

ЭКОНОМИКА

658.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МЕЖДУ ОСНОВНЫМИ КАЛЕНДАРНО-ПЛАНОВЫМИ НОРМАТИВАМИ НА ПРЕДМЕТНО-ЗАМКНУТОМ УЧАСТКЕ

Канд. эконом. наук, доц. В.И. МАМОНОВ, канд. эконом. наук, ст. препод. В.А. ПОЛУЭКТОВ

Рассматривается эффективность внутренних регуляторов оперативного управления (опережений и запасов) в обеспечении устойчивого функционирования предметно-замкнутого участка, на котором запуск партий основан на едином ритме.

The article covers the problems of efficiency of internal instruments of operation management (advancement and stock) in providing steady functioning of the production-closed fields where the launching of the consignment is based on a single rhythm.

Участки серийного производства в машиностроении характеризуются большой номенклатурой производимых изделий, значительным количеством детали-операций, выполняемых на различных типах оборудования, различными по перечню и последовательности выполнения операций производственными процессами. Организация производственных процессов в таких звеньях требует составления календарных расписаний движения предметов труда – партий, процесс обработки которых характеризуется регулярностью: запуском партий одноименных деталей через строго определенные интервалы времени или ритмы.

В основу календарно-плановых расчетов серийного производства положены принципы равномерности и ритмичности, основанные на значениях средних величин суточного изготовления деталей. Использование этих важных количественных характеристик позволяет определить отношение между размерами обрабатываемых партий и регулярными интервалами их запуска в обработку в механообрабатывающих цехах. В системе календарно-плановых расчетов величина ритма функционально связана с размерами партий деталей через соотношение

$$n = RN, \quad (1)$$

где N — средний суточный выпуск деталей, определяемый как отношение установленной программы выпуска к длительности планового интервала; n , R — размер партии и ритм запуска партий одноименных деталей соответственно.

Поэтому при организации работы предметно-замкнутых участков возможны два подхода к определению размеров партий и ритмов: если вначале определяются размеры партий, то периодичность их запуска является следствием; если вначале установить значения ритмов, то через приведенное соотношение (1) можно рассчитать размеры обрабатываемых партий.

Наиболее обоснованный подход к определению размеров партий деталей, обрабатываемых в производственных звеньях, — это подход, основанный на минимизации суммы затрат при обработке всего множества партий по установленному объему выпуска, и затрат от связывания средств в незавершенном производстве. Величина суммарных затрат при

обработке конкретных наименований деталей различными партиями представляет собой выпуклую вниз функцию и, следовательно, определяет такой размер партии, которому соответствует минимальная величина издержек. Теоретическая формулировка задачи нахождения оптимальных размеров партий деталей путем минимизации совокупных издержек при их обработке в производственном звене особых трудностей не вызывает. Однако при проведении практических расчетов приходится иметь дело с нелинейной системой уравнений, число которых соответствует числу наименований деталей на участке. Причем число таких уравнений даже для «среднего» предметно-замкнутого участка весьма велико. Не обсуждая проблему размерности, отметим важное обстоятельство, имеющее непосредственное отношение к организации работы предметно-замкнутого участка. В условиях определения вначале размеров партий, а затем ритмов их запуска приходится иметь дело в соответствии с (1) с различными размерами партий и соответствующими им размерами ритмов. Однако на практике при обработке партий на участках с большой номенклатурой деталей огромное разнообразие ритмов, которое является обоснованным с точки зрения критерия минимума совокупных издержек, не будет обоснованным с позиции организации работы участка. Такое разнообразие значений ритмов требует весьма сложной и дорогостоящей системы учета. Поэтому как с позиций ограничения разнообразия значений ритмов, диктуемых принципами оперативного управления, так и с позиций практической реализации все множество их возможных значений должно подчиняться принципу необходимого разнообразия. Конечно, при этом ограничивается область потенциально оптимальных значений размеров партий с точки зрения рассматриваемого критерия. Очевидно, что обоснование такого разнообразия должно проводиться при сопоставлении с издержками на организацию системы оперативно-производственного планирования, учета и регулирования производства. В такой постановке задача является сложной и требует самостоятельного рассмотрения. В то же время задачи определения рациональных размеров партий (ритмов) и организации эффективной системы отслеживания процессов обработки составляют основное содержание систем производственного менеджмента — *MRP* и *JIT* систем, которые проявляют наибольшую эффективность при ограниченном количестве управляемых переменных, т. е. когда допускается ограничение всего допустимого множества значений ритмов одним — единым ритмом организации запуска партий разноименных деталей на обработку (R_0). Обоснованием такого подхода является практика, когда фактические значения ритмов партий в механообрабатывающих цехах обычно кратны месяцу: значение ритмов по партиям деталей принадлежат одному из значений нормального ряда $R_0 \in [R_{\min}, R_{\max}]$.

Представляется, что организация работы предметно-замкнутого участка на основе единого ритма может рассматриваться как весьма конструктивный подход, поскольку он позволяет уйти от проблемы огромной размерности и содержит в себе отражение рациональных правил управления запуском партий в обработку, выработанных практикой.

Вместе с тем, задача определения оптимального значения единого ритма имеет более широкую постановку: его величина должна определяться не только на основе отмеченного выше критерия минимума совокупных затрат, но и с учетом количественных характеристик расписаний обработки партий деталей. Прежде всего речь идет о том, что величина R_0 может быть признана обоснованной лишь в том случае, когда обеспечивается рациональное использование наиболее важных ресурсов — фондов времени работы станочного оборудования и основных производственных рабочих.

Определение единой величины ритма при учете количественных характеристик расписаний весьма затруднительно хотя бы потому, что зависимости между переменными, а также между ними и критерием имеют статистический характер. Вместе с тем принципы

системного анализа позволяют разрабатывать способы решения сложных задач по частям, определяя разрывы в местах с наиболее слабо связанными между собой переменными. Поэтому предлагается подход, когда вначале решается задача определения рационального значения ритма как ориентира, а затем на основе результатов исследования о влиянии количественных характеристик расписаний на величину ритма окончательно корректируется его численное значение. Процедура корректировки значения единого ритма решается путем нахождения компромисса в задаче минимизации прироста суммарных издержек и издержек, связанных с реализацией расписаний, качество которых оценивается определенным критерием, который формулируется ниже.

Составление календарных графиков представляет собой весьма сложную задачу. Набор правил и использование их для построения календарного расписания в зависимости от ситуации обеспечивает разную длительность производственных циклов обработки партий. Процедура составления расписаний существенно усложняется, когда на производственный процесс действуют случайные возмущения, связанные с ремонтом технологического оборудования, отсутствием необходимой оснастки и инструмента и ряду других причин. Длительность производственного цикла обработки партий, рассчитанная как средняя арифметическая величина по множеству составленных календарных графиков, должна составлять основу для определения нормативной длительности цикла. Среднюю характеристику длительности цикла следует дополнить её вариацией относительно средней, т. е. характеристикой рассеяния. В такой ситуации требуется не только оценить влияние действия возмущений на отклонение фактических сроков изготовления партий от плановых (критерий эффективности расписания), но и разработать механизмы, позволяющие компенсировать негативные последствия воздействия возмущений на производственный процесс, причем наиболее экономичным образом.

Учет влияния случайных возмущений предполагает, что любое составленное расписание должно рассматриваться лишь как одна из возможных реализаций. В равной мере это относится и к оптимальным расписаниям с точки зрения сформулированного критерия, реализацию которых гарантировать невозможно. Поэтому представляется, что должен быть организован поиск таких расписаний, которые в среднем обеспечивают наилучшее значение сформулированного критерия. Необходимость реализации таких расписаний и соответствующих им календарно-плановых нормативов может быть существенно повышена путем использования механизмов регулирования.

На длительность цикла обработки партий в условиях многономенклатурного дискретного производства влияет много случайных факторов, приблизительно одинаковых по силе воздействия. В условиях слабой вариации коэффициентов загрузки и коэффициентов закрепления операций в течение длительного времени вполне обоснованным является не столько учет «глубины» влияния конкретного потока событий, сколько количество возмущений в единицу времени в общем суммарном потоке.

Из функциональной связи размеров ритма с размером партий деталей (1) следует, что чем больше величина ритма, тем большими партиями организован производственный процесс, а следовательно, тем большими будут частичные циклы — времена обработки партий на операциях. Такая взаимосвязь переменных позволяет утверждать, что с ростом ритма критерий эффективности календарного расписания разве что ухудшится. Доказательством тому служат два очевидных довода: во-первых, с увеличением частных циклов ухудшится использование ресурсов — фондов времени работы станков, как следствие, решения задачи использования взаимосвязанных ресурсов в условиях дискретного характера их потребления во времени; во-вторых, при наличии случайных воздействий на производственный процесс более продолжительные частичные циклы труднее «встра-

иваются» в промежутки работоспособного состояния станков, что приводит к удлинению циклов обработки и, как следствие, к большим отклонениям от установленных сроков запуска-выпуска партий. Однако отсюда вовсе не следует вывод о целесообразности работы с ритмом (ритмами), значение которого должно быть все меньше и меньше: его оптимальное значение определяется минимумом издержек, связанных с обработкой всего множества партий на участке, а его изменение приводит к разнонаправленным изменениям разных видов затрат на участке.

Поэтому важно установить взаимосвязь между интенсивностью потока возмущающих воздействий на производственный процесс, величиной ритма (размерами партий), эффективностью механизмов, компенсирующих негативные последствия действия возмущений с точки зрения критерия эффективности календарного графика загрузки оборудования и расписанием обработки партий деталей на предметно-замкнутом участке в стационарных условиях функционирования.

Будем далее считать, что потоки событий обладают свойствами ординарности и являются потоками без последействия. Тогда общий поток событий (возмущений производственного процесса), полученный наложением потоков, представляет собой пуассоновский поток. Поэтому среднее число событий, поступающих в интервале времени R_0 (значение величины единого ритма на участке), следующим непосредственно за предыдущим ритмом, т. е. за моментом kR_0 (k — целое положительное число), равно

$$a((k+1)R_0, kR_0) = \int_{kR_0}^{kR_0+R_0} \lambda(t) dt = a(R_0) = \lambda R_0, \quad (2)$$

где $\lambda = 1/M[\Theta]$ — среднее число событий в единицу времени, Θ — интервал времени между двумя соседними событиями потока.

Для формальной записи модели, на основе которой исследуется взаимосвязь между переменными — календарно-плановыми нормативами, введем необходимые обозначения. Пусть $C(\lambda R_0, R_0)$ выражает суммарные издержки, связанные с обработкой партий деталей и связыванием средств в незавершенном производстве на предметно-замкнутом участке

$$C(\lambda R_0, R_0) = \sum_{j=1}^N [C_j(\lambda R_0, R_0) + \beta Z_j(\lambda R_0, R_0)], \quad (3)$$

где N — количество наименований различных деталей, обрабатываемых на участке; $C_j(\lambda R_0, R_0)$ — затраты, связанные с обработкой партий деталей j -го наименования по программе выпуска и поддержанием оборудования в работоспособном состоянии; $Z_j(\lambda R_0, R_0)$ — связывание средств в незавершенном производстве в процессе обработки партий деталей j -го наименования по программе выпуска, пролеживания в межцеховом пространстве и во время потребления деталей партии следующей производственной стадией; β — ставка дисконта.

Пусть T_0 — календарный момент, соответствующий моменту потребления деталей из партии подразделением следующей производственной стадии; $T = T(\lambda R_0, R_0)$ — средняя (нормативная) длительность обработки партии на предметно-замкнутом участке, а разность $(T_0 - T)$ по определению есть величина межцехового перерыва. В случае учета возмущающих воздействий на производственный процесс длительность производственного цикла обработки партий есть величина случайная.

Пусть статистической моделью длительности производственного цикла обработки партии деталей (для упрощения записи индекс j опущен) будет распределение $F_T(t) = F_T(t, \lambda R_0, R_0)$, параметры которого могут быть получены с помощью статистического моделирования процесса обработки партий деталей на участке. При этом возмущающие

воздействия в виде простоев технологического оборудования по разным причинам рассматриваются как потоки фиктивных партий со строго заданными сроками и продолжительностью их «обработки» по каждой конкретной реализации потока событий.

В фазе «дата выпуска обработанной партии с участка — момент потребления деталей партии смежным подразделением» возможны два типичных случая: партия деталей поступает на межцеховой склад до момента T_0 , и, следовательно, ее потребление начинается без задержки; партия деталей поступает на межцеховой склад позднее момента T_0 , и тогда происходит задержка (простой соответствующего технологического оборудования и рабочих на стадии потребления), вызванная опозданием партии к намеченному сроку.

В арсенале методов оперативного регулирования производства вполне достаточно таких, которые позволяют уменьшить число партий, поступающих на стадию потребления позднее момента T_0 . Наиболее эффективные из них — это методы временного и объемного резервирования, которые обеспечивают требуемую надежность и устойчивость процесса. Временное резервирование характеризуется, например, более ранним запуском партий в обработку по отношению к определенным (плановым) датам запуска партий. Объемное резервирование предусматривает образование запаса деталей для компенсации задержек по тем партиям, которые поступят для потребления смежной стадией позднее момента T_0 .

Введем величины: $\tau = \tau(\lambda R_0, R_0)$ — резервное опережение запуска партии деталей; s — среднесуточная интенсивность потребления деталей из партии подразделением смежной стадии; $W = W(\lambda R_0, R_0)$ — запас деталей на межцеховом складе с целью сокращения времени задержки при их потреблении в случае, когда партия деталей запаздывает относительно момента потребления.

Тогда вторая компонента в выражении совокупных издержек, связанных с обработкой партий на участке, имеет вид

$$C[\tau(\lambda R_0, R_0), W(\lambda R_0, R_0)] = \sum_{j=1}^N \{C_{1j}[\tau(\lambda R_0, R_0)] + C_{2j}[\tau(\lambda R_0, R_0), W(\lambda R_0, R_0)] + C_{3j}[\tau(\lambda R_0, R_0), W(\lambda R_0, R_0)]\} \quad (4)$$

и ее экономическое содержание заключается в величине затрат, соответствующих степени приближения параметров календарного графика загрузки оборудования и расписания обработки плановым параметрам графика запуска-выпуска партий.

Выражение (4) записано в виде суммы, что является в известном смысле допущением, основывающемся на предположении о том, что по каждой партии деталей каждого наименования распределение длительности производственного цикла известно. Тогда критерий оценки основных календарно-плановых нормативов, их взаимосвязи и эффективности регулирования имеет вид

$$C(R_0, \lambda R_0, \tau, W) = C(\lambda R_0, R_0) + C[\tau(\lambda R_0, R_0), W(\lambda R_0, R_0)] \rightarrow \min_{R_0, \tau, W}. \quad (5)$$

Из (5) видно, что в конечном итоге все переменные задачи связаны с единым ритмом при постоянном значении интенсивности потока. Однако эта связь не является функциональной зависимостью и не может быть представлена в явном виде, а лишь статистической. Более того, при исследовании (5) не столько важны экстремальное значение и величины переменных, ему соответствующие, сколько структура функционала задачи.

Рассмотрим подробнее выражение (4), упростив без ущерба для содержания форму записи.

Пусть затраты C_1 есть затраты на хранение партии деталей на межцеховом складе перед потреблением, C_2 — затраты от хранения запаса деталей, C_3 — затраты от дефицита,

т. е. когда партия деталей запоздала относительно момента потребления настолько, что величина запаса оказалась недостаточной и возникла задержка в работе подразделения смежной стадии.

Таким образом, неизвестными величинами, которые следует определить, являются опережения и запасы деталей, что приводит к решению задачи

$$C(\tau, W) = C_1(\tau) + C_2(\tau, W) + C_3(\tau, W) \rightarrow \min_{\tau, W}. \quad (6)$$

С учетом статистической модели процесса поступления партий между смежными подразделениями компоненты затрат представим в виде

$$\begin{aligned} C_1(\tau) &= C_1 \int_{-\infty}^{T_0 + \tau} (T_0 + \tau - t) f_T(t) dt, \\ C_2(\tau, W) &= C_2 \int_{T_0 + \tau}^{T_0 + \tau + \frac{W}{s}} (W - [t - T_0 - \tau]s) f_T(t) dt, \\ C_3(\tau, W) &= C_3 \int_{T_0 + \tau + \frac{W}{s}}^{\infty} \left(t - \left[T_0 + \tau + \frac{W}{s} \right] \right) f_T(t) dt. \end{aligned}$$

Оптимальные значения искомых параметров τ , W определяют, решая задачу $C(\tau, W) \rightarrow \min$, что при нахождении безусловного экстремума приводит к решению системы:

$$\begin{cases} \frac{\partial C(\tau, W)}{\partial \tau} = 0 \\ \frac{\partial C(\tau, W)}{\partial W} = 0 \end{cases}$$

Значение величины запаса определяется из выражения

$$W = \frac{C_1}{C_2 f_T(T_0 + \tau)} \int_{-\infty}^{T_0 + \tau} f_T(t) dt, \quad (7)$$

а величина опережения — из уравнения

$$C_2 \int_{T_0 + \tau}^{T_0 + \tau + b} f_T(t) dt - \frac{C_3}{s} \int_{T_0 + \tau + b}^{\infty} f_T(t) dt = 0, \quad (8)$$

где $b = \frac{C_1}{s C_2 f_T(T_0 + \tau)} \int_{-\infty}^{T_0 + \tau} f_T(t) dt$.

Таким образом, если интегралы выражаются через элементарные функции, то величина опережения находится аналитически. В противном случае для определения опережения используются численные методы. Найдя значение резервного опережения, определяем величину страхового запаса.

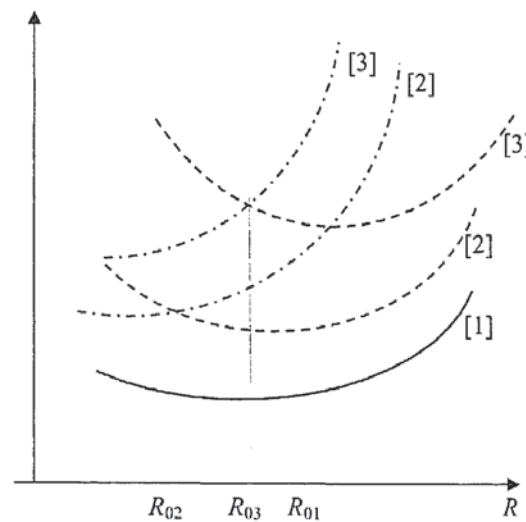
Практически важными являются зависимости $C(\tau^*, W)$ и $C(\tau, W^*)$, где τ^* и W^* — оптимальные значения параметров. Изменение интенсивности потока (λ) позволяет выявить влияние величины издержек в обслуживающих подразделениях на непосредственные результаты в основном производстве и обеспечение его устойчивости функционирования:

повышение вероятности изготовления партий в пределах установленного планово-контрольного периода.

Очевидно, что векторы $\tau(\lambda R_0, R_0)$ и $W(\lambda R_0, R_0)$ являются управляющими параметрами внутренних регуляторов, которые должны обеспечивать наилучшее приближение к плановым датам запуска-выпуска партий при заданном значении интенсивности возмущений в единицу времени.

Проведенные эксперименты на моделях малой размерности хотя и не позволяют формулировать выводы обобщающего характера, однако увидеть взаимосвязь и некоторые закономерности взаимозависимого изменения переменных предоставляют. На рис. 1 приведены графики функций затрат (3)—(5) при разных значениях интенсивности потока возмущений в единицу времени.

Графики на рис. 1 наглядно иллюстрируют полученные результаты при решении конкретной задачи. Исследование функции затрат (5) велось в предположении постоян-



где $[1] - \lambda_1 = 0$, ——— кривая затрат (5)

$[2] - \lambda_2 > 0$, - - - - - кривая затрат (3)

- · - · - кривая затрат (4)

$[3] - \lambda_3 > \lambda_2 > 0$ - - - - - кривая затрат (3)

- · - · - кривая затрат (4)

Рис. 1. Значение R_0 в зависимости от λ

ных коэффициентов загрузки оборудования и коэффициента закрепления операций на участке; размерность задачи определялась стремлением изучить структуру функционала (5): число видов обрабатываемых деталей было принято равным пяти, число видов технологического оборудования не превышало шести, а их количество — двенадцати единиц на участке; технологические маршруты были различными, а число операций по видам деталей изменялось от пяти до девяти. В режиме имитации использовался один тип распределения, но разной формы. Было установлено, что существенное значение в затратах (5) имеет величина C_3 , которая имеет природу штрафных санкций, а следовательно, заслуживает отдельного рассмотрения. Было обращено внимание на задачу (6):

в автономном режиме определение оптимальных значений опережений и запаса не зависит от абсолютных значений величин C_1, C_2, C_3 , а от их соотношения, что подтверждает выражение (7) и уравнение (8). Данный результат может служить аргументом в пользу утверждения о взаимозаменяемости временного и объемного резервирования в определенном соотношении в конкретных случаях, а также об относительной оценке их эффективности.

Обращает на себя внимание факт, что кривая затрат (3) в случаях [2] и [3] в точке минимума соответствует растущему значению ритма при увеличении интенсивности потока отказов. Это свидетельствует о существенном влиянии затрат на переналадку и поддержание оборудования в работоспособном состоянии на значение величины единого ритма. Значения R_{02} и R_{03} на рис. 1 соответствуют минимуму (5), т. е. когда модули значений производных функций (3) и (4) равны в этих точках: для величины ритма большей этих значений в рассматриваемых случаях прирост затрат, связанных с регулированием по двум параметрам τ и W больше экономии от увеличения величины ритма, т. е. экономии на переналадках.

Сформулированные выводы имеют непосредственное отношение лишь к изучаемому конкретному объекту и скорее всего будут скорректированы при изучении взаимосвязей между переменными на объектах большей размерности. Вместе с тем полученные результаты можно рассматривать как ориентиры для выработки наиболее важных направлений дальнейшего анализа сформулированных задач.