

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПИСАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОНДИТЕРСКИХ ЛИНИЙ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

Тарасюк В.П.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

кафедра электронной техники

E-mail: vita@kita.dgtu.donetsk.ua

Abstract

Tarasyuk V.P. Method of construction of optimum curriculum of functioning of pastry lines on the basis of expert estimations. The aspects of method of construction of optimum curriculum of functioning of pastry lines on the basis of expert estimations are examined in work. The offered method is based on the developed structure of consulting model, including the module of acquisition of knowledges, mechanism of logical conclusions, block of acceptance of decisions on the basis of expert estimations. It is set that for construction of consulting model of the operative planning it is expedient to use the static and dynamic model of knowledges with the algorithm of functioning, being based on algorithms with the probabilistic rule of setting of priorities.

Общая постановка задачи и ее связь с важными практическими заданиями.

Каждый технологический процесс приготовления кондитерских изделий представляет собой многостадийную систему с последовательно-параллельным видом движения материального потока [1]. Имеется конечное множество $N = \{1, 2, \dots, n\}$ видов готовой продукции и конечное множество $\mu = \{1, 2, \dots, M\}$ технологического оборудования (аппаратов, узлов). Процесс получения вида продукции $i \in N$ включает r_i операций. При этом каждому изделию $i \in N$ и на каждой операции $q, 1 \leq q \leq r_i$, его обслуживания сопоставляется некоторое множество технологического оборудования $\mu_q^i \subseteq \mu$.

Технологическое оборудование, узлы аппараты, которые используются на технологических линиях, связаны непрерывным материальным потоком, обуславливающим перенастройку каждого аппарата работ согласно техническому регламенту с началом концом $(t_{i-1}$ и $t_k)$ внутренних операций. Поэтому для согласования технологических операций для работ K , с учетом технологии приготовления, их необходимо синхронизировать таким образом, чтобы согласовать начало t_{i-1} по следующей операции и конец t_k предыдущей без простоя оборудования. Причем синхронизировать работу технологических линий таким образом, чтобы наиболее оптимально загрузить технологическое оборудование, минимизировать число производственных смен, сократить число переналадок, за счет чего удастся минимизировать целевую функцию F .

Данная задача относится к задачам построения расписания многопоточного производства [2,3]. Проблема составления расписаний обусловлена сложностью и неопределенностями, возникающими при функционировании «пересекающихся» производств, т.е. таких технологических линий, в состав которых могут входить аппараты, настраиваемые на конкретный вид изделия. Кроме того оперативное планирование зависит от решений, принятых на разных уровнях управления иерархического производства.

Анализ публикаций и разработок по теме.

Календарное планирование, к которому можно отнести поставленную задачу, может протекать в прямом или обратном направлении [3-6]. Множество разных подходов

применялось для решения задач календарного планирования и задач упорядочения, выполняемых априори или в реальном времени. Традиционными методами исследования операций для задач планирования являются имитационное моделирование, сетевые методы, комбинаторные процедуры и эвристические подходы.

Постановка задачи исследований.

Возникает задача построения оптимального расписания взаимодействия отдельных операций технологических линий в случае параллельно-последовательного вида движения материальных потоков. Из-за возмущений в системе регламентная продолжительность обычно не выдерживается и технологические узлы взаимодействуют в случайные моменты времени. Таким образом процесс согласования регламента для уменьшения простоя оборудования и повышения производительности является одним из объектов автоматизированного управления [7].

Цель исследований.

На основании анализа структуры функционирования кондитерских технологических линий и выявления специальных знаний диспетчера – эксперта разработать методику построения оптимального расписания управления оборудованием кондитерских линий на основе экспертных оценок

Основной материал и результаты работы.

Рассматриваемые технологические процессы, протекающие на кондитерских линиях относятся к сложным дискретным производственным процессам, т.к. включают несколько операций, назначение которых состоит в предварительной подготовке производства; приготовления первоначального полуфабриката в виде смеси компонентов, входящих в рецептуру; глазирования полуфабриката; завертывания и упаковки готовой продукции. Формально структура таких процессов может быть представлена сетевой структурой на рис. 1.

Из рисунка видно, что некоторые технологические цепочки, образованные совпадающим рядом частичных производственных процессов, проводятся на одном и том же технологическом оборудовании. Необходимо составить оптимальное расписание его загрузки.

Проблема заводского планирования, как правило, связывается со слабыми возможностями прогнозировать работу цеха. Поэтому одной из целей исследований в области планирования является поиск путей улучшения этой прогнозирующей способности. Были предприняты попытки разработать планировщик, способный генерировать такие производственные планы, которые бы в полной мере отражали как сложность производственной среды, так и установленные цели организации.

Существует, однако, и другой аспект задачи календарного планирования. Он касается способности интеллектно реагировать на изменения обстоятельств, т. е. гибкости. Даже если расписание отражает сложность окружения и цели организации, цех представляет собой динамичную среду, в которой непрерывно случаются неожиданные события. Появление таких событий, как поломка станка, неспособность полуфабрикатов заказа пройти промежуточный контроль качества, недостаточное число операторов и т. д., быстро приводит к необходимости пересмотреть действия, предусмотренные расписанием. Полное решение задачи календарного планирования должно включать функцию прогнозного планирования в сочетании со способностью изменять планы в ответ на изменение условий производства.

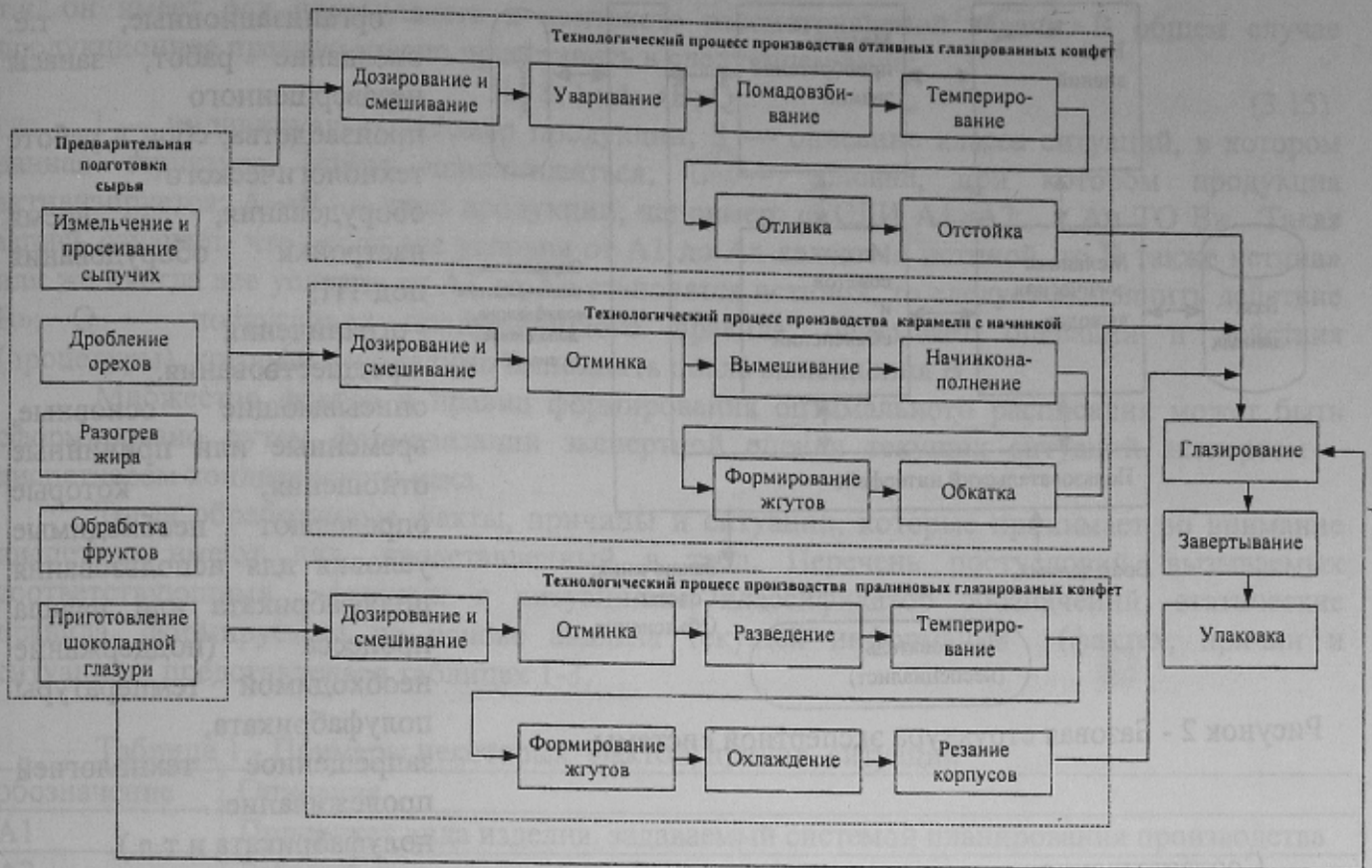


Рисунок 1 - Укрупненная схема последовательности нескольких технологических процессов, протекающих на кондитерских линиях

Один из подходов к составлению робастного и эффективного расписания — это построить интеллектуальный планировщик процесса, работающий в реальном времени, используя технику ИИ, объединенную с некоторыми аспектами существующих подходов к календарному планированию, т. е. с диспетчированием, составлением последовательности работ, эвристиками и имитационным моделированием. Интеллектуальный подход позволяет эффективно иметь дело с динамикой системы и неполной информацией, которые характеризуют этот класс проблем [2]. В общем случае «интеллектуальный» планировщик — это экспертная система, т.е. вычислительная система, в которую включены знания специалистов о некоторой конкретной проблемной области и которая в пределах этой области способна принимать экспертные решения [8]. Базовая структура экспертной системы приведена на рис. 2.

Вход для конструирования базы знаний и для данных во время выполнения исходит из многих источников. Ими могут являться планирующая система, перечень материалов, цеховой монитор, главное расписание и эвристики. Большая часть этого входа, вместе с факторами, оказывающими влияние на заводское планирование, может быть расчленена на два широких класса ограничений. Первая категория содержит ограничения календарного планирования, которые служат как граница для множества допустимых выборов. Вторая категория, предпочтения при составлении расписаний, предоставляет средства дифференциации между допустимыми вариантами из всего множества выборов. Для рассматриваемого производства эти ограничения можно определить, как:

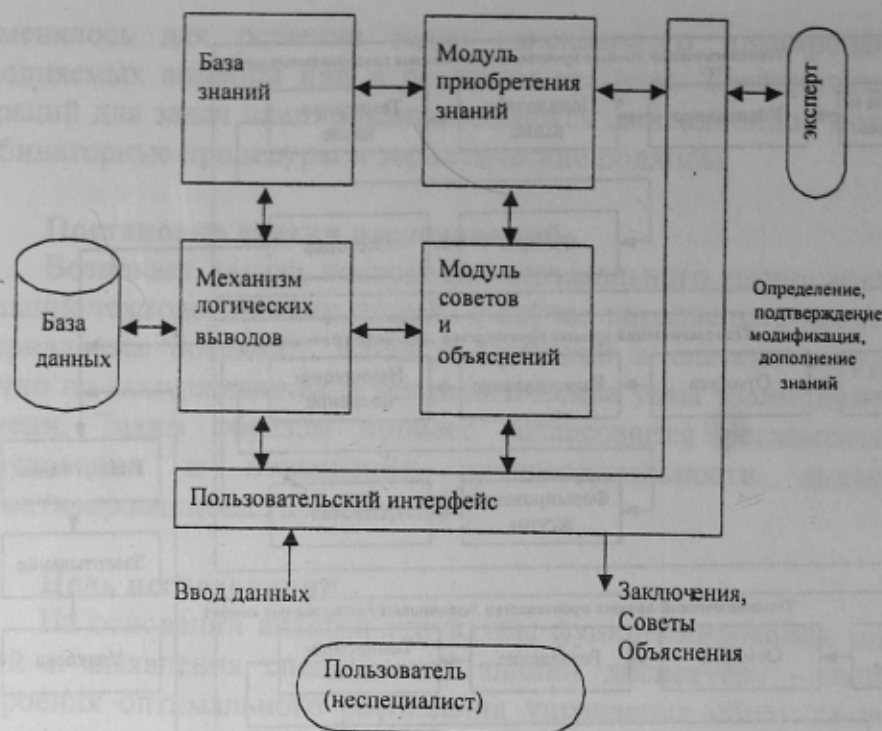


Рисунок 2 - Базовая структура экспертной системы

- организационные, т.е. опоздание работ, запасы незавершенного производства, сбои в работе технологического оборудования, время настройки оборудования под ТП;
 - ограничения предшествования, описывающие основные, временные или причинные отношения, которые определяют необходимые условия для использования полуфабриката или начала процесса (поддержание необходимой температуры полуфабриката, запрещенное технологией пролеживание полуфабриката и т.д.).

Соответственно данные, используемые для построения «интеллектуального» планировщика на базе указанных ограничений будут либо статическими структурами, которые выражают информацию о части расписаний не изменяющейся в ходе управления, либо динамическими структурами, которые создаются или модифицируются в ходе управления кондитерскими линиями. Функциональная схема построения оптимального расписания управления кондитерским линиями с использованием экспертных оценок представлена на рис.3.

Статические данные, хранящиеся в статической базе данных включают данные об рецептурах выпускаемой продукции, информацию о технологическом процессе, характеристики технологического оборудования, информацию о структуре исходного сырья, а также матрицу ограничений формирования последовательностей. Динамическая база данных включает частично выполненное расписание, объемы незавершенного производства, предварительное распределение запасов исходного сырья по технологическим процессам, текущую степень нарушения ограничений. Связь статических и динамических баз данных приведена на рис. 4.

Для планирования оптимального расписания составляется две базы знаний:

- база глобального знаний, содержащая статическую информацию, а именно метод составления оптимального расписания на одном аппарате, производственную логику;
- динамическая база знаний, формируемая в процессе включения новых технологических процессов в текущий цикл получения готовой продукции в режиме реального времени с учетом возмущающих факторов, поступающих извне.

Представление знаний является формализованной структурой и набором операций, которые предусматривают описания, процедуры и взаимосвязи, необходимые для определения задачи и для обеспечения активных средств для активных действий интеллектуальной системы [9].

Для описания кондитерского производства наилучшим вариантом оказался продукционный метод представления знаний с прямым способом формирования заключения,

т.к. он имеет ряд преимуществ в контексте рассматриваемой задачи. В общем случае продукционное правило можно представить в следующем виде:

$$i : S; L; A \rightarrow B; Q \tag{3.15}$$

где i — индивидуальный номер продукции; S — описание класса ситуаций, в котором данная структура может использоваться; L — условие, при котором продукция активизируется; $A \rightarrow B$ — ядро продукции, например: «ЕСЛИ A_1, A_2, \dots, A_n ТО B ». Такая запись означает, что «если все условия от A_1 до A_n являются истиной, то B также истина» или же «когда все условия от A_1 до A_n становятся истиной, то следует выполнить действие B »; Q — постусловие продукционного правила, описывает операции и действия (процедуры), которые необходимо выполнить после выполнения B .

Множество фактов и правил формирования оптимального расписания может быть сформировано путем формализации экспертной оценки текущих ситуаций экспертом – диспетчером кондитерского цеха.

Тогда обработанные факты, причины и ситуации, которые принимает во внимание диспетчер имеют вид, представленный в табл. Перечень постусловий, вызываемых соответствующими фактами и ситуациями, классификатор обозначений, статические правила, формируемые на основе анализа текущей информации (фактах, причин и ситуациях) представлены в таблицах 1-3.

Таблица 1 - Примеры некоторых фактов, причин, ситуаций

обозначение	Описание
A1	Приоритет вида изделия, задаваемый системой планирования производства
A2	Рабочий приоритет, формируемый в зависимости от числа одновременно выпускаемой продукции
.....	
A21	Минимальное время переналадки оборудования
A22	Длительность операции в ТП _i больше, чем длительность операции в ТП _j

Таблица 2 - Классификатор обозначений постусловий

обозначение	Описание
Q1	Формирование нового расписания в БД «Текущее расписание»
....	
Q6	Формирование БД «распределение запасов»

Таблица 3 - Статические правила

№ правила	обозначение	правило	Постусловие
1	B1	$A_1 > 0 \rightarrow A_2 = A_1$,	Q5, Q4
2	B2	$A_2 > A_4 \rightarrow A_4 = A_2$	Q5, Q4
.....			
14	B14	$A_{22} = 1 \rightarrow B_2 \& B_3$	Q1, Q4, Q5
.....			

Динамическая база знаний формируется на основе статической в зависимости от числа одновременно протекающих технологических процессов и характеристики «внешнего мира» в текущий момент. Описание построение правил динамической базы знаний приведено в обозначениях программного модуля, реализующего систему поиска оптимального решения. Ниже приведены некоторые примеры формирования динамических правил.

$P_i^z > 0 \rightarrow P_i^p = P_i^z$;
 $P_i^p > P^p \max \rightarrow P^p \max = P_i^p$;
 $V_i < V_i^0 \rightarrow P_i^p = P^p \min$;
 $S_{Ko_j} < S_{Ko_{ji}^{треб}} \rightarrow P_i^p = 0$;
 $V_i > 1.5 * V_i^0 \rightarrow P_i^p = P^p \max$;
 $(T_i^{нрал} > T_j^{нрал}) \& (P_i^p > P_j^p) \rightarrow$
 $\rightarrow SWAP(P_i^p, P_j^p)$

В правилах обозначено: P_i^z - заданный приоритет i-го ТП;
 P_i^p - рабочий приоритет i-го ТП; $P^p \max$ - максимальный
 рабочий приоритет; $P^p \min$ - минимальный рабочий
 приоритет; V_i - накопленный объем полуфабриката i-го
 ТП; V_i^0 - допустимый объем полуфабриката i-го ТП;
 $S_{Ko_{ji}}$ - наличествующее количество сырья j-го типа ;
 $S_{Ko_{ji}^{треб}}$ - требуемое количество сырья j-го типа для i-го
 ТП; $T_i^{нрал}$ - время пролеживания накопленного
 полуфабриката и т.д.

Некоторые правила в конкретной ситуации могут оказаться равноправными, поэтому в качестве весов выбора используются экспертные оценки – так называемый коэффициент уверенности (КУ).

Экспертные оценки применяются при обучении системы как для всего ядра продукции для и при идентификации фактов и ситуаций.

Логические комбинации посылок в одном правиле оцениваются так:

№ правила: ЕСЛИ A_i и A_j ТО B_k . $KY(A_i \text{ и } A_j) = \min(KY(A_i), KY(A_j))$.

Эксперты оценивают некоторую гипотезу (Г) (правило), проставляя оценки (КУ) этой гипотезы при обучении системы, в случае добавления новых видов изделий. Каждый эксперт формирует пару (Г, КУ). При этом были введены веса (степень компетентности п-экспертов $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots \alpha_n$), и результирующий КУ для Г определяется как

$$KY^p = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i KY_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \tag{3.16}$$

Для оценки статистической значимости результирующего KY^p находим дисперсию

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (KY_i - KY^p) \alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \tag{3.17}$$

Задавшись вероятностью ошибки $P_{ош}$ определяют вероятность $(1 - P_{ош})$ с которой случайная величина попадает в интервал

$$[KY^p - \Delta; KY^p + \Delta;],$$

где $\Delta = t * \sigma * \sqrt[2]{n}$;

t - коэффициент Стьюдента, выбираемый из таблицы по значениям $P_{ош}$ и n.

Принцип функционирования экспертной системы состоит в следующем. Используется множество состоящее из $G = \sum_{i=1}^n g_i$ операций, причем на каждом шаге выбирается одна из них и ей приписывается момент начала выполнения.

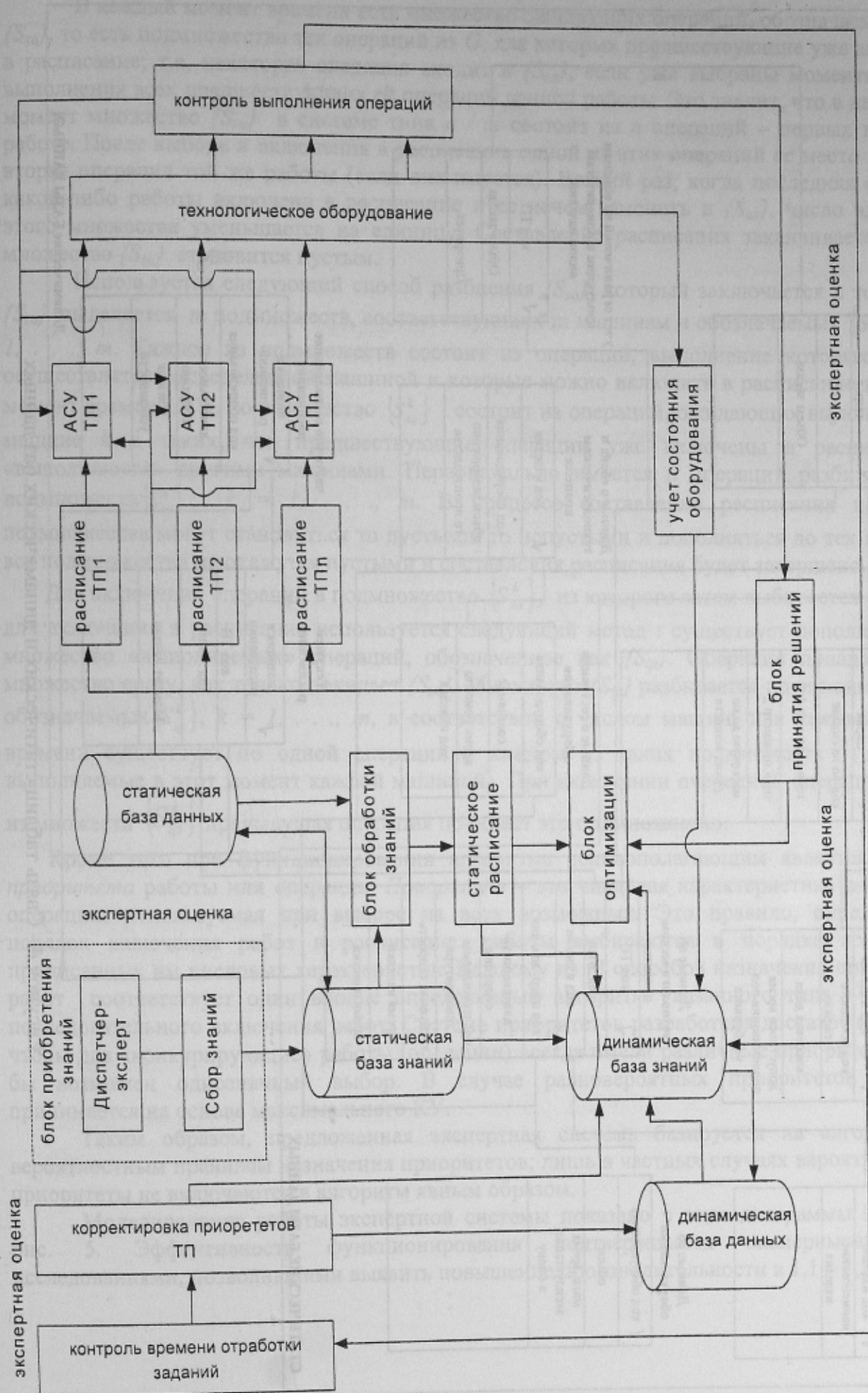


Рисунок 3 - Функциональная схема формирования оптимального расписания управления кондитерским линиями с использованием экспертных оценок

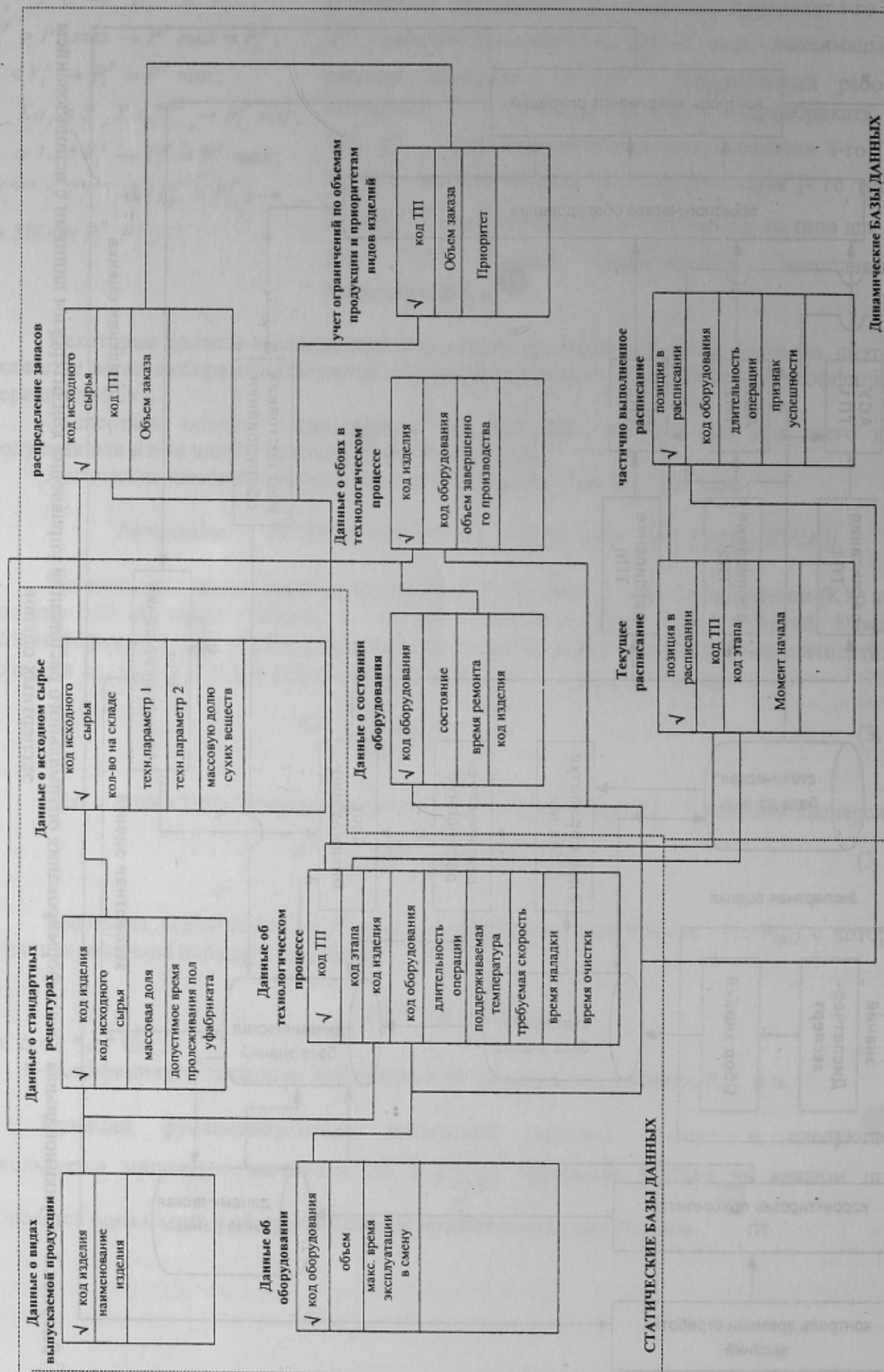


Рисунок 4 - Связь таблиц статических и динамических баз данных

В каждый момент времени есть множество ожидающих операций, обозначаемое через $\{S_{so}\}$, то есть подмножество тех операций из G , для которых предшествующие уже включены в расписание; т.е, некоторая операция входит в $\{S_{so}\}$, если уже выбраны моменты начала выполнения всех предшествующих ей операций данной работы. Это значит, что в начальный момент множество $\{S_{so}\}$ в системе типа n / m состоит из n операций – первых в каждой работе. После выбора и включения в расписание одной из этих операций ее место занимает вторая операция той же работы (если она имеется). Всякий раз, когда последняя операция какой-либо работы включена в расписание и ее нечем заменить в $\{S_{so}\}$, число элементов этого множества уменьшается на единицу. Составление расписания заканчивается, когда множество $\{S_{so}\}$ становится пустым.

Используется следующий способ разбиения $\{S_{so}\}$, который заключается в том, что в $\{S_{so}\}$ выделяется m подмножеств, соответствующих m машинам и обозначаемых $\{S_{so}^k\}$, $k = 1, \dots, m$. Каждое из подмножеств состоит из операций, выполнение которых должно осуществляться определенной машиной и которые можно включить в расписание в данный момент времени. Т.е, подмножество $\{S_{so}^k\}$ состоит из операций, ожидающих выполнения на машине k и таких, что предшествующие операции уже включены в расписание и «выполняются» другими машинами. Первоначально имеется n операций разбитых на m подмножеств $\{S_{so}^k\}$, $k = 1, \dots, m$. В процессе составления расписания некоторые подмножества могут становиться то пустыми, то непустыми и пополняться до тех пор, пока все подмножества не окажутся пустыми и составления расписания будет завершено.

Для включения операций в подмножество $\{S_{so}^k\}$, из которого затем выбирается операция для включения в расписание используется следующий метод: существует дополнительное множество «выполняемых» операций, обозначенное как $\{S_{ip}\}$. Операция попадает в это множество сразу, как только покидает $\{S_{so}\}$. Множество $\{S_{ip}\}$ разбивается на m подмножеств, обозначаемых $\{S_{ip}^k\}$, $k = 1, \dots, m$, в соответствии с числом машин, и в каждый момент времени существует по одной операции в каждом из таких подмножеств (операции, выполняемые в этот момент каждой машиной). При включении очередной операции в одно из множеств $\{S_{ip}^k\}$ предыдущая операция покидает это подмножество.

Кроме того при функционировании алгоритма основополагающим является понятие *приоритета* работы или операции. *Приоритет* – это числовая характеристика работы или операции, используемая при выборе из всех возможных. Это правило, определяющее порядок включения работ в расписание: работы выбираются в порядке возрастания приписанных им числовых характеристик. Каждому из $n!$ способов назначения приоритетов работ соответствует один вполне определенный алгоритм указанного типа – алгоритм последовательного включения работ. Система приоритетов разработана достаточно полной, чтобы две «конкурирующие» работы (операции) всегда имели различные приоритеты и был бы возможен однозначный выбор. В случае равновероятных приоритетов решение принимается на основе максимального КУ.

Таким образом, предложенная экспертная система базируется на алгоритмах с вероятностным правилом назначения приоритетов; лишь в частных случаях вероятности или приоритеты не включаются в алгоритм явным образом.

Моделирование работы экспертной системы показано в виде диаграммы Ганта на рис. 5. Эффективность функционирования подтверждается экспериментальными исследованиями, позволившими выявить повышение производительности в 1,1 – 1,3 раза.

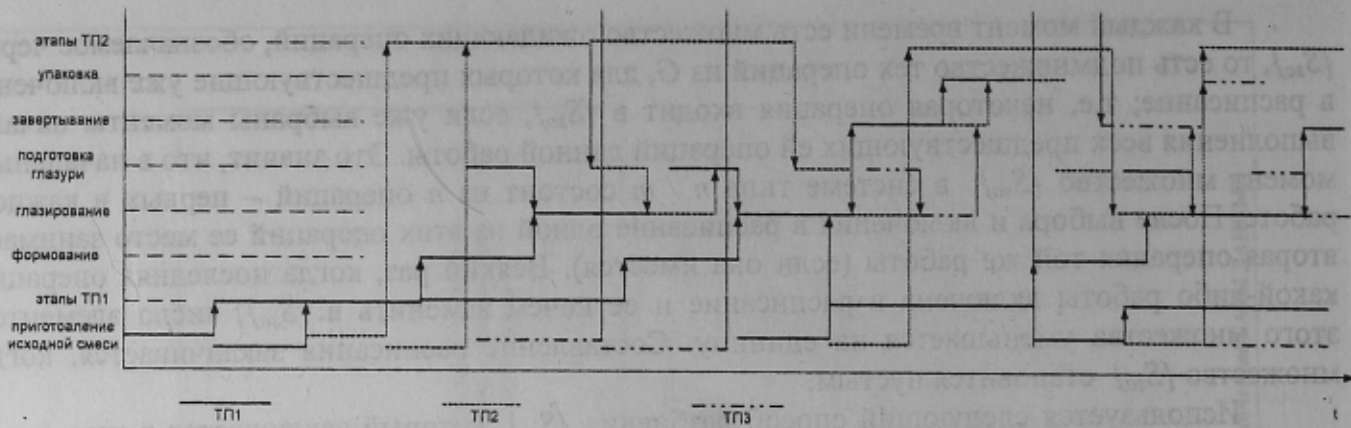


Рисунок 5 - Моделирование работы экспертной системы формирования оптимального расписания загрузки технологического оборудования

Выводы.

Предложенная методика построения оптимального расписания управления кондитерскими линиями на основе экспертных оценок базируется на разработанной структуре экспертной системы, включающей модуль приобретения знаний, механизм логических выводов, блок принятия решений на основе экспертных оценок. Установлено, что для построения экспертной системы оперативного планирования целесообразно использовать статическую и динамическую модель знаний с алгоритмом функционирования, базирующимся на алгоритмах с вероятностным правилом назначения приоритетов.

Литература

1. Драгилев А.И., Лурье И.С. Технология кондитерских изделий. М.: ДеЛиПринт, 2001 - 284с.
2. Поттосина С.А. Экономико-математические методы и модели. Мн.: БГУИР, 2003.- 94с.:ил.
3. Klein, L.K., 1986. Manufacturing planning and control. CIM Technology, Fall 1986.
4. Lozinski, C. and Gershwin, S.B., 1986. Dynamic production scheduling in computer-aided fabrication in integrated circuits. In, Proc. IEEE Robotics and Automation, pp. 660-663.
5. Дойч Д. Структура реальности. - М.: RC, - 2001.
6. Гришин С.Г., Борщёвская М.А., Ахматова Т.Т. Обзор типовых систем оперативно-производственного планирования, применяемых в промышленности. – М. Информэлектро, 1990. – 40с.
7. Кафаров В.В., Кусков Е.К., Либерман М.Д. Химико-фармацевтический журнал , 1985, №9, с. 1134-1139.
8. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский- СПб.: Питер, 2001. – 384с
9. Р.А. Алиев, Н.М. Абдикеев, М.М. Шахназаров Производственные системы с искусственным интеллектом. - М.: Радио и связь, 1990. - 264 с.