

Владислав Владимирович Титов

(доктор экономических наук, профессор Новосибирского государственного университета, заведующий отделом ИЭОПП СО РАН, г. Новосибирск)

Дмитрий Аркадьевич Безмельницын

(кандидат экономических наук, генеральный директор НПО «ЭЛСИБ» ОАО, г. Новосибирск)

СОГЛАСОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИИ С ТАКТИЧЕСКИМИ ПЛАНАМИ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ключевые слова: оперативное управление производством, тактическое управление, оптимизация, сетевое планирование, календарное планирование, согласование.

В работе представлен методологический подход построения системы оперативного управления производством (ОУП) для предприятий электротехнической промышленности, работающих на фактический спрос.

При производстве сложных машин часто применяется сетевое планирование, которое позволяет представить временной график технологического процесса, продолжительность выполнения работ, уровень загрузки оборудования и трудовых ресурсов, определить потребность в материальных ресурсах к началу выполнения тех или иных работ. Такой комплекс ОУП успешно используется на НПО «ЭЛСИБ» ОАО в Новосибирске [1].

При увеличении объемов производства и продаж продукции, выпуске нескольких видов электрических машин разного назначения сетевые графики технологических процессов накладываются друг на друга. Это приводит в отдельные периоды времени к перегрузке мощностей и трудовых ресурсов. Некоторые работы, состоящие из одной или нескольких операций, внутри сетевых графиков приходится сдвигать, что является трудной задачей (устранение наложения операций на одном рабочем месте чревато возникновением подобных же накладок на другом) планирования, для решения которой пока нет эффективного алгоритма. Сетевое планирование при ограниченных ресурсах становится сложнейшей задачей календарного, математического программирования.

Приближенное решение указанной проблемы по согласованию производственного цикла, использованию трудовых и материальных ресурсов при планировании производства

продукции представлено в работах [2–4] и др. Авторы предложили осуществлять оптимизационное планирование производства на основе агрегированных технологий. При таком подходе затраты производственных ресурсов на единицу продукции задаются во времени, т.е. по некоторым дискретным периодам, в сумме определяющим производственный цикл. Такой вектор затрат – агрегированную технологию – можно построить для производства каждой единицы продукции (каждого заказа) на основании сетевого графика. Интенсивность использования мощностей и трудовых ресурсов для обработки изделия на группе оборудования задается с учетом ДПЦ на основе такой агрегированной технологии.

Однако подобный подход создает жесткие условия для реализации технологического процесса, что сужает область допустимых решений. Поэтому предлагается воспользоваться сетевым планированием, но с учетом возможности сдвигать время выполнения отдельных операций и в целом работ относительно друг друга, выделяя «узкие места» производства, как это принято делать при оперативно-календарном планировании. В таком случае для любой операции, представленной в сетевом графике производства детали или узла, длительность обработки остается прежней, но при этом выделяется ведущая операция, которая выполняется на лимитирующей производство группе оборудования (рабочем месте). Фиксируется также продолжительность обработки детали или узла до и после ведущей операции. Выделение только ведущих операций резко снижает размерность решаемой задачи, и это

дает возможность планировать равномерную загрузку лимитирующих групп оборудования и рабочих.

Методически этот процесс можно представить таким образом. Пусть за определенный плановый период необходимо выпустить несколько изделий. Для каждого изделия построен сетевой график выполнения работ (комплекса операций). В вершинах сетевого графика часть одних работ завершается, а других – начинается. Наиболее раннее начало работ – в первой вершине, завершение наиболее поздних работ – в последней. Продолжительность каждой работы условно принимается за расстояние от одной вершины до другой, и она задана. Эти параметры определяют длительность обработки по работам технологического процесса с учетом пролеживания между отдельными процессами, транспортировки, технологических и страховых опережений до выполнения ведущей операции и после нее – до завершения работы, продолжительность ведущей операции на соответствующей группе оборудования.

С целочисленной переменной, принимающей значения 0 или 1, связано начало работы с определенного момента времени. Для каждого вида работ в исходной информации задается некоторое дискретное множество вариантов ее выполнения. При этом каждая работа должна быть выполнена только в одном варианте. Фиксируются ограничения на использование возможностей производства для всех видов работ и изделий во времени; на последовательность работ: выход из любой вершины работы может начаться только после того, как выполнены все работы, входящие в данную вершину. Для каждого изделия задан предельный срок его выпуска, согласованный с тактическими планами. Тогда критерий оптимизации – минимум незавершенного производства при выполнении планов продаж продукции.

Для тактического управления на базе указанной системы ОУП для заданного периода времени определяется возможный объем выпуска продукции с учетом спроса на нее и внедрения различных нововведений (ввод мощностей, новых технологий и др.). Критерий оптимизации может быть более общим: за планируемый период максимизируется чистая прибыль, 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, рассматриваемый методологический подход к решению указанной проблемы состоит в том, чтобы одновременно решать задачи тактического и оперативного управления деятельностью предприятия. Ядром такой системы управления становится модель оперативного управления производством. Поэтому на ее постановке мы остановимся более подробно.

В электротехнической промышленности, как уже отмечалось, при производстве сложных машин часто применяется сетевое планирование [5]. Фактически это – тот же временной график производства изделия, который применяется и в системах ERP (enterprise resource planning) [6], но он – менее детализированный.

Учитывая сложность решения задачи сетевого планирования с ограничениями на ресурсы, следует воспользоваться постановкой оптимизационной задачи оперативно-календарного планирования [7]. Такое построение системы ОУП существенно расширяет возможности математического программирования для решения столь важной для практики задачи.

Обычно решение задач сетевого планирования без ограничения по ресурсам сводится к нахождению критического пути, что не представляет особого труда. Однако, как отмечалось выше, задача становится более сложной при выполнении одновременно нескольких проектов и с учетом ограничений на ресурсы. Решение такой задачи можно получить на основе имитационного моделирования, когда выполнение работ планируется от текущего момента времени к срокам выпуска готовых изделий или с помощью оптимизационного планирования [8; 9], применяемого при календарном планировании единичного и серийного производства.

Пусть необходимо выпустить K , $k = 1, \dots, K$, изделий за определенный плановый период времени T , $t = 1, \dots, T$. Для каждого изделия k построен сетевой график выполнения работ. Для упрощения пояснений приведем описание сетевого графика 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 $j = 1, \dots, n$. 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 , $m = 1, \dots, M$.

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 в 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, то 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 в 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 , $r = 1, 2, \dots$. 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:

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

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

$$\sum_{i, k} a_{ijmk} x_{kijr} \leq A_m, t = \{r, r+1, \dots, r+t_{kij}-1\};$$

$$a_{ijmk} = a_{ijmk}^t, t = \{r+t_{kij1}, \dots, r+t_{kij1}+h_{kijm}-1\},$$

в противном случае $-a_{ijmk} = 0$.

Таким образом, с периода r до $r+t_{kij1}-1$ значения $a_{ijmk} = 0$, 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:

$$(r+t_{kij}-1)x_{kijr} \leq T_{kj}, j = 1, \dots, n;$$

$$r x_{kijr} \geq T_{ki}, i = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K.$$

Здесь T_{kj} – срок завершения всех работ, которые проходят через узел j , в вершине j работа ji 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 соответствует 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.

рования, решение которой вполне осуществимо, например, с помощью программного обеспечения [10].

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 k_{ij} 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). Учитывая это, планирование хода производства может быть представлено следующим образом.

Пусть за единицу времени выбран месяц, а $h_{kijm} < 1$. Тогда обозначим через $y_{kij,r} \leq 1$ переменную, означающую долю работы k_{ij} , которая 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 переменных и т.д. Тогда ограничение на использование мощностей в период r можно записать так:

$$\sum_k h_{kijm} y_{kij,r} \leq A_{mr}, \quad r=1, \dots, T-1; \quad m=1, \dots, M;$$

$$\sum_k h_{kijm} y_{kij,r,r+1} \leq A_{m,r+1}, \quad r=1, \dots, T-1;$$

$$m=1, \dots, M.$$

Обозначим через y_q целочисленную переменную, $y_q \leq 1$, $q=1, \dots$. Вводятся дополнительные ограничения: $y_{kij,r} + y_{kij,r,r+1} = y_q$. Это

позволяет сохранить работу k_{ij} , выполняемую в одном или в двух (или более) смежных месяцах, как единое целое. С переменными $y_{kij,r}$, $y_{kij,r,r+1}$ согласуется последовательность выполнения работ и другие ограничения. Практические расчеты показали обоснованность такого подхода [11].

Таким образом, в работе представлен новый методологический подход к согласованию моделей 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.

Библиографический список

1. Безмельницын, Д.А. Организация оперативного управления серийным производством сложных изделий с длительным циклом технологического процесса / Д.А. Безмельницын // Механизмы организационно-экономического стимулирования инновационного предпринимательства : сборник научных трудов / под ред. В.В. Титова, В.Д. Марковой. – Новосибирск : ИЭОПП СО РАН, 2010. – С. 267–275.
2. Данилин, В.И. Операционное и финансовое планирование в корпорации (методы и модели) / В.И. Данилин. – М. : Наука, 2006. – 334 с.
3. Плещинский, А.С. Оптимизация межфирменных взаимодействий и внутрифирменных управленческих решений / А.С. Плещинский. – М. : Наука, 2004. – 254 с.
4. Титов, В.В. Оптимизация принятия решений в управлении промышленной корпорацией. Вопросы методологии и моделирования / В.В. Титов. – Saarbrücken : Palmarium Academic Publishing, 2013. – 337 с.
5. Безмельницын, Д.А. Указ. соч. – С. 267–275.
6. Гаврилов, Д.А. Управление производством на базе стандарта MRP II / Д.А. Гаврилов. – СПб. : Питер, 2003. – 340 с.
7. Титов, В.В. Указ. соч. – 337 с.
8. Там же.

9. Плещинский, А.С. Указ. соч. – 254 с.
10. Забиняко, Г.И. Пакет программ целочисленного программирования / Г.И. Забиняко // Дискретный анализ и исследование операций. – 1999. – Сер. 2. – №2. – Т. 6. – С. 32–41.
11. Титов, В.В. Оптимизация согласования оперативного управления сложным производством со стратегическими планами предприятия / В.В. Титов, Д.А. Безмельницын // Экономика и математические методы. – 2015. – Вып. 3. – Т. 51. – С. 102–108.

References

1. Bezmelnitsyin, D.A. Organizatsiya operativnogo upravleniya seriynim proizvodstvom slojnyih izdeliy s dlitelnyim tsiklom tehnologicheskogo protsessa / D.A. Bezmelnitsyin // Mehanizmyi organizatsionno-ekonomicheskogo stimulirovaniya innovatsionnogo predprinimatelstva : sbornik nauchnyih trudov / pod red. V.V. Titova, V.D. Markovoy. – Novosibirsk : IEOPP SO RAN, 2010. – S. 267–275.
2. Danilin, V.I. Operatsionnoe i finansovoe planirovanie v korporatsii (metody i modeli) / V.I. Danilin. – M. : Nauka, 2006. – 334 s.
3. Pleschinskiy, A.S. Optimizatsiya mejfirmennyih vzaimodeystviy i vnutrifirmennyih upravlencheskih resheniy / A.S. Pleschinskiy. – M. : Nauka, 2004. – 254 s.
4. Titov, V.V. Optimizatsiya prinyatiya resheniy v upravlenii promyshlennoy korporatsiey. Voprosy metodologii i modelirovaniya / V.V. Titov. – Saarbrücken : Palmarium Academic Publishing, 2013. – 337 s.
5. Bezmelnitsyin, D.A. Ukaz. soch. – S. 267–275.
6. Gavrilov, D.A. Upravlenie proizvodstvom na baze standarta MRP II / D.A. Gavrilov. – SPb. : Piter, 2003. – 340 s.
7. Titov, V.V. Ukaz. soch. – 337 s.
8. Там же.
9. Pleschinskiy, A.S. Ukaz. soch. – 254 s.
10. Zabinyako, G.I. Paket programm tselochislennogo programmirovaniya / G.I. Zabinyako // Diskretnyy analiz i issledovanie operatsiy. – 1999. – Ser. 2. – №2. – Т. 6. – S. 32–41.
11. Titov, V.V. Optimizatsiya soglasovaniya operativnogo upravleniya slojnyim proizvodstvom so strategicheskimi planami predpriyatiya / V.V. Titov, D.A. Bezmelnitsyin // Ekonomika i matematicheskie metody. – 2015. – Vyip. 3. – Т. 51. – S. 102–108.