УДК 658.5

*Регион: экономика и социология, 2016, № 4 (92), с. 290–310*

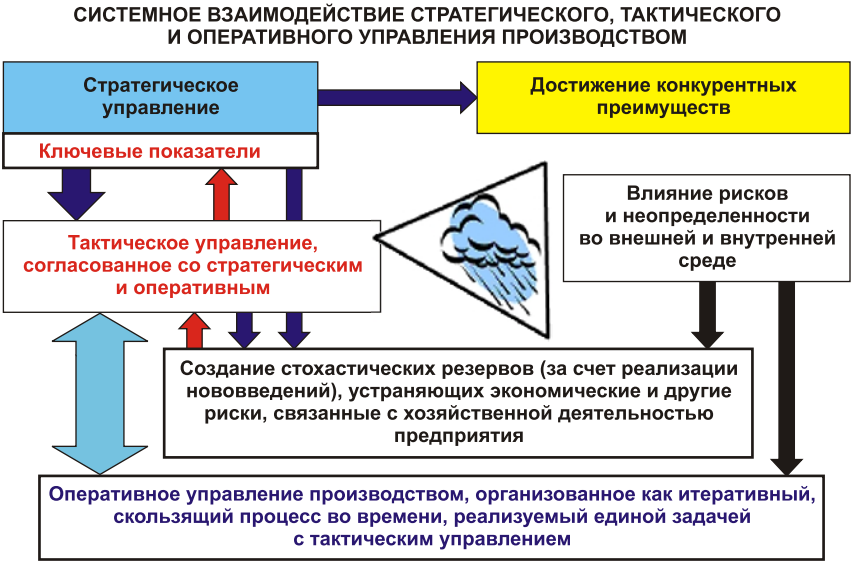
**В.В. Титов**

# ПЛАНИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ВНЕШНЕЙ И ВНУТРЕННЕЙ СРЕДЫ

*В условиях динамизма внешней среды, кризисных явлений в стране и мире существенно возрастают трудности внутрифирменного управления промышленными предприятиями. Такая ситуация возникает из-за того, что в настоящее время фактически отсутствуют достаточно обоснованные методики управления рисками на уровне предприятий. В статье представлен оригинальный концептуальный подход к организации планирования устойчивого функционирования предприятия в условиях риска и неопределенности во внешней и внутренней среде. Достижение ключевых стратегических показателей обеспечивается на основе тактического планирования, с помощью которого оцениваются величины создаваемых стохастических резервов по ключевым показателям (за счет реализации дополнительных нововведений), устраняющих экономические и другие риски, связанные с хозяйственной деятельностью. Оперативное управление производством организуется как итеративный, скользящий процесс (уменьшающий производственные риски), реализуемый единой задачей с тактическим управлением. В системе используются модели оптимизации планирования деятельности предприятия, оперативного управления производством.*

**Ключевые слова:** стратегическое, тактическое и оперативное управление производством, риск, неопределенность, оптимизация, сетевое и календарное планирование, согласование задач планирования и управления

Представим методологический подход к планированию деятельности предприятия серийного машиностроения на текущий период в условиях неопределенности спроса на продукцию (см. рисунок). Риски хозяйственной деятельности предприятий в первую очередь связаны с изменениями спроса на продукцию [3]. Для новой продукции риски связаны также со сроками возможного начала ее производства. Устранить риски невыполнения ключевых стратегических показателей деятельности предприятия (сформированных в рамках стратегического управления) предлагается на основе корректировки тактических планов, учитывающих создание стохастических резервов [7; 8]. Эти корректировки учитываются и в оперативном управлении производством. Кроме этого устраняются также производственные риски на основе частых уточнений оперативных планов (скользящего планирования). Системное представление взаимодействия стратегического, тактического и оперативного управления производством отражено на рисунке. В соответствии с этим представлением в данной




Концептуальное представление системы планирования устойчивого функционирования предприятия

статье последовательно показана разработка системы планирования устойчивого функционирования промышленных предприятий приборостроения, машиностроения с мелкосерийным и серийным производством в условиях неопределенности спроса на продукцию.

В первую очередь представим проблему построения тактического плана работы предприятия на ближайший год (месяц, квартал) при условии, что стратегические показатели на данный плановый период выполнены (или перевыполнены). Основой тактического управления является задача формирования производственной программы выпуска и реализации продукции в планируемом периоде. Любому варианту производственной программы соответствует комплекс технико-экономических и финансовых показателей, которые рассчитываются для условий определенности исходных данных. Методически решение такой задачи достаточно подробно рассмотрено в литературе [7; 8; и др.].

Составление текущего, например годового, тактического плана может быть осуществлено в три этапа. На первом этапе составления годового плана формируется его проект. Расчеты могут быть и оптимизационными. Учитываются исходная нормативная информация текущего года, прогнозная информация (цены, спрос на продукцию и др.), задаются ключевые стратегические показатели (из стратегического плана), на которые предприятие должно выйти в планируемом году: объемы продаж, реализации, чистой прибыли, уровни рентабельности, оплаты труда и другие показатели. Результаты расчетов проекта годового плана укажут на рассогласование расчетных показателей с контрольными.

На втором этапе составления годового плана ставится задача устранения образовавшегося рассогласования между расчетными и контрольными параметрами. Данное рассогласование устраняется с помощью формирования плана повышения эффективности производства, т.е. за счет планирования реализации нововведений. При этом необходимо активно использовать организационные компетенции [5]. Это один из важнейших моментов внутрифирменного планирования и согласования показателей деятельности предприятия. Здесь более эффективно использование модели оптимизации планирования функционирования предприятия в плановом периоде. На основе предвари-

тельных расчетных данных годового плана составляется оптимизационный план реализации организационно-технических мероприятий и нововведений, заданных в исходной информации и позволяющих указанное рассогласование устранить либо минимизировать. Одновременно с этим проводится оптимизационный финансово-экономический анализ ситуаций. С помощью модели оптимизации делаются многовариантные расчеты для корректировки годового плана предприятия, для анализа сложившихся ситуаций и предлагаемых решений, для оперативного принятия решений на ближайший плановый период (квартал, месяц, если длительность производственного цикла не превышает указанную длительность). Подобные расчеты могут быть выполнены также с помощью последовательных балансовых расчетов без использования оптимизационной модели. При этом будет потеряна часть системного и оптимизационного экономических эффектов.

Предположим, что указанная задача решена. Если нет нужных нововведений, то какие-то ключевые стратегические показатели не будут достигнуты. Кроме этого, поскольку не учитывался стохастический характер прогнозного спроса на продукцию, ясно, что при реализации тактического плана будут получены результаты, отличные от предусмотренных в нем.

Априори фактические результаты определить невозможно. Поэтому на третьем этапе составления годового (квартального, месячного) плана – этапе его согласования со стратегическими показателями методологически задача ставится следующим образом: надо сформировать такой текущий план, который с определенной вероятностью обеспечит выполнение стратегических показателей развития предприятия в рассматриваемом периоде.

Учет стохастического характера ограничений по спросу на продукцию может быть осуществлен следующим образом. Для генерирования прогнозов верхних значений годового спроса на продукцию используется метод Монте-Карло. Для него известны два основных параметра распределения: среднее (прогнозный спрос) и среднеквадратическое отклонение фактического спроса от прогнозного на основе изучения данных за прошедшие периоды. Закон распределения слу-

чайной величины «отклонение фактического спроса от прогнозного» обосновывается как нормальный на базе многолетних статистических наблюдений.

Рассчитав множество верхних границ спроса по всей продукции, далее используем модель оптимизации для формирования вариантов годового плана работы предприятия*. Аналогичным образом можно в исходные данные заложить вероятные изменения цен на продукцию и материалы, учесть возможные отклонения сроков разработки новой продукции. Рассмотрев необходимое количество вариантов плана производства и продаж продукции, отбираем те из них, в которых отклонения расчетных показателей меньше ключевых стратегических показателей. Максимальные отклонения и определяют величину стохастических резервов, которые необходимо создать (дополнительно увеличить объем продаж и т.д.), чтобы устранить возможные риски. При этом частота появления отклонений позволяет дать оценку и вероятностям отклонений. Однако такая информация не очень полезна для планирования: практика требует устранения рисков с вероятностью, близкой к 100%, чтобы при любых обстоятельствах на рынке предварительно определенные ключевые стратегические показатели были выполнены. Устранить риски можно за счет диверсификации производства [4] и увеличения плана объемов продаж, за счет разработки дополнительных нововведений по снижению издержек производства, накладных расходов и т.д. Если такие мероприятия не удается запланировать, то следует снизить уровень заданий по ключевым показателям.

Таким образом, предлагается не решать множество задач стохастического программирования. Вместо этого на основе анализа данных об отклонениях, например, фактического спроса на продукцию предприятия от первоначально определенного прогнозного спроса с помощью метода Монте-Карло генерируется множество вариантов спроса на планируемый период. С учетом такой информации рассчитывается множество планов работы предприятия. В этих планах фик-

* См.: *Титов В.* Оптимизация принятия решений в управлении промышленной корпорацией: Вопросы методологии и моделирования. – Saarbrucken: Palmarium Academic Publ., 2013. – 337 с.

сируются наихудшие решения по стратегическим показателям, по которым заданы определенные уровни. Максимальные отклонения расчетных показателей (в меньшую сторону) от контрольных определяют стохастические резервы, которые должны быть заложены в планы текущей деятельности предприятия. При неблагоприятном исходе реализации плана предприятие может обеспечить выполнение заданных стратегических показателей, при благоприятной ситуации возрастет эффективность производства, что не противоречит целям деятельности предприятия.

Методические подходы к согласованию тактического и стратегического управления представим, используя данные приборостроительного предприятия с серийным характером производства [7; 8]. Подобная задача может быть поставлена также на машиностроительном предприятии с серийным и крупносерийным производством. При этом следует заметить, что применение оптимизационного моделирования не является обязательным, но оно повышает качество планирования, так как проводятся те же балансовые расчеты, что и при использовании EXCEL, но выбирается наилучшее решение из их множества. Кроме этого, одновременно с решением мы получаем анализ экономической ситуации на основе двойственных оценок [2].

В таблице приведен пример решения поставленной проблемы. В столбце 3 заданы контрольные показатели стратегического плана на текущий год планирования. Среди них ключевые показатели выделены жирным шрифтом. Оптимальный план на планируемый год представлен в столбце 4. Выполнены все ключевые показатели, кроме объема продаж. Следовательно, на предприятии для согласования стратегического плана с текущим следует разработать мероприятия по увеличению объема продаж либо уменьшить план по этому показателю.

Далее на основе статистических данных сгенерировано множество вариантов верхней границы спроса, рассчитаны варианты годовых оптимальных планов и их показатели. В столбце 5 таблицы представлен один из вариантов плана с лучшими показателями. Как видим, изменение спроса и изменение структуры выпуска продукции могут существенно улучшить показатели плана. Однако вероятность такой си-

**Планы реализации с учетом случайных отклонений годового фактического спроса на продукцию от прогнозного**

| № п/п | Показатель | Контрольные, ключевые показатели | Исходное решение | Лучшее решение с учетом изменения спроса | Худшее решение с учетом изменения спроса |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Реализация, млн руб. | **443,0** | 428,6 | 449,0 | 404,0 |
| 2 | Прибыль от продаж, млн руб. | 25,0 | 29,0 | 36,3 | 21,4 |
| 3 | Прибыль чистая, млн руб. | **20,0** | 23,2 | 29,0 | 17,1 |
| 4 | Оборотные активы, млн руб. | 170,0 | 165,0 | 171,0 | 158,0 |
| 5 | Кредиторская задолженность, млн руб. | 150,0 | 144,0 | 148,0 | 137,0 |
| 6 | Рентабельность продаж, % | **5,6** | 6,8 | 8,1 | 5,3 |
| 7 | Инвестиции в техническое перевооружение, млн руб. | **20,0** | 23,2 | 29,0 | 17,1 |

туации мала. В то же время в столбце 6 таблицы представлен один из вариантов плана с худшими показателями. Отклонения этих показателей от ключевых отражают максимальные риски их невыполнения. Как уже отмечалось, устранение рисков осуществляется за счет реализации дополнительных нововведений. Текущий план деятельности предприятия должен корректироваться в сторону увеличения показателей относительно стратегического плана для создания стохастических резервов этих показателей. Именно такой подход будет способствовать планированию устойчивого развития предприятия в условиях нестабильности внешней и внутренней среды.

В управлении предприятием более сложной задачей является интеграция тактического планирования и операционной деятельности. Согласование стратегических и тактических планов деятельности промышленных предприятий с их операционными стратегиями существенно повышает эффективность производства. Далее, в соответствии с рисунком, представим методологический подход к согласова-

нию тактических и операционных планов деятельности промышленных предприятий.

Оперативное управление производством строится на принципах подетально-пооперационного планирования как наиболее перспективной системы календарного планирования. Однако в этом случае возрастает размерность решаемой задачи. К тому же производство как объект управления является вероятностной системой, поэтому нарушение подетально-пооперационного плана-графика приводит к рассогласованию всей системы оперативного управления. Приходится ежесуточно пересматривать графики производства. Учитывая эти обстоятельства, в системах оперативного управления используют принцип планирования по узким местам [7; 8; и др.].

Суть задачи заключается в следующем. Необходимо составить план-график обработки заданного перечня деталей на определенном количестве станков (рабочих мест). Для каждой детали заданы технологическая последовательность обработки по операциям (и станкам) и длительность операций. При этом минимизируется время выполнения всех работ. Это обеспечит минимум незавершенного производства, простоя станков. Однако в реальных условиях единичного и мелкосерийного производства со временем первоначальная постановка задачи изменяется. Был один перечень деталей, а через какое-то время появляются новые заказы и их следует учесть. Детали входят в узлы, изделия. Следовательно, сборку узла или изделия нельзя начинать, пока все его детали не будут готовы. По деталям (если это товарная продукция) и изделиям задается предельный срок их выпуска. Если узел является товарной продукцией и не входит в какое-то изделие, выпускаемое предприятием, то данный узел фиксируется как изделие. Фактическое отклонение длительностей операций от первоначально зафиксированных приводит к изменению условий задачи и требует ее перерасчета. Критерий оптимизации связан с повышением эффективности производства на основе более раннего выпуска и продажи наиболее рентабельной продукции. Таким образом, оперативное управление производством в условиях единичного и мелкосерийного производства сводится к непрерывному решению задачи календарного планирования (через смену, через сутки, через несколько дней).

Представим решение задачи календарного планирования на одном из таких этапов. Пусть на данном этапе проходят обработку $D$ деталей, $d = 1, 2, \ldots, D$, $U$ узлов, $u = 1, 2, \ldots, U$, $I$ изделий, $i = 1, 2, \ldots, I$. Фиксируется также входимость деталей в те или иные узлы или изделия: $d \quad D^u$, $d \quad D_i$. С учетом принципа планирования по узким местам на основе опыта работы предприятия в предыдущих периодах фиксируется перечень ведущих групп оборудования (рабочих мест) $n = 1, 2, \ldots, N$. По каждой детали заданы перечни ведущих операций: $w = 1, 2, \ldots, w_d$. При этом каждой паре индексов $(d, w)$ поставлены в соответствие индекс $n$ и длительность выполнения операций $h_{dwn}$. Если речь идет об обработке партии деталей, то будем считать, что в значении $h_{dwn}$ это учитывается. Все операции по сборке узлов, изделий будем считать одной операцией, так как этот процесс, как правило, осуществляется на одном рабочем месте или на одной группе рабочих мест.

Обозначим через $t_d$ технологическую длительность производственного цикла (ДПЦ). Данный параметр включает длительности не только операций $w$, но и всех остальных. Это необходимо, чтобы организовать календарное планирование по ведущим операциям. Поэтому с каждой ведущей операцией связана еще следующая информация: $t_{dw}$ – ДПЦ от начала обработки детали $d$ до ведущей операции $w$; $t_{d,w,w+1}$ – ДПЦ от завершения ведущей операции $w$ до следующей операции $w + 1$ или до выпуска готовой детали. Данная информация позволяет точно зафиксировать время выполнения ведущих операций и не допустить перегрузку соответствующих групп оборудования (рабочих мест).

Чтобы учесть загрузку ведущих групп оборудования, необходимо зафиксировать единицу времени (смену, сутки и т.д.) и рабочий календарь $\tau = 1, 2, \ldots, T$, выраженный в принятых единицах времени. Значение $T$ определяется максимальной ДПЦ по какому-то изделию и принятыми периодами планирования на предприятии: декада, две декады, месяц и т.д. Тогда значения $h_{dwn}$ будут отражать длительность выполнения ведущих операций в этих же единицах времени, а $a_{dwn}$ – интенсивность использования ресурсов на группе оборудования $n$. Параметр $a_{dwn}$ может быть выражен количеством станков из

группы оборудования *n*, одновременно занятых выполнением операции *w*, или количеством рабочих, одновременно выполняющих эту операцию на рабочем месте *n*. Для сборочных процессов соответствующие параметры обозначим как $a_{un}$, $a^{in}$ и $h_{un}$, $h^{in}$. Возможности группы оборудования (рабочего места) *n* отражаются количеством станков в группе либо количеством рабочих $M_{n\tau}$.

Важным при организации календарного планирования является момент начала составления планов-графиков. Производство же идет непрерывно. Следовательно, в момент начала времени $\tau = 1$ обработка деталей может находиться на любой стадии. Поэтому все параметры, перечисленные ранее, задаются с тех этапов обработки деталей, узлов и изделий, на которых они находятся. Процесс календарного планирования как бы отражает продолжение хода производства, которое было начато ранее периода $\tau = 1$.

Итак, по всей товарной продукции на начало периода $\tau = 1$ заданы предельные сроки ее выпуска $S_d$, $S^u$, $Z_i$ из тактического плана. Эти сроки задаются с учетом ДПЦ и резерва календарного планирования (из-за пролеживания деталей), определяемого опытом реализации оперативных планов производства. Ясно, что данные параметры должны обеспечивать опережение по договорным срокам поставок продукции потребителям. Причем значение $S_d$ определяется отдельно, если деталь является товарной продукцией. Если она входит в какой-то узел, изделие, то длительность сборки изделия, узла учитывается только через параметры $S^u$, $Z_i$. Параметры $S_d$, $S^u$, $Z_i$ задаются для единичного и мелкосерийного производства. Для серийного и крупносерийного производства следует учесть, что в соответствии с прогнозным спросом фиксируются сроки выпуска партий *q* продукции: $S_{dq}$, $S^{uq}$, $Z_{iq}$.

Отмеченная информация позволяет представить методологический подход к построению плана-графика хода производства, имитирующий реализацию производственного процесса на основе расчетных оценок приоритетов продукции с точки зрения первоочередности запуска ее в обработку. Расчеты проводятся по шагам $\lambda = 1, 2, \ldots$. На каждом шаге в плане-графике фиксируется одна деталеоперация. После этого пересчитывается часть информации.

Приоритет продукции, деталей $\pi_{d\lambda}$ на первом шаге определяется следующим образом: $\pi_{d1} = S_d - t_d$ (приоритет по резерву времени), $\pi_{d1} = (S_d - t_d) / t_d$ (приоритет по относительному резерву времени). Выбирается та деталь, для которой приоритет наименьший. Это значит, что если не фиксировать в плане-графике операции по обработке данной детали в первую очередь, то может быть сорван срок продажи продукции. Если приоритет продукции отрицателен, то это значит, что при данной технологии производства деталь не может быть готова к нужному сроку. Необходимо в исходной информации менять значения $a_{dwn}$, $h_{dwn}$, $t_{d,w,w+1}$, $M_{n\tau}$ на основе организационных и технологических нововведений. Самое простое – увеличить сменность работы того оборудования (рабочих мест), на котором выполняются операции соответствующей детали, и т.д. Таким образом, нельзя переходить к расчетам следующего шага при наличии отрицательных приоритетов продукции.

Когда все $\pi_{d1} > 0$, то первая ведущая операция по обработке данной детали фиксируется в плане-графике. Для следующего шага расчетов корректируется значение $t_d$, с учетом значений $t_{d1}$, $a_{d1n}$, $h_{d1n}$ для соответствующего времени уменьшаются значения $M_{n\tau}$. Таким образом, процесс построения плана-графика продолжается. Когда производство всех деталей для того или иного узла, изделия будет запланировано, то в плане-графике фиксируется сборочный процесс на основе соответствующей информации: $a_{un}$, $a^{in}$ и $h_{un}$, $h^{in}$.

Проводить расчеты более чем на рабочую неделю, декаду не имеет смысла, так как план будет нарушен по различным причинам. Поэтому следует делать расчеты заново, как только фактически значения плана-графика станут отличаться от плана на принятую единицу времени.

Однако принятие решений с помощью имитационной модели и указанных (и других) приоритетов не обеспечивает должное приближение к оптимальному графику хода производства. Параметры $\pi_{d\lambda}$ не учитывают, что будет происходить внутри плана-графика в будущем времени. Когда расчеты дойдут до «конфликта операций», уже будет поздно что-то исправлять. Тем более, когда график исправлен в одном месте, появляются трудности в другом. Итерационный ло-

кальный подход к расчетам не дает нужных результатов, т.е. используемые имитационные модели приближенного решения задачи календарного планирования могут и не обеспечить хорошего приближения к оптимальному решению. Поэтому представим, как для условий данного производства использовать системную модель оптимизации.

Обозначим через $x_{dwn\tau}$ целочисленную переменную, принимающую значение 1 тогда, когда планируется обработка детали $d$ на ведущей группе оборудования $n$ в момент времени $\tau$ по ведущей операции $w$. При партионности обработки вводится переменная $x_{dqwn\tau}$. Если в момент времени $\tau$ запуск не планируется, то указанная переменная принимает значение 0. Тогда выполнение ограничений по возможностям производства отражается следующим образом:

$$\sum_{d,w,r} a_{dwnr} x_{dwn\tau} \le M_{n\tau},\ n = 1, 2, \ldots, N,\ \tau = 1, 2, \ldots, T,$$

$$a_{dwnr} = a_{dwn},\ r = \{\tau, \tau + 1, ..., \tau + h_{dwn} - 1\},$$

$$a_{dwnr} = 0,\ r \ne \{\tau, \tau + 1, ..., \tau + h_{dwn} - 1\}.$$

В модели необходимо предусмотреть выполнение следующего условия: запуск в производство детали (партии деталей) на ведущей операции $w + 1$ возможен только после выполнения работ на предыдущей ведущей операции. Кроме того, следует учесть время обработки и пролеживания деталей ($t_{d,w,w+1}$) между ведущими операциями:

$$\sum_{\tau} \tau\, x_{dn\tau,w+1} - \sum_{\tau} \tau\, x_{dwn\tau} \ge h_{dwn} + t_{d,w,w+1};$$

$$d = 1, 2, \ldots, D;\ w = 1, 2, \ldots, w_d - 1.$$

Поскольку предусмотрено множество вариантов запуска детали $d$ в производство по ведущей операции $w$, необходимо чтобы был выбран один временной вариант:

$$\sum_{\tau} x_{dwn\tau} = 1,\ d = 1, 2, \ldots, D;\ w = 1, 2, \ldots, w_d.$$

Обозначим через $y_{un\tau}$ целочисленную переменную, принимающую значение 1, если сборка узла $u$ начнется в момент времени $\tau$ на рабочем месте $n$. В противном случае $y_{un\tau} = 0$. Выбирается один вариант сборки узла во времени:

$$\sum_{\tau} y_{un\tau} = 1,\ u = 1, 2, \ldots, U .$$

Следующее условие обеспечивает выбор времени сборки узла $u$. Это можно осуществить только после того, как все детали $d \quad D^u$ будут готовы:

$$\sum_{\tau} \tau\, x_{dn\tau, w(d)} - \sum_{\tau} \tau\, y_{un\tau} + h_{dn,w(d)} + t^{w(d)} + 1 \le 0;$$

$$w(d) = w_d,\ u = 1, 2, \ldots, U,\ d \quad D^u.$$

Здесь $t^{w(d)}$ – время выполнения операций по детали $d$ от последней ведущей операции до поступления узла на склад готовой продукции или на сборку.

Обозначим через $z_{in\tau}$ целочисленную переменную, принимающую значение 1, если сборка изделия $i$ начнется в момент времени $\tau$ на рабочем месте $n$. В противном случае $z_{in\tau} = 0$. Условие готовности деталей и узлов для сборки изделия, срок начала сборки определяются аналогичным образом.

По всей товарной продукции задаются сроки ее выпуска, согласованные со сроками продаж. Например, для изделия такое ограничение ставится следующим образом:

$$\sum_{\tau} \tau\, z_{in\tau} \le Z_i,\ i \quad I.$$

Критерий оптимизации в данной задаче – минимальный срок завершения всех работ, которые были зафиксированы к исполнению на начальный период времени $\tau$. Однако более обоснованным является критерий минимизации уровня незавершенного производства, который обеспечивает данный производственный процесс. Этот показатель построен на основе первого, что видно и из самой функции цели:

$$\sum_{\tau} \left( \sum_{\tau} \tau\, x_{dn\tau, w(d)} + h_{dn,w(d)} + t^{w(d)} \right) c_d +$$

$$+ \sum_{\tau} \left( \sum_{\tau} \tau\, y_{un\tau} + h_{un} \right) c^u + \sum_{\tau} \left( \sum_{\tau} \tau\, z_{in\tau} + h^{in} \right) C^i \ \to \min.$$

Здесь $c_d$ – средняя себестоимость детали $d \quad D^*$, $D^*$ – перечень деталей, относимых к товарной продукции; $c^u$, $C^i$ – аналогичные показатели для узлов $u \quad U^*$, для изделий $i \quad I$.

На момент времени $t = 1$ можно зафиксировать все множество деталей, узлов, изделий и всех операций, которые следует выполнить. Для этого множества деталей можно поставить и задачу календарного планирования. Такая задача может быть достаточно большой размерности (сотни ведущих операций). Однако основная проблема заключается в том, что через какое-то время в производство запускаются новые детали и приходится решать уже другую задачу. Этот процесс повторяется и повторяется. Следовательно, мы не можем говорить об оптимальном решении задачи оперативно-календарного планирования в целом, а можем говорить только о некотором приближении к оптимальному решению. Это касается и имитационного подхода к решению задачи.

Решение рассматриваемой задачи позволяет увязать ее с технико-экономическим и финансовым планированием, с инновацинно-инвестиционным процессом, что позволит существенно повысить качество управления на промышленном предприятии.

Представление информации в модели оптимизации видится сложной задачей. Однако решить ее можно с помощью программного обеспечения, разработанного в Институте вычислительной математики и математической геофизики СО РАН [1]. Программа ИВМиМГ СО РАН может решать задачи большей размерности.

Для более сложных производств с длительным технологическим циклом согласование тактического и оперативного управления можно осуществить на основе совмещения задач оптимизации объемно-календарного (тактического), оперативно-календарного и сетевого планирования. Обычно для планирования подобных производств используется сетевое планирование. Однако нахождение критического пути не решает проблему. Когда же в сетевом планировании ставятся ограничения по ресурсам, возникает задача, для которой до сих пор нет эффективного алгоритма решения. Поэтому предложено такую

задачу решать с помощью модели, объединяющей сетевое и оперативно-календарное планирование [6]. При этом приближенно решается и проблема учета длительности работ (операций) не в целых единицах времени, а в фактических значениях.

Пусть необходимо выпустить $K$, $k = 1, \ldots, K$ изделий за определенный плановый период времени $T$, $t = 1, \ldots, T$. Для каждого изделия $k$ построен сетевой график выполнения работ. Чтобы упростить пояснения, приведем описание сетевого графика без индекса $k$. В сетевом графике имеется $n$ вершин. В таких вершинах часть работ заканчивается, а другие работы начинаются. Продолжительность каждой работы $ij$, начинающейся в вершине $i$ и заканчивающейся в вершине $j$, задана: $t_{ij}$, $i$ и $j = 1, \ldots, n$. При этом параметры $t_{ij}$ представляются следующим образом: $t_{ij} = t_{ij1} + h_{ijm} + t_{ij2}$, где $t_{ij1}$ – длительность обработки по операциям технологического процесса (с учетом пролеживания, транспортировки, технологических страховых опережений по времени) по работе $ij$ до ведущей операции, а $t_{ij2}$ – после ведущей операции до завершения работы $ij$; $h_{ijm}$ – продолжительность работы по ведущей операции на группе оборудования (рабочем месте) $m$, $m = 1, \ldots, M$.

Таким образом, параметры $t_{ij1}$ и $t_{ij2}$ отражают минимальное время выполнения части работы $ij$ без использования дефицитных ресурсов. Указанные параметры учитываются только в технологическом времени обработки. Длительность $h_{ijm}$ использования дефицитного ресурса определяет то время, в течение которого никакая другая работа выполняться не может, а следовательно, необходимо ввести ограничения, учитывающие подобные условия, которые приводят к сдвигу других работ на время $h_{ijm}$. Однако на группе оборудования $m$ может планироваться и параллельное выполнение нескольких однотипных работ.

Пусть основными ресурсами, ограничивающими выполнение работ, являются мощности и рабочие на соответствующих группах оборудования (рабочих местах). Так как эти ресурсы взаимосвязаны, ограничение возможностей выполнения работ по ведущей операции

в течение времени $h_{ijm}$ опишем на основе следующей информации. Для выполнения ведущей операции при выполнении работы $ij$ в каждую единицу времени необходимо наличие $a_{ijm}$ работников (в одну или две смены). Количество оборудования на рабочем месте $m$ позволяет одновременно работать $A_m$ рабочим. Следовательно, именно эти два параметра определяют производственные возможности (мощность) рабочего места $m$.

Обозначим через $x_{ijr}$ целочисленную переменную, принимающую значения 0 или 1. Если $x_{ijr} = 1$, то это значит, что работа $ij$ должна начинаться в период времени $r$, $r = 1, 2, \ldots$ . Для каждой работы в исходной информации задается некоторое дискретное множество вариантов ее выполнения (задается время возможного начала работы). При этом работа $ij$ должна быть выполнена только одним из вариантов:

$$\sum_r x_{ijr} = 1,\ i = 1, \ldots, n;\ j = 1, \ldots, n.$$

Ограничение на использование возможностей производства всех изделий $K$ во времени может быть записано следующим образом:

$$\sum_{i,k} a_{ijmkt} x_{kijr} \le A_{mt},\ t = \{r, r + 1, ..., r + t_{kij} - 1\};$$
$$a_{ijmkt} = a_{ijmk},\ t = \{r + t_{kij1}, ..., r + t_{kij1} + h_{kijm} - 1\},$$

в противном случае $a_{ijmkt} = 0$.

Таким образом, с периода $r$ до $r + t_{kij1} - 1$ значения $a_{ijmkt} = 0$, т.е. учитывается только часть длительности производства, но не затрагиваются мощности группы оборудования $m$. С периода $r + t_{kij1}$ до времени $r + t_{kij1} + h_{kijm} - 1$ учитываются возможности группы оборудования $m$. Если в какой-то из периодов времени мощности уже используются, просматривается возможность выполнения работы с другого периода $r$.

Выполнение условий последовательного производства работ может быть задано следующей системой ограничений:

$$(r + t_{kij} - 1)x_{kijr} \le T_{kj},\ j = 1, \ldots, n;$$
$$r x_{kijr} \ge T_{ki},\ i = 1, \ldots, n;\ k = 1, \ldots, K.$$

Здесь $T_{kj}$ – срок завершения всех работ, которые проходят через узел $j$, в вершине $i$ работа $ij$ может начаться не раньше срока $T_{ki}$.

Для изделия $k$ параметр $T_{kn}$ определяет время завершения всех работ. С этим временем увязываются сроки продаж продукции, определяются объемы продаж во времени, другие технико-экономические и финансовые показатели. Задано и время желательного выпуска $D_{kn}$ изделия $k$ (на основе договоров и резервов времени выполнения). Время превышения сроков выполнения работ $H_k$ определяется из соотношения

$$T_{kn} - D_{kn} - H_k + H^k = 0.$$

Тогда один из критериев оптимизации можно записать так: минимизируется сумма отклонений $H_k$ с учетом себестоимости $C_k$ готовых изделий

$$\sum_k H_k C_k \rightarrow \min.$$

Такому критерию соответствуют приближенно минимум незавершенного производства и минимум времени выполнения всех работ. Могут быть использованы любые другие целевые установки.

Таким образом, задача сетевого планирования с ограничениями на ресурсы сведена к задаче линейного целочисленного программирования, решение которой вполне осуществимо, например, с помощью программного обеспечения, созданного в ИВМиМГ СО РАН [1].

В рассмотренной постановке задачи предполагается, что значения $h_{kijm}$ – целые числа, кратные выбранной единице времени. Однако на практике это не так. Кроме этого, для сокращения размерности задачи предполагается, что работа $kij$ включает комплекс операций, который может быть выполнен за время, выраженное долей от принятой единицы времени (включая параметры $t_{kij1}$ и $t_{kij2}$ или без них). С учетом этого планирование хода производства может быть представлено следующим образом.

Пусть за единицу времени выбран месяц, а $h_{kijm} < 1$. Тогда обозначим через $y_{kij,r} \le 1$ переменную, означающую долю работы $kij$, кото-

рая будет начата и закончена в периоде *r*. Данная работа может быть продолжена в периоде *r* + 1, а оставшаяся часть работы описывается как $y_{kij,r,r+1}$. Если $2 > h_{kijm} > 1$, то используются три переменные, и т.д. Тогда ограничение на использование мощностей в период *r* можно записать так:

$$\sum_k h_{kijm}\, y_{kij,r} \le A_{mr},\ r = 1, \ldots, T-1;\ m = 1, \ldots, M.$$

$$\sum_k h_{kijm}\, y_{kij,r,r+1} + 1 \le A_{m,r+1},\ r = 1, \ldots, T-1;\ m = 1, \ldots, M.$$

Обозначим через $y_q$ целочисленную переменную, $y_q \le 1$, $q = 1, \ldots$. Вводятся дополнительные ограничения: $y_{kij,r} + y_{kij,r,r+1} = y_q$. Это позволяет сохранить работу *kij* как единый процесс, выполняемый в одном, двух или более смежных месяцах. С переменными $y_{kij,r}$, $y_{kij,r,r+1}$ согласуются последовательность выполнения работ и другие ограничения. Практические расчеты показали обоснованность такого подхода.

* * *

Итак, в настоящей статье представлен новый методологический подход к согласованию моделей стратегического, тактического и оперативного управления для условий серийного производства сложных изделий с длительным технологическим циклом на основе совмещения задач оптимизации объемно-календарного, оперативно-календарного и сетевого планирования. Основная трудность заключается в построении модели оперативно-календарного планирования хода производства по ведущим группам оборудования для всего перечня продукции на основе информации, доступной для сетевого планирования технологического процесса производства каждого вида продукции в отдельности. Кроме этого, в рассмотренной постановке задачи представлен новый подход к учету любой продолжительности работ (операций), не кратной выбранной единице времени. В итоге объединенная задача планирования производства с ограничениями на ресурсы

сведена к задаче линейного целочисленного программирования, решение которой вполне осуществимо с помощью имеющегося программного обеспечения.

*Статья подготовлена по плану НИР ИЭОПП СО РАН в рамках приоритетного направления XI.172 (проект XI.172.1.4). Номер регистрации 0325-2014-00012 в ИСГЗ ФАНО*

## Список источников

1. *Забиняко Г.И.* Пакет программ целочисленного программирования // Дискретный анализ и исследование операций. Сер. 2. – 1999. – Т. 6, № 2. – С. 32–41.

2. *Канторович Л.В.* Экономический расчет наилучшего использования ресурсов. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 347 с.

3. *Качалов Р.М.* Управление экономическим риском: теоретические основы и приложения. – Москва; Санкт-Петербург: Нестор-История, 2012. – 248 с.

4. *Кравченко Н.А.* Оценки диверсификации региональной экономики (на примере субъектов Сибирского федерального округа) // Регион: экономика и социология. – 2015. – № 4 (88). – С. 65–89.

5. *Маркова В.Д., Кузнецова С.А., Цомаева И.В.* Организационные компетенции как фактор повышения конкурентоспособности предприятий // Регион: экономика и социология. – 2013. – № 2 (78). – С. 324–336.

6. *Титов В.В., Безмельницын Д.А.* Оптимизация согласования оперативного управления сложным производством со стратегическими планами предприятия // Экономика и математические методы. – 2015. – Т. 51, вып. 3. – С. 102–108.

7. *Титов В.В., Цомаева И.В.* Согласование стратегического и тактического управления на промышленном предприятии в условиях неопределенности спроса на продукцию // Регион: экономика и социология. – 2014. – № 2 (82). – С. 235–247.

8. *Цомаева И.В.* Совершенствование управления мелкосерийным и серийным производством (на примере ОАО «Алтайский приборостроительный завод «Ротор») / Под ред. В.В. Титова. – Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2014. – 281 с.

## Информация об авторе

*Титов Владислав Владимирович* (Россия, Новосибирск) – доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник. Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (630090, Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева, 17, e-mail: titov@ieie.nsc.ru).

DOI: 10.15372/REG20160414

*Region: Economics & Sociology, 2016, No. 4 (92), p. 290–310*

**V.V. Titov**

# PLANNING STABLE OPERATION OF AN ENTERPRISE UNDER INSTABILITY OF EXTERNAL AND INTERNAL ENVIRONMENT

*Under the dynamism of external environment and global crisis developments in Russia and the world, the intra-company management of industrial enterprises is becoming substantially more challenging. This situation arises from the fact that currently there are virtually no reasonable methods of risk management at the enterprise level. This paper presents an original conceptual approach to the planning of the stable operation of an enterprise under risk and uncertainty in the external and internal environment. Key strategic indicators are achieved by tactical planning, which helps define the magnitude estimations for the creation of stochastic reserves upon key indicators (through the implementation of additional innovations) that address economic and other risks associated with business activities. Operations management is organized as an iterative, rolling process (reducing production risks) carried out as a single task along with tactical management. The system uses optimization models for the planning of enterprise activities and operations management.*

**Keywords:** strategic, tactical and operational management; risk; uncertainty; optimization; network planning; scheduling; coordination of planning and management tasks

*The publication is prepared within the priority XI.172 (project No. XI.172.1.4) according to the research plan of the IEIE SB RAS*

## References

1. *Zabinyako, G.I.* (1999). Paket programm tselochislennogo programmirovaniya [A program package for integer linear programming]. Diskretnyy analiz i issledovanie operatsiy [Discrete Analysis and Operations Research], Ser. 2, Vol. 6, No. 2, 32–41.

2. *Kantorovich, L.V.* (1959). Ekonomicheskiy raschet nailuchshego ispolzovaniya resursov [The Best Use of Economic Resources]. Moscow, AS USSR Publ., 347.

3. *Kachalov, R.M.* (2012). Upravlenie ekonomicheskim riskom: teoreticheskie osnovy i prilozheniya [Management of Economic Risk: Theoretical Basis and Application]. Moscow; St. Petersburg, Nestor-Istoriya Publ., 248.

4. *Kravchenko, N.A.* (2015). Otsenki diversifikatsii regionalnoy ekonomiki (na primere subyektov Sibirskogo federalnogo okruga) [The estimations of the regional economy diversification (the case of Siberian Federal District regions)]. Region: ekonomika i sotsiologiya [Region: Economics and Sociology], 4 (88), 65–89.

5. *Markova, V.D., S.A. Kuznetsova* & *I.V. Tsomaeva.* (2013). Organizatsionnye kompetentsii kak faktor povysheniya konkurentosposobnosti predpriyatiy [Organizational competences as a factor of higher enterprises' competitiveness]. Region: ekonomika i sotsiologiya [Region: Economics and Sociology], 2 (78), 324–336.

6. *Titov, V.V.* & *D.A. Bezmelnitsyn.* (2015). Optimizatsiya soglasovaniya operativnogo upravleniya slozhnym proizvodstvom so strategicheskimi planami predpriyatiya [Optimization of coordination between complex production operations management and enterprise's strategic plans]. Ekonomika i matematicheskie metody [Economics and Mathematical Methods], Vol. 51, Iss. 3, 102–108.

7. *Titov, V.V.* & *I.V. Tsomaeva.* (2014). Soglasovanie strategicheskogo i takticheskogo upravleniya na promyshlennom predpriyatii v usloviyakh neopredelennosti sprosa na produktsiyu [Coordination of strategic and tactical management of an industrial enterprise in the face of uncertainty in demand for products]. Region: ekonomika i sotsiologiya [Region: Economics and Sociology], 2 (82), 235–247.

8. *Tsomaeva, I.V.* & *V.V. Titov* (Ed.). (2014). Sovershenstvovanie upravleniya melkoseriynym i seriynym proizvodstvom (na primere OAO «Altayskiy priborostroitelnyy zavod «Rotor») [Improving the Management of Small-Batch and Serial Production (case study of OAO ROTOR Altai Instrument Engineering Plant)]. Novosibirsk, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS, 281.

## Information about the author

*Titov, Vladislav Vladimirovich* (Novosibirsk, Russia) – Doctor of Sciences (Economics), Professor, Chief Researcher at the Institute of Economics and Industrial Engineering, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (17, Ac. Lavrentiev av., Novosibirsk, 630090, Russia, e-mail: titov@ieie.nsc.ru).

*Рукопись статьи поступила в редколлегию 05.09.2016 г.*