

проверочное построение частоты распределения для выборки значений пористости (рис. 6).

Тем самым, можно отметить следующее:

1) Применение при моделировании процесса контактирования поверхностей, средств программирования позволяет производить случайное построение профилей поверхностей.

2) Интересующие действия и обработка информации производятся за короткие сроки.

3) Доступность обеспечивает простоту в использовании и апробировании.

4) Возможно использование предлагаемого подхода и предложенного программного обеспечения для расчета значений коэффициента пропорциональности в различных задачах ОМД.

5) Прогноз коэффициента пропорциональности с определенной долей погрешности как математическое ожидание в некотором интервале.

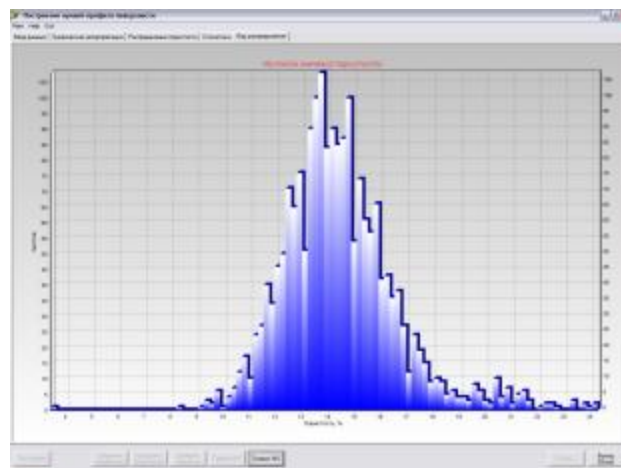


Рис. 6. Интерфейс программы «Project_Surface». Окно построения частоты распределения значения пористости

Список литературы

1. Чукин М.В., Гун Г.С., Барышников М.П. Оценка коэффициента пропорциональности в законах трения при ОМД на основе теории совместной пластической деформации некомпактных сред // Обработка сплошных и слоистых материалов: Межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск, 2004. № 31. С. 118–127.
2. Особенности реологических свойств конструкционных наносталей / Чукин М.В., Гун Г.С., Барышников М.П. и др. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2008. № 1. С. 24–27.

List of literature

1. Chukin M.V., Gun G.S., Baryshnikov M.P. Assessment of the proportionality coefficient in the friction laws at the MDP based on the theory of the combined plastic deformation of the noncompact agents // Treatment of the solid and laminated materials: Collection of scientific works. Magnitogorsk, 2004. № 31. P. 118–127.
2. Peculiarities of the rheological properties of the constructional nanosteels / Chukin M.V., Gun G.S., Baryshnikov M.P. and others // Vestnik of the MSTU named after G.I.Nosov. 2008. № 1. P. 24–27.

УДК 519.711.3:371.214.27

Вожаков А.В., Гитман М.Б.

МОДЕЛЬ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ С НЕЧЕТКИМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ

В условиях рыночных отношений наблюдается тенденция к ужесточению внутриотраслевой конкуренции, каждый участник рынка стремится привлечь клиента наиболее выгодным предложением. Таким предложением может быть низкая цена или небольшие сроки поставки. Для сокращения сроков поставки продукции процесс управления производством должен функционировать таким образом, чтобы технологические процессы производства продукции проходили без задержек и не пересекались, обеспечивая при этом максимальную скорость выполнения необходимых для производства технологических операций. В общемировой практике управления производством основные акценты ставятся на разработку оптимальной системы планирования производства. В настоящее время планирование производства на крупных промышленных предприятиях является проблемным направлением ввиду того, что объемы выпускаемой продукции огромны, и проанализировать все варианты запуска в производства всей необходимой клиентам продукции с целью поиска оптимального плана не представляется возмож-

ным. Поэтому в качестве плана производства, как правило, используются не оптимальные планы, а лишь допустимые. Использование неоптимальных планов производства ведет за собой множество очевидных недостатков, результатом которых всегда становится снижение прибыли предприятия.

Вся система управления предприятием разделяется на три структурных уровня [1, 2]:

1. Уровень стратегического планирования. На данном уровне происходит сбор информации: прогнозирование, фильтрация и отбор заказов, анализ существующих мощностей и бизнес-целей производства. Результатом комплексной работы всех участников процесса является построение главного календарного плана производства (ГКПП), который регламентирует «что?», «к какому сроку?» и «в каких количествах?» будет выпускаться в плановом периоде [3].

2. Уровень тактического планирования. На данном уровне на основе составленного ГКПП, с использованием более детальной информации о производственных мощностях, строится план-график производ-

ства, устанавливающий перечень, очередность и длительность операций на рабочих центрах в течение планового периода.

3. Ввиду того, что многие детали реального производственного процесса не рассматриваются или рассматриваются укрупненно на тактическом уровне планирования, а также в связи с тем, что из-за тех или иных обстоятельств возникают отклонения от составленного плана-графика производства, необходимо производить его корректировку и уточнение с учетом постоянно изменяющихся условий. Перепланированием занимается модель оперативного управления. Кроме этой модели к данному уровню можно отнести модели транспортных перевозок, ремонтных работ, складирования продукции и др.

Особо остро проблема планирования стоит на тактическом уровне детализации. Как правило, руководство, пользуясь экспертным опытом, достаточно успешно создает планы для производства в целом. Руководители локальных производственных подразделений вполне эффективно могут распределить суточное задание на конкретные рабочие центры (станки, персонал и т.д.). Однако с момента получения генерального плана производства до формирования суточных заданий требуется решить задачу оптимального распределения нагрузки на производственные мощности таким образом, чтобы нагрузка была равномерна, а планы выполнимы. Данная задача является достаточно сложной (особенно это касается крупных производственных холдингов, выпускающих высокотехнологическую продукцию, состоящую из множества деталей и имеющую очень длинные и запутанные технологические цепочки).

В общемировой практике основным подходом к автоматизации деятельности производственных компаний признан подход «Планирование ресурсов предприятия» (Enterprise resource planning – ERP)[6]. Термин ERP согласно APICS означает «финансово ориентированную информационную систему для определения и планирования ресурсов предприятия, необходимых для получения, изготовления, отгрузки и учета заказов потребителей». Существует не так много автоматизированных систем [5], отвечающих требованиям подхода ERP. Эти системы сейчас внедряются на многих производственных предприятиях, в том числе и в России. Основным недостатком существующих ERP систем является их требовательность к «чистоте входящей информации», в основе математических моделей ERP часто используются упрощенные линейные представления. Требовательность к «чистоте информации» создает множество ограничений на пути внедрения ERP систем. Проводя аналогию с математикой, можно говорить о неустойчивости ERP системы по отношению к входным данным. Таким образом, даже незначительное колебание начальных значений может привести к непредсказуемому результату.

В данной работе сделана попытка построить устойчивую модель планирования производства на тактическом уровне путем введения нечетких параметров и ограничений.

Рассмотрим объект исследования как систему,

выполняющую определенные функции с целью получения прибыли. Далее будем рассматривать производство, обладающее следующими характеристиками:

1. Продукция позиционируется как производство «на заказ» из типовых сборочных единиц и компонентов (assemble-to-order).

2. Производство является универсальным.

3. Для объекта автоматизации определены: структура продукта, спецификации, технологические маршруты.

4. Тип системы планирования и оперативного управления – «Система пополнения запасов».

5. Централизованное формирование плана продаж и операций.

6. Организационная структура предприятия – смешанная модель, т.е. производство представляет собой набор цехов, внутри которых определены склады материалов и готовой продукции.

7. Известно наличие, местоположение, тип и другие характеристики рабочих центров (под понятием *рабочий центр* понимается обобщенная единица производства внутри цеха, выполняющая одновременно только одну операцию: участок, станок, рабочий и т.п.).

Представим производство как набор из нескольких цехов, каждый из которых содержит в себе определенное множество рабочих центров (станков или просто рабочих мест). Все рабочие центры разделены на типы. Типы рабочих центров в системе пронумерованы индексом $k \in \overline{1, Tm}$, где Tm – общее количество типов рабочих центров.

Введем вектор $\overline{Tm} = (tm_1, tm_2, \dots, tm_{Tm})$. tm_k – количество рабочих центров типа $k \in \overline{1, Tm}$, имеющихся на производстве.

Рабочие центры одного типа могут встречаться внутри одного цеха несколько раз, но между цехами рабочие центры одного типа не встречаются, это ограничение напрямую следует из определения универсального производства (универсальное производство характеризуется группировкой сходного по функциям оборудования в так называемые рабочие центры). Максимальная загрузка рабочего центра цеха ограничена некоторым количеством часов в календарный день, обычно это одна или две смены по 8. Возьмем за единицу измерения времени стандартную длительность смены. Однако с учетом всех переналадок и простоев производства, а также возможности сверхурочной работы максимальная загрузка рабочего центра не является константой, а определяется исходя из обстоятельств. Таким образом, сверхурочные работы возможны, но это влечет за собой большие затраты и недовольство персонала, что очень сильно снижает комфортность производства в целом. Первоначально данный параметр определяется как константа комфортного производства A , далее параметр будет уточняться исходя из статистики работы системы. Введем гипотезу о том, что показатели максимальной загрузки рабочего центра одинаковы для всех рабочих центров одного типа. Таким образом, далее мы будем использовать параметр максимальной загрузки применительно к типу рабочего центра, подразумевая,

что он одинаков для всех. При этом параметр максимальной загрузки ввиду вышеописанных аргументов является нечетким.

Максимальная нагрузка на рабочий центр k равна a_k с функцией принадлежности $\mu_k(a_k), k \in \overline{1, Tm}$.

Процесс производства может быть представлен в виде дерева, узлы которого являются материалами и полуфабрикатами для производства, а связи технологическими операциями. На нижнем уровне дерева находятся только материалы, на остальных уровнях – полуфабрикаты, изделия и агрегаты. Далее все технологические различия между изделиями, агрегатами и полуфабрикатами рассматриваться не будут, вместо этого будем говорить о компоненте. За каждым узлом дерева закреплен следующий набор информации: номенклатура, количество. Каждой уникальной номенклатуре компонента присваивается номер $c \in \overline{1, C}$, где C – количество уникальных видов компонент в дереве разуплодения Г КПП.

Введем вектор $\overline{O} = (O_1, \dots, O_N)$, O_i – количество запланированных операций вида $i \in \overline{1, N}$ (фактически данный вектор является полным аналогом Г КПП). Введем также векторы \overline{TrO} , $TrO_i \in [0, 1]$ – трудоемкость операции вида $i \in \overline{1, N}$ и \overline{TmO} – вектор, $TmO_i \in \overline{1, Tm}$ – номер типа рабочего центра, на котором должна совершаться операция $i \in \overline{1, N}$.

Для определения набора компонентов, необходимых для совершения различных операций, введем технологическую матрицу A_{ic} , компоненты матрицы A_{ic} – количество компонентов $c \in \overline{1, C}$, необходимых для совершения технологической операции вида $c \in \overline{1, C}$.

В данной работе не будет рассматриваться сложная работа склада при взаимодействии с поставщиками. Все операции по оприходованию компонентов на склад будут на начало планового периода разделены на уже совершенные и несовершенные. Таким образом, на начальный период фиксируется вектор \overline{Bal} , компоненты вектора $Bal_c \geq 0$ – остаток на складе, компонента $c \in \overline{1, C}$ на начало периода. В соответствии с вышеизложенными рассуждениями процесс производства продукции представляется совершением последовательности технологических операций. От последовательности операций напрямую зависит эффективность производства. Основная задача планирования производства – разработать оптимальную последовательность операций.

Для описания плана производства введем матрицу σ_{it} , где $i \in \overline{1, N}$, $t \in \overline{1, T}$. Компоненты матрицы σ_{it} – количество операций вида i , запланированных в t день. Фактически матрица σ_{it} является план-графиком производства. Введем также матрицу баланса материалов Bal_{ct} , где компоненты матрицы Bal_{ct} указывают количество компонента c в t день планового периода. Очевидно, что значения матрицы напрямую зависят от плана производства σ_{it} и от начального значения остатков

на складе \overline{Bal} , где $c \in \overline{1, C}$ $t \in \overline{0, T}$.

Матрица Bal_{ct} определяется следующим образом:

$$Bal_{ct} = \begin{cases} Bal_{ct-1} + \sigma_{ct-1} - \sum_{l=1}^N \sigma_{t-1} A_{cl}, t > 0 \\ Bal_{ct} = Bal_c, t = 0 \end{cases}$$

Ввиду того, что не для каждого компонента определена производящая его операция, расширим матрицу σ_{it} :

$$\sigma_{it} \equiv 0, \text{ где } i \notin \overline{1, N} \quad t \in \overline{1, T}.$$

Очевидно, что матрица σ_{it} должна удовлетворять следующим условиям:

1. Общее количество операций одного вида в план-графике не должно превышать значения Г КПП, определенного для данного вида операции.

2. В каждый из планируемых рабочих дней максимальная нагрузка производства и каждого из рабочих центров по отдельности не должна «сильно» превышать максимально возможную нагрузку.

3. В любой момент времени остаток компонентов на складе не может быть отрицательным.

Введем три основных критерия оптимальности план-графика производства:

1. Критерий комфортности производства, т.е. план-график производства должен быть скомпонован таким образом, что операции одного вида запускаются в производство как можно большими партиями, т.е. переналдка оборудования не потребует при переходе от совершения одной операции к другой.

2. Срок изготовления Г КПП должен быть минимальным. При этом Г КПП считается выполненным только в том случае, если все операции завершены, т.е. дата совершения последней операции и будет являться сроком исполнения всего Г КПП.

3. Производство должно быть равномерным. Это означает, что нагрузка на рабочие центры должна быть как можно ближе к максимальной. Данный критерий оправдан, ибо рабочие в основном получают зарплату независимо от того, обеспечили их работой или нет.

Теперь необходимо ввести обобщенный критерий оптимальности плана. Таким критерием может стать простая сумма значений трех критериев в пропорции к нечетким параметрам комфортности производства.

Таким образом, математическую постановку задачи можно представить следующим образом:

Найти матрицу σ_{it} , где $i \in \overline{1, N}$, $t \in \overline{1, T}$, обеспечивающую минимум следующего функционала:

$$P_1 J_1 + P_2 J_2 + P_3 J_3 \rightarrow \min,$$

где P_1, P_2, P_3 – представляют собой некоторые нечеткие параметры.

$$J_1 = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T f_{it} \rightarrow \min,$$

где $f_{it} = \begin{cases} 1, \sigma_{it} \neq 0 \\ 0, \sigma_{it} = 0 \end{cases}$ – комфортность производства.

$$J_2 = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^{Tm} |\sigma_{it} Tr O_i f_{ik}^* - a_k t m_k| \rightarrow \min ,$$

где $f_{ik}^* = \begin{cases} 1, Tm O_i = k \\ 0, Tm O_i \neq k \end{cases}$ – равномерная загрузка производства.

$$J_3 = \max_{t \in \overline{1, T}} f_t^{**} \rightarrow \min ,$$

где $f_t^{**} = \begin{cases} t, \sum_{l=1}^T \sum_{i=1}^N \sigma_{il} = 0 \\ 0, \text{ иначе} \end{cases}$ – максимальная скорость

выполнения плана.

При ограничениях:

$$1. \sum_{t=1}^T \sigma_{it} = 0 ,$$

где $i \in \overline{1, N}$ (общее количество операций постоянно).

$$2. \sigma_{it} Tr O_i f_{ik}^* \leq a_k t m_k ,$$

где $i \in \overline{1, N}$; $t \in \overline{1, T}$; $k \in \overline{1, Tm}$; $f_{ik}^* = \begin{cases} 1, Tm O_i = k \\ 0, Tm O_i \neq k \end{cases}$ (загрузка не превышает максимально допустимую).

$$3. Bal_{ct} \geq 0 ,$$

где $c \in \overline{1, C}$; $t \in \overline{0, T}$ (остатки положительны).

Задача оптимизации для реального машиностроительного предприятия насчитывает порядка 1 000 000

переменных, вследствие этого решение известными оптимизационными методами не представляется возможным. Однако существует ряд возможных ограничений, введение которых позволит значительно снизить количество переменных или же получить допустимые (не всегда оптимальные) решения [7].

К таким ограничениям можно отнести:

1. Проведение ABC анализа и поиск точного решения по А группе, считая, что ВС группы есть в запасах. Такое ограничение может серьезно упростить решение задачи оптимизации, создавая одновременно площадку для более эффективного управления запасами.

2. Введение понятия неразрывности тех процесса. В процессе подготовки изделия к производству прописываются тех процессы изготовления всех компонентов (кроме покупных). Каждый тех процесс содержит в себе набор операций (в среднем около 15 операций на компонент). Введение неразрывного планирования тех процесса обеспечит непрерывность тех процесса изготовления компонентов и при этом сократить количество переменных примерно в 15 раз.

3. Использование некоторых эмпирических методов календарного планирования, а именно:

- построение диаграммы Ганта, начиная с конца;
- последовательное построение диаграмм Ганта по убыванию приоритета изделий (т.е. сначала строим диаграмму Ганта для самого приоритетного изделия, затем на свободные мощности накладываем менее приоритетные и т.д.).

4. Разбиение элементов ГКПП на агрегаты, построение диаграммы Ганта для агрегированного ГКПП. Поиск точного решения для отдельных агрегатов изделия.

Таким образом, в данной работе приведена постановка задачи календарного планирования и представлена возможная методика решения.

Список литературы

- Гаврилов Д.А. Управление производством на базе стандарта MRP II. СПб.: Питер, 2002.
- Зайцев Н.Л. Экономика, организация и управление предприятием. М.: ИНФРА-М, 2004.
- Plossl G. Orlicky's Material Requirements Planning. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 1997.
- Борисов Е. Ф. Экономическая теория: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 1999. 384 с.
- Gaither N. Production and operations management / Norman Gaither, Gregory V. Frazier. 8th ed. Southwestern College Publishing, Cincinnati, 1999.
- APICS Dictionary. 6th ed. American Production and Inventory Control Society, 1987.
- Столбов В.Ю., Федосеев С.А. Модель интеллектуальной системы управления предприятием // Проблемы управления. 2006. № 5. С. 36–39.

List of literature

- Gavrilov D.A. Production management according to the standard MRPII. St.Petersburg, 2002.
- Zaitsev N.L. Economics, the enterprise organization and management. M.: IFRA-M, 2004.
- Plossl G. Orlicky's Material Requirements Planning. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 1997.
- Borisov E.F. Economical theory: Ref. book 2nd edition. M.: Yurait, 1999. P. 384.
- Gaither N. Production and operations management / Norman Gaither, Gregory V. Frazier. 8th ed. Southwestern College Publishing, Cincinnati, 1999.
- APICS Dictionary. 6th ed. American Production and Inventory Control Society, 1987.
- Stolbov V.U., Fedoseev S.A. The model of the intellectual system of the enterprise management // Management problems. 2006. № 5. P. 36–39.