного предприятия // Автоматизация в промышленности. — 2012. — № 2. — С. 13—16.

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.Н. Бурковым.

Пустовойт Константин Семенович — канд. физ.-мат. наук, советник ген. директора ОАО «Мотовилихинские заводы», г. Пермь,

Бухвалов Николай Ювенальевич — канд. экон. наук, ген. директор, ОАО «Мотовилихинские заводы», г. Пермь,

Столбов Валерий Юрьевич — д-р техн. наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, ☎ (342) 219-85-62, ✉ valeriy.stolbov@gmail.com,

Гитман Михаил Борисович — д-р физ.-мат. наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, ✉ gmb@matmod.pstu.ac.ru.