

УДК 656.13:658

С.В. ГРИШКО, А.В. ЕФРЕМЕНКО

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛОГИСТИКИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Исследовано решение объемно-размерной проблемы в промышленном производстве на базе МРП-технологии. Экономическая суть задания определена как обеспечение непрерывности производственного процесса при снижении расходов на организацию выпуска. В результате предлагается определять расчетные параметры производственного графика на основе выбора той технологии организации выпуска, которая демонстрирует минимальные расходы. Это позволит предприятию моделировать разные варианты потоков незавершенного производства, вычислять расходы, связанные с организацией каждого варианта, и осуществлять выбор по критерию минимума затрат.

Ключевые слова: *материальный поток, производственная логистика, производственный график, EОQ-модель, техника РРВ, техника "Партия за партией", МРП-система.*

Введение

Современное промышленное производство – это сложный механизм, который к тому же работает в непростых условиях. В процессе развития научно-технического прогресса, формирования рынка покупателя, изменения мотивации потребителей и заострения конкуренции растет динамичность рыночной среды. В то же время, стремясь сохранить преимущества массового производства, но подчиняясь тенденции индивидуализации, предприниматели убеждаются в необходимости организации производства по типу гибких производственных систем, которые базируются на оптимизации материальных потоков.

Организация производства давно является объектом изучения многих

научных направлений, на данный момент уже разработан мощный аппарат для решения теоретических и практических проблем организации производства [1]. Но постоянные изменения окружающей среды создают новые условия функционирования, а следовательно – и новые проблемы организации производства. Актуальность управления материальными потоками в производстве обуславливается тремя моментами:

- существенной ролью материальных ресурсов в производственном процессе промышленного предприятия,
- сложностью управления движением материальных ресурсов в пространстве и времени,
- современными тенденциями организации производства.

Потоки создаются движением ресурсов во времени и пространстве. Материальные потоки обеспечивают производство потребительских стоимостей через превращение предметов труда в готовый продукт. На своем пути от первичного источника сырья к конечному потребителю материальный поток проходит ряд производственных звеньев. Управление материальным потоком на этом этапе имеет свою специфику и носит название производственной логистики [2]. Производственная логистика является более молодым направлением научных исследований по сравнению с организацией производства, однако и в этой области наработан свой инструментарий решения проблем управления материальными потоками в производстве [3].

Системы логистического управления материальными потоками начали бурно развиваться и активно внедряться в практику только в 90-е годы 20-го столетия, несмотря на то, что сами методы были разработаны еще в 70-е годы. Это объясняется большой трудоемкостью расчетов, которая могла быть снижена только при использовании вычислительной техники. Именно компьютеризация стала толчком к появлению логистических технологий. Естественно, что за этот период было создано множество программных продуктов, которые осуществляют автоматизацию управления материальными потоками предприятия.

Сам термин "логистическая технология" возник недавно при превращении некоторых мероприятий, методов, процедур и процессов принятия решений в логистике в стандартные алгоритмы. Эта стандартизация уже

оформлена юридически, на модули MRP I, MRP II существуют международные стандарты ISO.

Возможности, которые предоставляются рынком программных продуктов в области управления материальными потоками, огромны. Что касается программных продуктов зарубежных фирм-изготовителей, то рассматривать их использование на отечественном рынке можно лишь в тех случаях, когда покупателем является крупное предприятие или объединение с большими масштабами деятельности, иностранными инвестициями и выходом на зарубежный рынок. Это объясняется, во-первых, дороговизной западных прикладных программных продуктов для отечественного рынка, во-вторых тем, что они выполнены для бизнеса, который работает по западным нормативным документам.

За последние годы и отечественный рынок программных продуктов наполнился логистическими предложениями. Среди них можно выделить такие фирмы-изготовители, как "Парус", "Интеллект-Сервис", "Oracle" и т.д. Нужно отметить, что предлагаемые продукты имеют обширный функционал – все они реализуют базовый перечень функций, а набор дополнительных варьируется. Но для многих украинских предприятий внедрение полнофункциональной логистической технологии является слишком сложным из-за дороговизны и необходимости упорядочивать бизнес-процессы, из-за долгого и сложного внедрения.

Поэтому адаптация отдельных методов логистической технологии к деятельности украинских предприятий является актуальной задачей.

1. Постановка задачи

Цель производственной логистики состоит в точной синхронизации процесса производства и логистических операций во взаимосвязанных подразделениях. Логистическая концепция организации производства базируется на таких принципах:

- отказ от избыточных запасов,
- сокращение времени на выполнение отдельных операций,
- отказ от изготовления серий деталей, на которые нет заказа,
- устранение простоев оборудования,
- обязательное устранение дефицита ресурсов.

Для организации непрерывного потока запасов промышленного производства важно, чтобы детали и узлы переходили из цеха в цех своевременно и с минимальными расходами. Запасы в промышленном производстве характеризуются зависимым спросом, т.е. спрос на детали и комплектующие зависит от спроса на другое изделие, а связи между ними постоянны и могут быть четко определены. Методы управления зависимым спросом в промышленной сфере называют "Планированием потребности в материалах, деталях и узлах" – МРП (от англ. MRP – Material Requirement Planning). Для использования моделей зависимых запасов необходимо составление следующих базовых документов:

- производственный план – это документ, который отражает ожидаемый за период результат производства,
- производственный график – это документ, в котором указано, какой элемент, в каком количестве и в какие сроки должен быть изготовлен,
- спецификация – это ведомость материалов, где указано, какие ресурсы и в каком объеме нужны для создания единицы конечного продукта.

На основе этих документов составляется план выпуска для каждого цеха, он называется планом полной потребности. Полная потребность – это количество ресурса, которое необходимо изготовить до указанного времени в данном цехе.

Проблема заключается в том, что запланированный объем выпуска можно изготовить разными партиями. Партия – это число единиц, производимых в одном технологическом цикле. Если выпуск проводится партией, которая больше, чем полная потребность, то возникают заделы, то есть запасы в производстве. Если возникают такие запасы, производству нужно обеспечивать не всю полную потребность, а только недостающую часть во избежание лишних запасов. Чистая потребность – это количество ресурса, которое необходимо изготовить с учетом уже имеющихся заделов.

Таким образом, задача управления материальным потоком на стадии производства состоит в том, чтобы определить оптимальный размер партии выпуска ресурса на основе заданных объемов спроса на него. В рамках МРП-планирования это задание называется решением объемно-размерной проблемы. В качестве критерия выбора принимаются минимальные совокупные расходы на организацию выпуска. Такие расходы

состоят из двух элементов: расходы на хранение запасов в производстве, расходы на переналадку.

Расходы на хранение определяют, исходя из стоимости хранения единицы запаса в сутки, времени его хранения и среднего уровня запасов:

$$P_x = r_x \cdot t_{xp} \cdot \bar{Z}, \quad (1)$$

где P_x – расходы на хранение запасов за весь период, грн,

r_x – стоимость хранения единицы запаса в сутки, грн/шт в сутки,

t_{xp} – время нахождения ресурса в запасе на хранении,

\bar{Z} – средний уровень запаса за период, шт.

Расходы на переналадку – это расходы на подготовку к изготовлению партии продукции. Они включают настройку оборудования (например, выбор режима, техническое обслуживание), подачу материалов и инструмента к рабочему месту и т.д. Расходы на переналадку определяются так:

$$P_p = r_p \cdot K_p, \quad (2)$$

где P_p – суммарные расходы на переналадку за весь период, грн,

r_p – стоимость одной переналадки, грн/переналадку,

K_p – количество переналадок в течение периода.

Содержательная постановка задачи состоит в том, чтобы определить такие размеры партии, которые обеспечивают выполнение плана с минимальными суммарными расходами на организацию выпуска. Тогда критерий выбора вида потока при заданном объеме выпуска таков:

$$P_o = P_x + P_p \rightarrow \min, \quad (3)$$

где P_o – совокупные расходы на организацию выпуска.

Сложность решения данной задачи заключается в том, что при увеличении размера партии наблюдаются следующие тенденции:

- расходы переналадки уменьшаются из-за снижения числа партий,
- расходы хранения растут, поскольку изделий выпускается больше, чем чистая потребность.

Для решения данного задания практика МРП-планирования предлагает три альтернативных варианта определения размера партии:

- метод "партия за партией",
- метод на основе EOQ-модели,
- метод РРВ.

Конечная информация, которую получит пользователь при проведении расчетов по предлагаемой модели, является недельным (суточным или часовым) производственным графиком на данный вид ресурса. В нем на каждый промежуток времени в периоде должны быть отражены значения таких параметров:

- полная потребность,
- величина запаса ресурса,
- чистая потребность,
- объем ресурса, производство которого начинается в данный момент,
- объем ресурса, выпуск которого завершается в данный момент.

Решение указанной задачи происходит часто и регулярно во время тактического (оперативного) планирования производства, как правило – ежемесячно, хотя данная задача может решаться и чаще в зависимости от особенностей производственного процесса.

2 Моделирование материальных потоков в производстве

2.1 Моделирование потоков техникой "партия за партией"

Начальными данными для составления производственного графика является полная потребность по неделям, а также период изготовления изделия. Техника "партия за партией" предполагает, что:

- цех работает без заделов, изготавливая столько изделий, сколько нужно согласно плану;
- на первую неделю заранее должен быть создан задел (переходный запас) в таком количестве, которое необходимо в первую неделю.

Математически это отражается в формулах:

$$Z_1 = ПП_1, \quad (4)$$

$$(Z_2, \dots, Z_n) = 0, \quad (5)$$

где Z_1 – величина запаса на первую неделю (переходный запас);

$(Z_2 \dots Z_n)$ – величина запаса на вторую и последующие n недель;

n – число недель в периоде;

$ПП_1$ – полная потребность на первый период.

Принципы составления производственного графика согласно технике "партия за партией" таковы:

- из данных производственного плана определяется, сколько ресурсов должно быть в наличии на каждую неделю (то есть полная потребность),
- поскольку нет задела, определяется, когда нужно начать производство данной партии, чтобы закончить производство в указанное время.

Для этого рассчитываются следующие параметры:

$$i_H = i_3 - T; \quad (6)$$

$$H_i = O_{i+T}; \quad (7)$$

$$O_i = ПП_i; \quad (8)$$

$$ЧП_i = ПП_i - З_i, \quad (9)$$

где i_H – номер недели, когда необходимо начинать выпуск данной партии;

i_3 – номер недели, когда нужно завершить производство партии;

T – период времени (количество недель) на производство ресурса;

H_i – размер партии, выпуск которой нужно начать на i -й неделе;

O_i, O_{i+T} – величина партии, изготовление которой необходимо завершить, соответственно на i -й неделе и неделе ($i+T$);

$ЧП_i$ – чистая потребность в ресурсе на i -й неделе;

$ПП_i$ – полная потребность в ресурсе на i -й неделе;

$З_i$ – величина заделов на i -й неделе.

Поскольку для первой недели выполняется равенство (4), чистая потребность на первую неделю равна нулю ($ЧП_1=0$). Для следующих периодов выполняется условие (5), потому для техники "партия за партией" выражение (9) будет трансформировано таким образом:

$$ЧП_i = ПП_i \quad (i = 2, \dots, n). \quad (10)$$

При таких условиях производственный график будет заполнен так, как показано в табл. 1, если период производства изделия равен 1 неделе.

Для вычисления показателя затрат, который минимизируется по критерию (3), определим, чему равны расходы на хранение и переналадку.

В технике "партия за партией" затраты на хранение равны нулю, поскольку запас первой недели хранился в другом периоде, а создание дру-

гих запасов не предусматривается. Расходы переналадки будут зависеть от их числа.

Таблица 1

Производственный график в условиях техники "партия за партией"
(период изготовления изделия Т равен 1 неделе)

Показатели, шт	Обозначение	Недели (и = 1,n)					
		1	2	3	...	n-1	n
Полная потребность	ПП _i	ПП1	ПП2	ПП3	...	ПП(n-1)	ППn
Запас	Z _i	ПП1	0	0	...	0	0
Чистая потребность	ЧП _i	ПП1	ПП2	ПП3	...	ПП(n-1)	ППn
Окончание выпуска	O _i	0	ПП2	ПП3	...	ПП(n-1)	ППn
Начало выпуска	N _i	ПП2	ПП3	ПП4	...	ППn	0

Переналадка происходит с каждой новой партией товара. Поэтому число переналадок равно:

$$K_p = m, \quad (11)$$

где K_p – количество переналадок,

m – количество партий за период.

Таким образом, техника "партия за партией" работает по принципу ЛТ (от англ. "Just in time" – точно в срок), без заделов. Поэтому критерий (3) будет определяться исключительно за расходами на переналадку.

2.2 Моделирование потоков на базе EOQ-модели

Модель экономического запаса (EOQ-модель), которая базируется на формуле Вильсона, обычно используется для моделирования потоков независимых запасов. Но в данном случае она позволяет усреднить полную потребность на расстоянии рассматриваемого горизонта планирования. Размер партии вычисляется исходя из оптимального соотношения расходов переналадки и хранения. В данной технике планирования величина партии, рассчитанная по формуле Вильсона, принимается как единственно возможный вариант. Поэтому выпуск организуют так, чтобы данной партии хватало на реализацию полной потребности.

В терминах МРП-планирования формула Вильсона выглядит так:

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n \text{ПП}_i \cdot p_{\text{п}}}{p_{\text{х}}}}, \quad (12)$$

где Q – размер партии выпуска;

$\sum_{i=1}^n \text{ПП}_i$ – суммарная полная потребность за весь период n.

Для построения производственного графика необходимо предпринять такие шаги. На первом этапе определяется задел как избыток, который остался после обеспечения полной потребности:

$$З_i = O_{i-1} - \text{ПП}_{i-1} + З_{i-1}, \quad (13)$$

где $З_i, З_{i-1}$ – величина заделов соответственно на i-й неделе и предыдущей (i-1)-й неделе,

O_{i-1} – величина партии, изготовление которой необходимо завершить на предыдущей (i-1)-й неделе,

ПП_{i-1} – полная потребность в ресурсе на предыдущей (i-1) неделе.

После этого происходит проверка на достаточность задела для обеспечения полной потребности i-й недели:

$$\text{ПП}_i \succ З_i. \quad (14)$$

Если это условие выполняется, то необходимо пополнение ресурса, следовательно, чистую потребность определяют по формуле (9). Наличие чистой потребности означает, что на этой неделе должно быть закончено производство партии товара. Тогда принимается значение $O_i = Q$.

И наконец, если окончание производства должно состояться на i-й неделе, то остается определить, на какой неделе нужно начать производство этой партии товара по формуле (6).

Если условие (14) не выполняется, то это означает, что запасы в производстве большие, заделов достаточно для обеспечения полной потребности на данную неделю и $\text{ЧП}_i = 0$.

Дальше осуществляется переход на следующий период планирования, который рассчитывается по аналогичной схеме до тех пор, пока производственный график не будет составлен полностью.

Во время расчета показателя совокупных расходов на организацию выпуска, в отличие от предыдущего метода, необходимо определить и расходы на переналадку, и расходы на хранение. Суммарные расходы на переналадку определяются по формуле (2), причем число переналадок определяется исходя из того, что вся полная потребность разбивается на определенное количество равных партий:

$$K_{\Pi} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{ПП}_i}{Q}. \quad (15)$$

Полученные результаты следует округлять в большую сторону. Дробное число означает, что не все изделия из последней партии понадобятся в рамках данного периода, и останется задел на следующий период.

Расходы на хранение определяют по формуле (1), причем средний уровень запаса вычисляется исходя из допущений EOQ-модели: максимальный запас равен Q , минимальный, – нулю, а средний запас равен

$$\bar{z} = \frac{Q}{2}, \quad (16)$$

где \bar{z} – средний уровень запаса за период (квартал), шт.;

Q – размер партии выпуска.

В результате расчетов составляется производственный график выпуска изделий, экономической характеристикой которого являются суммарные затраты на организацию выпуска.

2.3 Моделирование потоков на базе метода РРВ

Метод РРВ (от англ. Part Period Balancing – балансировка по периодам) является техникой последовательного балансирования по отдельным периодам. Это более динамический подход к выравниванию расходов переналадки и хранения. Последовательное балансирование по периодам базируется на понятии об экономичном периоде (ЕРР), который измеряется отношением расходов на переналадку к расходам на хранение:

$$\text{ЕРР} = \frac{p_{\Pi}}{p_{\text{Х}}}, \quad (17)$$

где ЕРР – показатель экономичного периода, шт.

Экономическое содержание показателя ЕРР: он отражает количество ресурса, хранение которого требует столько же расходов, сколько одна переналадка. Технология РРВ будет стремиться к некоторому увеличению потребности так, чтобы число отдельных периодов аппроксимировало ЕРР в пределах полученного отношения.

Расчет по методу РРВ начинают с последовательного объединения периодов, в результате чего получается новый объединенный период:

$$\text{ОП} = \sum_{i=1}^k i, \quad (18)$$

где ОП – новый объединенный период времени (первый цикл расчетов – две недели, второй цикл – три и т.д.);

k – номер последнего из объединенных периодов.

Далее – расчет полной потребности за объединенный период:

$$\text{ППоп} = \sum_{i=1}^{\text{оп}} \text{ПП}_i, \quad (19)$$

где ППоп – совокупная полная потребность за объединенный период.

Когда этот показатель получен, он сравнивается с ЕРР по критерию:

$$\text{ППоп} < \text{ЕРР}. \quad (20)$$

Если это условие удовлетворяется, продолжают объединение периодов дальше. То есть добавляется новая неделя и рассчитывается новая полная потребность. Как только условие (20) не выполняется, проводят сравнение двух ближайших к ЕРР значений показателя ППоп. Выбрав то из них, которое ближе к ЕРР, оставляют период, который был последним в показателе "ОП", – это и будет неделя, когда необходимо выпускать новую партию изделий.

Размер партии определяется по формуле (19) как совокупная полная потребность. Расходы на хранение и переналадку – по формулам (1) и (2).

После проведения расчетов по всем трем методам выбирается вариант выпуска продукции в соответствии с критерием минимизации затрат (3).

Выводы

Главным результатом исследования является то, что решение объемно-размерной проблемы предлагается осуществлять на основе выбора той

технологии организации выпуска, которая демонстрирует минимальные затраты. Это позволяет принимать управленческие решения и организовывать материальные потоки во время производственного процесса, когда запасы принимают форму незавершенного производства.

Внедрение предлагаемой модели предоставляет такие возможности промышленному предприятию:

- моделирование разных вариантов материальных потоков в производстве, среди которых можно выбрать лучший,
- получение стоимостной информации по каждому из рассчитанных вариантов потока,
- составление наиболее экономичных производственных графиков по каждому цеху.

Поскольку принятие решений о размерах партии выпуска и производственном расписании принимается регулярно и часто в рамках оперативного планирования, то есть смысл автоматизировать расчет (например, с помощью Excel), что сделает применение модели удобным и быстрым.

Последующее развитие и автоматизация разработанной модели управления материальными потоками предусматривает наращивание и других МРП-функций: автоматизацию расчетов как на предшествующем этапе (расчет полной потребности), так и на последующих этапах – составление расписания производства и плана закупок ресурсов.

Литература

1. *Гриньова В.М. Організація виробництва: підручник / В.М. Гриньова, М.М. Салун. – К.: Знання, 2009. – 582 с.*
2. *Логистика: учебник / Под ред. Б.А. Аникина. – 2-ое изд. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 352 с.*
3. *Козловский В.А. Логистический менеджмент: учебное пособие / В.А. Козловский, Э.А. Козловская, Н.Т. Савруков. – 2-ое изд. – СПб.: Лань, 2002. – 272 с.*

Рецензент: д-р экон. наук, профессор, профессор кафедры экономической кибернетики **Ю.Д. Костин**, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЧОЇ ЛОГІСТИКИ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

С.В. Гришко, Г.В. Єфременко

Досліджено вирішення об'ємно-розмірної проблеми в промисловому виробництві на базі МРП-технології. Економічна суть завдання визначена як забезпечення безперервності виробничого процесу при зниженні витрат на організацію випуску. В результаті пропонується визначати розрахункові параметри виробничого графіка на основі вибору тієї технології організації випуску, яка демонструє мінімальні витрати. Даний підхід дозволить підприємству моделювати різні варіанти потоків незавершеного виробництва, обчислювати витрати, пов'язані з організацією кожного варіанту і здійснювати вибір за критерієм мінімізації витрат.

Ключові слова: матеріальний потік, виробнича логістика, виробничий графік, EOQ-модель, техніка РРВ, техніка "Партія за партією", МРП-система.

MODEL OF PROCESSES OF PRODUCTION LOGISTIC ON INDUSTRIAL ENTERPRISES

S.V. Grishko, A.V. Efremenko

The decision of by volume-of-size problem is investigational in an industrial production on the base of MRP-technology. Economic essence of task is defined so. To secure the continuous of production process at the decline of expenses on organization of issue. As a result it is suggested to determine the calculation parameters of the production graph on the basis of choice of that technology of organization of issue, which demonstrates minimum expenses. This approach will allow an enterprise to design the different variants of streams of the inventory, calculate expenses for every variant and carry out a choice on the criterion of minimization of expenses.

Keywords: material stream, production logistic, production graph, EOQ-model, technique РРВ, technique "Party after party", MRP-system

Гришко Светлана Валерьевна – канд. екон. наук, доцент, доцент кафедри економічної кібернетики Харківського національного університета радіоелектроніки, Харків, Україна, e-mail: kafedra_eim@kture.kharkov.ua.

Єфременко Анна Вікторівна – магістрант кафедри економічної кібернетики Харківського національного університета радіоелектроніки, Харків, Україна, e-mail: kafedra_eim@kture.kharkov.ua.