МЕТОД ЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В КАЛЕНДАРНО-ПЛАНОВЫХ РАСЧЕТАХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В. Г. Новиков, Е. Б. Стародубцев

Харьков

Получение оптимального графика работы цеха на длительный, порядка месяца, отрезок времени с конкретизацией его до смены, рабочего места и детале-операции представляет собой трудную математическую и техническую проблему. Однако по сравнению с методами оперативного планирования, которые основаны на календарно-плановых расчетах, выполняемых периодически и в условном масштабе времени, во многих случаях более простыми и эффективными для практики оказываются методы планирования, осуществляемого непрерывно, т. е. в реальном масштабе времени, и основанного на заданном приоритете по запуску в производство изделий (узлов, деталей, операций).

К таким методам относится метод Новочеркасского электровозостроительного завода и все его разновидности, широко распространенные в серийном и даже мелкосерийном производстве. В инструментальном производстве принципы, составляющие основу этих методов, использовать очень сложно из-за отсутствия регулярной повторяемости производимой продукции, из-за непрерывного поступления срочных заказов, недостаточного уровня пооперационного нормирования трудоемкости и многочисленных возмущающих факторов, связанных со спецификой индивидуального производства. Кроме того, названные и многие другие методы и системы оперативного планирования не решают и даже не ставят вопросы рационального использования оборудования, производственных площадей, людских ресурсов. Расчетное обоснование плановых заданий с точки зрения возможностей (а не потребностей) производства, если и делается, то лишь в самом упрощенном и укрупненном виде.

В статье предлагается алгоритм расчета на ЭВМ номенклатуры и очередности выпуска заказов инструментального цеха в планируемом периоде с дифференцированным учетом пропускной способности цеха и с возможностью прогнозирования узких мест в процессе производства. Расчет выполняется периодически, а получаемый приоритет заказов может служить основой для непрерывного планирования работы каждой группы взаимозаменяемого оборудования на базе использования комплекта СПМ. Задача решается методом логического моделирования производственного процесса на ЭВМ.

Алгоритмом предусматривается такая структура инструментального цеха, при которой его основные отделения организованы по предметному принципу и подразделяются на технологически однородные участки. Вспомогательные (обслуживающие) отделения могут иметь технологическую специализацию, например, термическое, заготовительное, шлифовальное. В модели приняты следующие обозначения и допущения.

Процесс выполнения i-заказа, т. е. заданного количества одинаковых единиц оснастки, подразделяется, как это имеет место и в практике, на три последовательных этапа: изготовление заготовок, механообработка и слесарная сборка, включающая испытание и сдачу. Сроки окончания этих этапов обозначим соответственно $N_i^з$, $N_i^м$, $N_i^с$, где N — номер рабочей смены, считая от начала года.

Последовательность решения задачи следующая: в первую очередь моделируется процесс загрузки механических участков и определяются сроки окончания механообработки ($N_i^м$) как основного этапа, наиболее

трудоемкого продолжительного и сложного в оперативном управлении. После этого сроки $N_i^з$ — и $N_i^с$ находятся (рис. 1) по формулам

$$N_i^з = N_i^м - Ц_i^м; \quad (1)$$

$$N_i^с = N_i^м + Ц_i^с, \quad (2)$$

где $Ц_i^м$ и $Ц_i^с$ — длительность циклов механообработки и сборки.

При параллельном изготовлении деталей одного заказа минимальный, практически достижимый цикл $Ц_i^м$ его механообработки, равен

$$Ц_i^м = \max_{l \in L_i} Ц_{ikl}, \quad (2')$$

где $Ц_{ikl}$ — частный цикл обработки k-детали от l-й до последней операции технологического маршрута, т. е. опережение запуска k-детали в l-операцию относительно начала сборки заказа; L_i — множество детале-операций по i-заказу, еще не выполненных к началу планируемого периода.

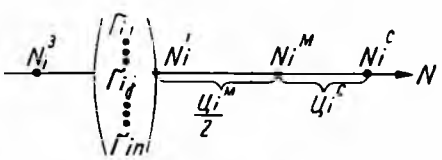


Рис. 1. Расчет этапных сроков выполнения i-заказа.

Величину $Ц_{ikl}$ можно определять как сумму отрезков времени, необходимых для выполнения отдельных операций. С учетом межоперационного пролеживания деталей каждый такой отрезок можно измерять целым числом смен (или полусмен), в зависимости от вида и трудоемкости операции, и находить по таблице, составленной в разрезе интервалы трудоемкости — группы взаимозаменяемого оборудования.

Для определения длительности цикла $Ц_i^с$, измеряемого, как и $Ц_i^м$, целым числом смен, можно составить таблицу в разрезе виды оснастки — интервалы трудоемкости слесарно-сборочных работ ($T_i^с$).

В инструментальном производстве многообразие возможных сочетаний, перестановок и повторений реальных операций в технологических маршрутах различных деталей весьма велико. С другой стороны, при разработке технологии изготовления оснастки отдельные детале-операции обычно закрепляются не за конкретными станками, а за группами взаимозаменяемого оборудования. Кроме того, фактический техпроцесс детали нередко отличается по самым разным причинам от первоначально составленного. Поэтому имитировать в модели технологический маршрут каждой детали и работу каждого станка во времени практически невозможно и не целесообразно. Процесс работы механических участков и его динамическая модель должны быть идентичны по двум основным показателям: прогнозируемые сроки окончания механообработки заказов должны соответствовать реально достижимым циклам $Ц_i^м$, а прогнозируемая загрузка станочного парка — его реальной пропускной способности.

В соответствии с этим i-заказ на этапе его механообработки рассматривается как совокупность условных работ r_{ij}, каждая из которых выполняется только на одной j-группе оборудования ($1 \leqslant j \leqslant n$) и к началу планируемого периода имеет объем T_{ij}, равный в общем случае трудоемкости еще не выполненных реальных детале-операций

$$T_{ij} = \sum_k \sum_{l \in L_i} T_{ikl}.$$

Значения T_{ij} можно получить путем итоговой перфорации или табуляции из массива операционных перфокарт.

Остаточная трудоемкость механообработки всего заказа к началу планируемого периода равна

$$T_i^{м} = \sum_j T_{ij}. \tag{3}$$

Обозначим через $П_j$ сменную производительность j-группы оборудования, т. е. объем работ (в нормированном времени), который может выполнен на ней за смену с учетом потерь времени на планово-предупредительный ремонт и планового коэффициента выполнения норм, среднего по цеху или заданного для каждой группы оборудования. Тогда выраженное в сменах (практически в долях смены) минимальное время t_{ij}, необходимое для выполнения условной работы r_{ij} на каждой группе оборудования, равно

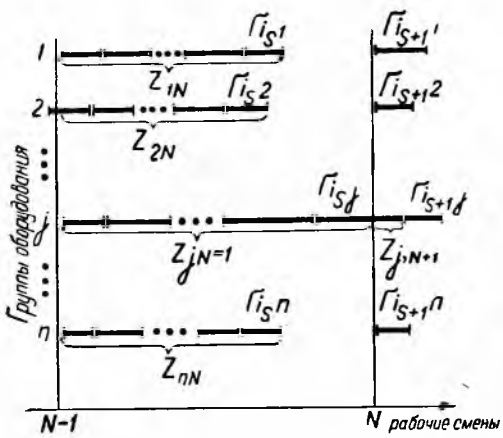


Рис. 2. Моделирование загрузки оборудования.

$$t_{ij} = \frac{T_{ij}}{П_j}. \tag{4}$$

Среди всех возможных способов распределения условной работы r_{ij} на интервале времени $Ц_i^{м} = N_i^{м} - N_i^{s}$ наиболее простыми являются два граничных варианта:

а) r_{ij} выполняется равномерно в течение всего цикла, т. е. с постоянной интенсивностью $\frac{T_{ij}}{Ц_i^{м}}$ ($н/ч$ в смену);

б) r_{ij} выполняется с максимальной интенсивностью в течение некоторой смены N_i' (рис. 1) за время, равное t_{ij} (4).

Первый вариант модели производственного процесса несколько ближе к оригиналу. Однако для большей простоты модели примем вариант б), не нарушая идентичности модели и оригинала с точки зрения суммарной загрузки оборудования цеха. Поскольку условные работы одного заказа соответствуют разным группам оборудования, то допустимо (рис. 2) параллельное выполнение их во времени. При таком допущении последовательность загрузки групп оборудования, т. е. выполнения условных работ одного заказа, может быть произвольной и постоянной для ряда заказов.

Приоритет заказов по «запуску» в механообработку можно представить в виде индексного множества

$$\pi = \{i_1, i_2, \ldots i_s, \ldots, i_m\}. \tag{5}$$

упорядоченного по возрастанию значений (λ_i) функции приоритета

$$\lambda_{i_s} \leqslant \lambda_{i_{s+1}};\ 1 \leqslant (i, s) \leqslant m, \tag{6}$$

где s — номер очереди заказа;

$\frac{1}{\lambda_i}$ — показатель напряженности работ i-заказа по состоянию на начало расчетного периода

$$\lambda_i = \frac{N_i^{д} - N_0}{Ц_i^{м} + Ц_i^{с}} \cdot \frac{mT_i^{м}}{\sum T_i^{м}}; \tag{7}$$

$N_i^{д}$ — директивный срок сдачи заказа;

N_0 — начальная смена расчетного периода.

Прогнозирование сроков окончания механообработки $N_i^м$ выполняется исходя из естественного предположения, что сравнительно малый отрезок времени, в течение которого происходит «выполнение» заказа в модели, должен располагаться возможно ближе к середине интервала $N_i^м - N_i^э$, т. е.

$$N_i^м = \begin{cases} N_i' + \frac{Ц_i^м}{2} \text{ при } N_i' - N_0 \geqslant \frac{Ц_i^м}{2}; & (8) \\ N_0 + Ц_i^м \text{ при } N_i' - N_0 < \frac{Ц_i^м}{2}, & (9) \end{cases}$$

где N_i' — смена, в течение которой «выполняется» i-заказ, согласно принятому варианту модели.

Сразу после «выполнения» данного заказа определяются прогнозируемые сроки $N_i^м$, $N_i^э$, N_i^c (по формулам 8, 9 и 1, 2 соответственно) и резерв времени относительно директивного срока сдачи

$$R_i = N_i^д - N_i^c. \quad (10)$$

После этого делается переход к следующему по очереди заказу. Если после «запуска» очередного заказа в механообработку текущая загрузка z_{jN} хотя бы одной группы оборудования в N-смену превысит допустимую и будет нарушено условие

$$\sum_{i \in I_N} t_{ij} = z_{jN} \leqslant 1, \quad (11)$$

где I_N — множество заказов, «выполненных» в N-смену, то делается переход к следующей $(N+1)$-й смене. Предварительно в памяти ЭВМ для каждой группы оборудования фиксируется значение прогнозируемой загрузки Z_{jN} в данную смену

$$Z_{jN} = \begin{cases} z_{jN} \text{ при } z_{jN} \leqslant 1; & (12) \\ 1 \text{ при } z_{jN} > 1 & (13) \end{cases}$$

и определяется начальная загрузка $z_{j,\,N+1}^0$ в следующую смену

$$z_{j,\,N+1}^0 = \begin{cases} 0 \text{ при } z_{jN} \leqslant 1; & (14) \\ z_{jN} - 1 \text{ при } z_{jN} > 1. & (15) \end{cases}$$

Таким образом, при всей укрупненности расчетов и условности представления производственного процесса в модели, расчет основан на реальной производственной мощности цеха, практически достижимых длительностях циклов обработки и на пооперационном учете состояния производства, который может быть обеспечен с использованием комплекта СПМ.

Для решения задачи необходима следующая исходная информация:

начальная N_0 и конечная N_{max} смены планового периода;

сменная производительность $П_j$ каждой группы взаимозаменяемого оборудования механических участков;

директивный срок сдачи $N_i^д$, размеры трудоемкостей $Т_{ij}$ и циклов $Ц_i^м$ и $Ц_i^c$ к моменту N_0 по каждому заказу.

Используя символику АЛГОЛа, можно представить алгоритм решения задачи в виде следующей вычислительной схемы:

1. $i := 1$.
2. $j := 1$.
3. $t_{ij} = \frac{Т_{ij}}{П_j}$ (4) (здесь и далее в скобках указаны номера формул).
4. Если $j \neq n$, то $j := j + 1$, перейти к п. 3, иначе — к п. 5.

5. $T_i^м := \sum_j T_{ij}$ (3); $\lambda_i := \frac{N_i^з - N_0}{Ц_i^м - Ц_i^с} \times \frac{mT_i^м}{\sum T_i^м}$ (7).

6. Если $i \neq m$, то $j := j + 1$, перейти к п. 2, иначе — к п. 7.

7. Упорядочить (5) множество i-заказов по возрастанию (6) значений функции приоритета λ_i.

8. $j := 1$.

9. $z_{jN} := 0$.

10. Если $j \neq n$, то $j := j + 1$, перейти к п. 9, иначе — к п. 11.

11. $s := 1$; $N := N_0$.

12. Если $T_{i_s}^м = 0$, то $N_{i_s}^з := N_{i_s}^м := 000$, перейти к п. 21, иначе — к п. 13 (000 — означает, что соответствующий этап был выполнен к началу расчетного периода).

13. $j := 1$.

14. $z_{jN} := z_{jN} + t_{i_s j}$.

15. Если $j \neq n$, то $j := j + 1$, перейти к п. 14, иначе — к п. 16.

16. $j := 1$.

17. Если $z_{jN} \leqslant 1$ (11), то перейти к п. 18, иначе — к п. 23.

18. Если $j \neq n$, то $j := j + 1$, перейти к п. 17, иначе — к п. 19.

19. Если $N - N_0 \geqslant \frac{Ц_{i_s}^м}{2}$, то $N_{i_s}^м := N + \frac{Ц_{i_s}^м}{2}$ (8), иначе $N_i^м := N_0 + Ц_{i_s}^м$ (9).

20. Если $T_{i_s}^з = 0$, то $N_{i_s}^з := 000$, иначе $N_{i_s}^з := N_{i_s}^м - Ц_{i_s}^м$ (1).

21. $N_{i_s}^с := N_{i_s}^м + Ц_{i_s}^с$ (2); $R_{i_s} := N_{i_s}^д - N_{i_s}^с$ (10).

22. Если $s \neq m$, то $s := s + 1$, перейти к п. 12, иначе — к п. 27.

23. $j := 1$.

24. Если $z_{jN} \leqslant 1$, то $Z_{jN} := z_{jN}$ (12), иначе $Z_{jN} := 1$ (13).

25. Если $z_{jN} \leqslant 1$, то $z_{jN} := 0$ (14), иначе $z_{jN} := z_{jN} - 1$ (15).

26. $N := N + 1$, перейти к п. 16.

27. $i := 1$.

28. Если $(N_i^з, N_i^м, N_i^с) \leqslant N_{max}$, то ПЕЧАТЬ (табуляграмма 1), иначе — ПЕЧАТЬ (табуляграмма 1, массивы $N_i^з$, $N_i^м$, $N_i^с$ выделены звездочками (*).

29. Если $i \neq m$, то $i := i + 1$, перейти к п. 25, иначе к п. 30.

30. $j := 1$.

31. Если $Z_{jN} \leqslant Z_{гр}$, то ПЕЧАТЬ (табуляграмма 2), иначе — ПЕЧАТЬ (табуляграмма 2, массив Z_{jN} выделен звездочками (*).

32. Если $j \neq n$, то $j := j + 1$, перейти к п. 31, иначе — к п. 33.

33. ОСТАНОВ.

Табуляграмма 1

i'	$N_i^з$	$N_i^м$	$N_i^с$	R_i

Табуляграмма 2

N \ j'			. . .		
N_0					
$N_0 + 1$					
. . .					

В табуляграмме 2 («Прогнозируемая загрузка механических участков цеха по группам оборудования») выделяются значения Z_{jN}, превышающие заданный граничный уровень $Z_{гр}$, например, 0,8. Однако прак-

тически узкое место может возникнуть лишь в том случае, если высокая загрузка ожидается в течение некоторого непрерывного ряда смен. Символом j' здесь обозначены шифры групп оборудования, а не члены натурального ряда от 1 до n.

В табуляграмме 1 («Прогнозируемые поэтапные сроки выполнения заказов») символом i' обозначена вся необходимая признаная информация об i-заказе, т. е. шифр оснастки, номер заказа основного производства, номер ячейки в картотеке заказов или в стеллаже комплектовочной кладовой и т. п. Приоритет (5) запуска заказов в производство, определяемый по формуле (7), можно рассматривать как начальный и подлежащий дальнейшей оптимизации после просчета первого варианта. Одним из критериев оптимизации может быть минимизация отклонений резервов времени R_i от среднего, получаемого по расчету. Для получения нового приоритета на ЭВМ соответствующий блок следует поставить в описанном алгоритме после п. 26 с переходом в конце к п. 8.

Заметим, что практическое значение для оперативного управления работой цеха представляют не абсолютные значения N_i^3, $N_i^м$ и N_i^c, а их относительное размещение на временной оси (N), т. е. выраженная их совокупностью очередность поэтапного **выпуска** заказов. Полагая, что механообработка всех деталей i-заказа должна закончиться к моменту $N_i^м$, можно определить сроки **запуска** N_{ikl} каждой его детали (k) по каждой операции (l):

$$N_{ikl} = N_i^м - Ц_{ikl},$$

см. формулу (2′).

Таким образом, массив операционных перфокарт всех заказов, рассортированный по признаку j' и по возрастанию приоритета N_{ikl}, может обеспечить ежесменное внутрицеховое планирование, конкретизированное до детале-операции и группы взаимозаменяемого оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Немчинов. Экономико-математические методы и модели. Изд-во «Мысль», 1961.

2. С. А. Думлер. Расчеты и планирование в инструментальном хозяйстве машиностроительного завода. Профиздат, 1940.

3. Д. А. Тобиас. Современные методы организации и планирования инструментального хозяйства машиностроительного завода. Профиздат, 1961.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫХ АЛГОРИТМОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕРЕВА МИНИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ

А. Г. Евдокимов, Ю. Ю. Завизиступ, Г. Ф. Кривуля, Е. В. Трунов

Харьков

В настоящее время придается большое значение решению на цифровых вычислительных машинах (ЦВМ) задач анализа и синтеза сложных сетевых систем. Возможности универсальных ЦВМ, ввиду неприспособленности их структуры для решения данного класса задач, используются неполностью, поэтому возникает необходимость в разработке специализированной вычислительной системы, структура которой максимально приспособлена для расчета сложных сетевых систем. Такая вычисли-