

К.С. Пустовойт, М.Б. Гитман, В.Ю. Столбов
**ПОВЫШЕНИЕ ОТКРЫТОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ
 СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ИНТЕРЕСОВ ВНЕШНИХ И
 ВНУТРЕННИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ***

В статье рассмотрена проблема повышения открытости производственной системы с учетом интересов внешних заказчиков планируемой продукции и внутренних потребителей, в качестве которых выступают менеджмент и рабочий персонал предприятия. Вводится параметр открытости производственной системы, характеризующий уровень ее энтропии и зависящий от гибкости производственного планирования на различных уровнях управления промышленным предприятием.

Ключевые слова: производственная система, энтропия, степень открытости, производственное планирование.

Форм. 4. Рис. 2. Лит. 11.

К.С. Пустовойт, М.Б. Гитман, В.Ю. Столбов
**ПІДВИЩЕННЯ ВІДКРИТОСТІ ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ
 З УРАХУВАННЯМ ІНТЕРЕСІВ ЗОВНІШНІХ
 І ВНУТРІШНІХ СПОЖИВАЧІВ**

У статті розглянуто проблему підвищення відкритості виробничої системи з урахуванням інтересів зовнішніх замовників запланованої продукції і внутрішніх споживачів, якими є менеджмент і робітники самого підприємства. Запропоновано ввести параметр відкритості виробничої системи, який характеризує її ентропію і залежить від гнучкості виробничого планування на різних рівнях управління підприємством.

Ключові слова: виробнича система, ентропія, ступінь відкритості, виробниче планування.

K.S. Pustovoi¹, M.B. Gitman², V.Y. Stolbov³
**WIDENING THE OPENNESS OF A MANUFACTURING SYSTEM
 WITH CONSIDERATION OF INTERNAL AND EXTERNAL
 CUSTOMERS' INTERESTS**

The article considers the problem of widening the openness of a manufacturing system taking in consideration the interests of external customers of planned products and internal consumers, the latter being the management and staff of an enterprise. It is suggested to introduce the parameter of the manufacturing system openness which shows its entropy and depends upon the flexibility of manufacturing planning at various levels of enterprise management.

Keywords: manufacturing system; entropy; level of openness; manufacture planning.

Постановка проблеми. Современные промышленные предприятия, функционирующие в изменяющихся рыночных условиях, можно рассматривать с различных точек зрения, анализируя, например, экономику, технологическую платформу или процесс планирования, организации и контроля хода произ-

¹ Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Motovilichinskii plants, Perm, Russia.

² Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Mathematical Design of the Systems and Processes, Perm National Research Polytechnic University, Russia.

³ Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of Mathematical Design of the Systems and Processes, Perm National Research Polytechnic University, Russia.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-08-00539а) и государственной поддержке развития кооперации вузов и промышленных предприятий, договор с Минобрнауки России № 13.G25.31.0093.

водства. 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 [6], что энтропия системы – макроскопическая величина, которая пропорциональна логарифму статистического веса, равному числу микросостояний системы. Под микросостоянием системы понимается один из возможных вариантов взаимодействия всех элементов системы в некоторый момент времени. Управление крупным промышленным предприятием предусматривает постоянный и интенсивный обмен, в том числе информационный, с внешним миром. Такие системы принято называть «открытыми» или «диссипативными». Применение синергетики [8; 10] показало, что в сложных открытых системах при определенных условиях возможны процессы самоорганизации, то есть возникновение устойчивых состояний организованности и поддержания порядка в системе.

Попытки исследовать поведение сложной системы через изучение процессов взаимодействия всех её 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. Во втором 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 отрицательной энтропии (негэнтропии), то есть 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.

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 [5]. В результате этого в системе будут преобладать процессы упорядочения, увеличивающие порядок до нового критического уровня, при котором система займет новое равновесное состояние.

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

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросами самоорганизации сложных систем на основе энтропийного подхода занимались многие зарубежные и отечественные ученые: Ю.М. Горский [3], Ю.Л. Климонтович [5], И. Пригожин [6], И. Стенгерс [6], Д.И. Трубецков [8], Г. Хакен [10], В.И. Шаповалов [11] и другие. 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 данного исследования.

Цель исследования состоит в обосновании механизмов повышения степени открытости производственной системы при учете влияния конъюнктуры рынка и интересов производителей.

Основные результаты исследования. Современное промышленное предприятие может быть рассмотрено как большая и сложная *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 производства каждого вида продукции).

Производственная система функционирует в окружении рынков продукции, сырья, труда и инноваций, взаимодействуя 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 тем изменениям, которые происходят в окружающей ее среде, путем модификации и развития своих внутренних иерархий, которые работают в тесном взаимодействии, имеют различные интересы (часто конфликтные) и должны находиться в некотором равновесном состоянии, обеспечивающем ее функционирование и развитие.

Следует отметить, что производственная система является частным случаем *социально-технической системы* [2], 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 успешном функционировании и развитии производственной системы социальные группы: собственники, инвесторы, персонал, поставщики, общество в целом.

Следует отметить, что система обладает определенной самостоятельностью по отношению к элементам, ее образующим. Как отмечено в [10], 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 управление организацией сложной системы, какой несомненно является производственная система, более эффективно проводить на макроуровне, а в качестве меры организованности системы выбрать *энтропию* [10].

Энтропия является количественной мерой беспорядка в системе. Чем больше энтропия состояния системы, тем большим числом способов взаимодействия элементов системы оно может быть реализовано и тем менее оно упорядочено. Известно [10], что в абсолютно замкнутой системе все необратимые процессы сопровождаются увеличением энтропии, по окончании которых энтропия принимает максимальное значение.

В работе [11] показано, 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. 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 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. Тогда имеем дело с двумя открытыми системами, 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, которые происходят при взаимодействии системы и энтропостата, относятся к ней самой, что позволяет сравнивать энтропию открытых систем. Для этого, следуя [11], введем некоторый феноменологический параметр α , который назовем *степенью открытости системы*. Данный параметр характеризует величину всех изменений, которые произошли с системой в результате ее взаимодействия с энтропостатом (внешней средой).

Следует отметить, что в открытой системе общее приращение энтропии складывается из всегда положительного приращения, обусловленного исключительно действием закона возрастания энтропии, и отрицательного приращения. Поэтому существует некоторый *критический уровень упорядочения системы*, которому однозначно соответствует степень открытости системы α . 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 с целью ее самоорганизации, необходимо следить, чтобы интенсивность размыкания (скорость возрастания степени открытости системы) не превысила некоторый порог $\alpha_{\text{крит}}^*$, выше которого система, не успев самоорганизоваться, потеряет устойчивость и разрушится.

Рассмотрим оценку $\alpha_{\text{крит}}^{\bullet}$ для некоторой производственной системы, взаимодействующей с внешней средой (энтропостатом).

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 горизонтом планирования, периодом перепланирования и т.д. [1]. Процесс планирования может быть условно разбит на 4 уровня, характеризующиеся собственным набором задач, различными периодами планирования и разным уровнем детализации [4]:

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

2. *Уровень стратегического планирования*. Целью данного этапа планирования является определение долгосрочных и среднесрочных целей предприятия. На данном уровне происходит сбор информации: прогнозирование, фильтрация и отбор заказов, анализ существующих мощностей и бизнес-целей производства. Результатом комплексной работы всех участников процесса является построение главного календарного плана производства (ГКПП), который регламентирует «что?», «к какому сроку?» и «в каких количествах?» будет выпускаться в плановом периоде. Горизонт планирования данного уровня – от года до двух лет. Данный уровень подлежит дальнейшей декомпозиции на подуровни, со своими горизонтами планирования и детализацией. Ключевым моментом является то, что на выходе данного этапа планирования должен быть сформирован и утвержден ГКПП с детализацией по месяцам. Минимальный период перепланирования на данном этапе составляет один месяц.

3. *Уровень тактического планирования*. На тактическом уровне планирования на основе составленного главного календарного плана производства, 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 длины производственного цикла предприятия и номенклатуры выпускаемой продукции). Детализация плана производится по дням. Следует отметить, 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 оперативное планирование использует детализированный календарный план вы-

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

На рис. 1 представлена структурная схема системы производственного планирования, которая включает 4 уровня планирования: бизнес-планирование, стратегический, тактический и оперативный. Каждый уровень характеризуется горизонтом планирования T_i и периодом перепланирования γ_i , $i = 1, \dots, 4$. Внешним воздействием на данную систему считается воздействия со стороны заказчиков и рынков продукции, инноваций, сырья и труда.

Внутри системы планирования производства (СПП) также осуществляется взаимодействие. На стратегическом уровне формируется ГКПП, который является основой для тактического планирования и формирования операционного плана производства (ОПП). В свою очередь, ОПП является базой для составления сменно-суточных заданий (ССЗ). Как отмечалось выше, на оперативном уровне управления происходит контроль производства продукции и ее составляющих. В связи с тем, что из-за технологических или иных обстоятельств возникают отклонения от составленных календарных планов, необходимо принимать меры по устранению отклонений в оперативном режиме. Обычно это влечет изменение операционного плана производства. Поэтому на рис. 1 показано обратное воздействие со стороны оперативного уровня на тактический уровень планирования.

Отметим, что результатом решения задачи производственного планирования на верхних уровнях управления предприятием является ГКПП на планируемый период, оптимальный с точки зрения критериев, определяемых политикой предприятия, и учитывающий ограничения на производственные мощности, имеющиеся оборотные средства и основные ресурсы предприятия [7]. 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. ГКПП предоставляет собой 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 марке-

тинговими и производственными подразделениями предприятия [4]. Следует отметить, что ГКПП ориентирован в большей степени на увеличение прибыли предприятия и в меньшей степени на комфортность производства. Он не учитывает распределение имеющихся ресурсов во времени и пространстве, возможности поставок и хранения необходимых материалов, резервов для оперативного управления производством.



Рис. 1. Структурная схема системы планирования производства, авторская разработка

Возникающий конфликт должен быть разрешен на следующих структурных уровнях (тактическом и оперативном), на которых происходит детализация и уточнение ГКПП [9]. При этом 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, за счет 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 коррек-

тировка возможна, то новый ГКПП является допустимым. В том случае, когда ресурсы на двух последних уровнях планирования не могут обеспечить новый ГКПП, то необходимо пересмотреть скорость изменения этого плана. Другими словами, делая систему планирования более открытой за счет учета интересов потребителей на стратегическом уровне, необходимо следить, чтобы интенсивность размыкания (скорость возрастания степени открытости системы) не превысила некоторый порог $\alpha_{\text{крит}}^*$, выше которого система, не успев самоорганизоваться, потеряет устойчивость.

На практике степень открытости всей системы планирования на предприятии обычно подбирается эмпирически – путем введения процедуры согласования планов на 3 последних уровнях. Эту процедуру согласования необходимо производить до тех пор, пока СПП не перейдет в некоторое равновесное состояние, значение энтропии в котором будет соответствовать определенной степени открытости всей СПП, которая соответствует существующим ресурсам предприятия и удовлетворяет 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:

$$\beta_i = \frac{\gamma_i}{\Gamma_i}, \quad i = 1, \dots, 4. \quad (1)$$

Отметим, что параметр β_i характеризует возможную скорость 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 β_2 должно стремиться к нулю (как только приходит новый заказ на предприятие – сразу корректируется ГКПП). Однако это влечет изменение в ОПП и ССЗ, т.е. 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, $\beta_1 \geq \beta_2 \geq \beta_3 \geq \beta_4$). При этом очевидно, что данные параметры целесообразно выбирать примерно равными между собой, чтобы обеспечить их согласованность, не завышая производственные затраты. Следует отметить, что любое уменьшение параметров β_i связано с дополнительными издержками производства. Поэтому руководство предприятия стремится сохранять эти параметры как можно ближе к 1, т.е. реже прибегать к процедуре перепланирования производства.

Предположим, что на предприятии сложилась СПП, характеризующаяся некоторым распределением параметров β_i . Как показано выше, степень открытости системы однозначно определяет значение энтропии этой системы в равновесном состоянии. Отметим, что для абсолютно замкнутых систем значение энтропии будет максимальным, а для абсолютно открытых – мини-

мальным. 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 оценки α в данный момент времени может быть предложена следующая формула:

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

Формула (2) показывает, что степень открытости системы определяется гибкостью календарного планирования, причем на самом «узком» уровне. Введение множителя β_1 в формулу (2) позволяет учитывать масштаб предприятия и тип производства (машиностроительное, металлургическое и т.д.), т.е. учет параметра β_1 дает возможность учесть характер производственной деятельности предприятия при оценке степени открытости ее СПП.

При увеличении α открытость системы возрастает за счет поступления новой полезной информации и энтропия снижается, а упорядоченность СПП повышается. Однако если степень открытости будет очень высокой, например информация о перепланировании будет поступать ежесуточно, 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 $\alpha_1 > \alpha_0$, при этом должен возрасти *критический уровень упорядочения системы*, 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 следующие исходные данные:

$\Gamma_1 = 3$ года, $\gamma_1 = 1$ год, $\Gamma_2 = 1$ год, $\gamma_2 = 3$ месяца, $\Gamma_3 = 3$ месяца, $\gamma_3 = 1$ неделя, $\Gamma_4 = 1$ неделя, $\gamma_4 = 3$ дня.

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

Используя формулу (2), можно оценить степень открытости данной СПП: $\alpha = 1/3 (1 - 3/7) = 0,19$.

Видно, что рассматриваемая СПП с позиций энтропийного подхода:

1) 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;

2) степень открытости этой системы определяется гибкостью системы оперативного управления, которая в данном случае является «узким местом» системы управления производством;

3) система тактичного планування має надмірну гнучкість, що призводить до необґрунтованих матеріальних витрат.

Для підвищення ступеня відкритості розглядаваної СПП з метою більш гнучкого реагування на побажання замовників розглянемо наступну задачу.

Нехай задана деяка виробнича система, що характеризується наступними параметрами СПП: $\beta_{10} = 1/3$; $\beta_{20} = 1/4$; $\beta_{30} = 1/12$; $\beta_{40} = 3/7$; $\alpha_0 = 0,19$. Потрібно знайти мінімальне час T , за який можна підвищити ступінь відкритості даної системи на 50%, при обмеженнях на швидкість зміни параметрів β_i , $i = 1, 2, 3, 4$, т.е.:

$$|\dot{\beta}_i(t)| \leq \dot{\beta}_{i\text{крит}}, \quad t \in [0, T], \quad i = 1, 2, 3, 4. \quad (3)$$

Ці обмеження пов'язані з ресурсами підприємства, можливостями модернізації виробництва тощо. При цьому, як було зазначено вище, бажано, щоб в момент часу T параметри β_i , $i = 1, 2, 3, 4$ були приблизно рівними.

Візьмемо за умову, що $\beta_i(t) = \text{const}$ (при модернізації СПП бізнес-цілі не змінюються). Припустимо, що задані наступні максимальні швидкості зміни параметрів системи планування: $\dot{\beta}_{2\text{крит}} = 0,028$; $\dot{\beta}_{3\text{крит}} = 0,014$; $\dot{\beta}_{4\text{крит}} = 0,095$, які відповідають можливостям підприємства при модернізації системи управління за рахунок підвищення гнучкості виробничого планування.

Виходячи з співвідношення (2), можна записати:

$$\dot{\alpha}(t) = -\beta_1 \max_i \left(|\dot{\beta}_i(t)| \text{sign}(\dot{\beta}_i(t)) \right), \quad t \in [0, T], \quad i = 2, 3, 4. \quad (4)$$

Вважаючи монотонність по часу функцій β_i , $i = 2, 3, 4$ і враховуючи обмеження (3), з (4) випливає, що $\dot{\alpha}(t) \leq -\beta_1 \max_i \dot{\beta}_{i\text{крит}}$, $i = 2, 3, 4$.

З аналізу початкових даних видно, що найбільше значення $\dot{\beta}_{i\text{крит}}$ досягається при $i = 4$, тобто максимальна швидкість зміни ступеня відкритості системи дорівнює $\dot{\alpha} = -\beta_1 \dot{\beta}_{4\text{крит}}$. Використовуючи початкові дані, отримуємо її оцінку: $\dot{\alpha} = 0,031$.

Тепер, підставляючи це значення в вираз для потрібного значення параметра відкритості системи в момент часу T ($\alpha_T = \alpha(T) = 0,19 \times 1,5 = 0,285$) і використовуючи співвідношення $\alpha_T = \alpha_0 + \dot{\alpha} \times T$, отримуємо мінімальне час T , за який можна підвищити ступінь відкритості системи до потрібного значення α_T : $T = (0,285 - 0,19) / 0,031 = 3$ роки.

На рис. 2 наведено отримане рішення початкової задачі. Видно, що для досягнення потрібного рівня відкритості системи параметри β_2 і β_4 повинні зменшитися, а параметр β_3 – збільшитися. Слід зазначити, що при знайденому швидкості зміни відкритості системи не відбуваються жодних руйнівних процесів (внаслідок виконання обмежень на ресурси підприємства). При цьому в момент часу T параметри гнучкості планування приймуть наступні значення: $\beta_2 = 1/6$; $\beta_3 = 1/8$; $\beta_4 = 1/7$, які близькі до узгоджених (рис. 2).

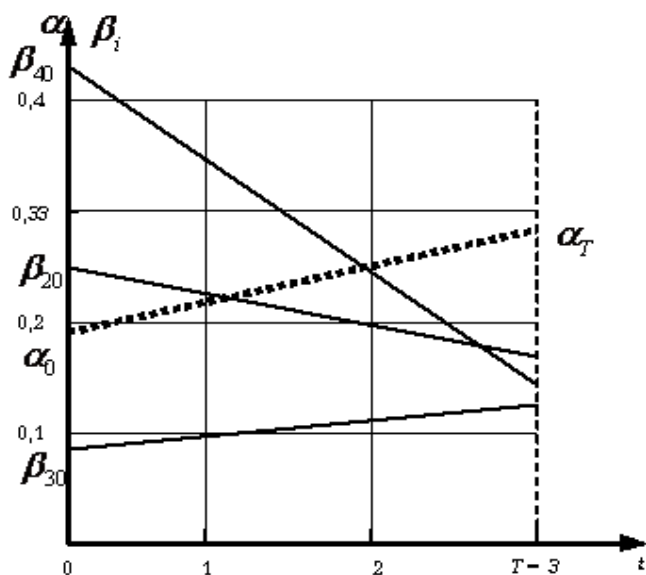


Рис. 2. Повышение степени открытости производственной системы за счет изменения параметров системы планирования, авторская разработка

Для достижения этих параметров достаточно снизить γ_2 до двух месяцев, γ_4 — до одного рабочего дня и понизить горизонт планирования на тактическом уровне (T_3) до двух месяцев.

Отметим, что в приведенном примере после модернизации СПП «узким» местом планирования вместо оперативного уровня становится стратегический, который определяет взаимодействие с заказчиками.

Другими словами, те обязательства, которые будут включены в ГКПП, предприятие способно выполнить за счет гибкости перепланирования на тактическом и оперативном уровнях управления производством.

Выводы. Рассмотренный энтропийный подход к управлению производством предполагает различную открытость систем производственного планирования. Чем выше степень открытости СПП, тем более готовой к самоорганизации должна быть эта система на всех структурных уровнях принятия управленческих решений.

Одним из эффективных механизмов повышения степени открытости производственной системы является увеличение гибкости системы планирования производства. При этом структурные параметры системы на различных уровнях планирования должны быть согласованы между собой, что гарантирует возникновение нового равновесного состояния с уровнем организации производства, соответствующим стратегическим целям предприятия.

1. Гаврилов Д.А. Управление производством на базе стандарта MRP-II. — СПб.: Питер, 2003. — 352 с.

2. Гитман М.Б., Столбов В.Ю., Гилязов Р.Л. Управление социально-техническими системами с учетом нечетких предпочтений. — М.: ЛЕНАНД, 2011. — 272 с.

3. Горский Ю.М. Системно-информационный анализ процессов управления. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. – 327 с.
4. Евстратов С.Н., Вожяков А.В., Столбов В.Ю. Автоматизация планирования производства в рамках единой информационной системы многопрофильного предприятия // Автоматизация в промышленности. – 2012. – №2. – С. 13–16.
5. Климонтович Ю.Л. Критерий относительной степени упорядоченности открытых систем // Успехи физических наук. – 1996. – Т. 166, №11. – С. 1231–1238.
6. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. – М.: КомКнига, 2005. – 296 с.
7. Производственный менеджмент: Учебник / Под ред. В.А. Козловского. – М.: ИНФА-М, 2003. – 574 с.
8. Трубецков Д.И. Введение в синергетику. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 240 с.
9. Федосеев С.А., Гитман М.Б., Столбов В.Ю. Математические модели управления качеством продукции на этапе планирования производства // Проблемы управления. – 2011. – №4. – С. 60–67.
10. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. – Изд. 2-е, доп. – М.: КомКнига, 2005. – 248 с.
11. Шаповалов В.И. Основы теории упорядочения и самоорганизации. – М.: Испо-Сервис, 2005. – 296 с.

Стаття надійшла до редакції 13.04.2012.