

В.Н. Юрьев

**МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ
МАТЕРИАЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНА ПОЗАКАЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

V.N. Yuriev

**MULTI-CRITERIA MODEL OF MATERIAL REQUIREMENTS
FOR THE OPERATING SCHEDULE OF JOB PRODUCTION**

Рассматривается многокритериальная модель оптимизации обеспечения материалами, комплектующими изделиями оперативного плана производства. Модель учитывает следующую специфику промышленного предприятия: позаказное производство при стохастическом спросе на продукцию, высокую материалоемкость изделий, наличие многих переделов и длительный цикл изготовления. Также предполагается единая служба управления производством и материальными ресурсами. Цель оптимизации производственного процесса заключается в обеспечении минимизации затрат на приобретение и хранение материалов и комплектующих изделий. Минимизация затрат при закупках достигается путем получения оптовых скидок у поставщиков, а минимизация затрат на хранение – за счет минимизации времени между моментом поставки и моментом требования необходимой номенклатуры в производстве. Предлагаемый инструмент позволяет осуществлять переход от методики «закупка под заказ» к методике «обеспечение оперативного плана производства», которая позволяет снизить издержки по содержанию запасов, а также сократить время простоя производства. Данная методика обладает еще одним большим преимуществом – закупка достаточного (не избыточного) количества материалов и комплектующих поддерживает показатель оборачиваемости оборотных средств на высоком уровне. При построении двукритериальной модели использован принцип универсальности механизмов планирования, учета и контроля страховых запасов по каждой номенклатуре материалов с учетом оперативных графиков запуска изделий в производство. Предлагаемая экономико-математическая модель развивает методологию страховых норм запаса, заключающуюся в том, чтобы рассчитать вероятное превышение объема расхода от запланированного уровня и определить необходимый минимальный запас на каждый момент времени.

ЗАПАСЫ; МАТЕРИАЛЫ; КОМПЛЕКТУЮЩИЕ ИЗДЕЛИЯ; ЗАКАЗЫ; ОПЕРАТИВНЫЙ ПЛАН ПРОИЗВОДСТВА; ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ.

This paper presents a multi-criteria optimization model for flows of materials and component products of an operating production schedule. The model considers the following industrial production situation: a job manufacturing operation with high stochastic product demand, high materials-output ratio, many technological conversion stages and prolonged manufacturing cycle. The main goal of optimizing the manufacturing process is in minimizing the costs of purchasing and storing the material and component. Getting quantity discounts helps to minimize purchasing costs, and minimization of storage costs is achieved by minimizing the time between the shipping date and the date when the purchased material or component products is required in production. The proposed model allows to make a transition from the methodology of purchasing under a specific order to the methodology of requirements for operating production schedule, which leads to keeping down the costs of inventory storage and cutting the wait time of production. Moreover, a significant advantage of this methodology is due to the fact that purchasing an optimum size of materials and component products helps maintain working capital turnover at high level. The universality principle has been applied in developing this two-criteria model. The universality principle considers planning schemes, reserve stock control and accounting within every inventory item with consideration for the operating schedule of product launching. The proposed economic-mathematical model develops the methodology of reserve stock rate, which consists in calculating the verisimilar overrun in planning material consumption and determination of an urgent minimum inventory at a point in time.

ORDERS; INVENTORY; MATERIAL; COMPONENT PRODUCTS; OPERATING PRODUCTION SCHEDULE; ECONOMIC-MATHEMATICAL MODEL.

Введение. Эффективность использования производственных запасов как значительной части оборотного капитала является одним из основных условий успешной деятельности предприятий, особенно выпускающих материалоёмкую продукцию.

В связи с развитием информационных систем (ИС) и информационных технологий (ИТ) возникла возможность перехода от традиционной модели управления запасами – закупка материалов и комплектующих изделий на основании спецификаций и технологических карт изготавливаемой по заказам продукции – к модели обеспечения оперативного плана позаказного производства [13]. Переход к такой модели автоматизированного управления запасами обуславливается желанием оптимизировать процесс материального обеспечения производства, что позволит повысить оборачиваемость складских запасов и снизить производственную себестоимость изготавливаемой продукции посредством снижения затрат на хранение и приобретение материалов и комплектующих изделий.

Функционирование предприятия при высоком уровне запасов не эффективно [4, 15]. В результате проведенного анализа выявлено, что потребность в расширении функционала модуля материального снабжения в составе ИС оперативного управления производством достаточно велика.

Цель исследования – построение многокритериальной модели формирования заказов поставщикам материалов и комплектующих изделий для обеспечения оперативного плана производства, которая позволяет перейти к новой модели управления материальными ресурсами.

Методика и результаты исследования. На большинстве предприятий действует следующая модель управления запасами [10, 11]. После принятия решения о запуске заказа в производство и определения планового срока изготовления заказа служба управления ресурсами одновременно оформляет заказы поставщикам на материалы и комплектующие, рассчитанные на основе конструкторской и технологической документации. Причем, формирование каждого заказа выполняется в составе ИС автоматически. Несомненно, что при оформлении заказа количество опреде-

ленной номенклатуры может быть увеличено непосредственно менеджером по закупке в связи с тем, что, к примеру, стало известно о скором запуске в производство аналогичного заказа. Очевидно, эти расчеты носят достаточно субъективный характер.

Такая схема управления закупками обусловлена, как правило, тем, что существующие на предприятиях ИС не формируют оперативный план производства (ОПП). В системе не заложена процедура расчета операционной потребности в материалах и комплектующих. Поэтому детальную информацию о материальных потребностях ОПП службе управления ресурсами обычно неоткуда получить.

При внедрении MES- и ERP-систем в части материального обеспечения производства стал возможен переход от модели «закупка под заказ» к модели «обеспечение ОПП» [3, 14]. Такая модель по сравнению с моделью «закупка под заказ» обладает существенными преимуществами, а именно:

- снижением издержек по содержанию и хранению запасов;
- снижением затрат на материалы по мере накопления опыта работы с постоянными поставщиками;
- сокращением времени простоя технологического оборудования.

Кроме того, данная модель обладает дополнительным преимуществом – закупка достаточного (не избыточного) количества материалов и комплектующих изделий позволяет поддерживать показатель оборачиваемости оборотных средств на высоком уровне. При такой модели управления запасами не происходит «замораживания» денежных средств, следовательно, повышаются показатели ликвидности предприятия [1, 9, 10]. В результате достигается главная цель – снижение себестоимости изготавливаемой продукции, что влечет за собой повышение маржинальности бизнеса.

Подготовительные этапы для построения модели формирования заказов поставщикам на основе информации ОПП. Формирование заказов поставщикам начинается с расчета общей потребности в материалах и комплектующих. В основу разработки алгоритма расчета сводной потребности заложен типовой механизм стандарта MRP [6, 7].

Таблица 1

Входная информация для алгоритма расчета сводной потребности

Код	Количество	Дата потребности	Критический путь	Код заказа
Код номенклатуры	Расчитанное количество потребности	Дата согласно ОПП	Булева переменная	Код производственного заказа

Сформированный в системе MES оперативный план производства хранит информацию не только о сроке начала и окончания технологической операции, но и другую дополнительную информацию:

- о рабочем центре, на котором данная операция будет выполняться;
- лежит ли технологическая операция на критическом пути или нет;
- о заказе, для выполнения которого производится данная операция;
- о выпускаемом изделии/полуфабрикате;
- о потребности технологической операции во входящих ресурсах (при этом ресурсы могут быть не только материальными, но и трудовыми или, например, это может быть обслуживающий рабочий центр или оснастка).

Следует рассматривать два типа сроков потребности в материале (комплектующем изделии):

- равный сроку выполнения технологической операции согласно оперативному плану производства;
- равный сроку начала производства полуфабриката, в изготовлении которого он используется согласно оперативному плану производства.

В обоих случаях источником информации является ОПП, сформированный в системе MES, однако условия использования этих подходов различаются. Первый подход к определению срока потребности применим в случаях, когда все технологические операции производятся согласно ОПП (например, механизированные производства, использование станков с ЧПУ), а отклонения от плана незначительны. Второй подход больше применим к производству с отсутствием длительных технологических операций или же в случае, когда создаются спецификации на полуфабрикаты, а спецификации крупных сборочных единиц состоят из спецификаций более мелких сборок. В таких случаях минимизируется время «пролеживания» материа-

лов, закупленных к началу изготовления полуфабриката/изделия [2, 8]. Выбор подхода является одной из предварительных настроек модуля расчета по модели.

Соответственно входная информация для алгоритма расчета сводной потребности в материалах и комплектующих, поступающая из MES, будет следующей.

1. Наименование номенклатуры (термин «номенклатура» означает закупаемую номенклатурную позицию материала или комплектующего изделия).

2. Количество номенклатуры.

3. Дата потребности (определяется в зависимости от выбранного подхода).

4. Булево значение: да – если операция лежит на критическом пути, нет – если операция не лежит на критическом пути.

5. Код производственного заказа, для которого необходима данная номенклатура.

Таким образом, из регистров MES отбираются данные, представленные в виде таблицы со следующей структурой (см. табл. 1).

Алгоритм расчета сводного количества материалов и комплектующих с учетом дат повторяется для каждой номенклатуры из таблицы, отсортированной следующим образом:

1) сортировка по полю «дата и время потребности»;

2) сортировка по полю «критический путь»; если значение поля – «да», то запись материала перемещается вверх;

3) далее сортировка по полю «код».

После выполнения сортировки алгоритм обрабатывает полученную таблицу сверху вниз.

В части управления запасами целесообразно использовать механизм резервирования, принцип действия которого следующий. Менеджер может зарезервировать некоторое количество определенной номенклатуры под заказ на складе или уже в размещенном заказе поставщику. Здесь именно это зарезервированное количество не может быть списано на другие нужды. Поэтому

под «свободным» количеством, используемым в подготовительном алгоритме, подразумевается остаток номенклатуры на складе или количество, уже размещенное в заказе поставщику и не зарезервированное под другие заказы.

Таким образом, каждой записи номенклатуры из таблицы можно поставить в соответствие общую потребность — ОП (поле «количество» исходной таблицы):

$$ОП = С + З + А + НП ,$$

где C — количество номенклатуры на складе; Z — количество номенклатуры, обеспеченное за счет резервирования в заказах поставщикам; A — количество номенклатуры, обеспеченное за счет аналогов; $НП$ — необеспеченная потребность.

В результате расчетов необеспеченное количество потребности в материалах и комплектующих попадает в файл сводной потребности, структура которого аналогична исходной табл. 1. В нем хранится информация о необеспеченном количестве номенклатуры.

Завершающий этап — редактирование даты потребности. Поскольку между временем поставки и временем отпуска в производство выполняется ряд процессов, требующих времени (оформление транспортных документов, проверка ОТК, оприходование номенклатуры на склад, оформление документов отпуска материалов в производство и т. д.), то в качестве еще одной предварительной настройки необходимо указать временной лаг между этими двумя событиями. Итак, окончательная дата потребности рассчитывается как разница между датой потребности номенклатуры в производстве и значением временного лага.

Полученная информация используется для построения оптимизационной экономико-математической модели (ЭММ) формирования заказов поставщикам.

Предпосылки для формирования ЭММ следующие:

- заказ номенклатуры оформляется на поставщика, указанного в поле «основной поставщик» карточки номенклатуры;
- время доставки номенклатуры берется из соответствующего поля «среднее время доставки» карточки номенклатуры;

- в качестве предварительной настройки алгоритма пользователь в карточках номенклатуры указывает процент брака. Под процентом брака подразумевается процент, на который увеличивается заявленное в заказе количество номенклатуры, в случае поставки номенклатуры, не отвечающей требованиям ОТК. Количество «под брак» оформляется отдельной строкой в заказе в ERP-системе и не резервируется под производственный заказ, в отличие от основной поставки;

- для некоторой номенклатуры указывается размер оптовой скидки при заказе определенного количества. Рассмотрим следующую систему оптовых скидок, определяемую по формуле

$$TC = ZP(1 - [Z / R]S), \quad (1)$$

где TC — стоимость заказа; Z — количество номенклатуры в заказе; P — стоимость единицы номенклатуры; R — пороговое значение количества, за которое предоставляется скидка; S — размер скидки (доля); $[Z/R]$ — целая часть от деления количества номенклатуры в заказе (размера заказа) на пороговое значение.

Данная информация хранится в полях «пороговое значение» и «оптовая скидка» в карточке номенклатуры.

Построение ЭММ формирования заказов поставщикам. ЭММ строится отдельно для каждой номенклатуры из файла сводной потребности. Все позиции номенклатуры обрабатываются последовательно в цикле. Соответственно, из файла сводной потребности согласно сортировке, выполненной при работе алгоритма расчета сводной потребности, делается выборка по необходимому материалу. В результате, на вход цикла подается файл со структурой, аналогичной табл. 1, в котором хранится информация о потребности одной номенклатуры, отсортированной сначала по возрастанию даты потребности, затем по использованию на критическом пути. Количество записей в заданном файле обозначим N . В ЭММ использованы следующие параметры:

a_i, \dots, a_n — количество потребности согласно полю «количество», $i = \overline{1, N}$;

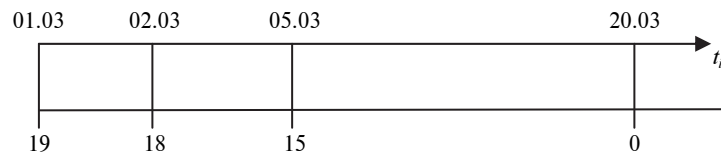


Иллюстрация алгоритма расчета массива переменных $t_{i,\dots,n}$

t_1, \dots, t_n – приведенная дата потребности, $i = \overline{1, N}$. Правило приведения, описанное ниже, необходимо для упрощения записи целевой функции: каждой дате ставится в соответствие натуральное число – последней по таблице дате присваивается значение «0», всем остальным датам ставится в соответствие число, равное количеству дней между обрабатываемой датой и последней датой. Иллюстрация расчетов представлена далее [5];

s_{ij} – «расстояние» между i -й и j -й приведенными датами потребности, рассчитываемое по следующей формуле:

$$\begin{cases} s_{ij} = 0, & i < j; \\ s_{ij} = t_j - t_i, & i \geq j; \\ i, & j = \overline{1, N}; \end{cases}$$

S – значение оптовой скидки из поля «размер оптовой скидки» карточки номенклатуры (доля);

R – пороговое значение количества, за которое предоставляется скидка, из поля «пороговое значение» карточки номенклатуры;

P – цена единицы номенклатуры;

u_{ij} – булево значение (1 – если i -я потребность обеспечивается j -м заказом, $j = \overline{1, N}$, так как минимальное количество заказов равно 1 (заказ обеспечивает сразу всю потребность в номенклатуре), N – случай, когда каждая потребность обеспечивается отдельным заказом.

Целевая функция задачи должна обеспечивать минимизацию затрат на приобретение и хранение номенклатуры. Минимизация затрат на приобретение достигается путем получения оптовых скидок, а минимизация затрат на хранение – за счет минимизации времени между временем поставки и временем требования номенклатуры в производстве. Таким образом, получаем многокритериальную задачу оптимизации.

Целевая функция минимизации затрат на хранение построена на основе минимизации «расстояния» между датой заказа и датой «последней» потребности, обеспеченной данным заказом (именно для этого вводилась переменная «расстояние» s_{ij}). Итак, первая целевая функция имеет вид:

$$f_1(u) = \sum_{j=i}^N \sum_{i>j}^N u_{ij} s_{ij} \rightarrow \min. \quad (2)$$

Поскольку задача оптимизации с одной целевой функцией, описанной выше, имеет единственное решение (каждый заказ обеспечивается отдельным заказом), вводится еще одна целевая функция, которая минимизирует затраты на приобретение номенклатуры посредством оптовых скидок. Поскольку величины S и P можно рассматривать как константы в функции оптимизации, а сама функция зависит только от размера заказа, рассчитываемого по формуле $\sum_{i=1}^N u_{ij} a_i$ и оп-

ределенного порогового значения R_i , то принимая во внимание формулу расчета стоимости заказа с учетом скидки (1), получаем вторую целевую функцию, обеспечивающую минимизацию совокупной стоимости заказа:

$$\sum_{j=1}^N \left[\frac{\sum_{i=1}^N u_{ij} a_i}{R} \right] \rightarrow \max.$$

Кроме этого, в ЭММ необходимо учесть долю брака, закладываемую в расчет размера заказа. Пусть B – средний процент брака поставки (доля). Тогда итоговый размер заказа (TA) должен быть скорректирован на эту долю брака и рассчитываться по следующей формуле:

$$TA = Z(1 + B).$$

Поскольку увеличение размера заказа на процент брака может сказаться на размере

скидки, то этот процент должен быть внесен в целевую функцию.

Таким образом, целевая функция, обеспечивающая минимизацию совокупной стоимости заказов, выглядит следующим образом:

$$f_2(u) = \sum_{j=1}^N \left[\frac{\sum_{i=1}^N u_{ij} a_i (1+B)}{R} \right] \rightarrow \max. \quad (3)$$

Если рассматривать этот критерий оптимизации отдельно от первого критерия, то и тут решение задачи очевидно – обеспечение потребности единым заказом поставщику.

Теперь перейдем к формированию структурных ограничений. В первую очередь, каждая потребность обеспечивается только одним заказом:

$$\sum_{j=1}^N u_{ij} = 1.$$

Кроме того, необходимо наложить ограничения на u_{ij} , где $i < j$, которое вызвано самой природой переменных:

$$u_{ij} = 0, \quad i < j.$$

Также необходимо наложить еще одно ограничение:

$$u_{ij} \geq u_{i+1,j}.$$

Обоснование данного ограничения следующее: считается, что заказ может обеспечивать только несколько последовательных потребностей. Это позволяет минимизировать совокупное время между заказом и последней обеспечиваемой им потребностью.

Таким образом, ЭММ формирования заказов поставщикам на основе календарной потребности в определенной номенклатуре выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} f_1(u) = \sum_{j=1}^N \sum_{i>j}^N u_{ij} s_{ij} \rightarrow \min; \\ f_2(u) = \sum_{j=1}^N \left[\frac{\sum_{i=1}^N u_{ij} a_i (1+B)}{R} \right] \rightarrow \max; \\ \sum_{j=1}^N u_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, N}; \\ u_{ij} \geq u_{i+1,j}, \quad u_{ij} = \{0, 1\}; \\ u_{i1} = 1, \quad u_{ij} = 0, \quad i < j. \end{cases} \quad (4)$$

Существует ряд методов решения многокритериальных задач линейной оптимизации [12]. В частности, можно применить метод свертки критериев с использованием нормировочных коэффициентов, поскольку первый критерий представляет собой время, а второй – количество номенклатуры.

Весовые коэффициенты для критериев вводятся пользователем вручную, а нормировочный коэффициент p рассчитывается по формуле

$$p_k = 1 / (\bar{f}_k - \underline{f}_k),$$

где \bar{f}_k и \underline{f}_k максимальное и минимальное значения k -го критерия соответственно.

Применяя данную формулу для построенных критериев, получаем:

– для критерия минимизации затрат на хранение:

$$p_1 = 1 / \sum_{i=1}^N u_{i1} s_{i1};$$

– для критерия минимизации затрат на приобретение:

$$p_2 = 1 / \left(\sum_{i=1}^N \left[\frac{a_i (1+B)}{R} \right] - \left[\frac{\sum_{i=1}^N a_i (1+B)}{R} \right] \right).$$

Следовательно, свертка критериев (2) и (3) с использованием нормировочных коэффициентов будет представлена следующим образом:

$$\begin{aligned} F(u) = & -\alpha \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i>j}^N u_{ij} s_{ij}}{\sum_{i=1}^N u_{i1} s_{i1}} + \\ & \sum_{j=1}^N \left[\frac{\sum_{i=1}^N u_{ij} a_i (1+B)}{R} \right] \\ & + \beta \frac{\sum_{i=1}^N \left[\frac{a_i (1+B)}{R} \right] - \left[\frac{\sum_{i=1}^N a_i (1+B)}{R} \right]}{\sum_{i=1}^N \left[\frac{a_i (1+B)}{R} \right] - \left[\frac{\sum_{i=1}^N a_i (1+B)}{R} \right]} \rightarrow \max, \end{aligned} \quad (5)$$

где α – весовой коэффициент критерия минимизации затрат на хранение, β – весовой коэффициент критерия минимизации затрат на приобретение, устанавливаемые экспертным путем, при этом $\alpha + \beta = 1$.

В результате решения получаем массив переменных u_{ij} . Интерпретация полученных значений выполняется следующим образом:

1) $u_{ij} = 1$, значит, i -я потребность обеспечивается j -м заказом, $j = \overline{1, N}$, $i = \overline{1, N}$;

2) количество ненулевых значений, т. е. выражение $\sum_{j=1}^N u_{ij}$ равно общему количеству заказов, $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, N}$;

3) очевидно, что дата любого заказа совпадает с датой «первой» потребности, которую он обеспечивает. Поэтому для расчета даты заказа, во-первых, приведенные даты потребности переводятся обратно в дату общепринятого формата (рис. 1), во-вторых, к полученной дате необходимо прибавить средний срок доставки данной номенклатуры;

4) значение выражения $\sum_{i=1}^N u_{ij} a_i (1 + B)$ представляет размер j -го заказа, $j = \overline{1, N}$.

На основе полученных результатов для каждой i -й номенклатуры формируется $\sum_{j=1}^N u_{ij}$ заказов поставщикам. При формировании заказов работает механизм авторезервирования, а именно, номенклатура в заказе размером $\sum_{i=1}^N u_{ij} a_i$ резервируется в соответствующем поле «заказ» файла сводной потребности, а номенклатура в размере $\sum_{i=1}^N u_{ij} a_i B$ не

резервируется. Далее происходит объединение нескольких заказов в один, если у этих заказов совпадают поставщик и дата поступления номенклатуры.

Рассмотрим численный пример. В производство планируется три заказа с кодами 001, 002, 003. Задана следующая таблица потребности в материале «Круг калиброванный ГОСТ 7417–75 d10» (табл. 2). Артикул материала 115442358545. У данной номенклатуры также есть аналог – «Круг калиброванный ГОСТ 7417–75 d12», коэффициент перевода 1:1.

Дата потребности уже уменьшена на величину временного лага между поставкой и отпуском номенклатуры в производство. Согласно алгоритму необходимо отсортировать полученную таблицу. Результат сортировки представлен в табл. 3.

Свободное количество данной номенклатуры на складе – 27, аналога – 4. Также на данную номенклатуру уже оформлены заказы поставщикам. Среди них в трех имеется свободное количество (без резервирования) со следующими датами поставки (табл. 4). Заказы поставщикам на аналог не оформлены.

Следующий этап расчета – формирование сводной потребности в материале. Для иллюстрации работы алгоритма сформируем таблицу (см. табл. 5), в которой указано, каким образом удовлетворяются имеющиеся потребности, а также сформируем входные данные для выполнения алгоритма формирования заказов поставщикам.

Таблица 2

Потребность в материале на основе данных ОПП

Код	Количество	Дата потребности	Критический путь	Код заказа
115442358545	2	22.02.2015	Да	001
115442358545	3	20.02.2015	Нет	002
115442358545	18	03.02.2015	Да	001
115442358545	6	13.02.2015	Нет	001
115442358545	8	27.02.2015	Нет	003
115442358545	22	14.02.2015	Да	001
115442358545	5	03.02.2015	Нет	002
115442358545	17	13.02.2015	Нет	003
115442358545	21	23.02.2015	Нет	001
115442358545	10	01.02.2015	Нет	001
115442358545	10	19.02.2015	Нет	001

Таблица 3

Таблица потребности в материале после сортировки

Код	Количество	Дата потребности	Критический путь	Код заказа
115442358545	10	01.02.2015	Нет	001
115442358545	5	03.02.2015	Нет	002
115442358545	18	03.02.2015	Да	001
115442358545	6	13.02.2015	Нет	001
115442358545	17	13.02.2015	Нет	003
115442358545	22	14.02.2015	Да	001
115442358545	10	19.02.2015	Нет	001
115442358545	3	20.02.2015	Нет	002
115442358545	2	22.02.2015	Да	001
115442358545	21	23.02.2015	Нет	001
115442358545	8	27.02.2015	Нет	003

Таблица 4

Размещение номенклатуры в заказах поставщикам (свободное количество)

Номер заказа	«Свободное» поле	Дата поставки
000010323	8	30.01.2015
000010342	15	13.02.2015
000010356	3	20.02.2015

В результате работы алгоритма все свободное количество номенклатуры на складе и в заказах поставщикам резервируется под соответствующие заказы (табл. 4). Таким образом, сформировался файл сводной необеспеченной потребности (табл. 6), которую необходимо обеспечить. Оказалось, что заказ 002 полностью обеспечен данной номенклатурой, а заказы 001 и 003 частично не обеспечены.

Завершающий этап – формирование заказов поставщикам. Для этого необходимы дополнительные входные данные, а именно: средний срок доставки – пять календарных дней, пороговое значение скидки – 10, размер скидки – 10 %, цена за единицу – 250 р. Коэффициенты значимости: $\alpha = 0,2$,

$\beta = 0,8$. Процент брака – 0 %. Вектор переменных t сформируем на основе табл. 6 и алгоритма, иллюстрация которого представлена на рис. 1. Таким образом, получим вектор $t = (13, 9, 8, 6, 1, 0)$. Затем необходимо найти значения переменных s_{ij} . Результаты расчетов представлены в виде табл. 7.

Полученные данные подставляются в ЭММ с целевой функцией (5).

В результате решения модели (с использованием, например, надстройки «поиск решения» MS Excel) получается следующая матрица u_{ij} (табл. 8).

Интерпретация полученных результатов следующая – для обеспечения потребности оперативного плана производства в номенклатуре «круг калиброванный ГОСТ 7417–75 d10» следует оформить пять заказов. Размер, дата поставки, сумма заказа и отметка резервирования под производственный заказ представлены в табл. 9.

Суммарная стоимость заказов – 14 450 р., что на 2500 р. меньше, по сравнению с затратами в существующей системе управления материально-технического обеспечения производства.

Таблица 5

Иллюстрация работы алгоритма расчета сводной потребности

Количество потребности	Дата потребности	Покрытие потребности	Количество покрытия	Остаток потребности
10	01.02.2015	Склад	10	0
5	03.02.2015	Склад	5	0
18	03.02.2015	Склад + заказ поставщику	12 + 6	0
6	13.02.2015	Заказы поставщику	2 + 4	0
17	13.02.2015	Заказ поставщику	11	6
22	14.02.2015	Аналог	4	18
10	19.02.2015	–	–	10
3	20.02.2015	Заказ поставщику	3	0
2	22.02.2015	–	–	2
21	23.02.2015	–	–	21
8	27.02.2015	–	–	8

Таблица 6

Файл необеспеченной потребности

Количество необеспеченной потребности	Дата	Заказ
6	13.02.2015	003
18	14.02.2015	001
10	19.02.2015	001
2	22.02.2015	001
21	23.02.2015	001
8	27.02.2015	003

Таблица 7

Рассчитанные значения переменных s_{ij}

i/j	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	4	0	0	0	0	0
3	5	1	0	0	0	0
4	7	3	2	0	0	0
5	12	8	7	5	0	0
6	13	9	8	6	1	0

Таблица 8

Результаты расчета

Заказ \ Потребность	1	2	3	4	5	6
1	1	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0
4	0	0	1	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	0	1

Таблица 9

Результаты расчета ($\alpha = 0,2, \beta = 0,8$)

Размер заказа	Дата поставки	Сумма заказа, руб.	Резервирование под производственный заказ
6	13.02.2015	1500	003
18	14.02.2015	4950	001
12	19.02.2015	3300	001
21	23.02.2015	6300	001
8	27.02.2015	2000	003

Выводы. Созданные заказы после их подтверждения менеджером по закупке считаются размещенными. Поскольку автоматизированное внесение изменений на основе измененного ОПП в заказы поставщикам не рационально (заказы уже оформлены и договора на поставки заключены с внешними контрагентами), то алгоритм формирования заказов предполагает анализ внесенных изменений и представление полученных результатов менеджеру по закупке в удобном виде. На основе полученных данных менеджер принимает

решение и вносит соответствующие корректировки. Предлагаемый механизм согласуется с принципами, заложенными в стандарт MRP II [6], который принят за методологическую основу данного исследования.

Разработанная модель может быть применена в процессе модернизации автоматизированного модуля MES-системы в части формирования заказов на материалы, обеспечивающие своевременное выполнение оперативных производственных заданий с минимальными затратами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г.** Алгоритм ресурсно-временной оптимизации выполнения комплекса взаимосвязанных работ // Вестник Российской таможенной академии. 2013. № 1. С. 080–087.
2. **Балашова Е.С., Юрьев В.Н.** Экономический механизм и инструментарий ресурсного менеджмента промышленного предприятия. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. 240 с.
3. **Балашова Е.С.** Влияние методов компенсации внутренних резервов на эффективность управления предприятием // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2013. № 2(168). С. 74–79.
4. **Балашова Е.С.** Современные модели ресурсного менеджмента промышленного предприятия // Информационно-управляющие системы. 2015. № 1(74). С. 105–111.
5. **Груздова Е.О.** Проектирование подсистемы материального обеспечения оперативного плана заказа производств в ОАО «Ленполиграфмаш»: дис. ... магистра. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. 101 с.
6. **Гаврилов Д.А.** Управление производством на базе стандарта MRP II. СПб.: Питер, 2002.
7. **Джордж М.Л.** Бережливое производство + шесть сигм: Комбинируя качество шести сигм со скоростью бережливого производства: пер. с англ. 3-е изд. М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. 360 с.
8. **Кузин Б.И.** Экономико-математическая поддержка производственного менеджмента. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. 54 с.
9. **Радаев А.Е., Кобзев В.В.** Методика организации и оценки экономической эффективности высокотехнологичного производства предприятия машиностроения // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2012. № 2-1(144). С. 40–43.
10. **Речкалов Я.А.** Повышение эффективности системы управления запасами на основе применения методов информационной поддержки принятия решений (на примере машиностроительных предприятий): дис. ... канд. экон. наук. М.: РЭА им. Плеханова, 2002. 139 с.
11. **Рыжиков Ю.И.** Теория очередей и управление запасами. СПб.: Питер, 2001.
12. **Юрьев В.Н., Кузьменков В.А.** Методы оптимизации в экономике и менеджменте: учеб. пособие. 2-е изд. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. 540 с.
13. Сайт Международной ассоциации производителей и пользователей систем управления производством. URL: <http://www.mesa.org/en/index.asp>
14. Официальный сайт прикладных решений компании 1С. Описание конфигурации «MES». URL: <http://solutions.1c.ru/catalog/mes/features>
15. **Ильин И.В., Широкова С.В., Ильяшенко О.Ю., Левина А.И., Дубгорн А.С.** ИТ-поддержка управления запасами с применением математических моделей // Неделя науки СПбПУ : сб. докл. науч. форума с междунар. участием, 2014. С. 152–158.

REFERENCES

1. **Anisimov V.G., Anisimov E.G.** Algorithm resursno-vremennoi optimizatsii vypolneniia kompleksa vzaimosviazannykh rabot. *Vestnik Rossiiskoi tamozhennoi akademii*. 2013. № 1. S. 080–087. (rus)
2. **Balashova E.S., Iur'ev V.N.** Ekonomicheskii mekhanizm i instrumentarii resursnogo menedzhmenta promyshlennogo predpriiatiia. SPb.: Izd-vo Politekh. un-ta, 2014. 240 s. (rus)
3. **Balashova E.S.** Effect of payment methods on the effectiveness of internal reserves of the enterprise management. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 2013, no. 2(168), pp. 74–79. (rus)

4. **Balashova E.S.** Sovremennye modeli resursnogo menedzhmenta promyshlennogo predpriatiia. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*. 2015. № 1(74). S. 105–111. (rus)
5. **Gruzdova E.O.** Proektirovanie podsistemy material'nogo obespecheniia operativnogo plana pozakaznogo proizvodstva v OAO «Lenpoligrafmash»: dis. ... magistra. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2015. 101 s. (rus)
6. **Gavrilov D.A.** Upravlenie proizvodstvom na baze standarta MRP II. SPb.: Piter, 2002. (rus)
7. **Dzhordzh M.L.** Berezhlivoe proizvodstvo + shest' sigm: Kombiniruiia kachestvo shesti sigm so skorost'iu berezhlivogo proizvodstva: per. s angl. 3-e izd. M.: Al'pina Biznes Buks, 2007. 360 s. (rus)
8. **Kuzin B.I.** Ekonomiko-matematicheskaia podderzhka proizvodstvennogo menedzhmenta. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2004. 54 s. (rus)
9. **Radaev A.E., Kobzev V.V.** Method of machine(building enterprise high(tech factory's economic effectiveness's estimation. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 2012, no. 2–1(144), pp. 40–43. (rus)
10. **Rechkalov Ia.A.** Povyshenie effektivnosti sistemy upravleniia zapasami na osnove primeneniia metodov informatsionnoi podderzhki priniatiia reshenii (na primere mashinostroitel'nykh predpriatii): dis. ... kand. ekon. nauk. M.: REA im. Plekhanova, 2002. 139 s. (rus)
11. **Ryzhikov Iu.I.** Teoriia ocheredei i upravlenie zapasami. SPb.: Piter, 2001. (rus)
12. **Iur'ev V.N., Kuz'menkov V.A.** Metody optimizatsii v ekonomike i menedzhmente: ucheb. posobie. 2-e izd. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2015. 540 s. (rus)
13. Sait Mezhdunarodnoi assotsiatsii proizvoditelei i pol'zovatelei sistem upravleniia proizvodstvom. URL: <http://www.mesa.org/en/index.asp> (rus)
14. Ofitsial'nyi sait prikladnykh reshenii kompanii 1S. Opisanie konfiguratsii «MES». URL: <http://solutions.1c.ru/catalog/mes/features> (rus)
15. **П'ин I.V., Shirokova S.V., Il'iashenko O.Iu., Levina A.I., Dubgorn A.S.** IT-podderzhka upravleniia zapasami s primeneniem matematicheskikh modelei, *Nedelia nauki SPbPU* : sb. dokl. nauch. foruma s mezhdunar. uchastiem, 2014. S. 152–158. (rus)

ЮРЬЕВ Владимир Николаевич – профессор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, доктор экономических наук.

195251, ул. Политехническая, д. 29, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: yurev@fem.spbstu.ru

YURIEV Vladimir N. – Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.

195251. Politechnicheskaya str. 29. St. Petersburg. Russia. E-mail: yurev@fem.spbstu.ru
