

УДК 658.513

Об одном подходе к расчету временных коэффициентов для моделей агрегированного планирования

Данилов Н.Ю., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Компьютерные системы автоматизации производства»*

Научный руководитель: Хоботов Е.Н., д.т.н, профессор

Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

gss@bmstu.ru

Введение

В настоящее время, почти на всех предприятиях индустриально развитых стран, возникает ряд проблем связанных с увеличением прибыли за счет повышения эффективности производства и уменьшения издержек. Повышение эффективности производства во многом связано с проблемами построения планов и расписаний работ, как на уровне отдельных цехов, так и на уровне предприятия.

Весьма эффективным инструментом планирования на предприятиях являются модели и методы агрегированного или объемного планирования. Эти модели позволяют формировать эффективные планы работ предприятий на интервал от 8 до 18 месяцев. Однако широкое использование таких моделей затруднено проблемами сбора, обработки и формирования исходных данных для их расчетов.

В данной работе рассматриваются проблемы построения моделей объемного планирования, обсуждаются проблемы формирования исходных данных для их расчетов, а также анализируются результаты проведенных с ними вычислительных экспериментов.

Постановка задачи

Основным фактором для производства той или иной продукции является имеющийся или возможный спрос на нее и финансовая выгода от ее производства. Поэтому на их основе и формируются агрегированные или объемные планы работ.

Объемные планы работ строятся на срок от 8 до 18 месяцев, обычно на 12 месяцев и, как правило, такие планы пересчитываются через каждые 3 – 6 месяцев. Необходимость такого пересчета возникает из-за различных возмущений и нестабильности, присущей рыночной экономике. На основе маркетинговых исследований и стратегии формируются

предварительные задания по выпуску продукции на каждый месяц интервала планирования. Задания по выпуску каждого вида продукции в течение некоторого интервала должны соответствовать существующему на рынке спросу на соответствующую продукцию за этот же интервал времени.

В связи с этим объемное планирование предназначено:

- для определения наиболее подходящего выпуска продукции каждого типа в соответствии с имеющимся спросом на нее, заданными критериями и производственными возможностями предприятия;
- для определения ресурсов (финансовых средств, сырья, заготовок, инструментов, электроэнергии и т. д.), необходимых для выполнения сформированных заданий на выпуск продукции в каждый месяц работы;
- для определения наиболее выгодных и подходящих способов выполнения поставленных задач.

Определение потребностей рынка, как уже отмечалось, производится в результате проведения маркетинговых исследований. На основе полученных планов выпуска продукции определяются требуемые для этого ресурсы (финансовые средств, сырье, количество необходимых заготовок, количество комплектов инструментов, электроэнергии и т. д.) на каждый месяц работы. Руководство предприятия или организации может оценить реальность полученных планов также и по возможности обеспечения производства необходимым количеством каждого вида ресурса в течение всего планируемого интервала времени.

Если производство не может быть обеспечено требуемым количеством ресурсов в какие-либо интервалы времени, то с использованием методов объемного планирования такие планы должны пересчитываться с учетом или уже имеющихся ресурсов, или же ресурсов, возможность обеспечения которыми в соответствующие моменты времени не вызывает никаких сомнений.

На практике, все реальные предприятия, на всех своих уровнях, имеют дискретный характер производства. Метод объемного планирования будет проще рассмотреть для предприятия, работающего в условиях непрерывного производства.

Метод агрегированного планирования

Для описания исходных данных, параметров и переменных модели будем использовать следующие обозначения. В тех случаях, когда их будет недостаточно или их

потребуется как-то изменять, будут даны дополнительные пояснения или введены необходимые переменные.

Задачу объемного планирования с переменным фондом рабочей силы и учетом времени, необходимого на переналадку производства с выпуска одной продукции на другую, можно также сформулировать в виде задачи линейного программирования, в которой ищется максимум линейного функционала при наличии линейных ограничений.

В этой задаче требуется максимизировать доход предприятия от реализации продукции и минимизировать суммарные затраты, связанные с переналадкой оборудования, производством продукции, хранением запасов, оплатой труда штатных сотрудников, включая сверхурочную работу, т. е. требуется максимизировать следующий функционал:

$$J = \max \left\{ \alpha_1 \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^L c_{it} d_{it} - \alpha_2 \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^L v_{it} - \alpha_3 \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^N \{ r_{jt} W_{jt} + p_{jt} V_{jt} + h_{jt} H_{jt} + f_{jt} F_{jt} \} \right\},$$

где T – количество интервалов времени t , в течение которых осуществляется планирование ($t = 1, \dots, T$); L – количество видов изделий, которое производится на предприятии; N – количество специализаций сотрудников предприятия, участвующих в производстве этих изделий; d_{it} – количество продукции i -го типа, которое может быть реализовано в течение t -го интервала времени; v_{it} – затраты на производство единицы продукции i -го типа в течение интервала времени t ; c_{it} – цена продукции i -го типа, по которой предприятие ее реализует на интервале времени t ; $\tilde{c}_{it}$ – затраты на хранение единицы продукции i -го типа в течение интервала времени t ; r_{jt} – стоимость одного часа работы специалиста j -ой специализации и квалификации в течение интервала времени t ; p_{jt} – стоимость одного часа сверхурочной работы специалиста j -ой специализации в течение интервала времени t ; K_{ijt} – затраты времени специалистов j -ой специализации и квалификации, необходимые для изготовления единицы продукции i -го типа на интервале времени t .

Для описания переменных, которые должны быть определены в процессе расчета, вводятся следующие обозначения:

$\tilde{x}_{it}$ – количество единиц продукции i -го типа, которое реализуется в течение интервала времени t ; x_{it} – количество единиц продукции i -го типа, которое должно быть произведено в течение интервала времени t ; I_{it} – количество единиц продукции i -го типа, которое должно быть на складе к концу интервала времени t ; W_{jt} – количество человеко-часов работы специалистов j -ой специализации и квалификации или время работы оборудования соответствующего типа в течение интервала времени t ; V_{jt} – количество человеко-часов сверхурочной работы специалистов j -й специализации и квалификации или время работы оборудования соответствующего типа в течение интервала времени t ; α_1 , α_2 и α_3 – весовые коэффициенты, I_{it}^+ – количество изделий i -го типа, которое храниться на складе предприятия к концу интервала времени t , I_{it}^- – количество единиц продукции i -го типа, которое не хватило для удовлетворения требований потребителей на интервале времени t , b_{it} – штраф за нехватку одного изделия i -го типа в течение интервале времени t , h_{jt} – стоимость приема на работу и проведение необходимой подготовки одного сотрудника j -ой специализации и квалификации или стоимость установки и освоения оборудования j -го типа в течение интервала времени t , H_{jt} – количество принятых на работу сотрудников j -ой специализации или количество установленного и освоенного оборудования j -го типа в течение интервала времени t , f_{jt} – стоимость приема на работу и проведение необходимой подготовки одного сотрудника j -ой специализации и квалификации или стоимость установки оборудования j -го типа в течение интервала времени t , F_{jt} – количество уволенных с работы сотрудников j -ой специализации или количество демонтированного оборудования j -го типа в течение интервала времени t , s_{it} – стоимость переналадки оборудования на предприятии на выпуск продукции i -го типа, $\delta(x_{it})$ – целочисленные переменные типа $[0,1]$, для которых выполняются следующие ограничения

$$\delta(x_{it}) = \begin{cases} 1, & \text{если } x_{it} > 0, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

На переменные должны накладываться ограничения, которые необходимы из логических соображений.

Под специализациями здесь могут пониматься как специалисты разных специальностей, так и специалисты разных квалификаций.

Количество производимой на предприятии продукции x_{it} , ($i = 1, \dots, L$) каждого вида следующим образом связано с количеством реализуемой продукции $\tilde{x}_{it}$ этого же типа

$$x_{it} + I_{it-1}^+ - I_{it-1}^- - I_{it}^+ + I_{it}^- = \tilde{x}_{it}, \\ i = 1, \dots, L, \quad t = 1, \dots, T.$$

Количество реализуемой продукции $\tilde{x}_{it}$, ($i = 1, \dots, L$) каждого вида не может превышать спрос, имеющийся на эту продукцию течение интервала времени t . Однако в связи с некоторыми стратегическими или тактическими планами развития предприятия может потребоваться, чтобы по определенным видам продукции спрос был удовлетворен полностью. Поэтому в модель включаются ограничения следующего вида:

$$\tilde{x}_{it} \leq \tilde{d}_{it}, \quad i \in J_t, \\ \tilde{x}_{it} = 0, \quad i \notin J_t,$$

где J_t — множество видов продукции, по которым спрос должен быть удовлетворен полностью.

Производство продукции может быть ограничено производственными возможностями предприятия. Для учета таких возможностей в модель включаются следующие ограничения:

$$\sum_{i=1}^N \{K_{ijt}x_{it} + a_{it}\delta(x_{it})\} \leq W_{jt} + V_{jt}, \\ i = 1, \dots, L, \quad j = 1, \dots, N, \quad t = 1, \dots, T,$$

где a_{it} — время, необходимое для переналадки оборудования предприятия на выпуск продукции i -го типа.

Левая часть этого неравенства определяет время сотрудников каждой специализации, которое необходимо для производства x_{it} единиц продукции каждого типа в течение интервала времени t и время, необходимое для переналадки оборудования предприятия на выпуск продукции i -го типа. Правая часть этого неравенства определяет ресурс времени специалистов каждой специализации в течение этого интервала времени. Поэтому требуемое время для производства продукции не должно превышать имеющегося на предприятии ресурса времени по имеющимся специализациям.

В данной задаче, имеется возможность принимать на работу специалистов требуемой специализации и увольнять специалистов, которые в дальнейшем не потребуются. В данной также модели будем полагать, что специалисты, принятые в течение некоторого интервала времени могут начать работу уже на следующем интервале времени. Тогда уравнение баланса по времени работы специалистов с учетом возможности принятия на работу и увольнения с работы будут иметь вид:

$$W_{jt} - W_{jt-1} - H_{jt-1} + F_{jt-1} = 0, \quad W_{j0} = \hat{W}_{j0},$$

где $\hat{W}_{j0}$ — количество специалистов j -ой специализации в начальный момент времени.

Величины V_{jt} ограничены из-за имеющегося на предприятии к началу интервала времени количества сотрудников или количества оборудования определенных типов и нормативов времени сверхурочной работы, поскольку сверхурочная работа не может занимать больше определенного процента p_{jt} времени штатной работы. Поэтому в модель включаются ограничения следующего вида:

$$V_{jt} - p_{jt} W_{jt} \leq 0.$$

Все переменные модели неотрицательны в течение любого интервала времени, т. е.

$$\tilde{}_{it}, x_{it} \geq 0, W_{jt} \geq 0, V_{jt} \geq 0, I_{it}^+ \geq 0,$$

$$I_{it}^- \geq 0, H_{jt} \geq 0, F_{jt} \geq 0,$$

а переменные $\delta(x_{it})$ являются целочисленными типа $[0,1]$.

В результате расчета модели определяется количество единиц продукции i -го типа x_{it} ($i = 1, \dots, L$), которое следует изготовить в течение интервала времени t , количество единиц продукции i -го типа $\tilde{x}_{it}$, которое может быть реализовано в течение интервала времени t , количество единиц продукции i -го типа I_{it}^+ , которое следует отправить на

склад на интервале времени t , количество единиц продукции i -го типа I_{it-1}^+ , которое может быть взято со склада и направлено потребителям на интервале времени t , количество единиц продукции i -го типа I_{it}^- , которое можно не производить на интервале времени t и оно будет составлять на этом интервале дефицит продукции i -го типа, количество продукции i -го типа I_{it-1}^- , которое должно быть дополнительно произведено на интервале времени t для удовлетворения заявок потребителей, не получивших эту продукцию на интервале времени $t-1$. В этой модели также оценивается возможный доход от реализации производимой продукции на каждом интервале времени t и затраты на ее производство, переналадку оборудования и хранение произведенной продукции. Эти величины определяются с учетом предполагаемого спроса d_{it} ($i=1, \dots, L$) на производимую продукцию и производственных возможностей предприятия, которые ограничиваются затратами времени специалистов различной специализации и квалификации, необходимыми для изготовления этой продукции на каждом интервале времени, а также затратами времени, необходимыми на переналадку оборудования с выпуска одного вида продукции на другой.

Проблемы формирования исходных данных для моделей агрегированного планирования

Чрезвычайно важным достоинством моделей агрегированного планирования является возможность определять наиболее выгодные планы по объемам выпуска продукции каждого типа в соответствии с заданными критериями. Целый ряд других моделей и методов планирования, например, методы теории расписаний не позволяют формировать выгодные планы по выпуску продукции, если производственные мощности предприятия таковы, что не могут обеспечить имеющийся спрос на рынке.

Однако эффективное использование моделей агрегированного планирования затрудняет ряд проблем. Наиболее сложной из этих проблем является проблема определения коэффициентов K_{ijt} , которые определяют затраты времени специалистов j -й специализации и квалификации, необходимые для изготовления единицы продукции i -го типа на интервале времени t .

Дело в том, что в достаточно общем случае работы специалистов различных специализаций и квалификаций, которые необходимы для изготовления каждого изделия, могут выполняться на каких-то этапах последовательно, а на каких-то – параллельно.

Поэтому возможное расписание работ по изготовлению изделия можно представить, например, в виде следующей диаграммы:

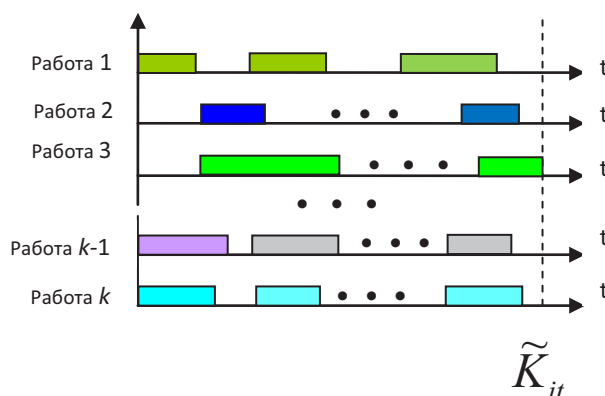


Рис. 1. Диаграмма расписания работ по изготовлению изделия

На данной диаграмме представлены работы, которые выполняются специалистами определенной специализации и квалификации, а через $\tilde{K}_{it}$ здесь обозначено время, которое требуется для изготовления одного изделия i -го типа. Причем работы специалистов каждой специализации и квалификации могут возобновляться после выполнения ряда работ другими специалистами, а также выполняться одновременно с работами каких-то специалистов. Такое расписание работ весьма затрудняет вычисление коэффициентов K_{ijt} , поскольку в общем случае практически все работы выполняются с вынужденными простоями, когда приходится ожидать завершения работ, выполняемых специалистами других специализаций. Это приводит к тому, что только по затратам времени специалистов не всегда можно получить даже удовлетворительные оценки на время, которое потребуется для изготовления изделий каждого типа, т. е. правильно определять величины K_{ijt} .

Действительно, возможны следующие варианты расписаний работ по изготовлению изделий, которые представлены на рисунках. 2 и 3.

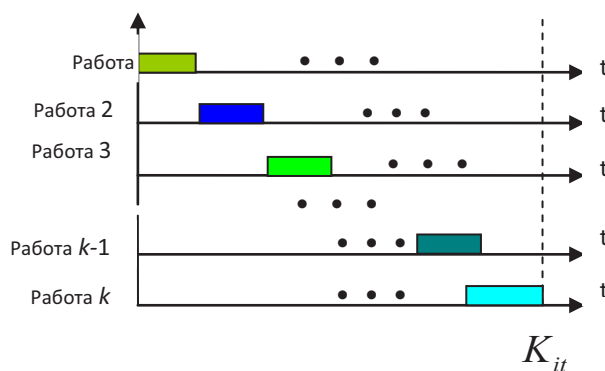


Рис. 2. Диаграмма расписания работ по изготовлению изделия

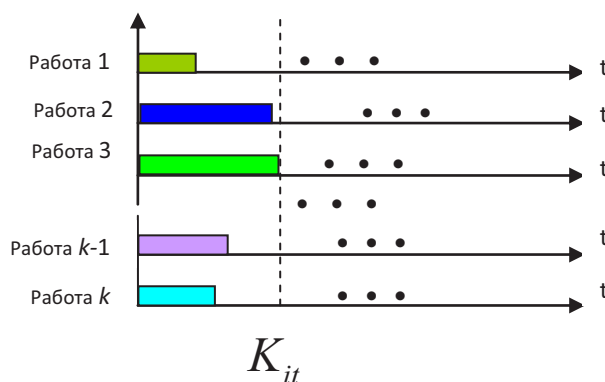


Рис. 3. Диаграмма расписания работ по изготовлению изделия

Если в случае расписания работ, представленных на рис. 3, величины коэффициентов K_{ijt} с высокой степенью точности будет равна затратам времени специалистов j -й специализации и квалификации. Однако в случае расписания работ, представленных на рис. 3, величины коэффициентов K_{ijt} , выбранные на основе затрат времени специалистов j -й специализации и квалификации, могут привести к весьма значительным ошибкам и непригодности полученных планов.

Поэтому для определения коэффициентов K_{ijt} необходима разработка специальных методов.

Заключение

Описанные выше модели были запрограммированы и с ними проводились вычислительные эксперименты, которые показали адекватность модели и высокую эффективность используемых методов ее расчета.

Список литературы

1. Хоботов Е.Н. Тактическое планирование деятельности организации и предприятия. М.: издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 32 с.
2. Сидоренко А.М., Хоботов Е.Н. Планирование производств с параллельной сборкой изделий // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2009. № 3. С. 100–109.
3. Хоботов Е.Н. О некоторых моделях и методах решения задач планирования в дискретных производственных системах // Автоматика и Телемеханика. 2007. № 12. С. 85–100.