

УДК 338 : 2
ББК 65.9 (2Р) 04

Э 402 **Экономическое развитие России: региональный и отраслевой аспекты.** Вып. 12 / под ред. Е.А. Коломак, Л.В. Машкиной. – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2013. – 192 с.

ISBN 978-5-89665-270-0

В сборнике обсуждаются экономические и социальные проблемы развития современной России и подходы к их исследованию.

Сборник состоит из трех частей. Первая часть посвящена вопросам регионального развития России. Во второй части представлены работы, в которых изучаются проблемы развития городских агломераций и местного самоуправления. В третьей части сборника рассматривается инновационная политика и управление на предприятиях.

Сборник рассчитан на специалистов в области экономического анализа и экономико-математического моделирования.

Исследования, представленные в настоящем сборнике, выполнены при поддержке РГНФ, Правительства Новосибирской области и совместного проекта фундаментальных исследований НАН Украины и СО РАН.

УДК 338 : 2
ББК 65.9 (2Р) 04

ISBN 978-5-89665-270-0

© ИЭОПП СО РАН, 2013 г.
© Коллектив авторов, 2013 г.

Полная электронная копия издания расположена по адресу:

http://lib.ieie.su/docs/2013/EconRazvRos-V12/Ekonomicheskoe_Razvitie_Rossii_V12.pdf

Д.А. Безмельницын

**ОПТИМИЗАЦИЯ СОГЛАСОВАНИЯ
ДОЛГОСРОЧНОГО И ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПРОИЗВОДСТВОМ СЛОЖНОЙ ПРОДУКЦИИ**

Система оперативного управления производством (ОУП) строится относительно обязательного выполнения сроков и объемов поставок продукции потребителям в соответствии со стратегическими планами развития предприятия и производства, обеспечивая при этом минимум уровня незавершенного производства, затрат, координацию хода производства по участкам и цехам предприятия.

В данной работе представлено построение системы ОУП для предприятий электротехнической промышленности, работающих на фактический спрос. Электрические машины большой мощности слишком дороги, а длительность производственного цикла (ДПЦ) велика, чтобы начать их производство без заключения договоров. Именно для таких условий производства в данной работе рассмотрен подход создания эффективной системы стратегического управления, совмещенного с оперативным управлением производством.

При производстве сложных машин часто используется сетевое планирование, которое позволяет представить временной график производства машины, продолжительность выполнения работ, интенсивность использования мощностей рабочих мест и трудовых ресурсов, потребность в материальных ресурсах при начале выполнения тех или иных работ. Такой комплекс ОУП успешно используется в ОАО НПО «ЭЛСИБ».

Однако при увеличении объемов производства и продаж продукции, при выпуске нескольких видов электрических машин, сетевые графики накладываются друг на друга. Это приведет к перегрузке использования мощностей и трудовых ресурсов в отдельные периоды времени. Необходимо осуществлять сдвиги от-

дельных работ в сетевых графиках, что является трудной задачей (устраняется наложение работ на одном рабочем месте – возникает на другом) планирования, для решения которой нет эффективного алгоритма. Следовательно, сетевое планирование при ограничениях на ресурсы становится сложнейшей задачей математического программирования.

При оптимизационном планировании производства решение указанной проблемы предложено (например, [1; 2]) осуществлять на основе агрегированных технологий. В них затраты производственных ресурсов на единицу продукции задаются во времени, т.е. по некоторым дискретным периодам, в сумме определяющих ДПЦ. Такой вектор затрат – агрегированную технологию – можно построить для единичного производства на основании сетевого графика. Интенсивность использования мощностей, трудовых ресурсов на обработку изделия на группе оборудования задаются с учетом ДПЦ на основе агрегированной технологии.

Однако данный подход жестко фиксирует технологический процесс, что сужает область допустимых решений. Поэтому следует воспользоваться сетевым планированием, но с учетом возможности сдвигать отдельные работы относительно друг друга, выделения узких мест производства, как это сделано в оперативно-календарном планировании [2; 3]. В таком случае по любой работе, представленной в сетевом графике производства детали, узла, сохраняется длительность обработки, но при этом выделяется ведущая операция, комплекс операций, который выполняется на лимитирующей производство группе оборудования (рабочем месте). Фиксируется также продолжительность обработки детали, узла до ведущей операции и после ведущей операции. Выделение только ведущих операций резко снижает размерность решаемой задачи, появляется возможность запланировать равномерную загрузку ведущих групп оборудования и рабочих.

Методически этот процесс можно представить так. Пусть необходимо выпустить несколько изделий за определенный плановый период времени. Для каждого изделия построен сетевой график выполнения работ. В вершинах сетевого графика часть работ завершается, а другие работы начинаются. Наиболее раннее начало работ – в первой вершине, завершение наиболее поздних работ – в последней. Продолжительность каждой работы от одной вершины к другой – задана. При этом эти параметры определяют

длительность обработки по операциям технологического процесса (вместе с пролеживанием, транспортировкой, технологическими и страховыми опережениями) по работе до ведущей операции и после ведущей операции до завершения работы, продолжительность работы по ведущей операции на соответствующей группе оборудования.

С целочисленной переменной, принимающей значения 0 или 1, связано начало работы с определенного времени. Для каждой из работ в исходной информации задается некоторое дискретное множество вариантов выполнения работ. При этом каждая работа должна быть выполнена только одним из вариантов. Фиксируются ограничения по использованию возможностей производства всех работ и изделий во времени; по выполнению условий последовательности работ – из вершины работа может начаться только после того, как выполнены все работы, входящие в данную вершину. Для каждого изделия задан предельный срок его выпуска. Критерий оптимизации – минимум незавершенного производства.

Для стратегического управления на базе указанной системы ОУП для заданного периода времени определяется возможный объем выпуска продукции с учетом спроса на продукцию, реализации различных нововведений (ввод мощностей, новых технологий и др.), максимизируется чистая прибыль за планируемый период, чистый дисконтированный доход, определяющий прирост стоимости компании на рынке и др. При этом продажи продукции могут быть запланированы только в том случае, если система ОУП «обеспечила» выход готовой продукции.

Таким образом, методологический подход к решению указанной проблемы состоит в том, чтобы одновременно решать задачи стратегического и оперативного управления деятельностью предприятия. Ядром такой системы управления становится модель оперативного управления производством. Поэтому на ее постановке остановимся более подробно.

При планировании по опережениям для каждой партии деталей, изготавливаемых в каком-либо цехе (участке) относительно следующего (согласно технологическим переходам) цеха (участка), устанавливается опережение по запуску и выпуску. Планово-учетной единицей является комплект одноименных деталей. Эта система наиболее широко распространена в производстве. Подходит она и для рассматриваемого нами производства. Выпуск гото-

вой продукции осуществляется не партиями, а поштучно. Поэтому для каждого заказа можно построить по опережениям план выпуска деталей и узлов для сборки готового изделия.

Система ОУП, основанная на планировании по опережениям является наиболее простой. Ее принцип использован во всех существующих разработках. Однако задача построения эффективной системы ОУП заключается в преодолении внутренних проблем такой системы.

Для условий электротехнической промышленности при производстве сложных машин часто используется сетевое планирование [4]. Фактически это тот же цикловой график производства изделия, что и в системах ERP [5], но менее детализирован.

Учитывая сложность решения задачи сетевого планирования с ограничениями на ресурсы, следует воспользоваться постановкой оптимизационной задачи оперативно-календарного планирования [2; 3]. Такая постановка задачи ОУП существенно увеличивает возможности математического программирования по решению столь важной для практики проблемы.

Обычно решение задач сетевого планирования без ограничения на ресурсы сводится к нахождению критического пути, что не представляет труда. Однако, как отмечалось, задача становится сложной при выполнении одновременно нескольких проектов и ограничениях на ресурсы. Решение такой задачи можно осуществить на основе имитационного моделирования, когда выполнение работ планируется от текущего момента времени к срокам выпуска готовых изделий, или с помощью оптимизационного планирования [2; 3 и др.], используемого в календарном планировании единичного и серийного производства.

Пусть необходимо выпустить K , $k = 1, 2, \dots, K$, изделий за определенный плановый период времени T , $t = 1, 2, \dots, T$. Для каждого изделия k построен сетевой график выполнения работ. Так как графики типовые, то дадим их описание без индекса k . В сетевом графике имеется n вершин. В таких вершинах часть работ завершается, а другие работы начинаются. Продолжительность каждой работы ij , начинающейся в вершине i и заканчивающейся в вершине j , задана $-t_{ij}$, i и $j = 1, 2, \dots, n$. При этом параметры t_{ij} представляются следующим образом: $t_{ij} = t_{ij1} + h_{ij} + t_{ij2}$; где t_{ij1} — длительность обработки по операциям технологического процесса (вместе с пролеживанием, транспортировкой, технологически-ми страховыми опережениями) 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 , $m = 1, 2, \dots, M$.

Пусть основными ресурсами, ограничивающими выполнение работ, являются мощности и рабочие, работающие на соответствующих группах оборудования (рабочих местах). Так как эти ресурсы взаимосвязаны, то ограничение по возможностям выполнения работы по ведущей операции в течении времени h_{ijm} отразим на основе следующей информации. Для выполнения ведущей операции при выполнении работы ij в каждую единицу времени необходимо наличие a_{ijm} работников (в одну смену или в две). Количество оборудования на рабочем месте m позволяет одновременно работать A_m рабочим. Следовательно, именно эти два параметра, как будет показано далее, 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 , $r = 1, 2, \dots$ Для каждой из работ в исходной информации задается некоторое дискретное множество вариантов выполнения работ. При этом работа ij должна быть выполнена только одним из вариантов:

$$\sum_r x_{ijr} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Ограничение по использованию возможностей производства всех изделий K во времени может быть записано следующим образом:

$$\sum_{i,k} a_{ijmkt} x_{ijr} \leq A_{mt}, \quad t = \{r, r+1, \dots, r+t_{ij}-1\},$$

$a_{ijmkt} = a_{ijmks}$, $t = \{r+1+t_{ij1}, \dots, r+h_{ijm}-1\}$, в противном случае $a_{ijmkt} = 0$.

Выполнение условий последовательности работ может быть задано следующей системой ограничений:

$$(r+t_{ij}-1) x_{ijr} \leq T_j, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

$$r x_{ijr} \geq T_i, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Здесь T_j – срок завершения всех работ, которые проходят через узел j , в вершине j , работа ji может начаться не раньше срока T_i .

Для изделия k параметр T_{nk} определяет время завершения всех работ. Задано и время желательного выпуска D_{nk} изделия k (на основе договоров с резервом). Время превышения сроков выполнения работ H_k определяется из следующего соотношения: $T_{nk} - D_{nk} - H_k + H^k = 0$.

Тогда критерий 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 соответствует приближенно минимум незавершенного производства, минимум времени выполнения всех работ.

Таким образом, задача сетевого планирования с ограничениями на ресурсы сведена к задаче линейного целочисленного программирования, решение которой вполне осуществимо, например, с помощью программного обеспечения [6].

В рассмотренной постановке задачи предполагается, что значения h_{ijm} – целые числа. Однако на практике это не так. Кроме этого, для сокращения размерности задачи предполагается, что работа ij включает в себя целый комплекс работ, который может быть выполнен за время, выраженное долей от принятой единицы времени. Учитывая это, часть ограничений задачи может быть представлена следующим образом. Пусть за единицу времени выбран месяц, а $h_{ijm} < 1$. Тогда обозначим через $y_{ij,r,r+1}$ переменную, означающую долю работ ij , которые будут выполнены в периоде r с учетом того, что эти работы будут продолжены в периоде $r + 1$ и оставшаяся часть работ фиксируется как $y_{ij,r+1,r+1}$. Если работа ij полностью выполняется в периоде $r + 1$, то этому будет соответствовать переменная $y_{ij,r+1}$. Обозначим через y_q целочисленную переменную, $y_q \leq 1$, $q = 1, 2, \dots$. Вводятся дополнительные ограничения: $y_{ij,r,r+1} + y_{ij,r+1,r+1} = y_q$, $y_{ij,r+1} = y_{q+1}$. Это позволяет сохранить работу ij как единое целое, а с переменными $y_{ij,r,r+1}$, $y_{ij,r+1}$ для сборки готовых изделий увязать сроки выпуска готовой продукции, а следовательно и технико-экономические показатели работы предприятия на ближайший плановый период или на перспективу. Практические расчеты показали обоснованность такого подхода.

Таким образом, в работе представлен методологический подход к согласованию моделей стратегического и оперативного управления для условий серийного производства сложных изделий с длительным циклом технологического процесса на основе совмещения задач оптимизации объемно-календарного, оперативно-календарного и сетевого планирования. Основная трудность в этой проблеме заключается в построении модели оперативно-календарного планирования хода производства по ведущим группам оборудования всего перечня продукции на основе информации из сетевого планирования технологического процесса каждого вида продукции в отдельности. В итоге объединенная задача планирования производства с ограничениями на ресурсы сведена к задаче линейного целочисленного программирования, решение которой вполне осуществимо с помощью существующего программного обеспечения.

Литературы

1. **Плещинский А.С.** Оптимизация межфирменных взаимодействий и внутрифирменных управленческих решений. – М.: Наука, 2004.
2. **Титов В.В.** Оптимизация управления промышленной корпорацией: вопросы методологии и моделирования. – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2007.
3. **Безмельницын Д.А.** Организация оперативного управления серийным производством сложных изделий с длительным циклом технологического процесса // Механизмы организационно-экономического стимулирования инновационного предпринимательства: сб. науч. тр. / Под ред. В.В. Титова, В.Д. Марковой. – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2010. – С. 267–275.
4. **Чейз Р.Б., Джейкобс Р.Ф., Аквилано Н.Дж.** Производственный и операционный менеджмент, 10-е изд. – М.: Изд-й дом «Вильямс», 2007.
5. **Питеркин С.В., Оладов Н.А., Исаев Д.В.** Точно вовремя для России. Практика применения ERP-систем. – М.: Альпина Паблишер, 2002.
6. **Забиняко Г.И.** Пакет программ целочисленного программирования // Дискретный анализ и исследование операций. Серия 2. Т. 6, №2, 1999. – С. 32–41.