

УДК 338.1

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ РЕГУЛЯТОРОВ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

**В.И. Мамонов, В.А. Полуэктов**

Новосибирский государственный университет  
экономики и управления – «НИНХ»  
E-mail: mamonov@nsuem.ru

В статье рассматривается эффективность применения внутренних регуляторов системы оперативного управления (опережений и запасов) в обеспечении устойчивого функционирования предметно-замкнутых участков, на которых запуск партий основан на едином ритме.

*Ключевые слова:* оперативное управление, устойчивость, опережения, запасы, единый ритм.

## THE PROVISION OF STABLE FUNCTIONING OF SUBDIVISIONS ON THE BASIS OF REGULATORS OF OPERATIONAL CONTROL

**V.I. Mamonov, V.A. Poluektov**

Novosibirsk State University of Economics and Management  
E-mail: mamonov@nsuem.ru

The efficiency of application of internal regulators of the system of operation control (leadings and stocks) in the provision of stable functioning of the object-locked sections where the batch start-up is based on the united rhythm is examined.

*Key words:* operational control, stability, leadings, stocks, the united rhythm.

Организация работы участков серийного производства машиностроительных предприятий невозможна вне системы оперативно-производственного планирования. Основными элементами этой системы следует признать календарно-плановые нормативы, важнейшими из которых являются: размер партии предметов труда и период повторения производства (ритм).

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

$$n = R \times N^C, \quad (1)$$

где  $N^C$  – 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 необходимо установить значения ритмов, то через приведенное соотношение (1) можно рассчитать размеры обрабатываемых партий.

Наиболее обоснованным подходом к определению размеров партий деталей, обрабатываемых в производственных звеньях, является 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 достаточно велико. Не обсуждая проблему размерности, отметим одно важное обстоятельство, имеющее непосредственное отношение к организации работы предметно-замкнутого участка. В условиях определения вначале размеров партий, а затем ритмов их запуска обеспечивается рассмотрение в соответствии с соотношением (1) различных размеров партий и соответствующих им размеров ритмов. В этой связи необходимо отметить следующий, достаточно важный момент: все методы определения размеров партий, представленные в литературных источниках, в своей основе строятся именно на этом принципе. Однако при практической реализации обработки партий на участках с достаточно большой номенклатурой деталей огромное разнообразие ритмов, которое является обоснованным с точки зрения критерия минимума совокупных издержек, не может являться обоснованным с позиции организации работы участка: такое разнообразие значений ритмов требует достаточно сложной и, кроме того, 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. Но в такой постановке задача является достаточно сложной и требует самостоятельного исследования.

Обсуждаемым вариантом, в данном случае, является следующее предположение: рациональным уровнем реализации закона необходимого разнообразия считается ограничение всего допустимого множества значений ритмов одним – единым ритмом организации запуска партий разноименных деталей на обработку ( $R_0$ ), который может быть найден исходя из следующего условия:

$$C = \sum_{j=1}^n (C_j + PZ_j) \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $n$  – число наименований деталей, обрабатываемых на участке;

$C_j$  – затраты, связанные с обработкой годового выпуска деталей  $j$ -го наименования;

$Z_j$  – связывание средств в незавершенном производстве при изготовлении деталей  $j$ -го наименования;

$P$  – коэффициент, учитывающий норму эффективности кредитного ресурса.

Тогда затраты на обработку деталей каждого наименования можно определить в соответствии со следующим выражением:

$$C_j = \left( \sum_{i \in I_j} C_{ij} + C_j^0 \right) N_j, \quad (3)$$

где  $C_{ij}$  – затраты на обработку по  $i$ -й операции детали  $j$ -го наименования;

$C_j^0$  – затраты на основные материалы по детали  $j$ -го наименования;

$N_j$  – годовой объем выпуска, шт.

В свою очередь, затраты на обработку детали равны:

$$C_{ij} = Z_{ij} + C_{ij}^0, \quad (4)$$

где  $Z_{ij}$  – величина заработной платы при обработке на  $i$ -й операции детали  $j$ -го наименования, руб./шт.;

$C_{ij}^0$  – величина условно-постоянных накладных расходов, приходящихся на  $i$ -ю операцию деталей  $j$ -го наименования, руб./ч.

Величина  $Z_{ij}$  определяется по следующему правилу (для всех  $(i, j)$ ):

$$Z_{ij} = Z_{ij}^r \left( t_{ij}^{wm} + \frac{t_{ij}^{ns}}{n_j} \right), \quad (5)$$

где  $Z_{ij}^r$  – часовая тарифная ставка рабочего, выполняющего  $i$ -ю операцию по детали  $j$ -го наименования, руб./час;

$t_{ij}^{wm}, t_{ij}^{ns}$  – нормы штучного и подготовительно-заключительного (на партию) времени на  $i$ -й операции детали  $j$ -го наименования, мин.;

$n_j$  – размер партии деталей  $j$ -го наименования, шт.

Условно-постоянные накладные расходы, приходящиеся на одну деталь-операцию, пропорциональны затратам штучно-калькуляционного времени. Поэтому можно записать, что:

$$C_{ij}^0 = C_x \left( t_{ij}^{wm} + \frac{t_{ij}^{ns}}{n_j} \right), \quad (6)$$

где  $C_x$  – условно-постоянные накладные расходы, приходящиеся на один час обработки деталей, принимаемые одинаковыми для всех наименований деталей и типов оборудования.

Тогда затраты, связанные с обработкой годового выпуска деталей всех наименований на участке, определяются как:

$$\sum_{j=1}^n C_j = \sum_{j=1}^n \left( \sum_{i=1}^{m_j} C_{ij} + C_j^0 \right) N_j = \sum_{j=1}^n N_j \sum_{k \in K_j} \sum_{i \in I_{jk}} \left[ (Z_{ij}^r + C_x) (t_{ij}^{wm} + t_{ij}^{ns}) \right] + \sum_{j=1}^n N_j C_j^0, \quad (7)$$

где  $m_j$  – количество операций по детали  $j$ -го наименования;

$I_{jk}$  – множество операций по детали  $j$ -го наименования на оборудовании  $k$ -го вида;

$K_j$  – множество номеров видов групп оборудования, на которых обрабатывается деталь  $j$ -го наименования.

Связывание средств в незавершенном производстве складывается из суммы связывания средств в процессе обработки деталей, их пролеживания перед сборкой (передачей в другой цех, участок) и потребления подразделением сборочной стадии и для одной партии деталей может быть определено следующим образом:

$$Z_j^0 = n_j T_w \left( \frac{C_j^0 + C_j^{m_j}}{2} \right), \quad (8)$$

где  $T_w$  – длительность производственного цикла обработки партии деталей  $j$ -го наименования;

$C_j^{m_j}$  – величина затрат, приходящаяся на одну деталь, после окончания обработки на участке, определяемая выражением:

$$C_j^{m_j} = C_j^0 + \sum_{k \in K_j} \sum_{i \in I_{jk}} (Z_{ij}^r + C_{*k}) \left( t_{ij}^{wm} + \frac{t_{ij}^{ns}}{n_j} \right). \quad (9)$$

Полагая, что движение партий деталей по операциям осуществляется последовательно, длительность производственного цикла рассчитывается следующим образом:

$$T_w = n_j \sum_{i=1}^{m_j} \left( t_{ij}^{wm} + \frac{t_{ij}^{ns}}{n_j} \right) + m_j t_j^{so}, \quad (10)$$

где  $t_j^{so}$  – межоперационное время.

Связывание средств в процессе пролеживания одной партии деталей выражается в виде:

$$Z_j^{sp} = C_j^{m_j} n_j T_j^{sp}, \quad (11)$$

где  $T_j^{sp}$  – время пролеживания партии деталей  $j$ -го наименования.

Поскольку в основу организации работы предметно-замкнутого участка положены нормативные расчеты равномерного производства, то время потребления партии деталей может быть получено как частное от деления размера партии на среднесуточную интенсивность потребления  $N_j^c$  деталей данного наименования:

$$T_j^{sp} = \frac{n_j}{N_j^c} = R_j. \quad (12)$$

Связывание средств в процессе потребления одной партии деталей выражается следующей формулой:

$$Z_j^s = C_j^{m_j} n_j \frac{T_j^s}{2}. \quad (13)$$

Величина связывания средств в незавершенном производстве при обработке, пролеживании и потреблении всех партий по детали  $j$ -го наименования составляет:

$$Z_j = (Z_j^0 + Z_j^{np} + Z_j^n) \frac{N_j}{n_j}. \quad (14)$$

Поскольку нам известно, что между ритмом и размером партии деталей существует зависимость, определяемая формулой (1), то оптимальный ритм партий деталей определяем, решая следующую задачу:

$$C(R) = \sum_{j=1}^n [C_j(R) + PZ_j(R)] \rightarrow \min. \quad (15)$$

Поскольку сформулированная задача есть задача на безусловный экстремум, то численные значения  $R_0$  (так как под оптимальным ритмом в данном случае нами понимается единый ритм партий деталей различного наименования, обрабатываемых в производственном звене), при котором величина затрат  $C(R_0)$  минимальна, находим из решения уравнения:  $d_{R_0} C(R_0) = 0$ .

Тогда согласно решению данного уравнения величина оптимального (единого) ритма (дней) рассчитывается по следующему правилу:

$$R_0 = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (A_j + PB_j)}{P \sum_{j=1}^n D_j}}, \quad (16)$$

где постоянные коэффициенты  $A_j, B_j, D_j, j = 1(1)n$ , находятся из следующих выражений:

$$\begin{aligned} A_j &= \frac{N_j}{N_j^C} \left( \sum_{k \in K} \sum_{i \in I_{jk}} (Z_{ij}^r + C_k) t_{ij}^{n3} \right) \left[ \frac{\text{руб.} \cdot \text{день}}{\text{год}} \right], \\ B_j &= \frac{N_j}{2N_j^C} \left[ \left( \sum_{i \in I_{jk}} t_{ij}^{n3} + m_j t_j^{mo} + 2T_j^{np} \right) \times \left( \sum_{k \in K} \sum_{i \in I_{jk}} (Z_{ij}^r + C_k) t_{ij}^{n3} \right) \right] \left[ \frac{\text{день}^2 \text{руб.}}{\text{год}} \right], \\ D_j &= \frac{N_j}{2} \left[ N_j^C \left( \sum_{i \in I_{jk}} t_{ij}^{um} \right) C_j^0 + \left( C_j^0 + \sum_{k \in K_j} \sum_{i \in I_{jk}} (Z_{ij}^r + C_k) t_{ij}^{um} \right) \left( N_j^C \sum_{i \in I_{jk}} t_{ij}^{um} + 1 \right) \right] \left[ \frac{\text{руб.}}{\text{год}} \right]. \quad (17) \end{aligned}$$

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, а также является экономически обоснованным, о чем свидетельствует проведенный в [1] анализ соотношения затрат, связанных с обработкой всех наименований деталей по установленной программе на основе различных ритмов для разноименных изделий –  $C(R_1, \dots, R_j, \dots, R_n)$ , с затратами при тех же условиях, но на основе единого ритма для всех наименований изделий –  $C(R_0)$ .

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 влияния количественных характеристик расписаний на величину ритма осуществляется окончательная корректировка его численного значения. 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 [3, 4].

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 выходом технологического оборудования в ремонт, отсутствием необходимой оснастки, инструмента и рядом 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 изменением ее вариации 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.

Поскольку единый ритм представляет собой важнейший календарно-плановый норматив, то вряд ли в дополнительном обосновании нуждается исследование задачи влияния числа возмущений, имеющих место за интервал времени, равный ритму, на значение критерия эффективности календарного расписания, а также на действенность регуляторов оперативного управления.

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 являются 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 величин 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 длительные частичные циклы труднее «встраиваются» 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 важным является установление взаимосвязи 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 расписания обработки партий деталей на предметно-замкнутом участке в стационарных условиях функционирования.

Будем далее считать, что потоки событий обладают свойствами ординарности и являются потоками без последствия. 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:

$$a((k+1)R_0, kR_0) = \int_{kR_0}^{kR_0+R_0} \lambda(t) dt = a(R_0) = \lambda R_0, \quad (18)$$

где  $\lambda = 1/M[\Theta]$  – среднее число событий в единицу времени,  $\Theta$  – 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:

$$C(\lambda R_0, R_0) = \sum_{j=1}^N [C_j(\lambda R_0, R_0) + PZ_j(\lambda R_0, R_0)], \quad (19)$$

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;

$P$  – 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 упрощенной 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:

- 1) партия деталей поступает на межцеховой склад до момента  $T_0$ , и, следовательно, ее потребление начинается без задержки;
- 2) 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 эффективными из них



являются методы временного и объемного резервирования, которые обеспечивают требуемую надежность и устойчивость процесса [2]. Временное резервирование находит выражение, например, в более раннем запуске 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;  $W = W(\lambda R_0, R_0)$  – величина запаса 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:

$$C[\tau(\lambda R_0, R_0), W(\lambda R_0, R_0)] = \sum_{j=1}^N \{C_{1j}[\tau(\lambda R_0, R_0)] + C_{2j}[\tau(\lambda R_0, R_0), W(\lambda R_0, R_0)] + C_{3j}[\tau(\lambda R_0, R_0), W(\lambda R_0, R_0)]\} \quad (20)$$

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 (20) 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:

$$C(R_0, \lambda R_0, \tau, W) = C(\lambda R_0, R_0) + C[\tau(\lambda R_0, R_0), W(\lambda R_0, R_0)] \rightarrow \min_{R_0, \tau, W} \quad (21)$$

Из (21) 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 выражения (21) не столько важны экстремальное значение и величины переменных, ему соответствующие, сколько структура функционала задачи.

Рассмотрим подробнее выражение (20), 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 на хранение запаса деталей;  $C_3$  – затраты, обусловленные дефицитом, 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:

$$C(\tau, W) = C_1(\tau) + C_2(\tau, W) + C_3(\tau, W) \rightarrow \min_{\tau, W} \quad (22)$$

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

$$\begin{aligned}
 C_1(\tau) &= C_1 \int_{-\infty}^{\tau_0+\tau} (T_0 + \tau - t) f_T(t) dt, \\
 C_2(\tau, W) &= C_2 \int_{\tau_0+\tau}^{\tau_0+\tau+\frac{W}{s}} (W - [t - T_0 - \tau]s) f_T(t) dt, \\
 C_3(\tau, W) &= C_3 \int_{\tau_0+\tau+\frac{W}{s}}^{\infty} \left( t - \left[ T_0 + \tau + \frac{W}{s} \right] \right) f_T(t) dt.
 \end{aligned} \tag{23}$$

Оптимальные значения искомым параметров  $\tau$ ,  $W$  находятся из решения задачи:  $C(\tau, W) \rightarrow \min$ , что при нахождении безусловного экстремума приводит к решению системы:

$$\begin{cases} \frac{\partial C(\tau, W)}{\partial \tau} = 0 \\ \frac{\partial C(\tau, W)}{\partial W} = 0. \end{cases} \tag{24}$$

Значение величины запаса определяется из выражения:

$$W = \frac{C_1}{C_2 f_T(T_0 + \tau)} \int_{-\infty}^{\tau_0+\tau} f_T(t) dt, \tag{25}$$

а величина опережения – из уравнения:

$$C_2 \int_{\tau_0+\tau}^{\tau_0+\tau+b} f_T(t) dt - \frac{C_3}{s} \int_{\tau_0+\tau+b}^{\infty} f_T(t) dt = 0, \tag{26}$$

где  $b = \frac{C_1}{s C_2 f_T(T_0 + \tau)} \int_{-\infty}^{\tau_0+\tau} f_T(t) dt$ .

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

Практически важными являются зависимости  $C(\tau^*, W)$  и  $C(\tau, W^*)$ , где  $\tau^*$  и  $W^*$  – оптимальные значения параметров. Изменение интенсивности потока ( $\lambda$ ) 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-учетного 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.

**Литература**

1. *Мамонов В.И., Полуэктов В.А.* Эффективность применения внутренних регуляторов оперативного управления предметно-замкнутыми участками в условиях единого ритма // Вестник машиностроения. 2007. № 12. С. 80–84.
2. *Первозванский А.А.* Математические модели в управлении производством. М.: Наука, 1975. 616 с.
3. *Стивенсон В.Дж.* Управление производством / Пер. с англ. М.: Бином, 1998. 928 с.
4. *Чейз Р., Эквилайн Н., Якобс Р.* Производственный и операционный менеджмент / Пер. с англ. М.: Вильямс, 2003. 704 с.

**Bibliography**

1. *Mamonov V.I., Polujektov V.A.* Jeffektivnost' primenenija vnutrennih reguljatorov operativnogo upravlenija predmetno-zamknutymi uchastkami v uslovijah edinogo ritma // Vestnik mashinostroenija. 2007. № 12. P. 80–84.
2. *Pervozvanskij A.A.* Matematicheskie modeli v upravlenii proizvodstvom. M.: Nauka, 1975. 616 p.
3. *Stivenson V. Dzh.* Upravlenie proizvodstvom / Per. s angl. M.: Binom, 1998. 928 p.
4. *Chejz R., Jekvilajn N., Jakobs R.* Proizvodstvennyj i operacionnyj menedzhment / Per. s angl. M.: Vil'jams, 2003. 704 p.