

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРИОРИТЕТОВ В МОДЕЛИРОВАНИИ ОПЕРАТИВНО-КАЛЕНДАРНЫХ ПЛАНОВ ПРОИЗВОДСТВА

© 2017 М.А. Бражников, И.В. Хорина, А.М. Бражников, А.М. Бражникова*

Ключевые слова: оперативно-календарное планирование, приоритеты выпуска, ритмичность производства, непрерывность производства, пропорциональность выпуска.

Сформирована система приоритетов, упорядочивающая процесс распределения программы выпуска продукции и закрепление номенклатуры производства за отрезками планового периода. Представлена экономико-математическая модель построения оперативно-календарных планов, метод которой основан на системе приоритетов выпуска предметов труда. В качестве стержневых элементов данной системы выступают групповой ритм выпуска, трудоемкость выполнения работ, степень важности и величина оборотных средств.

Материалы имеют практическую ценность для диспетчерских служб промышленных предприятий и специалистов, которые занимаются вопросами разработки оперативного планирования производства и закрепления предметов труда за рабочими местами. Предлагаемая система приоритетов формирует основу алгоритма оперативно-календарного планирования с учетом принципов концепции lean production.

Актуальность исследуемой проблемы обусловлена необходимостью повышения производительности труда и эффективности производства, особенно в условиях решения стратегических задач инновационного развития экономики на основе программы импортозамещения. Стержневая проблема оперативно-календарного планирования заключается в рациональном распределении производственной программы во времени и пространстве, что предполагает использование экономико-математических моделей, отражающих специфику исследуемого производства. Основу моделей оперативно-календарных планов и закрепления производственных заданий (предметов труда) за конкретными рабочими местами в установленный период времени составляет разработанная система приоритетов. Точность и качество календарных планов определяют способность производства обеспечить улучшение (выполнение) узловых технико-экономических параметров: соблюдение обязательств по выпуску продукции, снижение себестоимости продукции, оптимизацию оборотных средств.

Методы. В качестве ведущего метода исследования выступает экономико-матема-

тическое моделирование. Модель календарного плана и алгоритм его разработки обеспечивают построение и проведение сравнительной оценки различных вариантов распределения производственной программы на основе изменения ключевых параметров, отражающих разнообразные условия функционирования конкретной производственной системы (участка). Анализ альтернативных вариантов оперативно-календарных планов на основе ряда показателей - коэффициента ритмичности, условной потребности в оборотных средствах, относительной величины отклонений от оптимального выпуска - позволяет оптимизировать структуру процесса распределения массива номенклатурных позиций в системе приоритетов выпуска.

В условиях решения задач экономики по импортозамещению и поиску возможных направлений инновационного прорыва, когда предприятия машиностроительного комплекса ориентированы на достижение высоких конечных результатов и на повышение внутренней эффективности производства, первоочередной становится проблема оперативно-календарного планирования. Рациональное распределение (на основе системы ритмов)

* Бражников Максим Алексеевич, кандидат экономических наук, доцент. E-mail: max.brh@yandex.ru; Хорина Ирина Вениаминовна, кандидат экономических наук, доцент. E-mail: qaz2201@yandex.ru; Бражников Артем Максимович. E-mail: artembragnicov@yandex.ru; Бражникова Александра Максимовна. E-mail: brazhnikova_98@mail.ru. - Самарский государственный технический университет.

номенклатурной программы предприятия в пространстве (по рабочим местам и производственным подразделениям) и во времени (по календарным отрезкам) обуславливает улучшение (выполнение) ключевых технико-экономических параметров как предприятия в целом, так и каждого его производственного подразделения.

Иначе говоря, оптимальное размещение номенклатурных позиций с учетом их ритмичного выпуска способствует:

- ♦ выполнению обязательств по поставке продукции в установленный планом срок за счет соблюдения своевременности выпуска партий и их последующей передачи в разрезе каждого технологического передела;

- ♦ росту производительности труда и сохранению требуемого уровня качества выпускаемой продукции за счет обеспечения равномерного выпуска и непрерывного пропорционального возобновления производства;

- ♦ снижению себестоимости продукции за счет выявления резервов в части сокращения лишних элементов в структуре длительности производственного цикла, выбора оптимального размера партии, а также роста производительности труда;

- ♦ уменьшению потребности в оборотных средствах, связанных в форме заделов и незавершенного производства, и ускорению их оборачиваемости за счет обеспечения непрерывности процесса производства вплоть до ликвидации перерывов в работе.

В иерархии производственных планов разработка оперативно-календарного плана следует за объемным планированием, концентрируя внимание на решении проблем равномерной загрузки производственных мощностей и неопределенности спроса во времени. Это, в свою очередь, требует разработки методических приемов подготовки расписаний, оптимизирующих движение предметов по технологическим операциям. Основная задача разработки расписаний - обеспечить своевременность выпуска плановых позиций в соответствии с запланированным уровнем качества (степень потребительской удовлетворенности) в условиях пропорционального возобновления производства в объемах и сроках (уровень ритмичности процесса) на основе повышения экономической эффективности (увеличения производитель-

ности и сокращения производственных затрат). Указанный комплекс задач в рамках оперативно-календарного планирования может быть решен путем моделирования системы приоритетов, которые определяют расписание запуска (выпуска) партий продукции по отдельным отрезкам планового периода.

В самом общем виде методика решения задач оперативно-календарного планирования должна обеспечивать равномерную загрузку производственных мощностей с учетом соблюдения специфических условий конкретного типа производства на основе установления четкой последовательности выполнения работ.

В широко распространенных системах (в стандартах управления производством - MRP, ERP и в ряде других) для решения задач оперативного планирования используются различные методы оптимизации последовательности работ. Однако указанные подходы не дают оптимального решения¹, если появляется необходимость оценки динамики производственной системы в рамках обеспечения соответствия (выпуска партий) срокам завершения работ. Основная проблема заключена в том, что рассматриваемые подходы отталкиваются от статической постановки задачи и ориентированы на один-единственный критерий, который, как правило, выражен в максимизации пропускной способности. В решении реальных текущих проблем организации производственных процессов зачастую необходимо достичь иных ключевых результатов - своевременности завершения комплекса работ или скорости исполнения производственных заданий.

С учетом разнообразия условий протекания производственных процессов решение задач определения порядка выполнения производственных работ основано на дисциплинах назначения² или на эвристических правилах очередности³, которые устанавливают приоритет выпуска.

Техника моделирования первичных объектов производства достаточно разнообразна и призвана учитывать специфические условия функционирования производственных систем, поэтому следует в каждом конкретном случае выбирать такой метод, который отражает "индивидуальность" управляемого объекта⁴. Необходимо уметь не столько выби-

рать соответствующий метод (оценив соответствие сложившимся условиям производства), сколько использовать его в целях достижения реальных текущих задач производственной системы.

Специфика организации производственных процессов отражена в ключевых закономерностях функционирования объекта, среди которых первоочередное место занимают: закон производственного ритма; закон календарной синхронизации процесса производства; закон ограниченности ресурсов; закон резервирования производственных ресурсов; закон упорядоченности движения предметов труда; закон непрерывности производственного процесса; закон синергии. Представленные закономерности характеризуют стержневые тенденции в развитии производственных объектов и рыночной среды, обуславливая необходимость проектирования структуры взаимодействия производственных, организационных и других факторов, участвующих в процессе производства.

В условиях хаотичного движения предметов, аритмии процессов время завершения производственного задания (технологической операции) является неопределенной величиной. Иначе говоря, оптимизация производственного процесса⁵ невозможна без проведения предварительной разработки маршрута движения по технологическим (и не только взаимосвязанным) операциям. Повышение упорядоченности движения деталей (или различных видов работ) не только зависит от пространственной организации производственных процессов (выбор форм организации производства), но и определяется алгоритмом установления очередности запуска-выпуска (выполнения работ) предметов. Последовательность выполнения работ должна быть закреплена в некотором наборе критериев, характеризующих логику распределения рабочих заданий.

Таким образом, модель оперативно-календарного плана ритмичного производства должна использовать комплексную систему показателей, устанавливающих приоритет выпуска.

Методы исследования. Основной метод нашего исследования - экономико-математическое моделирование. Методы конкретизации и абстрагирования позволяют выделить специфические условия функционирования объекта и учесть их в виде переменных и ограничений оперативного плана. Методы классификации на основе ранжирования обеспечивают выделение стержневых приоритетов в распределении программы выпуска.

Модель построения календарного плана в упрощенной форме может быть представлена в виде динамической задачи подготовить расписание выпуска партий, которое удовлетворяет совокупности условий:

$$\sum_{k=\lambda}^{\omega_{vj}} x_{vjk m} = 1; \quad (1)$$

$$\sum_{m=1}^m (k^o - k_m^o) A_m^o + k \sum_{m=1}^m A_m - \sum_{m=1}^m E_m^A \leq \sum_{m=1}^m \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{v=1}^v A \leq \sum_{m=1}^m (k^o - k_m^o) A_m^o + k \sum_{m=1}^m A_m + \sum_{m=1}^m E_m^A; \quad (2)$$

$$f(S) = \sum_{m=1}^m \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{v=1}^v \{ (C_j + M_j) T_{vj} / 2 + (\lambda_{vj} - k) C_j \} n_{vj} x_{vjk m} / T_{vj} + k \rightarrow \min. \quad (3)$$

Система используемых в модели условных обозначений:

j - порядковый номер предмета труда (детали, сборочной единицы);

v - порядковый номер партии;

j - группа взаимозаменяемых рабочих мест (подразделение);

m - группа однородных подлежащих изготовлению партий предметов;

k - порядковый номер планово-учетного периода;

$x_{vjk m}$ - целочисленная переменная, возвращающая значения: 1, если партия (v) предмета (j) группы (m) закреплена в периоде (k); 0 - в противном случае;

k^o - номер предельного планово-учетного отрезка в предыдущем периоде;

k_m^o - номер отрезка, который содержит последнюю партию группы (m);

n_{vj} - нормативный размер партии (v_j);

ω_{vj} - ранний (начальный) срок завершения обработки партии (v_j);

λ_{vj} - крайний (предельный) срок завершения обработки партии (v_j);

t_j - норма времени на обработку предмета (j);

t_{ij} - время обработки предмета (j) по группе (i);

A_m, A_m^o - средний объем ресурса (A) в плановом и предплановом периоде;

E_m^A - регламентируемые значения допустимых отклонений от средних объемов ресурсов;

T_{vj} - длительность производственного цикла партии (v_j);

C_j - производственная себестоимость предмета (j);

M_j - затраты на материалы и комплектующие по предмету (j).

Условие (1) отражает соблюдение своевременности выпуска и очередности технологических операций. Система ограничений (2) учитывает специфику работы производственной системы. В качестве основных видов ресурсов (определяющих и лимитирующих построение плана) целесообразно использовать объем выпуска, располагаемый фонд времени технологического оборудования, запасы незавершенного производства. Функция полезности (3) способствует минимизации оборотных средств.

Экспериментальная база исследования. В качестве объекта исследования выступают конкретные производственные подразделения ведущих машиностроительных предприятий Самарской области - ОАО "Волгабурмаш", ОАО "Авиаагрегат", ОАО "Гидроавтоматика". Результаты исследования специфики распределения номенклатурной программы с учетом режима работы конкретных групп взаимозаменяемых рабочих мест и производственных подразделений могут быть представлены в виде игровой (упрощенной)

модели разработки оперативно-календарного плана.

В качестве единицы планирования (производственного задания) выступают партии предметов (сборочных единиц и деталей), технологические операции и отдельные виды производственных работ, закрепленные за соответствующей группой технологического оборудования (рабочих мест). Единица планирования детализируется с помощью определенного набора показателей: трудоемкость обработки предмета, установленный срок исполнения, технологическая себестоимость, длительность операционного цикла.

Специфика моделируемого объекта производства находит свое отражение в процессе формирования ограничений, которые накладывают следующие параметры:

- ♦ последовательность выполнения операций (заданий) в соответствии с разработанным технологическим маршрутом;

- ♦ графики поставок заготовок и комплектующих, обуславливающих время запуска партии в обработку в смежных подразделениях;

- ♦ длительность производственного цикла и срок завершения работ на основе утвержденного плана выпуска готовой продукции;

- ♦ располагаемый фонд времени оборудования (рабочих мест) в пределах анализируемого горизонта планирования;

- ♦ способ передачи (перемещения) партии предметов на смежных операциях (рабочих местах или производственных участках);

- ♦ режим работы производственного объекта - продолжительность смены, коэффициент сменности, коэффициент выполнения норм.

В процессе моделирования конкретной производственной системы в целях оптимизации графика работ и последовательности их выполнения устанавливается определенный набор ограничений. Разработанное расписание, удовлетворяющее сформулированным ограничениям, называется допустимым.

В целях оценки альтернативных вариантов оперативно-календарных планов может быть использован комплекс показателей (интегральный критерий оптимальности), отражающий целевые приоритеты организации выполнения производственных работ:

- ♦ коэффициент ритмичности и относительные отклонения от используемых ресурсов;

♦ величина незавершенного производства и скорость оборота трудовых затрат;

♦ время простоя рабочих мест и время ожидания партии очереди на обработку;

♦ соответствие срока выпуска предмета установленной планом календарной даты и совокупное время завершения производственных операций.

Этапы исследования. Исследование проводилось в три этапа:

♦ на первом этапе осуществлялось уточнение параметров экономико-математической модели, учитывающих специфические особенности функционирования конкретного машиностроительного объекта в процессе построения календарных планов;

♦ на втором этапе на основе изменения значений отдельных переменных и ограничений (объем сборочных работ, резервный запас времени, величина допустимых отклонений) получены альтернативные варианты оперативно-календарных планов;

♦ на третьем этапе проведен сравнительный анализ разработанных альтернативных планов, характеризующихся коэффициентом ритмичности, размером оборотных средств и величиной отклонений с целью выбора и установления системы приоритетов.

Экономико-математическое моделирование эффективной работы производственных подразделений приводит к следующим результатам.

Система критериев, определяющих приоритет выпуска предметов труда, должна включать в себя, как минимум, три элемента.

1. Объем работ, выполняемых в единицу времени, - приоритет выпуска предметов труда по уменьшению трудоемкости.

2. Срок выпуска предметов труда - приоритет выпуска по степени важности (значимость удовлетворения потребностей).

3. Условное значение величины оборотных средств - приоритет по объему незавершенного производства, который должен быть минимизирован.

Трудоемкость работ. Первый критерий в представленном списке - приоритет выпуска по объему производственных заданий в единицу времени - характеризует объем работ сборочных процессов в расчете на интервал длительности производственного цикла (или один планово-учетный период). Группы

пировка партий предметов на основе показателя трудоемкости с учетом длительности цикла призвана обеспечить ритмичный выпуск по однородным группам продукции, нивелируя возможные колебания и изменения рыночного спроса.

В условиях функционирования машиностроительного предприятия, процесс производства которого включает в себя ряд технологических переделов, именно сборочное производство характеризует реальные возможности выпуска продукции.

Значение объема работ на сборке в единицу длительности определяется как

$$Q_{vj} = \frac{n_{vj}t_j}{T_{vj}}, \quad (4)$$

где n_{vj} - нормативный размер партии (v) предмета (j), ед.; t_j - норма времени на сборку предмета (j), нормо-ч; T_{vj} - длительность (или остаточная длительность) цикла партии (vj), планово-учетных периодов.

Основа формирования указанного приоритета по объему работ - классификация предметов труда, подлежащих обработке в пределах исследуемого подразделения. В этой связи необходимо отметить, что возобновление процесса производства с учетом ритмичного выпуска можно обеспечить только в условиях однородной номенклатуры. Дифференциация программы выпуска на однородные группы предметов труда (табл. 1) выполняется по соответствию среднему значению показателя объема сборочных работ для каждой партии (vj) и в зависимости от величины длительности производственного цикла.

Величина среднего объема работ, приходящегося на одну партию, определяется как

$$Q = \frac{\sum_{j=1}^j \sum_{v=1}^v Q_{vj}}{\sum_{j=1}^j a_j}, \quad (5)$$

где a_j - количество партий (v) предмета (j) в рамках горизонта планирования.

Конкретное количество групп однородных предметов труда определяется в зависи-

Классификация групп предметов труда

Объем сборочных работ на единицу цикла, нормо-ч	Интервал длительности производственного цикла, планово-учетных периодов				
	5	4	3	2	1
$Q_{vj} > Q$	I	II	III	IV	V
$Q_{vj} < Q$	VI	VII	VIII	IX	X

мости от реально сложившихся условий исследуемой производственной системы. В некоторых случаях интервал классификации по длительности цикла может использовать один отрезок времени, а в иных условиях (например, тяжелого энергетического машиностроения) необходимо расширить значение до нескольких отрезков. Каждой партии назначается идентификационный номер группы, а массив предметов, подлежащий распределению, рассортировывается в порядке возрастания групп ($I \div X$).

Закрепление партий предметов требуется выполнить в определенной последовательности. В первую очередь проводятся анализ и распределение наиболее трудоемких партий, затем рассматриваются предметы, имеющие меньший "вес" по показателю трудоемкости обработки, закрепление наиболее "легких" осуществляется в последней группе.

Представленный подход к распределению массива предметов (по убыванию трудоемкости) позволяет обеспечить уровень ритмичного выпуска в объемах и равномерное нарастание затрат на их производство с первого до последнего отрезка планового периода.

Степень важности. Второй критерий - приоритет по значимости, учитывающий соответствие объема выпуска уровню и характеру удовлетворяемого спроса, что может найти отражение в ограниченном интервале срока выпуска изделия на рынок, а значит, партии предметов. Имеющая высший рейтинг партия предметов характеризует значимость удовлетворения заказа, следовательно, должна быть закреплена за соответствующим планово-учетным периодом и рабочим местом в первую очередь.

В рамках экономико-математического моделирования приоритет значимости партии предметов может быть установлен на основе крайних сроков завершения работ. Крайний срок выпуска партии, во-первых, характеризуется временной точкой начала выполнения

производственной операции (обработки или сборки) последующей (технологически связанной с предыдущей) партии или изделия, а во-вторых, устанавливает период времени, необходимый для завершения обработки остаточной длительности ("хвоста") производственного цикла изделия. Здесь следует отметить, что термин "технологическая взаимозависимость" подразумевает не столько соблюдение технологической последовательности обработки, сколько конструктивную связанность отдельных узлов и сборочных единиц (предыдущая и последующая партия предметов) относительно друг друга и изделия в целом, что обусловлено конструктивной сложностью продукции. Срок исполнения отдельного заказа или выпуска серии изделий (время завершения работ) должен учитывать время (календарный период) получения потребителем готового производственного заказа и, если это необходимо, должен быть жестко задан на этапе разработки объемного плана (распределения программы выпуска).

Система крайних и ранних сроков, определяющая возможный интервал выпуска, может быть использована в целях соблюдения принципа своевременности изготовления и технологической последовательности по каждой номенклатурной позиции.

Ранний срок выпуска отражает порядковый номер периода, в котором уже можно проводить закрепление анализируемых партий (v) предмета (j). Ранний срок устанавливает резерв времени на завершение производственных процессов рассматриваемой партии и предшествующих ей по технологической цепочке партий ($j - 1$).

Ранний срок выпуска ω_{vj} может быть определен на основе максимальной величины из множества значений:

$$\omega_{vj} = \max \{ \omega_{j-1} + T_{vj} \}, \quad (6)$$

где ω_{j-1} - ранний срок выпуска технологически предшествующей партии предметов, планово-учетных периодов; T_{vj} - длительность цикла партии (v) предмета (j), планово-учетных периодов.

Ранний срок партий предметов изделия (u), которые не имеют предшествующих партий, может быть установлен как

$$\omega_{vj} = \lambda_u - (T_u + R_t), \quad (7)$$

где λ_u - крайний срок (установленный в соответствии с объемным планом) выпуска изделия (u), планово-учетных периодов; R_t - резерв времени, необходимый для завершения работ в случае воздействия факторов неопределенности, планово-учетных периодов; T_u - длительность производственного цикла изделия, планово-учетных периодов.

Приоритет в распределении программы следует задавать на основе сопоставления значений крайних сроков выпуска. Крайний срок выпуска λ_{vj} определяет период времени, необходимый для завершения остаточной длительности ("хвоста") производства:

$$\lambda_{vj} = k_u - T_{vj}^o, \quad (8)$$

где k_u - установленный срок изготовления изделия (u), планово-учетных периодов.

T_{vj}^o - опережение выпуска партии (v) предмета (j) относительно изделия (u).

Таким образом, анализируемая партия закрепляется в отрезке времени, который строго ограничен ранним и крайним сроками ее выпуска.

Пример расчета крайних сроков выпуска некоторых партий изделия D-324 (табл. 2) представлен в табл. 3. Крайние сроки выпус-

ка "последних" партий установлены по результатам объемного плана: $\lambda_{014} = \lambda_u = 9$ и $\lambda_{013} = \lambda_u = 8$.

Величина оборотных средств. Третий критерий - размер оборотных средств (незавершенное производство) - призван обеспечить минимизацию производственных затрат.

Партии предметов, имеющей наименьшие удельные затраты S_{vj} , присваивается наивысший приоритет, значит, она должна быть распределена в первую очередь (табл. 4).

$$S_{vj} = \frac{[(C_j + M_j)T_{vj}/2 + (\lambda_{vj} - k)C_j] n_{vj}}{T_{vj} + k}, \quad (9)$$

где k - анализируемый отрезок периода; λ_{vj} - крайний срок изготовления партии (v) предмета (j), планово-учетных периодов;

C_j - производственная себестоимость, руб.; M_j - затраты на материалы, руб.

Распределение номенклатурной программы следует проводить в рамках разработки альтернативных планов назначения работ.

Моделирование системы приоритетов позволяет сформировать логику и последовательность закрепления рабочих заданий за соответствующим календарным периодом, но не исчерпывает перечня проблем в разработке оперативных планов производства.

Среди наиболее острых противоречий оперативно-календарного планирования следует выделить следующие вопросы, которые оказывают непосредственное влияние на формирование системы приоритетов.

Во-первых, закрепление совокупности технологических операций за конкретными

Таблица 2

Технологическая схема сборки изделия

Наименование изделия	Опережение выпуска в планово-учетных периодах									
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
D-324						03				01
				04					02	

Таблица 3

Результаты расчета крайних и ранних сроков выпуска партий*

Партия предметов		Расчет	Срок выпуска	
(j)	(j - 1)		ω_{vj}	λ_{vj}
013	-	$\omega_{013} = \max\{\omega_{023} + T_{013}; \omega_{033} + T_{013}\} = \max\{2 + 1; 1 + 1\} = 3$	3	8
014	-	$\omega_{014} = \max\{\omega_{024} + T_{014}; \omega_{034} + T_{014}\} = \max\{2 + 1; 1 + 1\} = 3$	3	9
023	013	$\lambda_{023} = k_{013} - T_{023}^0 = 8 - 1 = 7$	2	7
		$\omega_{023} = \max\{\omega_{042} + T_{023}\} = 1 + 1 = 2$		
024	014	$\lambda_{024} = k_{014} - T_{024}^0 = 9 - 1 = 8$	2	8
		$\omega_{024} = \max\{\omega_{042} + T_{024}\} = 1 + 1 = 2$		
033	013	$\omega_{033} = k_{013} - (T_u + 2) = 8 - (6 + 2) = 36 = 1$	1	7
		$\lambda_{033} = k_{013} - T_{033}^0 = 8 - 1 = 7$		
034	014	$\omega_{034} = k_{014} - (T_u + 2) = 9 - (6 + 2) = 1$	1	8
		$\lambda_{034} = k_{014} - T_{034}^0 = 9 - 1 = 8$		
042	023	$\omega_{042} = k_{014} - (T_u + 3) = 9 - (6 + 2) = 1$	1	6
	024	$\lambda_{042} = k_{013} - T_{042}^0 = 8 - 2 = 6$		

* Партиям присвоен цифровой код, где первые две цифры обозначают номер сборочной единицы, последняя цифра - порядковый номер партии.

Таблица 4

Результаты определения приоритета выпуска партий

Код партии, (vj)	Цикл, T_{vj}	Размер партии, n_{vj}	Себестоимость, C_j	Затраты на материалы, M_j	Крайний срок выпуска, λ_{vj}	Удельные затраты, S_{vj} по периодам k	
						1	2
41	4	4	340	160	4	1616,0	-
42	4	4	340	160	6	2160,0	1573,3
51	4	3	1200	1060	3	4152,0	2860,0
52	4	3	1200	1060	4	4872,0	3460,0
31	4	4	420	70	5	2128,0	1493,3
32	4	4	480	80	6	2816,0	2026,7
33	4	4	480	80	7	3200,0	2346,7
34	4	4	480	80	8	3584,0	2666,7

производственными участками (рабочими местами) в идеале должно обеспечивать соблюдение принципа гибкости на основе высокой мобильности производственных мощностей. Гибкость производства выражена в способности производственной системы практически мгновенно реагировать на возможные трансформации характера спроса, изменяя темп и объем выпуска, а также осуществляя переход на освоение модернизированных изделий.

Ключ к решению заявленной проблемы лежит в стратегической области выбора императивов в проектировании производственной мощности. Только на основе комплексных подходов к проектированию и обновлению производственных мощностей может быть обеспечен требуемый уровень мобильности производства. Решение проблемы осложняется необходимостью преодоления противоречия между динамичностью содержания и инерционностью производственной структуры⁶.

В данной связи особую роль призвана выполнить система оценки установленного оборудования по параметрам взаимозависимости в выполнении однотипных операций, а также обязателен анализ соответствия располагаемых мощностей подразделений, взаимосвязанных по технологическим переделам. Дополнительное преимущество этого заключено в том, что рациональная группировка технологического оборудования обеспечит соблюдение принципа пропорциональности в процессе организации производства.

Во-вторых, важен выбор метода распределения производственной программы. В рамках прямого подхода, который получил широкое распространение в практике хозяйствующих субъектов, распределение программы рекомендуется начинать от “текущего момента” - с первого отрезка планового периода. С учетом приоритета по трудоемкости работ прямой подход будет обеспечивать ритмичное (равномерное) нарастание затрат по всем видам имеющихся ресурсов в пределах анализируемого горизонта планирования.

С позиции теоретической постановки задачи целесообразнее использовать обратный подход, согласно которому распределение должно происходить “с конца” планового периода - с последнего планово-учетного периода. В рамках представленной системы приоритетов (в соответствии с критерием значимости) обратный подход позволит осуществлять выпуск готовой продукции как можно ближе к установленным срокам их потребления. Указанная схема закрепления работ способствует созданию благоприятных возможностей в части своевременного удовлетворения спроса, а также оптимального размещения объемов незавершенного производства в пределах каждого планово-учетного периода.

Комбинированный подход призван воплотить очевидные преимущества названных выше методов. Обратный метод призван отвечать за формирование календарного плана наиболее значимых и трудоемких групп. Прямой метод обеспечит закрепление партий, имеющих низший приоритет по объему работ. Формирование классификационных

групп в рамках тех или иных условий производства необходимо согласовывать с учетом альтернативных вариантов в моделировании распределения.

Представленный метод распределения номенклатурных позиций образно можно сравнить с популярной в свое время игрой Tetris. На дно корзины (рамки отражают основные ограничения в модели) размещаются самые “неподъемные” и “угловатые” объекты (камни). Более “компактные” партии (галька) занимают свободные зоны. На последнем этапе оставшееся пространство засыпается песком. Представленный алгоритм позволяет достаточно плотно “утрамбовать” номенклатурный портфель и обеспечить соблюдение необходимых пропорций в объемах и сроках ритмичного выпуска.

В-третьих, необходимо совершенствовать методики обоснования календарно-плановых нормативов. Календарные нормативы выполняют важнейшую функцию, регламентируя количественные и временные пропорции в разработке оперативных планов, что способствует наиболее полному и эффективному использованию ресурсов. Проблема обоснованности календарно-плановых нормативов имеет двоякий характер. С одной стороны, она заключена в выборе соответствующего метода расчета того или иного норматива, что обусловлено учетом специфики объекта производства. С другой стороны, вариативность календарных планов может серьезно повлиять на (исказить) установленное значение.

В решении задачи повышения степени обоснованности календарно-плановых нормативов и сбалансированности оперативных планов необходимо применять методы стохастического программирования, позволяющие моделировать их значения на основе случайных величин и оценки вероятности распределения⁷. В моделировании равномерной загрузки технологического оборудования и очередности выполнения работ следует использовать биномиальное распределение. Анализ норм времени и моделирование факторов, обуславливающих установление оптимальной величины партии, основаны на закономерностях равномерного распределения. Закон нормаль-

ного распределения может быть использован в рамках моделирования подготовительно-заключительного времени и определения величины производственных заказов, длительности межоперационного цикла.

Несмотря на сложность и трудоемкость расчетов, методы имитационного моделирования позволяют наиболее полно сформулировать условия функционирования конкретной производственной системы, что и будет отражено в совокупности календарно-плановых нормативов.

Таким образом, приступая к формированию оперативно-календарных планов, следует решить, какая система показателей (метод) должна стать опорной в задаче определения приоритетов в распределении предметов труда. В особо сложной производственной системе, как правило, необходимо применять некоторый комплекс методов и показателей, что позволит обеспечить принятие сбалансированных решений в формировании структуры и последовательности приоритетов, на основе которых можно установить оптимальную очередность закрепления в плане выпуска массива производственных заданий.

В качестве комплексной системы приоритетов, регламентирующих очередность включения в календарный план номенклатуры выпуска продукции, можно предложить использовать следующую комбинацию показателей (переменных):

◆ приоритет по средним объемам выполнения работ в единицу времени (средняя величина трудозатрат на сборке в единицу длительности операционного цикла позволяет учесть трудоемкость выполнения работ);

◆ приоритет по степени значимости, который учитывает уровень и характер удовлетворяемого спроса и, главным образом, может быть выражен в форме допустимого интервала сроков выпуска (или запуска) партии предметов;

◆ приоритет выпуска по условной потребности в оборотных средствах в незавершенном производстве (позволяет минимизировать величину затрат, связанных с обработкой производственной программы).

Результаты компьютерного моделирования на основе предлагаемого метода постро-

ения календарных планов обеспечивают значение коэффициента ритмичности не ниже 0,95 с учетом предельной величины допустимого отклонения в пределах 10 %, а также уменьшение величины оборотных средств в интервале 5-8 %.

Материалы статьи представляют практическую ценность для диспетчерских служб промышленных предприятий и специалистов, которые занимаются вопросами разработки оперативного планирования производства и закрепления предметов труда за рабочими местами. Предлагаемая система приоритетов формирует основу алгоритма построения оперативно-календарных планов с учетом принципов концепции lean production.

Направления дальнейших исследований в рассматриваемой области следует связать с решением целого ряда проблем.

Необходима разработка интегрального показателя в оценке моделируемых календарных планов с целью выбора наилучшего варианта (как показывает практика, только одной целевой функцией ограничивать моделирование нецелесообразно) на основе совокупности критериев. Решение этой проблемы лежит в сфере формирования системы показателей и сопоставления их значений посредством методов векторной оптимизации.

В решении задач обоснования календарно-плановых нормативов, как уже отмечалось выше, следует опираться на разнообразные методы. Фундамент научного поиска определяет методика стохастического программирования, основу которой составляют теории распределения вероятности случайных величин, отражающих разнообразные стороны в организации технологического процесса и управления запасами.

В заключение необходимо отметить, что современные машиностроительные объекты характеризуются высокой степенью сложности и неопределенности. В силу этого упрощенные алгоритмы формирования производственных расписаний в практических условиях имеют ограниченное использование, да и далеко не всегда обеспечивают приемле-

мость результата. Прогрессивная основа в построении календарных планов - это сочетание техники имитационного моделирования и логики “человеческого фактора” исследователя.

¹ Производственный менеджмент / под ред. В.А. Козловского. Москва : ИНФРА-М, 2003. 574 с.

² Чудаков А.Д., Фалевич Б.Я. Автоматизированное оперативно-календарное планирование в гибких комплексах механообработки. Москва : Машиностроение, 1986. 224 с.

³ Чейз Р.Б., Эквилайн Н.Д., Якобс Р.Ф. Производственный и операционный менеджмент / под ред. Н.А. Коржа ; пер. с англ. О.И. Медведь,

А.И. Мороза, О.Л. Пелявского. Москва : Вильямс, 2001. С. 548.

⁴ Пармонов Ф.И., Солдак Ю.М. Теоретические основы производственного менеджмента. Москва : БИНОМ, 2003. С. 7.

⁵ Наймарк Ю.Ю. Возможности рационализации оперативного управления производством в интегрированных системах управления организацией // Труды Международной академии науки и практики организации производства. Т. 2. Современные проблемы организации производства. Москва : НПО “Энергия”, 1999. С. 77.

⁶ Амиров Ю.Д. Научно-техническая подготовка производства. Москва : Экономика, 1989. С. 9.

⁷ Минюк С.А., Ровба Е.А., Кузьмич К.К. Математические методы и модели в экономике : учеб. пособие. Минск : ТетраСистемс, 2002. С. 280.

Поступила в редакцию 10.03.2017 г.