

МОДЕЛИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИОРИТЕТНЫХ СХЕМ

Бурдо Г.Б., Рубин П.М., Испирян Н.В., Испирян С.Р.

Ключевые слова: управление технологическими процессами, системный анализ, искусственный интеллект, приоритетные схемы.

Аннотация. Изложена модель интеллектуального подхода к разработке оперативных планов-графиков прохождения деталей по операциям на основе приоритетных схем для предприятий машиностроения и приборостроения. Показана иерархия приоритетов, показаны способы реализации предлагаемой методики.

OPERATIONAL PLANNING MODELS BASED ON PRIORITY SCHEMES

Burdo G.B., Rubin P.M., Ispiryay N.V., Ispiryay S.R.

Keywords: process control, system analysis, artificial intelligence, priority schemes.

Abstract. A model of the intelligent approach to the development of operational plans-schedules for the passing of parts based on of priority schemes for machine-building and instrument-making enterprises is presented. A hierarchy of priorities is shown, the ways of implementing the proposed methodology are shown.

Постановка задачи

Одной из наиболее трудоемких задач, решаемых в рамках управления работой технологических подразделений (ТП) в условиях многономенклатурного машиностроения (ММ), является определение последовательности прохождения деталей по рабочим местам (операциям) - календарные планы графики (КПГ) [1, 2]. Строгое решение задачи методами полного перебора или «ветвей и границ» не обеспечивает нужной быстроты принятия решений в условиях динамичного многономенклатурного производства. Попытки использования различных приоритетных схем [3] не увенчались успехом, прежде всего в связи с тем, что они не учитывали назначение работ, сроки их выполнения и изменение приоритетов при переходе в следующие интервалы оперативного планирования (ИОП). Поэтому постановка задачи формального синтеза КПГ в условиях ММ с помощью приоритетных схем (ПРС), отражающих иерархию планов организации, и учитывающих текущее состояние в технологических подразделениях (ТП), является востребованной.

Формирование приоритетов по разрядам и группам работ

Основой для построения КПГ служат данные по номенклатуре изготавливаемых изделий (или объемах работ в станкоёмкостях) с разбивкой по месячным периодам в пределах интервала выполнения текущего контракта, и сведения по маршрутам обработки деталей с нормами времени.

На первом шаге исходя из пятидневного запаса времени по циклам определяется перечень плановых видов работ $\{B_{lmp}\} = P_n$, где l соответствуют партии деталей (ее величина n_1); m – рабочему месту (группе оборудования в

пределах типа), p – номеру операции в маршруте. Для деталей с выносными операциями (термообработка, сварка), осуществляемыми в рамках данного ТП, плановый объем работ по ним ограничивается, исходя из: а) соотношения длительности выносных операций и механообработки; б) числа деталей в партии; в) ИОП. При принятом нами пятидневном периоде, для крупных и средних деталей обработка планируется до 1-2-ой операции после выносной, для мелких – до 2-3 операции после выносной.

На втором шаге диспетчирования определяется множество невыполненных на предыдущем ИОП видов работ $\{B_{imp}^H\} = P_H$, и формируется множество дополнительных работ. Учитывая последующее установление приоритетов, их разбивают на группы: исправление (замена) брака $\{B_{imp}^B\} = P_B$; новые приоритетные заказы; изготовления оснастки $\{B_{imp}^O\} = P_O$; работы по ремонту изделий $\{B_{imp}^P\} = P_P$. В некоторых случаях ряд работ может быть исключен $\{B_{imp}^I\} = P_I$. Перечень некоторых других видов работ может быть специфичным для каждого типа предприятия и каждой производственной ситуации.

Множество работ на данном q -м ИОП P_q получается объединением (отсечением) всех видов работ: $P_q = (P_I \cup P_H \cup P_B \cup P_O \cup P_P \cup P_I) \setminus P_I$.

Т.к. работы имеют различные сроки выполнения, их разбивают на **разряды**: работы P_1 , которые необходимо закончить в планируемом ИОП; работы P_2 , срок завершения которых находится за его пределами и жестко не определен: $P_q = P_1 \cup P_2$.

На третьем шаге устанавливаются приоритеты работ $\{P_j\}$, используемые при дополнении и исключении работ. Работы P_1 представим группами: $P_1 = P_1^1 \cup P_1^2 \cup P_1^3 \cup P_1^4 \cup P_1^5 \cup P_1^6 \cup P_1^7$, где P_1^1 – плановые работы, соответствующие полной обработке деталей; P_1^2 – плановые работы, соответствующие части маршрута обработки деталей с длинным циклом (большим числом операций); P_1^3 – работы по исправлению (переделке) брака по работам P_1^1 и P_1^2 , выполненных в $(q-1)$ ИОП; P_1^4 – новые срочные приоритетные заказы; P_1^5 – работы по изготовлению средств технологического оснащения, необходимых в данном, q -м ИОП; P_1^6 – другие работы со сроками исполнения в $q+(1 \div 3)$ ИОП; P_1^7 – невыполненные работы в $(q-1)$ ИОП. Заметим, что приоритет P_1^4 устанавливается системой управления организацией, СУО (наивысший). Если ряд приоритетов большой, их можно сравнивать попарно, не создавая логического противоречия в пределах ряда. Скажем, работы P_1^3 должны иметь максимальный приоритет, т.к. должны быть закончены в предыдущем ИОП. Работы P_1^5 должны иметь более высокий приоритет, чем приоритет работы, для которых оснастка необходима. Можно

продолжить ряд, однако в каждом конкретном случае приоритет во многом определяется логикой ситуации.

Рекомендуется устанавливать шкалу приоритетов, « \emptyset » – максимальный. Если работы могут быть выполнены за счёт локальных резервов, то приоритет не присваивается. В нашем примере приоритеты могут быть такие: « \emptyset » приоритет имеет P_1^3 ; 1-й приоритет работы P_1^2 и P_1^5 (считаем, что оснащение необходимо для выполнения части работ P_1^1), 2-й – P_1^1 . Если работы P_1^6 не могут быть скомпенсированы локальными резервами, то их приоритет не может быть выше, чем плановых, и должен увеличиваться при переходе в следующий ИОП. Работы P_1^4 специально выделены в отдельную группу, им при необходимости присваивается приоритет « $\emptyset\emptyset$ » – безусловное выполнение (сверхсрочные работы). Работам P_1^7 , как и работам P_1^3 , должен быть присвоен приоритет « \emptyset », так как они должны быть выполнены еще в $(q-1)$ -м ИОП.

Были сформулированы правила (продукции) назначения внутренних приоритетов работ, позволяющие формально управлять дополнением и исключением работ из разряда P_1 .

Работы, имеющие меньшее значение приоритета на q -м ИОП, имеют предпочтение для выполнения. Учитывая, что часть работ P_1 может быть выполнена за счёт локальных резервов (P_1^n), окончательно получаем список работ разряда P_1 : $P_1 = (P_1^1 \cup P_1^2 \cup P_1^3 \cup P_1^4 \cup P_1^5 \cup P_1^6 \cup P_1^7) / P_1^n$.

Проанализируем возможные множества (группы) работ разряда P_2 : $P_2 = P_2^1 \cup P_2^2 \cup P_2^3 \cup P_2^4$, где P_2^1 – плановые работы из следующего срока заключённых контрактов, начало которых, исходя из цикла их выполнения, отдалено более 4-5 ИОП; P_2^2 – работы, окончание которых более, чем через 2-3 месяца, предназначенные для внутренних нужд (работы по НИР, опытные образцы и т.д.) – разовые заказы с длительным сроком; P_2^3 – работы по плановой замене изнашивающихся средств технологического оснащения; P_2^4 – другие работы, величина приоритета которых устанавливается СУО, вплоть до перевода их в множество P_1 с приоритетом « $\emptyset\emptyset$ ». Часть этих работ может быть выполнена за счёт локальных резервов (P_2^n). Тогда окончательное множество работ P_2 : $P_2 = (P_2^1 \cup P_2^2 \cup P_2^3 \cup P_2^4) / P_2^n$. Установлены правила (продукций, ПР) назначения внутренних приоритетов работ разряда P_2 .

Формирование иерархии приоритетов при запуске изделий

Составление КПП предполагает определение последовательности, в которой все множество деталей будет проходить по рабочим местам. Чтобы исключить полный перебор вариантов при закреплении детали-операций, необходимо установить систему приоритетов.

Приоритеты устанавливаются в два этапа. На первом этапе устанавливаются приоритеты по разрядам работ P_1 и P_2 , это приоритет глобальный (P_1 приоритетнее P_2). Внутри каждого разряда работ P_j имеются группы работ $\{P_j^i\}$, также имеющие приоритетные уровни. Назовём их внутренним приоритетом. Задача – установить приоритетность видов работ в пределах каждого уровня внутреннего приоритета, определяемого как частный приоритет. Иерархия приоритетов показана на рисунке 1.

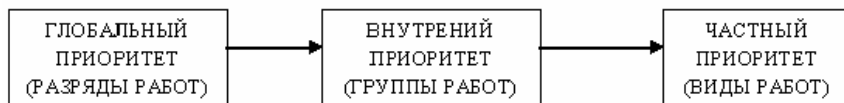


Рис. 1. Иерархия приоритетов

Установление приоритетности видов работ обязательно, т.к. внутри одной группы работ (одного внутреннего приоритета) может быть большое число ее видов, характеризующихся разной трудоёмкостью изготовления деталей, разным числом операций и длительностью цикла. Временной фактор окончания работ здесь не принимается во внимание, т.к. был учтён ранее при наборе работ на q -й ИОП. Рассмотрим возможные частные приоритеты применительно к позаказной системе планирования производства в условиях ММ на основе анализа. Основные требования для системы частных приоритетов – их непротиворечивость и исключение неопределённых ситуаций. Каждая система частных приоритетов должна иметь свою иерархию. Любая система управления должна иметь возможность учитывать сверхсрочные работы (заказы). С этой целью для этих вводятся высший приоритет (П) заказов (вне очереди « $\emptyset\emptyset$ ») – П1.

Представляется целесообразным исключить и простой рабочих мест. Поэтому второй частный приоритет П2: если незагружена в данный момент группа станков, на неё передается первая появившаяся партия деталей, требующая обработки на данной группе оборудования. Учитывая важность приоритета П2 для условий ММ, его следует перенести в разряд высших приоритетов. Приоритеты П1 и П2 являются основополагающими, поэтому должны присутствовать в любой системе частных приоритетов. Третий приоритет исходит из посыла, что лучше быстрее разгрузить данную операцию (есть движение) – приоритет меньшего времени выполнения операции (приоритет «минимальной операции») – П3. П3: Первой из очереди выполняется операция над той партией деталей, для которой ее длительность меньше. Четвертый приоритет исходит из того, что предпочтение следует отдавать партиям деталей, имеющим максимальное остаточное время обработки. П4: Первой из очереди выполняется операция над той партией детали, для которой суммарная длительность обработки от данной операции до последней, запланированной в q -м ИОП, максимальна. Смысл приоритета в обеспечении загрузкой большего числа последующих рабочих мест, и создания резервов времени для более длительных маршрутов обработки,

увязывая длину маршрута с остаточной трудоёмкостью. Приоритет абсолютный, предпочтительный его сделать относительным. Обозначив коэффициент предпочтения K_{II} , и определив его как приоритет «относительной остаточной длительности»:

$$K_{II} = 1 / \left(\sum_{K_p}^{K_q} t_{умкj} \right) \text{ или } K_{II} = (1 + q_i - q_o) / \left(\sum_{K_p}^{K_o} t_{умкj} \right), \quad (1)$$

где K_q – номер последней операции для партии деталей, выполняемой в q -м ИОП; K_p – рассматриваемая операция, K_o – их общее число; $t_{умкj}$ – длительность j -ой операции; q_i, q_o – рассматриваемый ИОП, и в котором планировалось окончание обработки. Для деталей, полностью обрабатываемых в q -м ИОП:

$$K_{II} = 1 / \left(\sum_{K_p}^{K_o} t_{умкj} \right). \quad (2)$$

Чем меньше значение K_{II} , тем выше частный приоритет партии деталей. Использование формы K_{II} в соответствии с (1) удобно: первый вид записи пригоден для работ из разряда P_1 , второй для работ из разряда P_1 и P_2 (для работ из разряда P_2 часть маршрута, выполняемая в q -м ИОП, строго не определена). Для работ разряда P_1 вместо первой формулы в (1), может применяться и (2). Исходя из посыла, что в связи с обновлением очередей, какая-то партия деталей может неопределенно долго ожидать обработки, следует ввести паритет «максимального времени пребывания в очереди»- П5: ЕСЛИ партия деталей пребывает в очереди больше величины t ($t = \kappa \times T_{ИОП}$, где $\kappa < 1$, $T_{ИОП}$ – длительность ИОП), то она приобретает высший частый приоритет после П1. Следующий приоритет П6-«минимальной длительности 1-й части маршрута с учетом длительности 2-й» исходит из следующих посылов: а) необходимо рассматривать маршрут обработки деталей, состоящим из двух частей, что дает более взвешенную картину, чем анализ только данной операции или оставшегося маршрута; б) необходимо как можно быстрее пройти первую часть маршрута и загрузить станки на второй части; в) нельзя допускать перегрузку оборудования 2-ой части маршрута. Действия таковы. Определяются трудоёмкости обработки i -й партии деталей по первой T_{1i} и 2-ой T_{2i} частям маршрута и рассчитывается $\Delta T_{12i} = T_{2i} - T_{1i}$. Для i -х партий деталей приоритет устанавливается:

а) партии деталей с $\Delta T_{12i} > 0$ имеют высший приоритет по отношению к деталям с $\Delta T_{12i} < 0$;

б) у партий деталей с $\Delta T_{12i} > 0$ приоритеты уменьшаются по мере возрастания величины T_{1i} (запуск в порядке увеличения T_{1i});

в) у партий деталей с $\Delta T_{12i} < 0$ приоритеты уменьшаются в порядке уменьшения T_{2i} . Учитывая, что на предприятиях ММ оборудование расположено по типам, и нельзя гарантировать отсутствия обратных потоков деталей на пройденные ранее группы станков, следует рассматривать и синтез вариантов по способу, противоположному П6 (обозначим его как П6 –

приоритет «меньшей длительности 2-й части маршрута с учетом 1-й» (первыми запускаются детали с $\Delta T_{12i} < 0$ в порядке уменьшения T_{2i} , затем детали с $\Delta T_{12i} > 0$ в порядке уменьшения T_{1i} . Неопределенности, вызванные статистической длительностью операций и равенством приоритетов, исключаются добавлением приоритета П7 «первым пришёл – первым обслужен», т.е. порядком поступления в очередь.

Упрощённой разновидностью П6 может служить приоритет П8 «меньшей длительности первой части маршрута»: ЕСЛИ в очереди несколько партий деталей, ТО запуск осуществляется в порядке уменьшения величины ΔT_{12i} . Посыл – быстрее загрузить рабочие места 2-ой части маршрута. Следует рассмотреть и – П8, обратный П8 – «меньшая длительности 2-ой части маршрута».

Можно рассмотреть такой логический посыл: если за данной операцией имеются недогруженные группы станков (по данным подсистемы объемного планирования), то их следует быстро догрузить- приоритет П9 «загрузка последующих операций»: ЕСЛИ партия деталей после данной операции поступает на недогруженное оборудование, ТО она имеет на данной операции высший приоритет после П1 и П5.

Так как таких партий может быть несколько, то для устранения неопределенности необходимо добавление приоритетов П3 и (или) П4 и (или) П7. Добавление П3 будет означать быстрее загрузку следующего рабочего места; П4 – загрузку большего числа последующих рабочих мест; П7 служит для разрешения статистической неопределенности (схема 7).

Следующий посыл исходит из того, что могут быть группы станков, загруженные выше, нежели остальные, поэтому могут возникать «узкие места» в потоках деталей. Целесообразно обеспечить прохождение до «узкого места» партиями деталей большего числа операций. Поэтому приоритет П10 может быть назван как «приоритет удалённости узкого места»: ЕСЛИ имеется несколько партий деталей, имеющих «узкие места», ТО первой запускается партия, имеющая более далекое расположение «узкого места». Для снятия неопределенности (одинаковое число операций до узкой) должны использоваться П3 и (или) П4 и (или) П5 и (или) П7.

Рассмотрим такое предположение: если деталь пришла первой на какую-то операцию, значит, управляющие действия были направлены на это, и тенденцию надо продолжить. П11 обозначим, как приоритет «первенства»: ЕСЛИ имеется несколько партий деталей, пришедших в очередь в интервал ΔT_i , то они имеют приоритет над деталями из ΔT_{i+1} интервала.

Исходя из конкретных ситуаций в ТП, возможно обоснование и других посылов, но исследованные нами ситуации охватывают основную область поиска решений.

Заключение

Реализация методики и опытная эксплуатация разработанных программных средств в ряде организаций, показала возможность

значительного сокращения времени ввода (в 2-3 раза) ТП в плановый режим, случаев приостановок выпуска продукции, уменьшения объема незавершенного производства на 25-30%.

Список литературы

1. Бурдо Г.Б. Принципы построения автоматизированной системы управления технологическими процессами в многономенклатурных производствах // Вестник Саратовского гос. техн. ун-та. 2010. №3(48). С.113-118.
2. Самойлович В.Г. Организация производства и менеджмент: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Изд. центр "Академия", 2008. 336 с.
3. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. В 9 кн. Кн. 3. Управление робототехническими системами и гибкими автоматизированными производствами: учебное пособие для вузов / И.М. Макаров и др.; под ред. И.М. Макарова. М.: Высшая школа, 1986. 159 с.

References

1. Burdo G.B. Principles for building an automated process control system in multi-nomenclature production facilities // Bulletin of Saratov State Technical University. 2010. No. 3(48). P. 113-118.
2. Samoylovich V.G. Production organization and managemen. Moscow: Academia Publ., 2008. 336 p.
3. Robotics and flexible automated production, Vol. 3: Management of robotic systems and flexible automated production facilities. Moscow: Higher school Publ., 1986. 159 p.

Бурдо Георгий Борисович – доктор технических наук, профессор, Тверской государственной технической университет, г. Тверь, Россия, gbtms@yandex.ru	Burdo Georgy Borisovich – doctor of technical sciences, professor, Tver State Technical University, Tver, Russia, gbtms@yandex.ru
Рубин Петр Михайлович – кандидат медицинских наук, доцент, Медицинский центр «Парацельс», г. Тверь, Россия, gbtms@yandex.ru	Rubin Petr Mikhailovich – candidate of medical sciences, associate professor, Medical Centr “Paracels”, Tver, Russia, gbtms@yandex.ru
Испирян Нина Васильевна – старший преподаватель, Тверской государственной технической университет, г. Тверь, Россия, s-ispirian@mail.ru	Ispiryar Nina Visilievna – senior lecturer, Tver State Technical University, Tver, Russia, s-ispirian@mail.ru
Испирян Светлана Рафаиловна – кандидат технических наук, доцент, Тверской государственной технической университет, г. Тверь, Россия, ispirian-tstu@mail.ru	Ispiryar Svetlana Rafailovna – candidate of technical sciences, associate professor, Tver State Technical University, Tver, Russia, ispirian-tstu@mail.ru

Received 20.09.2021