Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

М. А. Бражников, Моделирование календарных планов сборочных процессов в условиях машиностроительного производства, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2004, выпуск 26, 165–173

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu194>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.198.187.58

26 апреля 2023 г., 13:16:08

Математическое моделирование

УДК 65.012.2+519.71

М.А. Бражников

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАЛЕНДАРНЫХ ПЛАНОВ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Предложена экономико-математическая модель разработки календарного плана в виде задачи динамического программирования. Разработан общий алгоритм решения задачи календарного планирования. Рассмотрен метод решения представленной экономико-математической модели. Уточнены и математически формализованы специфические особенности функционирования сборочных процессов в условиях машиностроительного производства.

Обязательность формирования отдельным производственным подразделениям целевых программ по номенклатуре, объемам и срокам выпуска продукции является одним из основных положений современной теории организации и управления производством. Особое внимание в решении задачи распределения производственной программы следует уделить завершающей стадии производственного процесса – сборке, так как сборочные цеха в известной степени характеризуют работу предприятия в целом. В условиях немассовых типов производств разработка календарного плана представляет собой сложный и трудоемкий процесс – помимо множественности номенклатурных позиций машиностроительного производства решение задачи усложняет технологическая взаимозависимость изготовления отдельных сборочных единиц и изделия в целом. Кроме этого, календарный план должен быть не только обоснованным на возможность его выполнения, но и оптимальным – обеспечивать улучшение технико-экономических показателей работы подразделения.

В самом общем виде решение задачи календарного планирования определяется типом производства и зависит от распределения мощностей (ресурсов) и установления последовательности выполнения работ. Эффективность решения первой проблемы определяется степенью соответствия величины обслуживаемого рыночного спроса уровню используемой производственной мощности. Установление последовательности выполнения операций заставляет разрабатывать оптимизационные модели, основанные на выборе соответствующих приоритетов запуска (выпуска) партий предметов в производство.

Основная проблема решения управленческих задач такого рода методами линейного программирования заключается в условии оптимизации: поиск решения в достаточно стабильных условиях сложившейся ситуации. В реальной практике задачи управления производственным процессом необходимо рассматривать в динамике, следовательно, определять оптимальное решение не только в какой-то определенный момент развития событий, но и предлагать комплекс последовательных решений на протяжении всего планируемого периода. Таким образом, в решении задачи календарного планирования недостаточно определить только оптимальное распределение производственной программы на текущий календарный период (месяц или квартал). Ведь вполне вероятно, что в следующий период производственные возможности (обеспеченность ресурсами), состав номенклатурных позиций, а самое важное – величина и характер рыночного спроса могут существенно измениться. В этом случае может помочь постановка проблемы в виде задачи динамического программирования. Динамическое программирование позволяет принять ряд последовательных управленческих решений, обеспечивающих оптимальность разработки календарного плана на всех уровнях оперативного управления.

Экономико-математическая модель. Задача построения календарного плана сборочного производства предусматривает формирование номенклатурного и объемного задания цеху (уча-

стку) по каждому отрезку планового периода (декаде или неделе) и проверку его на соответствие имеющимся трудовым ресурсам.

С учетом факторов, определяющих построение календарного плана сборочного производства и математически выраженных с помощью системы уравнений и неравенств, экономико-математическая модель может быть представлена следующим образом. Требуется найти план распределения производственной программы, удовлетворяющей следующим условиям:

$$\sum_{k=k_{vj}^o}^{k_{vj}^p} x_{vjkm} = 1, \quad (1)$$

$$\sum_{m=1}^m (k^o - k_m^o) Q_m^o + k \sum_{m=1}^m Q_m - \sum_{m=1}^m E_m^o \leq \sum_{m=1}^m \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{v=1}^v t_j n_{vj} x_{vjkm} / T_{vj}^u \leq \sum_{m=1}^m (k^o - k_m^o) Q_m^o + k \sum_{m=1}^m Q_m + \sum_{m=1}^m E_m^o, \quad (2)$$

$$\sum_{m=1}^m (k^o - k_m^o) F_{im}^o + k \sum_{m=1}^m F_{im} - \sum_{m=1}^m E_{im}^r \leq \sum_{m=1}^m \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{v=1}^v t_{ij} n_{vj} x_{vjkm} \leq \sum_{m=1}^m (k^o - k_m^o) F_{im}^o + k \sum_{m=1}^m F_{im} + \sum_{m=1}^m E_{im}^r, \quad (3)$$

$$\sum_{m=1}^m (k^o - k_m^o) H_m^o + k \sum_{m=1}^m H_m - \sum_{m=1}^m E_m^h \leq \sum_{m=1}^m \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{v=1}^v t_{jv} n_{vj} x_{vjkm} T_{vj}^u / 2 \leq \sum_{m=1}^m (k^o - k_m^o) H_m^o + k \sum_{m=1}^m H_m + \sum_{m=1}^m E_m^h, \quad (4)$$

$$\sum_{m=1}^m (k^o - k_m^o) T_m^o + k \sum_{m=1}^m T_m - \sum_{m=1}^m E_m^r \leq \sum_{m=1}^m \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{v=1}^v t_{jv} n_{vj} x_{vjkm} \leq \sum_{m=1}^m (k^o - k_m^o) T_m^o + k \sum_{m=1}^m T_m + \sum_{m=1}^m E_m^r, \quad (5)$$

$$f(s) = \sum_{m=1}^m \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{v=1}^v \frac{[(C_j + C_j^M) T_{vj}^u / 2 + (k_{vj}^k - k) C_j] n_{vj} x_{vjkm}}{T_{vj}^u + k} \rightarrow \min. \quad (6)$$

В модели использованы следующие обозначения: i – порядковый номер группы взаимозаменяемых рабочих мест, установленных на участке, и смежных (по технологической цепочке) цехов; m – порядковый номер классификационной группы однородных партий предметов; k – порядковый номер планово-учетного периода в плановом периоде; j – порядковый номер рассматриваемой сборочной единицы; v – порядковый номер рассматриваемой партии предметов данного наименования; x_{vjkm} – целочисленная переменная булевского типа, принимающая значение: 1, если выпуск партии (v) предмета (j) группы (m) планируется в периоде (k); 0 – в противном случае; k^o, k_m^o – номера планово-учетных периодов в предплановом периоде последнего и того, в котором запланирован выпуск последней партии сборочных единиц группы (m); k – ранний срок выпуска партии (v) предмета (j) – номер планово-учетного периода; n_{vj} – нормативный размер партии (v) сборочной единицы (j); t_j – норма времени на изготовление сборочной единицы нормо-часов; t_{ij} – норма времени на изготовление сборочной единицы (j) по группе взаимозаменяемых рабочих мест (i), нормо-часов; Q_m, Q_m^o – средний объем сборочных работ, приходящихся на единицу длительности производственного цикла, планового и предпланового периодов, нормо-часов; F_{im}, F_{im}^o – средний фонд времени группы рабочих мест (i) и на стадии механической обработки планового и предпланового периодов, нормо-часов; H_m, H_m^o – средний объем незавершенного производства, приходящийся на один планово-учетный период, планового и предпланового периодов, нормо-часов; T_m, T_m^o – средний объем выпуска сборочных единиц в одном планово-учетном периоде планового и предпланового периодов, нормо-часов; E_m – допустимые отклонения от средних объемов сборочных работ, используемых фондов времени, объемов связывания средств в незавершенном производстве, выпуска продукции, нормо-часов; T_{vj}^u – длительность производственного цикла или остаточная длительность производственного цикла сборочной единицы (j) партии (v), планово-учетных периодов; C_j – производственная себестоимость сборочной единицы (j), руб.; C_j^M – затраты на материалы по сборочной единице (j), руб.

В предлагаемой модели выражение (1) учитывает своевременность изготовления каждой позиции плана и соблюдение технологической последовательности сборочных операций: планирование выпуска каждой отдельной партии сборочных единиц предусматривается в отрезке

строго ограниченном, с одной стороны, ранним сроком выпуска рассматриваемой партии, а, с другой стороны, крайним сроком ее выпуска.

Условие (2) обеспечивает регулярность повторения объемных пропорций процесса сборки по каждой группе однородных партий предметов (m):

$$Q_m = \sum_{j=1}^j \frac{\sum_{v=1}^v t_j n_{vj}}{T_{vj}^u D}, \quad (7)$$

где D – количество планово-учетных периодов в плановом периоде.

Условие (3) отражает требование обеспечения равномерной и полной занятости рабочих основных взаимозаменяемых групп рабочих мест в течение каждого отрезка времени:

$$F_{im} = \sum_{j=1}^j \frac{\sum_{v=1}^v t_{ij} n_{vj}}{D}. \quad (8)$$

Условие (4) обеспечивает стабильность связывания средств в незавершенном производстве в каждом планово-учетном периоде в трудовом выражении, что обуславливает равномерность использования трудовых ресурсов и оборудования:

$$H_m = \sum_{j=1}^j \frac{\sum_{v=1}^v t_j n_{vj} T_{vj}^u}{2D}. \quad (9)$$

Выражение (5) означает обеспечение равномерности объема выпуска продукции:

$$T_m = \sum_{j=1}^j \frac{\sum_{v=1}^v t_j n_{vj}}{D}. \quad (10)$$

Критерий оптимальности (6) обуславливает минимизацию потребности в оборотных средствах, вложенных в незавершенное производство, за счет равномерного выпуска предметов и постепенного нарастания затрат на их производство. В целевой функции выражение $(k_{vj}^k - k)$ формирует напряженность выполнения плановых заданий и сводит практически «на нет» время запаздывания операций.

Следует уделить особое внимание формированию системы ограничений (2)-(5), отражающих реальное функционирование производственной системы. Не секрет, что многие отечественные машиностроительные предприятия испытывают трудности в рациональном и полном использовании производственных мощностей. В этих условиях – в модели не должно быть предельного (нижнего) ограничения по ресурсам – отсутствие «минуса» (левая часть) в системе ограничений. Позитив стремления к равномерной, а самое главное полной загрузке производственной мощности при разработке календарного плана, нивелируется негативом давления «субъективного» фактора на процесс производства при реализации сформированного плана. План, а значит, и мастер цеха с целью загрузки производственных рабочих будет их «подгонять», что автоматически приведет к созданию избыточных производственных запасов. Что, в конечном счете, приведет к потере эффективности (ритмичности) календарного планирования. Выход прост, хотя его практическая реализация не так однозначна – перевод производственной системы (работников) на «новое» производственное задание.

Кроме того, система ограничений в отдельных производственных системах может быть дополнена параметрами, лимитирующими производственный процесс – состав и квалификация рабочих, дефицитность некоторых видов ресурсов и ряд других факторов, отражающих реальное функционирование предприятия.

Алгоритм построения календарного плана. Решение экономико-математической модели календарного плана сборочного производства можно представить в виде последовательности выполнения следующих этапов.

Подготовка исходной информации. В целях построения календарного плана производства необходима следующая информация: распределенная программа выпуска изделий на предстоящий год (полугодие); программа предпланового периода – календарный план производства; спецификации и технологический процесс каждой позиции плана – изделия и входящих в

него компонентов (деталей и сборочных единиц); производственная себестоимость и затраты на материалы по каждому технологическому переделу каждой позиции плана.

Проведение предварительных расчетов. Прежде чем приступить к распределению программы по отдельным календарным датам, необходимо выполнить следующие расчеты.

1. Расчет календарно-плановых нормативов: размера партии (v) по каждому предмету (j); величины длительности производственного цикла каждой партии (v); опережения выпуска партий предметов (j) относительно выпуска изделия (u).

2. Классификация партий на однородные по условиям производства группы: на основе длительности производственного цикла; в зависимости от объема сборочных работ на единицу длительности цикла.

3. Определение по каждому виду ресурса: средних объемов работ; обеспеченности на начало планового периода.

4. Расчет имеющихся ресурсов и величины допустимых отклонений по каждому виду используемого ресурса: по всем отрезкам планового периода; в разрезе каждой классификационной группы нарастающим итогом.

5. Расчет крайних k_{vj}^K и ранних k_{vj}^P сроков выпуска партий сборочных единиц.

Установление общих сроков выпуска. Построение плана начинается с первой классификационной группы $m=1$ и первого планово-учетного периода $k=1$.

6. Включение партии в план должно быть подчинено следующей последовательности: первыми распределяются партии n_{vj} с крайним сроком выпуска, который соответствует номеру рассматриваемого планово-учетного периода $k_{vj}^K=k$ (если условие соблюдается – выполнить пункт 7);

выбор партии предметов n_{vj} с минимальным значением показателя удельных затрат $S_{vj} = \min$, для которой справедливо условие: ранний срок выпуска меньше номера планово-учетного периода $k_{vj}^P \leq k$;

проверка соответствия потребных значений имеющимся в производстве ресурсам (с учетом допустимых отклонений от равномерности), начиная с рассматриваемого периода (k) по последнюю декаду $k=k...D$ (если условие не соблюдается – выполнить пункт 6).

7. Корректировка потребных ресурсов нарастающим итогом $k=k...D$.

8. Корректировка крайних и ранних сроков выпуска для партий предметов (j), технологически связанных с планируемой партией предметов ($...j-2, j-1...j+1, j+2...$): если массив партий предметов не закончился – выполнить пункт 6.

9. Корректировка обеспеченности – после распределения всего массива партий сборочных единиц рассматриваемой группы корректируется обеспеченность: на начало следующего планового периода; на начало планового периода для следующей классификационной группы.

Установление частных сроков выпуска. Общие сроки выпуска (декадные) нуждаются в более точной корректировке.

10. Проверка построенного плана: определение отклонений от равномерности; расчет коэффициентов ритмичности.

11. Сортировка распределенной программы выпуска: по декадам; в порядке уменьшения длительности производственного цикла.

Метод распределения производственной программы.

Метод построения календарного плана производства основан на использовании системы ритмов по выпуску партий предметов. В свою очередь система ритмов сформирована на соблюдении следующих показателей: периодичность производства; групповой ритм выпуска продукции; показатель соответствия запланированного объема выпуска продукции в тот или иной планово-учетный период объему ритмичного выпуска.

В целях обеспечения периодичности разработка графика производственного процесса подчинена соблюдению так называемых рядов периодичности производства.

Групповой ритм выпуска партий предметов – это отрезок времени между выпуском двух смежных предметов (однородных по условиям производства):

$$R_{jm} = Q_j / Q_m ,$$

где Q_j – объем сборочных работ, приходящихся на единицу длительности производственного цикла сборочной единицы (j), нормо-часов.

Групповые ритмы обеспечивают регулярность повторения процесса сборки по каждой группе однородных партий предметов. Для того, чтобы обеспечить тесную взаимосвязь между группами однородных сборочных единиц, используется показатель соответствия запланированного объема выпуска объему ритмичного выпуска:

$$R_{mk} = \frac{\sum_{m=1}^m \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{v=1}^v Q_{vj}}{(k^o - k_m^o)Q_m + kQ_m} = \frac{Q_{mk}^n}{Q_{mk}},$$

где Q_{vj} – объем сборочных работ на единицу длительности производственного цикла партии (v) сборочной единицы (j), нормо-часов; Q_{mk} – объем сборочных работ на единицу длительности производственного цикла в разрезе планово-учетного периода (k) по каждой классификационной группе (m) нарастающим итогом в пределах среднего объема, нормо-часов; Q_{mk}^n – планируемый объем сборочных работ на единицу длительности производственного цикла в разрезе планово-учетного периода (k) по каждой классификационной группе (m) нарастающим итогом, нормо-часов.

Ритмы выпуска позволяют упорядочить сборочный процесс во времени.

Остановимся более подробно на содержании особо важных этапов алгоритма в решении задачи распределения производственной программы.

Классификация партий сборочных единиц. Необходимо отметить, что достижение возобновления процесса производства и выпуска продукции возможно только в условиях однородной номенклатуры. Классификация сборочных единиц на однородные группы производится в зависимости от величины показателя объема сборочных работ, приходящегося на единицу длительности цикла сборки партии сборочной единицы, и их производственных циклов.

В качестве примера в таблице приведена условная классификация партий сборочных единиц. За интервал длительности цикла принят один планово – учетный период (декада). В результате весь исходный массив разбит на 14 однородных групп (с I по XIV).

Пример классификационных групп

Объем сборочных работ на единицу длительности цикла, нормо-часов	Интервал длительности производственного цикла, планово-учетных периодов						
	7	6	5	4	3	2	1
$Q_{vj} > Q$	I	II	III	IV	V	VI	VII
$Q_{vj} < Q$	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV

Объем сборочных работ по партии определяется как

$$Q_{vj} = \frac{n_{vj} t_j}{T_{vj}^u}.$$

Объем сборочных работ, приходящийся на одну партию,

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

где a_j – общее количество партий предмета (j) за плановый период.

Число групп зависит от конкретных условий производства. В отдельных случаях в качестве интервала длительности производственного цикла может быть принят один планово-учетный период. В условиях тяжелого машиностроения – несколько планово-учетных периодов. Каждой партии следует присвоить номер группы и рассортировать их в порядке возрастания групп.

Расчет средних объемов работ. Расчет средних значений по каждому из ограничений – типа ресурса: объема сборочных работ на единицу длительности цикла, используемых фондов времени по каждой группе рабочих мест, объема выпуска продукции и связывания средств в незавершенном производстве – выполняется по формулам (7)-(10). Расчеты производятся для планового и предпланового периодов.

Следует отметить, что при расчете фондов времени учитываются не только взаимозаменяемые группы рабочих мест сборочной стадии, но и ресурсы предшествующей (механообрабатывающей) стадии в целом.

Для расчета обеспеченности следует установить срок выпуска последней партии предметов в предплановом периоде. Тогда обеспеченность составит:

$$Q_m^H = (k^o - k_m^o)Q_m^o \leq \sum_{vj \in k} \frac{t_j n_{vj}}{T_{vj}^u} - Q_m^o, \quad F_{im}^H = (k^o - k_m^o)F_{im}^o \leq \sum_{vj \in k} t_{ij} n_{vj} - F_{im}^o;$$

$$H_m^H = (k^o - k_m^o)H_m^o \leq \sum_{vj \in k} \frac{t_j n_{vj} T_{vj}^u}{2} - H_m^o, \quad T_m^H = (k^o - k_m^o)T_m^o \leq \sum_{vj \in k} t_j n_{vj} - T_m^o,$$

где $vj \in k$ – партии предметов, выпуск которых запланирован в планово-учетном периоде k_m^o в предплановом периоде по группе (m).

Отметим, что продукция смежных периодов может быть различна по составу их классификационных групп. В этом случае, если в предшествующем периоде не выпускались партии предметов рассматриваемой группы (m), то обеспеченность должна быть установлена по первой предшествующей группе ($m-1$) высшей категории сложности. Если отсутствует и высшая группа, то обеспеченность устанавливается по первой группе, следующей за данной ($m-1$) классификационной группой.

Расчет имеющихся ресурсов. Для распределения массива партий необходимо произвести расчет объемов работ по каждому виду ресурса нарастающим итогом по всем отрезкам планового периода ($k=1,2...D$) и классификационным группам ($m, m+1...$) с учетом обеспеченности на начало горизонта планирования.

Допустимые отклонения от имеющихся ресурсов принимаются равными 10% от средних объемов работ, что подтверждено экспериментальными исследованиями автора [1]:

$$Q_{mk} = Q_m^H + k \sum_{m=1}^m Q_m, \quad E_m^o = 0,1 \sum_{m=1}^m Q_m, \quad F_{imk} = F_{im}^H + k \sum_{m=1}^m F_{im}, \quad E_{im}^F = 0,1 \sum_{m=1}^m F_{im},$$

$$H_{mk} = H_m^H + k \sum_{m=1}^m H_m, \quad E_m^H = 0,1 \sum_{m=1}^m H_m, \quad T_{mk} = T_m^H + k \sum_{m=1}^m T_m, \quad E_m^T = 0,1 \sum_{m=1}^m T_m.$$

Установление крайних и ранних сроков. С целью выполнения условия своевременности изготовления по каждой позиции плана и соблюдения технологической последовательности операций процесса обработки предлагается использовать систему крайних и ранних сроков выпуска [2, с.26]. Ранний срок выпуска партии предметов – это порядковый номер планово-учетного периода, начиная с которого возможно включение в план выпуска рассматриваемой партии (v) предметов (j). Он резервирует время на выполнение производственных процессов данной партии и технологически предшествующих ей партий предметов ($j-1$). Ранний срок выпуска k_{vj}^P определяется как максимум из множества всех значений

$$k_{vj}^P = \max \{k_{j-1}^P + T_{vj}^u\},$$

где k_{j-1}^P – ранний срок выпуска партии предметов, технологически предшествующей рассматриваемой партии предметов, планово-учетных периодов; T_{vj}^u – длительность производственного цикла партии (v) предметов (j), планово-учетных периодов.

Для всех сборочных единиц изделия (u), которым не предшествуют другие сборочные единицы, ранний срок определяется как

$$k_{vj}^P = k_u^K - (T_u^u + 3),$$

где k_u^k – крайний срок (установленный планом производства) выпуска изделия (u), планово-учетных периодов; T_u^u – длительность производственного цикла изделия.

Приоритет выпуска следует задавать с помощью крайнего срока выпуска изделия или партии предметов. Крайний срок выпуска k_{vj}^k определяется сроком начала обработки следующей (технологически связанной с предыдущей) партии предметов или изделия и показывает время, необходимое для выполнения остаточной длительности («хвоста») производственного цикла изделия (или партии сборочных единиц):

$$k_{vj}^k = k_u - T_{vj}^o,$$

где T_{vj}^o – опережение выпуска партии (v) предмета (j) относительно срока выпуска изделия (u), планово-учетных периодов; k_u – срок выпуска изделия (u), планово-учетных периодов.

Таким образом, каждая партия предметов планируется в отрезке строго ограниченном, с одной стороны, ранним сроком ее выпуска, а с другой – крайним.

Установление общих сроков выпуска. После окончания вышеуказанных этапов расчета начинается последовательное формирование плана выпуска по планово-учетным периодам. Общий срок выпуска партии предметов устанавливается с точностью до планово-учетного периода с целью нейтрализации действия факторов неопределенности.

Построение календарного плана начинается с первой классификационной группы (m) с первого планово-учетного периода ($k=1$). Очередность включения в план партий предметов устанавливается в следующем порядке.

Первыми распределяются те партии сборочных единиц, крайний срок выпуска которых равен номеру рассматриваемого планово-учетного периода – $k_{vj}^k = k$. Включая партию в план выпуска, следует проводить расчет потребных ресурсов нарастающим итогом по всем отрезкам планового периода ($k=1,2...D$):

$$\begin{aligned} Q_{mk}'' &= Q_{mk}' + t_j n_{vj} / T_{vj}^u, \quad F_{imk}'' = F_{imk}' + t_{ij} n_{vj}; \\ H_{mk}'' &= H_{mk}' + t_j n_{vj} T_{vj}^u / 2, \quad T_{mk}'' = T_{mk}' + t_j n_{vj}, \end{aligned}$$

где $Q_{mk}', T_{mk}', F_{imk}', H_{mk}'$ – потребные ресурсы планово-учетного периода (k) до включения в план выпуска рассматриваемой партии (n_{vj}); на начало распределения эти величины равны нулю.

Кроме этого, при включении в план выпуска какой-либо партии сборочных единиц проводится корректировка сроков выпуска для нераспределенных партий предметов, технологически связанных с данной сборочной единицей: ранних сроков выпуска партий предметов, следующих за данной партией ($j+1, j+2...$), если срок выпуска сборочной единицы (j) отличен от расчетного раннего срока; крайних сроков выпуска партий, предшествующих данной партии ($j-1, j-2...$).

Затем анализируется возможность загрузки рассматриваемого планово-учетного периода другими партиями предметов, принадлежащих данной классификационной группе: имеющиеся трудовые ресурсы больше потребных? Если выражение ложно, то распределение партий предметов в рамках данного планово-учетного периода завершено, следовательно, необходимо перейти к загрузке следующего планово-учетного периода ($k+1$). В противном случае распределяются партии данной классификационной группы, выпуск которых возможен в текущей декаде – $k_{vj}^p \leq k$. Среди таких предметов выбирается партия с минимальным значением показателя удельных затрат:

$$S_{vj} = \frac{[(C_j + C_j^M) T_{vj}^u / 2 + (k_{vj}^k - k) C_j] n_{vj}}{T_{vj}^u + k}.$$

Выбранная партия должна пройти проверку на соответствие потребных ресурсов имеющимся значениям в каждом отрезке планируемого периода: $A_{mk}'' \leq A_{mk} + E_m^A$ ($k=k+1, k+2...D$),

где A_{mk} – вид анализируемого ресурса. Если указанное условие не соблюдается хотя бы для одного планово-учетного периода ($k = k, k+1, k+2 \dots D$), то партия не включается в план выпуска данного планово-учетного периода (k). В этом случае выбирается следующая партия предметов по минимуму показателя удельных затрат. Если же условие истинно, то данная партия включается в план выпуска планово-учетного периода (k), потребные ресурсы увеличиваются на значения, соответствующие планируемой партии, и производится корректировка сроков выпуска (как описано выше).

После этого анализируется возможность выпуска партии $v(j+1)$. Особое внимание обращается на то, что в качестве дозагрузки не принимаются партии уже включенной в план выпуска данного планово-учетного периода сборочной единицы, то есть $(v+1)j$. Возможность включения в план таких партий анализируется на последующих отрезках планового периода.

Закончив комплектование планово-учетного периода (k) по классификационной группе (m), необходимо перейти к распределению партий в следующем ($k+1$) планово-учетном периоде. Порядок анализа загрузки в точности повторяет описанный выше. Расчеты ведутся до тех пор, пока не будет укомплектован последний планово-учетный период ($k=D$) партиями предметов рассматриваемой группы, или до тех пор, пока не будут распределены все партии сборочных единиц группы (m).

Следует отметить, что в случае неполной укомплектованности ($A_{mk}^H < A_{mk} + E_m^A$) рассматриваемого планово-учетного периода, когда все партии сборочных единиц рассматриваемой классификационной группы уже распределены, анализируется возможность включения в план данной и последующих планово-учетных периодов сборочных единиц (с ранними сроками выпуска соответствующими рассматриваемому планово-учетному периоду) той же классификационной группы из массива следующего планового периода. Для этого рассчитывается общий объем выпуска, как распределенных, так и нераспределенных сборочных единиц. Полученная величина сопоставляется со средним объемом выпуска по плану: если первое меньше второго, то анализируется возможность включения в план партий предметов следующего периода.

Закончив распределение всего массива партий по данной группе (m), определяется обеспеченность по этой же группе на начало следующего планового периода:

$$Q_m^{H+1} = \sum_{m=1}^m Q_m^H + \sum_{m=1}^m \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{v=1}^v t_j n_{vj} / T_{vj}^u - k \sum_{m=1}^m Q_m, \quad F_{im}^{H+1} = \sum_{m=1}^m F_{im}^H + \sum_{m=1}^m \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{v=1}^v t_{ij} n_{vj} - k \sum_{m=1}^m F_{im},$$

$$T_m^{H+1} = \sum_{m=1}^m T_m^H + \sum_{m=1}^m \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{v=1}^v t_j n_{vj} - k \sum_{m=1}^m T_m, \quad H_m^{H+1} = \sum_{m=1}^m H_m^H + \sum_{m=1}^m \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{v=1}^v t_j n_{vj} T_{vj}^u / 2 - k \sum_{m=1}^m H_m.$$

После этого необходимо перейти к распределению партий предметов следующей классификационной группы ($m+1$), расчеты выполняются в той же последовательности, что и для предыдущей группы, начиная с первого планово-учетного периода. Однако, прежде чем приступить к распределению группы ($m+1$), необходимо провести корректировку обеспеченности на начало периода по результату распределения группы (m):

$$Q_{m+1}^{HH} = \frac{\sum_{vj \in k} t_j n_{vj} / T_{vj}^u}{k + (k^o - k_m^o)} (k^o - k_m^o), \quad F_{i(m+1)}^{HH} = \frac{\sum_{vj \in k} t_{ij} n_{vj}}{k + (k^o - k_m^o)} (k^o - k_m^o),$$

$$H_{m+1}^{HH} = \frac{\sum_{vj \in k} t_j n_{vj} T_{vj}^u / 2}{k + (k^o - k_m^o)} (k^o - k_m^o), \quad T_{m+1}^{HH} = \frac{\sum_{vj \in k} t_j n_{vj}}{k + (k^o - k_m^o)} (k^o - k_m^o),$$

где $vj \in k$ – партии предметов, выпуск которых запланирован в первом по порядку планово-учетном периоде по группе (m).

На величину полученных значений необходимо скорректировать значения потребных ресурсов группы, подлежащей распределению:

$$Q_{(m+1)k}^H = \sum_{m=1}^m Q_{m+1}^{HII} + \sum_{m=1}^m \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{v=1}^v t_j n_{vj} / T_{vj}^H, \quad F_{(m+1)k}^H = \sum_{m=1}^m F_{(m+1)k}^{HII} + \sum_{m=1}^m \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{v=1}^v t_{ij} n_{vj},$$

$$H_{(m+1)k}^H = \sum_{m=1}^m H_{m+1}^{HII} + \sum_{m=1}^m \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{v=1}^v t_j n_{vj} T_{vj}^H / 2, \quad T_{(m+1)k}^H = \sum_{m=1}^m T_{m+1}^{HII} + \sum_{m=1}^m \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{v=1}^v t_j n_{vj}.$$

В данной последовательности осуществляется распределение всей производственной программы сборочного подразделения по всем классификационным группам и планово-учетным периодам декадам. Все расчеты ведутся нарастающим итогом.

Установление частных сроков выпуска. В качестве оценочных показателей разработанного метода построения календарного плана предлагается использовать: отклонения от равномерности распределенной программы выпуска по каждому планово-учетному периоду, выраженные в процентах и определяемые как отношение потребных ресурсов к имеющимся величинам; коэффициент ритмичности; среднюю длительность производственного цикла – величину времени среднего оборота затрат в производстве, определяемую отношением объема незавершенного производства к объему выпуска запланированных сборочных единиц в разрезе каждого планово-учетного периода и планового периода в целом.

Завершив распределение партий по общим срокам выпуска, необходимо установить для всех распределенных сборочных единиц частные сроки выпуска, например, с точностью до рабочего дня (смены), если планово-учетный период – декада или неделя.

Установление частных сроков позволит обеспечить равномерность производства и выпуска продукции в любой момент времени, а также уменьшить трудоемкость составления сменно-суточных заданий и своевременно ликвидировать нарушения нормального хода производства, что, в свою очередь, стабилизирует общие сроки.

Установление частных сроков выполняется в следующей последовательности. Массив партий сборочных единиц распределяется по планово-учетным периодам независимо от принадлежности к той или иной классификационной группе. В рамках каждого планово-учетного периода сортируются в порядке уменьшения длительности их производственных циклов. Затем каждой партии присваивается свой порядковый номер: от 1 до 5, если планово-учетный период – неделя; от 1 до 7, если планово-учетный период – декада.

Выпуск партии с номером один должен планироваться в первый день рассматриваемого планово-учетного периода, а с номером два – во второй и т.д.

Таким образом, предлагаемая экономико-математическая модель и метод построения календарного плана сборочного процесса учитывает все основные факторы функционирования производства и способствует достижению (выполнению) основных технико-экономических показателей деятельности подразделения, таких как:

выполнение обязательств по выпуску продукции по установленной номенклатуре, в необходимом объеме и в определенный срок;

рост производительности труда, сохранение запланированного уровня качества за счет обеспечения равномерности производства и снижения себестоимости продукции;

уменьшение потребности в оборотных средствах, за счет оптимизации незавершенного производства и соблюдения ритмичного выпуска.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бражников М.А. Анализ влияния величины допустимых отклонений от равномерности на оценочные показатели календарных планов сборочного производства. // Организатор производства. .2002. №1. С.46-51.
2. Бражников М.А. Совершенствование методов оперативного планирования. / Проблеми праці, економіки та моделювання: Збірник наукових праць. Частина 1. Хмельницький: НВП Евріка. ТОВ, 1998. С.25-27.