

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ПОДГОТОВКИ НОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

А. И. ГУДЗЕНКО, Л. В. ПЕРФИЛЬЕВ

(Представлена научно-техническим семинаром кафедры автоматизированных систем управления и лаборатории управления)

Управление процессом подготовки нового производства занимает особое место среди многочисленных задач управления производством. Характер протекания этого процесса определяет не только основные экономические показатели промышленного предприятия, но и его мобильность в смысле быстроты реакции на темпы научно-технического прогресса. Особую важность эти вопросы приобретают на предприятиях с единичным и мелкосерийным характером производства, у которых задание по освоению новых изделий занимает большой удельный вес в общем объеме выпуска промышленной продукции.

Управление процессом подготовки нового производства включает календарное планирование, анализ процесса на основе оперативного контроля выполнения плана и формирование управляющих воздействий с целью обеспечения запланированного хода процесса. Основу календарного планирования составляет модель процесса подготовки нового производства, с помощью которой определяется оптимальная последовательность обслуживания операций в соответствии с вектором $\vec{A}_{opt}$ и вычисляются сроки выполнения каждой операции в соответствии с вектором $\vec{t}_{opt}$. Действие совокупности случайных факторов, как правило, приводит к возникновению некоторых отклонений от плана, полученного в результате статистического моделирования. Отклонение реального процесса ($\vec{A}_f, \vec{t}_f$) от запланированного ($\vec{A}_{opt}, \vec{t}_{opt}$) является собственно тем сигналом обратной связи, на основе которого формируются управляющие воздействия для устранения возникшего рассогласования. Такого рода управляющие воздействия оказывают существенное влияние на уменьшение пределов колебаний продолжительности отдельных операций и снижение степени неопределенности сроков выполнения плана. Следовательно, их действие эквивалентно уменьшению вероятностных свойств процесса и приближению его к свойствам детерминированного.

Формирование рациональных управляющих воздействий не может быть осуществлено без достоверной информации, отображающей состояние всех существенных параметров процесса на каждой стадии его развития. Необходимость получения указанной информации требует решения вопросов организации оперативного контроля. Одной из первых задач, которую приходится при этом решать, является выбор обоснованных

сроков контроля. Известно, что увеличение частоты контрольных опросов всегда сопровождается возрастанием объема перерабатываемой информации и связанных с этим затрат. С другой стороны, большие периоды времени между моментами контроля приводят к снижению эффективности управления из-за возникновения существенных отклонений процесса от оптимального в результате действия случайных факторов. Определение сроков контроля целесообразно увязать с результатами выполнения плана в прошлом периоде и прогнозами на будущее. Обоснование рациональных сроков контроля на основе такого подхода осуществлено в работе [1].

Описанный в этой работе подход позволяет определять рациональные моменты времени t_l для контроля состояния процесса, используя оптимистическую и пессимистическую зависимость объема выполнения плана во времени, а также информацию о реальном протекании процесса.

Управление ходом подготовки нового производства целесообразно рассматривать как процесс, состоящий из последовательности актов принятия решений в моменты t_l . В промежутках между этими моментами (на интервалах $[t_l, t_{l+1}]$, $l=0, 1, 2, \dots$) развитие процесса происходит при постоянно управляющих воздействиях, являющихся следствием решений, принятых в момент времени t_l . Временные интервалы $[t_l, t_{l+1}]$, $l=0, 1, 2, \dots$, в дальнейшем именуются оперативными периодами управления.

На стадии принятия решений по управлению процессом подготовки нового производства имеются следующие альтернативы воздействия на процесс:

u_1 — перераспределение людских и материальных ресурсов между подразделениями;

u_2 — интенсификация выполнения отдельных операций внутри подразделений;

u_3 — сокращение объемов работ отстающих перегруженных подразделений за счет внешней нагрузки;

u_4 — дооптимизация плана с учетом информации о состоянии процесса в момент времени t_l ;

u_5 — привлечение дополнительных ресурсов.

Элементы $u_1 \div u_5$ образуют множество u альтернатив воздействия.

Остановимся вкратце на существе и целесообразности использования каждого из перечисленных воздействий. Перераспределение ресурсов между подразделениями осуществляется на каждом оперативном периоде управления с целью определения оптимального варианта использования ресурсов подразделений для выполнения всего комплекса операций этого периода. Как при нормальном ходе процесса, так и при существенном его отставании от плана в некоторые периоды могут возникать ситуации, при которых отдельные подразделения будут существенно перегружены, и вследствие этого будут сдерживать весь ход процесса, в то время как другие недогружены и простаивают в ожидании последующих операций. В таких ситуациях естественно ускорить выполнение лимитирующих операций за счет использования ресурсов слабо загруженных подразделений. Это может быть достигнуто за счет перераспределения операций между подразделениями. При поиске наилучшего варианта такого перераспределения должна учитываться как сама возможность выполнения i -м подразделением j -го вида операций, так и эффективность такого использования. Ниже будет осуществлена постановка задачи перераспределения операций между подразделениями и указан метод ее решения. Интенсификация выполнения отдельных опера-

ций осуществляется главным образом за счет использования всех форм повышения производительности труда исполнителей (в том числе с помощью моральных и материальных стимулов) и улучшения организации работ внутри подразделений. Эти мероприятия применяются, прежде всего, к операциям, лежащим на критическом пути, и, в первую очередь, к таким из них, срок начала обслуживания которых сместился по отношению к расчетному. Однако при этом необходимо учитывать возможность такого сокращения. Чем меньше разность между плановым и оптимистическим временем выполнения некоторой операции, тем меньше вероятность сократить срок выполнения данной операции за счет интенсификации.

Воздействие на процесс путем сокращения объемов работ отстающих перегруженных подразделений сводится к кратковременному запрету для таких подразделений выполнения внешней нагрузки. Тем самым на время очередного оперативного периода у подразделения появляется возможность выделить дополнительные ресурсы для выполнения плана подготовки производства.

Дооптимизация календарного плана заключается в периодическом формировании с помощью математической модели нового плана на основании информации о состоянии процесса с учетом свершившихся случайностей. Поскольку съём информации о процессе осуществляется в периоды t_l , $l=0, 1, 2, \dots$, то дооптимизация планов, осуществляемая в эти же периоды, завершает операции по контролю и анализу хода процесса.

Привлечение дополнительных ресурсов может выражаться в поручении части работ по подготовке производства субподрядным организациям, а также в получении дополнительных штатных, материальных и финансовых возможностей. И то и другое, как правило, выходит за рамки полномочий лиц, ответственных за принятие решений по управлению процессом подготовки нового производства. Возможность и необходимость использования перечисленных управляющих воздействий определяются спецификой процесса подготовки нового производства на конкретном промышленном предприятии, а также особенностями ситуаций, возникающих в ходе выполнения плана. Очевидно, что основное внимание следует уделять первым четырем альтернативам управления, обеспечивающим выполнение плана в установленные сроки за счет внутренних резервов.

Как уже отмечалось, для принятия обоснованных решений при управлении процессом подготовки нового производства необходима достоверная информация, позволяющая анализировать возможные последствия этих решений. В качестве такой информации используются параметры и характеристики исследуемого процесса. В каждом конкретном случае характеристики и контролируемые параметры процесса должны соответствовать целям, задачам и принципам управления, так как только в этом случае они будут концентрировать необходимую для целей управления информацию. При этом, естественно, следует учитывать возможности математической модели процесса в смысле получения с ее помощью тех или иных характеристик *. Для рассматриваемого процесса с учетом описанных альтернатив управления используются следующие характеристики и параметры, по которым организуется контроль на границах оперативных периодов управления:

* Рассматриваемые в данной работе результаты исследования управления процессом подготовки нового производства применимы для моделей, подобных предложенной в работе [2].

1) оптимистическая $V(t)_{\text{опт}}$ и пессимистическая $V(t)_{\text{песс}}$ зависимости объема выполнения операций во времени;

2) M_0^{l-1} — множество операций, которые должны быть выполнены за предыдущий $(l-1)$ -й оперативный период управления;

3) M_1^{l-1} — множество операций, которые обслужены в течение предыдущего $(l-1)$ -го оперативного периода управления;

4) τ_i^l — фонд времени i -го подразделения, который может быть выделен на выполнение операций в течение очередного l -го оперативного периода управления;

5) b_i^l — фонд времени, необходимый i -му подразделению для выполнения операций, которые должны быть обслужены за очередной l -й оперативный период управления;

6) t_i^p — значение времени, в течение которого может быть ликвидировано отставание в сроках выполнения плана i -го подразделения;

7) P_i — вероятность срыва плана по вине i -го подразделения.

Рассмотрим вкратце каждый из перечисленных параметров.

Зависимости $V(t)_{\text{опт}}$ и $V(t)_{\text{песс}}$, необходимые для вычисления длительности очередного оперативного периода управления, определяются на основе информации о значении пессимистического и оптимистического времени выполнения операций, а также последовательности их обслуживания. На любом из оперативных периодов управления может быть осуществлена дооптимизация календарного плана (использовано управляющее воздействие u_4). Полученному в результате этой дооптимизации плану соответствуют вектор последовательности $\vec{A}_{\text{опт}}^l$ и вектор длительности $\vec{t}_{\text{опт}}^l$. При фиксированном векторе $\vec{A}_{\text{опт}}^l$ и известном значении времени обслуживания каждой операции, равном оптимистическому (пессимистическому), несложно в функции времени построить кривую оптимистического (пессимистического) объема выполнения работ, выраженного в человеко-часах либо в количестве обслуженных операций.

Множество операций, которое должно быть выполнено в течение какого-либо оперативного периода управления, определяется принятым к реализации планом. Результат поэлементного сравнения множеств M_0^{l-1} и M_1^{l-1} является сигналом обратной связи, устанавливающим необходимость использования управляющих воздействий.

Важными контролируемыми параметрами на стадии оперативного управления являются фонд времени, необходимый подразделению для выполнения операций, а также фонд времени, который может быть выделен на обслуживание этих операций, так как величина соотношения этих параметров существенно влияет на сроки выполнения плана и, следовательно, на принимаемое решение по управлению процессом. Однако необходимо отметить, что действительные сроки окончания работ зависят не только от соотношения указанных параметров, но и от структуры календарного плана, определяемой конкретной «технологической» последовательностью обслуживания операций. Указанная зависимость выражается в том, что простои подразделений, вызванные необходимостью учитывать взаимосвязь операций, отодвигают окончательные сроки выполнения работ. Окончательное решение по управлению может быть принято лишь после того, как с учетом введенных в систему управляющих воздействий сформирован новый календарный план.

Значения величин τ_i^l и b_i^l вычисляются по выражениям:

$$b_i^l = \sum_{j \in M_0^l} b_{ij}; \quad (1)$$

$$b_{ij} = \frac{t_j - r_i}{c_{ij}}; \quad (2)$$

$$\tau_i^l = \begin{cases} t_0^l r_i (1 - p_i^e), & \text{если } \tau_i^l \geq b_{ij}^l, \\ t_0^l \cdot r_i, & \text{если } \tau_i^l < b_{ij}^l, \end{cases} \quad (3)$$

где

b_{ij} — фонд времени, необходимый для выполнения j -й операции i -м подразделением;

t_j — плановое значение времени выполнения j -й операции;

r_i — численность i -го подразделения (человек либо единиц оборудования);

c_{ij} — эффективность использования i -го подразделения на выполнении j -й операции (величина c_{ij} лежит в интервале $[0,1]$);

t_0^l — длительность l -го оперативного периода управления;

p_i^e — вероятность появления требований внешней нагрузки у i -го подразделения.

Следующим не менее важным параметром, используемым в случае, когда не удастся ликвидировать отставание в сроках за один оперативный период управления, является величина t_i^0 . Указанная величина вычисляется в предположении, что простои аппаратов исключены и весь временной фонд подразделения используется для выполнения только плановых операций подготовки нового производства. Другим существенным предположением является ограничение на время обслуживания операций, которое принимается равным оптимистическому. Величина t_i^0 определяется выражением

$$t_i^0 = \frac{b_i + r_i \sum_{j \in M_i} t_{j \text{ опт}}}{r_i}, \quad (4)$$

где

$t_{j \text{ опт}}$ — оптимистическое время выполнения j -й операции;

M_i — множество операций, которое осталось выполнить i -му подразделению по подготовке нового производства. Алгоритм вычисления величины P_i приводится в работе [3].

Задача перераспределения операций между подразделениями

Имеется M^0 операций, которые должны быть выполнены подразделениями за оперативный период управления. Задана матрица $C = \|c_{ij}\|$, элементы которой характеризуют эффективность использования i -го подразделения на выполнении j -й операции. Известными считаются также величины:

τ_i — фонд времени i -го подразделения, который может быть выделен в течение оперативного периода управления на выполнение операций;

b_{ij} — фонд времени, необходимый для выполнения j -й операции i -м подразделением.

Требуется, как отмечалось выше, найти наиболее эффективный допустимый вариант распределения операций по подразделениям с учетом реальных ограничений по ресурсам. Под допустимым понимается такой вариант распределения операций, при котором каждая операция поручается только одному подразделению, а суммарный объем, необходимый для выполнения порученных подразделению операций, не превышает величины τ_i .

Каждому допустимому варианту распределения операций может быть поставлена в однозначное соответствие матрица $X = \|x_{ij}\|$, элементы которой удовлетворяют следующим ограничениям:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если операция } j \text{ распределена подразделению } i; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 1, \quad j = \overline{1, M^0}, \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^{M^0} b_{ij} \cdot x_{ij} \leq \tau_i, \quad i = \overline{1, N}. \quad (7)$$

Ограничение (6) формализует первое условие допустимости искомого распределения (каждая операция поручается только одному подразделению), ограничение (7) — второе условие (объем времени, требуемый для выполнения всех порученных i -му подразделению операций, не должен превышать имеющихся у него временных ресурсов). В соответствии с изложенным задача определения оптимального варианта распределения операций по подразделениям заключается в определении такой матрицы X , удовлетворяющей ограничениям (5), (6) и (7), при которой обращается в максимум целевая функция

$$Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M^0} c_{ij} \cdot x_{ij}, \quad (8)$$

то есть, при которой обеспечивается максимизация суммарной эффективности выполнения комплекса операций M^0 .

Соотношения (5), (6), (7) и (8) показывают, что описанная задача относится к типу распределительных задач дискретного программирования с булевыми переменными. Алгоритм решения такой задачи предложен в [4] и является по существу реализацией известного метода «ветвей и границ». Там же приведено подробное описание процедуры построения дерева решений, способа вычисления оценки (верхней границы целевой функции (8) на множество решений) и стратегии движения по вершинам дерева.

Необходимо отметить, что рассматриваемая задача может не иметь решения в связи с тем, что при значительном отставании в сроках выполнения плана ограничение (7) может не соблюдаться. Это обстоятельство требует использования других управляющих воздействий, позволяющих ликвидировать отставание и закончить весь объем работ за плановый или директивный сроки. Ниже приводится содержательное описание алгоритма управления процессом, устанавливающего взаимосвязь между значениями контролируемых параметров и решением по использованию того или иного управляющего воздействия и таким образом осуществляющего управление ходом процесса подготовки нового производства.

Алгоритм управления процессом

Управление процессом подготовки производства представляет собой многошаговую систему действий, осуществляемую на основе информации, содержащейся в календарном плане, информации о ходе процесса, поступающей в моменты контроля, а также на основе использования имеющихся альтернатив воздействий на процесс.

В исходном состоянии (момент времени t_0) задающим управляющим воздействием на первый оперативный период управления является план $(\vec{A}_{\text{opt}}, \vec{t}_{\text{opt}})$, регламентирующий развитие процесса на время $0 - T_{\text{opt}}$, где T_{opt} — срок завершения подготовки нового производства. В момент t_1 окончания первого оперативного периода управления осуществляется измерение контролируемых параметров процесса и операция их сравнения с плановыми значениями. При возникновении рассогласований принимается решение об использовании $u_{\varphi} \in U, \varphi = 1 \div 5$ управляющего воздействия. На основе полученной в момент t_1 информации о процессе и принятых решений осуществляется корректировка задающего управляющего воздействия, т. е. план $(\vec{A}_{\text{opt}}, \vec{t}_{\text{opt}})$ заменяется планом $(\vec{A}_{\text{opt}}^1, \vec{t}_{\text{opt}}^1)$. Формирование оптимального календарного плана $(\vec{A}_{\text{opt}}^1, \vec{t}_{\text{opt}}^1)$ на время $(t_1 - T_{\text{opt}}^1)$ осуществляется с помощью моделирующего алгоритма, аналогичного тому, который используется для формирования плана $(\vec{A}_{\text{opt}}, \vec{t}_{\text{opt}})$. Аналогичные действия осуществляются в последующие моменты времени $t_2, t_3, \dots$. Следовательно, в l -й оперативный период $[t_l \div t_{l+1}]$ процесс развивается под действием задающего воздействия $(\vec{A}_{\text{opt}}^l, \vec{t}_{\text{opt}}^l)$, которое сохраняется неизменным до конца оперативного периода. Основным элементом такой многошаговой системы действий является принятие решения об использовании того или иного элемента множества U управляющих воздействий на l -м оперативном периоде управления.

Это решение определяется результатом контроля параметров процесса. Как уже отмечалось, сигналом, устанавливающим необходимость использования управляющих воздействий, является результат поэлементного сравнения множеств M_0^{l-1} и M_1^{l-1} . Наличие в M_0^{l-1} хотя бы одного такого элемента, который не содержится в M_1^{l-1} , означает отставание в сроках. Основным управляющим воздействием, используемым для ликвидации отставания в течение одного оперативного периода управления, является перераспределение работ между подразделениями. Как уже отмечалось, при значительном отставании плана в условиях ограниченного временного фонда подразделений возможен случай, когда перераспределение не может быть осуществлено. Тогда отставание может быть ликвидировано за несколько периодов управления. Вопросы, связанные с использованием управляющих воздействий в этом случае, будут рассмотрены ниже.

Если в l -м периоде управления удастся осуществить перераспределение, это означает, что потенциально возможно ликвидировать отставание. Однако эффективность использования управляющего воздействия u_l определяется только после формирования нового календарного плана с учетом произведенного перераспределения. При этом формирование плана осуществляется как дооптимизация для множества работ, которое необходимо выполнить на l -м периоде управления. Следовательно, полученный таким образом план отличается от исходного только на промежутке времени l -го оперативного периода управления.

Если использование описанных управляющих воздействий приводит к ликвидации отставания по всем работам, то полученный в результате этого план $[\vec{A}_{\text{opt}}^l, \vec{t}_{\text{opt}}^l]$ принимается для реализации. В случае, когда в течение l -го оперативного периода управления не удастся ликвидировать отставание плана, проверяется потенциальная возможность сделать это за промежуток времени, превышающий длительность рассматриваемого периода. При этом вычисляется значение времени t_i^0 , которое

сравнивается с T_{opt}^{l-1} — оптимальным плановым сроком окончания всех работ, а также с T_g — директивным сроком выполнения плана. Результат сравнения определяется одним из следующих неравенств:

- 1) $t_i^0 \leq T_{\text{opt}}^{l-1}$,
- 2) $T_{\text{opt}}^{l-1} < t_i^0 \leq T_g$,
- 3) $t_i^0 > T_g$.

При выполнении неравенства (3) необходимо апеллировать к вышестоящему руководству с просьбой предоставить дополнительные резервы для предотвращения срыва директивных сроков.

Случай, когда имеет место неравенство (1) или (2), означает, что существует потенциальная возможность выполнить план за время T_{opt}^{l-1} или T_g , соответственно при условии сокращения сроков обслуживания отдельных операций, а также объемов работ подразделений за счет внешней нагрузки. В этом случае используется следующая направленная итерационная процедура дооптимизации плана. На каждом итерационном шаге определяется n подразделение, вероятность срыва плана по вине которого имеет максимальное значение. Затем с учетом свершившихся случайностей с помощью модели процесса формируется календарный план с той лишь разницей, что внешняя нагрузка не участвует в построении плана и при встраивании очередной операции для обслуживания подразделением n время выполнения этой операции принимается равным оптимистическому. Для полученного таким образом плана вычисляется T^l — время его выполнения, которое сравнивается с T_{opt}^{l-1} — оптимальным плановым сроком окончания всех работ*. Если $T^l \leq T_{\text{opt}}^{l-1}$, процесс вычисления заканчивается. При $T^l > T_{\text{opt}}^{l-1}$ осуществляется переход к следующей итерации. Этот процесс продолжается до тех пор, пока либо во вновь сформированном плане время обслуживания каждой операции не примет оптимистическое значение, либо станет очевидным тот факт, что каждая последующая итерация приводит к незначительному уменьшению величины T^l . Тогда в случае $T^l \leq T_g$ окончательный сформированный план принимается для реализации, а в случае $T^l > T_g$ необходимо привлекать дополнительные резервы для предотвращения срыва директивных сроков.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. К. Бабунашвили. Об одном алгоритме определения шага квантования в системах сетевого планирования и управления. М., Труды МГПИ им. В. И. Ленина, 1968.
2. А. И. Гудзенко, Л. В. Кочнев, В. З. Ямпольский. Алгоритм решения задачи календарного планирования. Доклады IV научно-технической конференции по вопросам автоматизации производства, т. IV, Томск, 1969.
3. А. И. Гудзенко, Л. В. Кочнев, Л. В. Перфильев. К вопросу анализа календарных планов. Статья в настоящем сборнике.
4. Т. Д. Виноградова. Целочисленная распределительная задача. М., «Наука», Известия АН СССР, «Техническая кибернетика», 1969, № 4.

* Здесь и далее при описании итерационной процедуры рассматривается случай выполнения неравенства (1). Описываемая процедура сохраняется и для случая, когда имеет место неравенство (2), с той лишь разницей, что сравнение значения T^l осуществляется не с T_{opt}^{l-1} , а с величиной T_g .