

**На правах рукописи**

**ГАЗЕТДИНОВА Светлана Геннадьевна**

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДДЕРЖКА УПРАВЛЕНИЯ  
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ ПРОИЗВОДСТВА  
НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ДИСКРЕТНЫХ ПРОЦЕССОВ С ПРИОРИТЕТАМИ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК**

**Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление  
технологическими процессами и производствами**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

**Уфа 2007**

Работа выполнена  
на кафедре автоматизированных систем управления  
Уфимского государственного авиационного технического университета

Научный руководитель	д-р техн. наук, проф. <b>МИРОНОВ Валерий Викторович</b>
Официальные оппоненты	д-р техн. наук, проф. <b>СЕЛИВАНОВ Сергей Григорьевич</b>  канд. техн. наук <b>ХРИСТОЛЮБОВ Вячеслав Леонидович</b>
Ведущая организация	ФГУП Уфимское научно-производственное предприятие «Молния»

Защита диссертации состоится «12» ноября 2007 г. в 14<sup>00</sup> час.  
на заседании диссертационного совета Д–212.288.03 при  
Уфимском государственном авиационном техническом университете  
по адресу: 450000, Уфа, ул. К.Маркса, 12

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2007 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д-р техн. наук, проф.

**В.В. Миронов**

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы**

На предприятиях машиностроения всегда остро стоял вопрос своевременного обеспечения основного производства всеми необходимыми ресурсами. Это положение усугубилось в связи со сложностями переходного периода на рыночные отношения, а также моральным и физическим износом имеющихся основных средств. Одним из ресурсов, предназначенных для удовлетворения нужд цехов основного производства, является технологическая оснастка и инструмент. Эффективное планирование инструментального обслуживания является важнейшим фактором исключения сбоя производства.

В современных ERP-системах производственный план является своего рода «законом», на основании которого составляются план закупки материалов и комплектующих, план производства инструмента и т.д. Однако такие системы требуют соответствующей организации производства. В условиях, когда предприятие осваивает производство новых изделий, себестоимость которых еще неизвестна, т.к. изделие проходит несколько этапов испытаний, на каждом из которых меняется технология, а значит и перечень необходимого инструмента и оснастки (ИНО), нет возможности произвести или закупить всю номенклатуру ИНО. В связи с этим в ходе планирования возникают разногласия между заинтересованными сторонами, требующие трудоемкого согласования предлагаемых ими вариантов плана. Ручное решение этой задачи неэффективно, а его автоматизация на основе известных методов не представляется возможной. В настоящее время не существует ни готовых программных продуктов, ни методических средств, позволяющих автоматизированно решать задачу планирования инструментального обслуживания в условиях необходимости согласования различных мнений. Известные методы либо не предназначены для решения указанной задачи, либо не позволяют работать с экспертными оценками. Следовательно, тема диссертации, связанная с разработкой новой методики моделирования данного процесса в целях его автоматизации, является актуальной.

### **Цель работы и задачи исследования**

Целью работы является разработка научно обоснованной методики моделирования дискретных процессов с приоритетами для автоматизированной поддержки управления инструментальным обслуживанием производства на основе экспертных оценок. Для достижения данной цели решались следующие задачи:

- Построение обобщенной модели ЭП.
- Разработка метода и алгоритма построения обобщенной модели ЭП.
- Разработка метода и алгоритма построения специализированных моделей ЭП.

ЭП.

- Моделирование конкретной производственной ситуации на основе предложенных методов.
- Реализация предложенных алгоритмов с помощью программных средств.

### **Методика исследования**

При построении моделей элементарного процесса были использованы методы теории графов, а также общая методология экспертных оценок. Алгоритмы построения указанных моделей и программное обеспечение разработаны на основе современных методов алгоритмизации и программирования. Общая схема процесса формирования плана инструментального обслуживания производства разработана в соответствии с принципами построения автоматизированных систем принятия решений.

### **На защиту выносятся**

1. Обобщенная модель элементарного процесса в виде графа состояний, которая строится на основе экспертных оценок и используется для построения иерархической модели.
2. Метод построения обобщенной модели по п.1 и алгоритм для его осуществления.
3. Метод и алгоритм преобразования обобщенной модели по п.1 в специализированные модели.
4. Модель процесса планирования инструментального обслуживания на машиностроительном предприятии на основе разработанных моделей и методов.
5. Программное обеспечение для реализации предлагаемых алгоритмов в среде Microsoft Visual FoxPro 8.0.

### **Научная новизна**

1. Модель по п.1, которая строится на основе экспертных оценок и отличается тем, что она содержит обобщенный граф элементарного процесса (ОГЭП), веса дуг которого несут информацию, позволяющую восстановить из обобщенной модели индивидуальные модели экспертов. Это обеспечивает интеграцию мнений отдельных экспертов и возможность построения иерархической модели.
2. Метод построения обобщенной модели по п.1 и алгоритм для его осуществления, основанные на объединении индивидуальных моделей экспертов, отличаются тем, что они позволяют выявить и объединить соответствующие элементы графов индивидуальных моделей. При этом формируются веса дуг обобщенного графа в виде вектор–приоритета и информационного вектора. Это обеспечивает устранение избыточности интегральной модели.
3. Метод и алгоритм преобразования обобщенной модели по п.1 в специализированные модели отличаются тем, что веса дуг обобщенной модели преобразуются из векторной в скалярную форму, что обеспечивает согласования мнений отдельных экспертов и приведение обобщенной модели к форме индивидуальных моделей.

4. Модель процесса планирования инструментального обслуживания на машиностроительном предприятии, основанная на формировании номенклатурного плана по заявкам подразделений, отличается тем, что возможные варианты плана, варианты согласования разногласий и варианты, учитывающие дополнительные ограничения на трудовые ресурсы, генерируются путем построения обобщенной модели по п.1 с использованием метода по п.2 и ее преобразования в специализированные модели методом по п.3. для обеспечения автоматизированной поддержки принятия управленческих решений.

5. Программное обеспечение для автоматизированной поддержки управления планированием инструментального обслуживания в среде Microsoft Visual FoxPro 8.0, отличающееся тем, что оно включает расчетные модули, основанные на моделях и методах по п.1-3, а также интерфейсные модули, выполняющие преобразование внешних представлений пользователей во внутреннюю форму и обратно. Это обеспечивает реализацию модели процесса планирования по п.4.

### **Практическая ценность и реализация результатов работы**

Значение результатов для практики планирования инструментального обслуживания на машиностроительном предприятии заключается в сокращении времени на принятие согласованных решений по окончательному варианту номенклатурного плана и повышении качества принимаемых решений за счет организации автоматизированной поддержки управляющего.

Основные практические результаты диссертационной работы:

- модели процесса планирования инструментального обслуживания производства в виде графов с приоритетами;
- методика построения обобщенной модели дискретного процесса на основе экспертных оценок для поддержки принятия решений;
- алгоритмы построения обобщенной модели дискретного процесса и организации информационного сопровождения;
- программное обеспечение в среде Microsoft Visual FoxPro 8.0, реализующее предложенные алгоритмы, используются для планирования инструментального обслуживания на ФГУП «УАПО».

### **Апробация работы**

Основные результаты и положения работы обсуждались на: Международной молодежной научной конференции XXX Гагаринские чтения, Москва, 2004; Студенческой научно-теоретической конференции «Неделя науки» в секции «Информационные технологии», Уфа, 2004; XLII Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс: Информационные технологии», Новосибирск, 2004; XVII Международной научно-технической конференции «Математические методы и информационные технологии в экономике, социологии и образовании», Пенза, 2006; Региональной зимней школе-семинаре аспирантов и

молодых ученых «Интеллектуальные системы обработки информации и управления», Уфа, 2007.

### **Публикации**

По материалам диссертации опубликовано 8 работ, в том числе 1- в рецензируемом журнале из списка ВАК, 2 рукописи депонированы в ВИНТИ, 5 – в материалах и трудах конференций.

### **Структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 138 страницах машинописного текста. Библиографический список включает 191 наименование использованной отечественной и зарубежной литературы.

### **Благодарности**

Автор благодарит канд. техн. наук, доц. Р.А. Ярцева за обстоятельные научные консультации в течение всего времени работы над диссертацией.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность работы, определена цель, поставлены задачи исследований, приведены научная новизна, практическая ценность, положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** обсуждаются особенности инструментального обслуживания машиностроительного предприятия на примере ФГУП «УАПО». Определено, что задача планирования инструментального обслуживания предполагает планирование производственной деятельности инструментальных цехов, производящих различные виды инструмента и оснастки (ИНО), и состоит из следующих этапов:

- 1) Формирование «Портфеля заказов».
- 2) Планирование объема трудовых затрат инструментальных цехов.
- 3) Составление и утверждение номенклатурного плана.

Портфель заказов формируется на основании большого объема заявок от цехов-заказчиков, получаемого инструментальным отделом ежемесячно, с которым инструментальные цеха часто не справляются даже при полной загрузке имеющихся мощностей. Чтобы выявить наиболее важные позиции портфеля заказов, составляется номенклатурный план, который служит неким «фильтром», устанавливающим баланс соотношения между потоком заявок и пропускной способностью инструментальных цехов. Под пропускной способностью инструментального цеха понимается ограничение по трудовым ресурсам, определяемое как плановый объем трудовых затрат за месяц для инструментального цеха.

Ожидаемым результатом выполнения рассмотренной задачи, то есть целью процесса планирования инструментального обеспечения является номенклатурный план на следующий месяц, отвечающий требованиям заинтересованных сторон, в качестве которых выступают цеха-заказчики, инструментальный отдел и инстру-

ментальные цеха, утвержденный техническим директором УАПО и содержащий заказы на изготовление, ремонт и модернизацию ИНО.

Выявлены недостатки существующего способа решения задачи планирования инструментального обслуживания:

- 1) большие затраты времени на согласование и коррекцию номенклатурного плана;
- 2) высокая степень субъективности принимаемых решений;
- 3) сложность коррекции номенклатурного плана при необходимости изменения планового объема трудовых ресурсов;
- 4) ручная обработка данных.

В связи с этим поставлена задача автоматизации планирования инструментального обслуживания производства, содержащая требование предоставления ЛПП (техническому директору) возможности получения согласованного варианта (по любому из принципов согласования) или выбора, просмотра и доработки одного из вариантов плана экспертов, проведения коррекции планового объема трудовых затрат.

Отмечено, что процесс планирования может быть отнесен к классу простых элементарных процессов (дискретных процессов специального вида), которые удобнее всего представлять моделями в виде графов. Проведен анализ существующих средств, методов и моделей, применимых для решения задач автоматизации планирования и управления бюджетом, на основе которого сделан вывод о том, что они либо не предназначены для применения в условиях экспертных оценок, либо не обеспечивают автоматизированное сопоставление, обобщение и согласование точек зрения отдельных экспертов. Кроме того, они не обеспечивают автоматизированную коррекцию окончательного варианта номенклатурного плана ЛПП в условиях экономики трудовых ресурсов.

В связи с этим были сделаны выводы о том, что:

- 1) Необходимо разработать новую методику моделирования процесса составления плана производства ИНО на основе экспертных оценок, отражающих мнения различных экспертов в области планирования инструментального обслуживания.
- 2) Методика должна выступать в качестве теоретической основы для разработки конкретных моделей экспертных оценок и их практической реализации в виде программного обеспечения на языке высокого уровня.

В соответствии с данными выводами сформулирована цель и поставлены задачи исследования.

**Вторая глава** посвящена исследованию теоретических вопросов построения моделей ЭП на основе графов с приоритетами в условиях экспертных оценок. Предлагается новая методика моделирования ЭП на основе экспертных оценок с помощью ГЭП – ориентированных графов, вершины которых изображают возможные состояния моделируемого процесса, а дуги – возможные переходы между ними.

Для реализации методики вводится нормализация ГЭП и соответствующих моделей: ГЭП первого нормального вида определяется как ГЭП, каждой дуге  $d_k$  которого, исходящей из произвольной вершины  $S_j$ , однозначно соответствует приоритет  $\pi(d_k, G)$ , предикат активности, символ или слово (последовательность сцепленных друг с другом символов)  $c(d_k, G)$  из символов алфавита  $C$ , а ГЭП второго нормального вида может быть получен из предыдущего удалением всех недостижимых вершин и дуг. Первый нормальный вид имеют индивидуальные модели ЭП, которые строятся экспертами и представляют собой исходные данные для моделирования. Для моделей второго нормального вида вводится понятие эквивалентности.

Модели, строящиеся на основании данных экспертов, названы индивидуальными. Они содержат ГЭП первого нормального вида и обозначаются как  $M^i$  (см. рис.1).

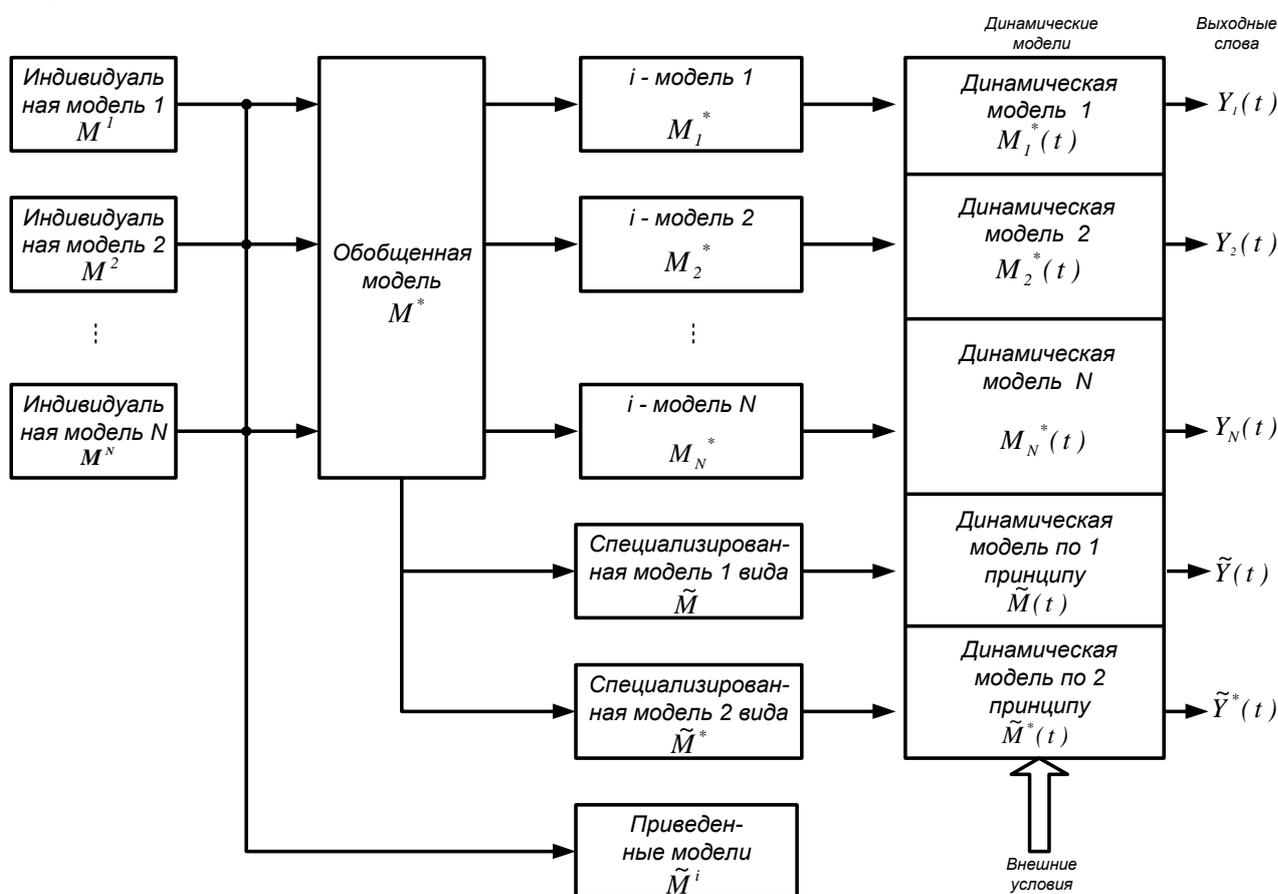


Рисунок 1. Общая схема преобразования моделей ЭП

Предложено объединить индивидуальные модели в обобщенную модель ЭП  $M^*$ , включающую предикат активности – переменную  $p_a^* = \bigvee_{i=1}^N p_a^i$ , где  $p_a^i$  – предикат активности индивидуальной модели  $M^i$ ; вектор активности – вектор-строку вида  $\rightarrow^* p_a = //p_a^1; p_a^2; \dots; p_a^i; \dots; p_a^N// = //p_a^i//_1^N$ , который в каждый текущий момент времени указывает на  $i$ -активность процесса по каждой из моделей  $M^i$ ; обобщенный граф элементарного процесса (ОГЭП) - это ГЭП  $G^*$ , включающий начальную вер-

шину  $\sigma^* = \sigma(G^*)$ , вершины  $S_j^*$  которого ( $S_j^* \in O^* = O(G^*)$ ,  $j = \overline{1, N^*}$ ,  $N^* = N(G^*)$ ) соединены дугами  $d_k^*$  ( $d_k^* \in A^* = A(G^*)$ ,  $k = \overline{1, D^*}$ ,  $D^* = D(G^*)$ , причем, если  $D_j^* = D(S_j^*, G^*)$ , то  $D^* = \sum_{j=1}^{N^*} D_j^*$ ). Для каждой дуги  $d_k^*$  ОГЭП задаются: 1) предикат активности  $p_a(d_k^*, G^*)$ , определяющий активность данной дуги; 2) функция прообраза  $\overline{F}(d_k^*, G^*, G^i)$ , принимающая единичное значение в том и только в том случае, если для дуги  $d_k^*$  ОГЭП  $G^*$  на ИГЭП  $G^i$  найдется прообраз, т.е. соответствующая ей дуга  $d$  ( $\exists d(d \in A(G^i) \Rightarrow d \sim d_k^*)$ ); 3) вектор-приоритет  $\overline{\Pi}(d_k^*, G^*)$ , хранящий приоритеты всех дуг  $d$  на различных ИГЭП, соответствующих  $d_k^*$ ; 4) вектор информационного сопровождения  $\overline{C}(d_k^*, G^*)$ , хранящий символы информационного сопровождения таких дуг; семейство функций развития  $m^*$  – это множество вида  $\{m^i(\tilde{G}^i)\}$ ,  $i = \overline{1, N}$ , где  $m^i(\tilde{G}^i)$  – функция развития приведенной индивидуальной модели  $M^i$ ; семейство функций информационного сопровождения  $e^*$  – это множество вида  $\{e^i(\tilde{G}^i)\}$ ,  $i = \overline{1, N}$ , где  $e^i(\tilde{G}^i)$  – функция информационного сопровождения приведенной индивидуальной модели  $M^i$ . Разработана процедура, которая строит обобщенную модель ЭП на основе предложенных экспертами индивидуальных моделей, устраняя их избыточность и сохраняя различия. Основная идея данной процедуры заключается в том, что так называемые соответствующие вершины и дуги различных индивидуальных моделей объединяются между собой в одну вершину или дугу на обобщенной модели. Предлагаемая процедура построения ОГЭП как объединения ИГЭП различных моделей  $M^i$  основывается на использовании следующих принципов:

- 1) каждая вершина (дуга) ОГЭП соответствует некоторой вершине (дуге) хотя бы одного из объединяемых ИГЭП;
- 2) каждая достижимая вершина (дуга) любого ИГЭП соответствует одной из вершин (дуг) ОГЭП;
- 3) все соответствующие друг другу вершины (дуги) различных ИГЭП соответствуют ровно одной вершине (дуге) ОГЭП.

Процедура реализуется шагами, на каждом из которых строится очередной уровень вершин и дуг ОГЭП, достижимых из начальной вершины. Входными данными на каждом  $j$ -м шаге являются: а) граф  $G_{j-1}^*$ , представляющий собой подграф ОГЭП  $G^*$  (недостроенный ОГЭП  $G^*$ ) и сформированный на предыдущем шаге  $j-1$ ; б) множество всех ИГЭП  $\{G^i\}$ ,  $i = \overline{1, N}$ ; в) множества обрабатываемых вершин данных ИГЭП  $O_{j-1}^i$  ( $O_{j-1}^i \subset O^i$ ) с предыдущего шага. Выходными данными, формируемыми на  $j$ -м шаге на основании входных, являются: а) граф  $G_j^*$ ; б) множества вершин ИГЭП  $O_j^i$ . Для первого шага  $j=1$ :  $G_0^* = \{\sigma^*\}$ ,  $\forall i(i = \overline{1, N} \Rightarrow O_0^i = \{\sigma^i\})$  (при этом все начальные вершины соответствуют друг другу, т.е.  $\sigma^* \sim \sigma^1 \sim \sigma^2 \sim \dots \sim \sigma^N$ ). Множества  $O_j^i$  формируются из достижимых вершин соответствующих ИГЭП  $G^i$

таким образом, что: 1) ни одно из них не содержит повторяющихся вершин, т.е.  $\forall i, j (i = \overline{1, N} \wedge j = \overline{1, q} \Rightarrow \neg \exists s, S (s \in O_j^i \wedge S \in O_j^i \Rightarrow s = S))$ ; 2) для каждой вершины любого множества на ОГЭП найдется соответствующая ей вершина, т.е.  $\forall i, j, S (S \in O_j^i \Rightarrow \exists S^* (S^* \in O(G_j^*) \Rightarrow S \sim S^*))$ ; 3) ни одна из вершин любого ИГЭП не может входить более чем в одно множество, т.е.  $\forall i, j, S, k (S \in O_j^i \wedge 1 \leq k \leq j-1 \Rightarrow S \notin O_k^i)$ . Поскольку множество всех вершин любого ИГЭП  $O^i$  конечно (свойство ГЭП), то отсюда следует окончание предлагаемой процедуры через некоторое конечное число шагов  $q$ . В результате формируется граф  $G_q^*$ , представляющий собой построенный ОГЭП  $G^*$ , т.е. граф такой, что  $O(G_q^*) = O^*$ ,  $\Delta(G_q^*) = \Delta^*$  и  $\forall d_k^* (d_k^* \in \Delta(G_q^*) \Rightarrow p_a(d_k^*, G_q^*) = p_a(d_k^*, G^*) \wedge \overline{\Pi}(d_k^*, G_q^*) = \overline{\Pi}(d_k^*, G^*) \wedge \overline{C}(d_k^*, G_q^*) = \overline{C}(d_k^*, G^*) \wedge (\forall i (i = \overline{1, N} \Rightarrow \overline{F}(d_k^*, G_q^*, G^i) = \overline{F}(d_k^*, G^*, G^i)))$ .

Обработка на каждом  $j$ -м шаге предлагаемой процедуры заключается в следующем:

1) в качестве множества  $G_j^*$  берется множество  $G_{j-1}^*$  с предыдущего шага, т.е.  $G_j^* := G_{j-1}^*$ ;

2) для всех  $i$  таких, что  $i = \overline{1, N}$ , соответствующие множества  $O_j^i$  задаются пустыми, т.е.  $O_j^i := \emptyset$ ;

3) для всех  $i, O_{j-1}^i, S, S^*, d$  таких, что  $d$  – дуга графа  $G^i$ , исходящая из вершины  $S$ , принадлежащей непустому множеству  $O_{j-1}^i$  и соответствующей некоторой вершине  $S^*$  на графе  $G_j^*$ , т.е.  $i = \overline{1, N} \wedge O_{j-1}^i \neq \emptyset \wedge S \in O_{j-1}^i \wedge S^* \in O(G_j^*) \wedge S \sim S^* \wedge d \in \Delta^i \wedge S = F_I(d, G^i)$ :

а) если на графе  $G_j^*$  найдется дуга  $d^*$ , исходящая из вершины  $S^*$  и соответствующая дуге  $d$  (иначе говоря,  $d$  – прообраз  $d^*$  на  $G^i$ ), т.е.  $\exists d^* (d^* \in \Delta(G_j^*) \wedge \Delta(G_j^*) \subset \Delta^* \Rightarrow S^* = F_I(d^*, G_j^*) \wedge d \sim d^*)$ , то

а1) функция прообраза для дуги  $d^*$  и графа  $G^i$  устанавливается в единицу, т.е.  $\overline{F}(d^*, G_j^*, G^i) := 1$ ;

а2)  $i$ -приоритет дуги  $d^*$  (см. ниже б1.4) устанавливается в значение, равное приоритету прообраза (соответствующей дуги  $d$ ) на графе  $G^i$ , т.е.  $\pi(i, d^*, G_j^*) := \pi(d, G^i)$ ;

а3)  $i$ -й элемент информационного сопровождения дуги  $d^*$  (см. ниже б1.5) устанавливается в значение, равное информационному сопровождению прообраза на графе  $G^i$ , т.е.  $c(i, d^*, G_j^*) := c(d, G^i)$ ;

а4) если дуга  $d$  на графе  $G^i$  ведет в вершину, для которой на том же графе имеются исходящие дуги, не имеющие соответствующих дуг на графе  $G_j^*$ , причем данная вершина еще отсутствует во множестве  $O_j^i$ , т.е.

$D(F_2(d, G^i), G^i) \neq 0 \wedge D(F_2(d^*, G_j^*), G_j^*) = 0 \wedge F_2(d, G^i) \notin O_j^i$ , то указанная вершина добавляется во множество  $O_j^i$ , т.е.  $O_j^i := O_j^i \cup \{F_2(d, G^i)\}$ . При этом отметим, что по определению соответствующих вершин  $F_2(d, G^i) \sim F_2(d^*, G_j^*)$ ;

б) если дуги, указанной выше в пункте а, не существует, т.е.  $\neg \exists d^* (d^* \in \Delta(G_j^*) \wedge \Delta(G_j^*) \subset \Delta^* \Rightarrow S^* = F_1(d^*, G_j^*) \wedge d \sim d^*)$ , то

б1) в граф  $G_j^*$  добавляется дуга  $d^*$ , т.е.  $G_j^* := G_j^* \oplus d^*$ ,

где операция добавления дуги  $\oplus$  предусматривает:

б1.1) добавление  $d^*$  во множество дуг  $\Delta(G_j^*)$ , т.е.  $\Delta(G_j^*) := \Delta(G_j^*) \cup \{d^*\}$ ;

б1.2) назначение для  $d^*$  предиката активности  $p_a(d^*, G_j^*)$ , который совпадает с предикатом активности дуги  $d$  на графе  $G^i$ , т.е.  $p_a(d^*, G_j^*) := p_a(d, G^i)$ ;

б1.3) задание для  $d^*$  значения функции исходной вершины на графе  $G_j^*$ , равного  $S^*$ , т.е.  $F_1(d^*, G_j^*) := S^*$ ;

б1.4) задание для  $d^*$  вектор-приоритета  $\bar{\Pi}(d^*, G_j^*)$ , т.е.  $\bar{\Pi}(d^*, G_j^*) := //\pi(1, d^*, G_j^*); \pi(2, d^*, G_j^*); \dots; \pi(k, d^*, G_j^*); \dots; \pi(N, d^*, G_j^*)// = //\pi(k, d^*, G_j^*)//_I^N$ , где  $\pi(k, d^*, G_j^*)$  -  $k$ -й частный приоритет ( $k$ -приоритет) дуги  $d^*$ , равный приоритету дуги  $d$  на графе  $G^i$ , если  $k=i$ , и значению, на единицу превышающему значение максимального приоритета среди дуг всех ИГЭП в противном случае, т.е. определяемый следующим образом:

$$\pi(k, d^*, G_j^*) = \begin{cases} \pi(d, G^i), & \text{если } k = i, \\ \max_{\lambda=1, N} \left\{ \max_{l=1, D(G^k)} \pi(d_l, G^l) \right\} + 1, & \\ \text{если } k \neq i; \end{cases}$$

б1.5) задание для  $d^*$  вектора информационного сопровождения, т.е.  $\bar{C}(d^*, G_j^*) := //c(1, d^*, G_j^*); c(2, d^*, G_j^*); \dots; c(k, d^*, G_j^*); \dots; c(N, d^*, G_j^*)// = //c(k, d^*, G_j^*)//_I^N$ , где  $c(k, d^*, G_j^*)$  -  $k$ -й элемент информационного сопровождения дуги  $d^*$ , совпадающий с информационным сопровождением дуги  $d$  на графе  $G^i$ , если  $k=i$ , и равный «пустому» слову в противном случае, т.е. определяемый следующим образом:

$$c(k, d^*, G_j^*) = \begin{cases} c(d, G^i), & \text{если } k = i, \\ c^0, & \text{если } k \neq i; \end{cases}$$

б1.6) если для вершины, в которую ведет дуга  $d$  на  $G^i$ , уже существует соответствующая вершина  $S^{**}$  на графе  $G_j^*$ , т.е.  $\exists S^{**} (S^{**} \in O(G_j^*) \subset O^* \Rightarrow S^{**} \sim F_2(d, G^i))$ , то задание данной вершины в качестве конечной для дуги  $d^*$  на графе  $G_j^*$ , т.е.  $F_2(d^*, G_j^*) := S^{**}$ ;

б1.7) если вершины, указанной в пункте б1.6, не существует, т.е.  $\neg \exists S^{**} (S^{**} \in O(G_j^*) \subset O^* \Rightarrow S^{**} \sim F_2(d, G^i))$ , то

б1.7.1) в граф  $G_j^*$  добавляется вершина  $S^{**}$ , т.е.

$G_j^* := G_j^* \otimes S^{**}$ , где операция  $\otimes$  добавления вершины предусматривает:

б1.7.1.1) добавление  $S^{**}$  во множество вершин  $O(G_j^*)$ , т.е.  $O(G_j^*) := O(G_j^*) \cup \{S^{**}\}$ ;

б1.7.1.2) задание  $S^{**}$  в качестве конечной для дуги  $d^*$  на графе  $G_j^*$ , т.е.  $F_2(d^*, G_j^*) := S^{**}$ ;

б1.7.2) вершина  $S^{**}$  добавляется во множество  $O_j^i$ , т.е.

$O_j^i := O_j^i \cup \{F_2(d, G^i)\}$ .

б2) функция прообраза для дуги  $d^*$  и графа  $G^i$  устанавливается в единицу, т.е.  $\overline{F}(d^*, G_j^*, G^i) := 1$ ;

б3) для всех прочих ИГЭП значение данной функции обнуляется, т.е. при всех  $k$  таких, что  $k = \overline{1, N} \wedge k \neq i \Rightarrow \overline{F}(d^*, G_j^*, G^k) := 0$ . Отметим, что в случае б) добавляемая дуга  $d^*$  соответствует дуге  $d$ , т.е.  $d \sim d^*$ .

Сделан вывод о том, что из обобщенной модели может быть восстановлена любая из ранее обобщенных индивидуальных моделей в виде так называемой  $i$ -модели. При этом доказывается, что любая  $i$ -модель эквивалентна соответствующей индивидуальной модели, приведенной ко второму нормальному виду. Тем самым обосновывается взаимозаменяемость индивидуальных моделей ЭП его обобщенной модели в ходе контроля развития данного процесса.

В целях упрощения контроля развития ЭП разработаны две процедуры преобразования построенной обобщенной модели к специализированным моделям, имеющим второй нормальный вид. В основу одной из этих процедур положен принцип ранжирования экспертов и их моделей по приоритетам, а в основу другой - принцип преобладания коллективного мнения экспертов над авторитетом индивидуальных высказываний. Использование данных процедур устраняет противоречия, содержащиеся в индивидуальных моделях, без проведения какого бы то ни было обсуждения с их авторами (согласование моделей).

**В третьей главе** рассматривается применение методики моделирования для формирования номенклатурного плана инструментального обслуживания производства на ФГУП «УАПО». На рис. 2 приведена новая схема автоматизированного формирования номенклатурного плана инструментального обслуживания производства, обеспечивающая не только выбор наиболее подходящего из набора различных вариантов плана, сгенерированных на основе обобщенной модели, но и автоматизированную коррекцию плана управляющим (ЛПР). Основная идея модификации существующего способа планирования состоит в том, что - каждый эксперт, имея в своем распоряжении электронную таблицу с данными о заказах на ИНО,

предлагает свой вариант плана, причем эта таблица является результатом преобразования массива «Портфель заказов» путем переноса тех позиций, срок износа которых истекает раньше возможной сдачи нового ИНО и с учетом фактического наличия ИНО в цехе–заказчике. Таким образом, экспертам предлагается выбрать наиболее важные по их мнению позиции ИНО для включения в номенклатурный план следующего месяца из перечня «срочных» позиций. Далее осуществляется преобразование сформированных экспертами вариантов плана в индивидуальные модели, на основе которых строится обобщенная модель, предоставляющая информацию, достаточную для дальнейшего формирования окончательного варианта номенклатурного плана. Итак, согласно разработанной методике процесс планирования как элементарный процесс описывается моделями на основе ГЭП, вершины которых соответствуют выполнению определенных этапов планирования, например, таких, как перенос остатка трудовых ресурсов с прошлого периода, увеличение величины трудовых ресурсов, выбор заказов для включения в номенклатурный план, а дуги ГЭП фиксируют переходы от одного этапа к другому. Обобщенная и специализированные модели содержат указанные ГЭП и в комплексе образуют базу для генерации любого из вариантов номенклатурного плана, которая осуществляется автоматически по специальному запросу ЛПР. Таким образом ЛПР на своем АРМ просматривает интересующие его варианты плана и выбирает из них наиболее предпочтительный (либо один из согласованных вариантов, либо вариант какого-нибудь эксперта), который назван базовым вариантом. На практике часто возникает необходимость доработки плана в связи с изменением планового объема трудовых ресурсов и т.п. Вследствие того, что базовый вариант номенклатурного плана хранится в виде соответствующей базовой модели, его доработка повлечет за собой автоматическую коррекцию базовой модели, имеющей те же компоненты, что и любая нормализованная модель ЭП.

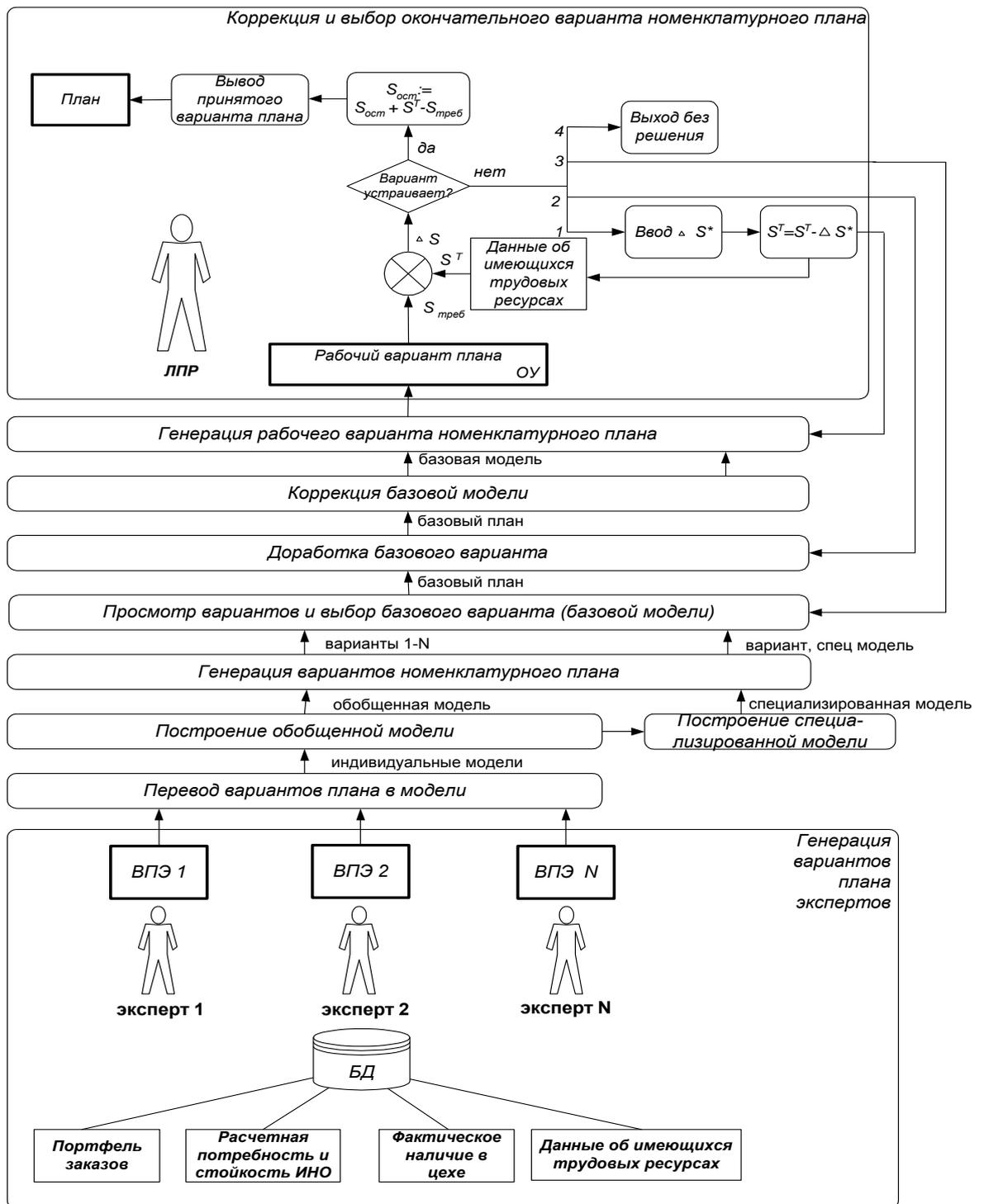


Рисунок 2. Общая схема автоматизированного процесса формирования номенклатурного плана на основе предлагаемой методики моделирования:  
 $S_{треб}$  – величина требуемого объема трудовых ресурсов,  $S^T$  – величина имеющегося объема трудовых ресурсов,  $\Delta S$  – разница между требуемым и имеющимся объемами

Таким образом, полученный на данном этапе вариант плана, называемый рабочим, становится объектом управления в подсистеме выбора окончательного варианта номенклатурного плана, осуществляемого ЛПР.

Далее суммарная трудоемкость выполнения заказов  $S_{треб}$  рабочего варианта плана сравнивается с плановым объемом  $S^T$  имеющихся в распоряжении трудовых

ресурсов (в нормо–часах). Если  $\Delta S$ , равный разнице между  $S^T$  и  $S_{треб}$ , не меньше нуля, то такой вариант считается приемлемым и ЛПР остается лишь подтвердить решение о принятии окончательного варианта. Далее программа вычисляет остаток трудовых ресурсов  $S_{ост}$  и выводит на печать номенклатурный план по специальной форме. Если же  $\Delta S$  меньше нуля, что означает недостаток трудовых ресурсов, то рабочий вариант плана считается неприемлемым, и программа сигнализирует об этом управляющему, предлагая принять одно из указанных решений.

Разработан комплекс моделей всех трех видов (индивидуальная, обобщенная, специализированная), предусмотренных предлагаемой методикой и предназначенных для моделирования процесса планирования инструментального обслуживания по данным от трех экспертов, в качестве которых выступают инженер по техническому надзору, инженер по планированию инструментального отдела и заместитель начальника инструментального цеха. Сделан вывод о том, что индивидуальные модели характеризуются избыточностью данных, устраняемой с помощью построения обобщенной модели (см. рис. 3). Также построены специализированные модели двух видов, вид которых совпадает с видом индивидуальных моделей.

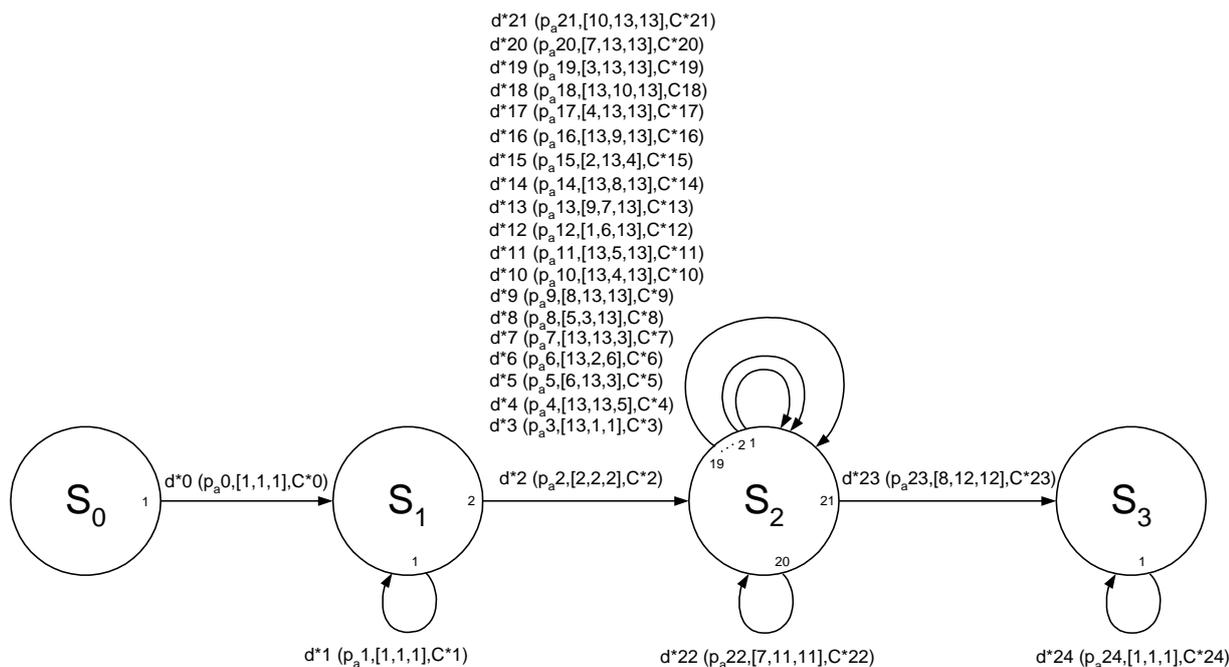


Рисунок 3. Обобщенная модель  $M^*$  (на примере процесса планирования инструментального обслуживания)

Предложен алгоритм построения обобщенной модели на основе индивидуальных моделей экспертов, устраняющей избыточность и сохраняющей различия индивидуальных моделей. Особенностью данного алгоритма является его циклический, пошаговый характер, когда цикл обработки на каждом шаге включает вложенные друг в друга циклы просмотра и обработки моделей, вершин и дуг. Обработка заключается в построении очередного фрагмента ОГЭП и формирование множеств обрабатываемых вершин по каждому из ИГЭП, передаваемых на следующий шаг. При построении ОГЭП соответствующие вершины и дуги различных ИГЭП объе-

диняются, новой (объединенной) дуге ставятся в соответствие формируемые из реквизитов объединяемых дуг векторы приоритета и информационного сопровождения. В дальнейшем при использовании построенной модели в ходе контроля развития ЭП из нее с помощью другого предлагаемого алгоритма может быть получена любая из ранее обобщенных индивидуальных моделей.

Предложены алгоритмы преобразования обобщенной модели в специализированные, отражающие «групповое» мнение экспертов по принципу ранжированности и принципу преобладания коллективного мнения: в первом случае вектор–приоритет каждой из дуг модели преобразуется в скалярное значение, зависящее от рангов экспертов, которые участвовали в построении данной дуги, а во втором случае соответствующее скалярное значение определяется, в первую очередь, числом указанных экспертов.

**В четвертой главе** обсуждаются результаты практической реализации моделей процесса планирования инструментального обслуживания производства на ФГУП «УАПО». Описан разработанный программный комплекс, который включает несколько взаимосвязанных модулей объединенных в два основных блока – блока экспертного оценивания и блока принятия решения. Приведено руководство пользователя, описывающее выполнение всех реализованных функций.

Определены источники эффективности внедрения предлагаемой методики моделирования: сокращение времени на принятие решения по окончательному варианту номенклатурного плана и повышение качества принимаемых решений за счет организации автоматизированной поддержки управляющего, сокращение объема используемых моделей ЭП, а также памяти, необходимой для их хранения, за счет использования обобщенной модели  $M^*$  вместо индивидуальных моделей  $M^i$  ( $i = \overline{1, N}$ ), сокращение затрат на планирование инструментального обслуживания за счет высвобождения рабочего времени управляющего и других специалистов, участвующих в планировании.

Произведена количественная оценка достигнутых показателей эффективности: так, использование обобщенной модели позволило сократить объем индивидуальных моделей более чем на 30%, а использование специализированных моделей приблизительно на 40%. Кроме того, время принятия решений специалистами УАПО сократилось примерно на 70%.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертации разработана научно обоснованная методика моделирования дискретных процессов с приоритетами для автоматизированной поддержки управ-

ления инструментальным обслуживанием производства на основе экспертных оценок. В основе методики лежат следующие научные результаты:

1. Обобщенная модель элементарного процесса в виде графа состояний, которая строится на основе экспертных оценок и используется для построения иерархической модели, *отличающаяся тем, что с целью интеграции мнений отдельных экспертов* данная модель содержит обобщенный граф элементарного процесса (ОГЭП), веса дуг которого несут информацию, позволяющую восстановить из обобщенной модели индивидуальные модели экспертов.

2. Метод построения обобщенной модели по п.1 и алгоритм для его осуществления, основанные на объединении индивидуальных моделей экспертов, *отличающиеся тем, что с целью устранения избыточности интегральной модели* выявляются и объединяются соответствующие элементы графов индивидуальных моделей, при этом формируются веса дуг обобщенного графа в виде вектор–приоритета и информационного вектора.

3. Метод и алгоритм преобразования обобщенной модели по п.1 в специализированные модели, предназначенные для согласования мнений отдельных экспертов, *отличающиеся тем, что с целью приведения к форме индивидуальных моделей* веса дуг обобщенной модели преобразуются из векторной в скалярную форму.

4. Модель процесса планирования инструментального обслуживания на машиностроительном предприятии, основанная на формировании номенклатурного плана по заявкам подразделений, *отличающаяся тем, что с целью обеспечения автоматизированной поддержки принятия управленческих решений* возможные варианты плана, варианты согласования разногласий и варианты, учитывающие дополнительные ограничения на трудовые ресурсы, генерируются путем построения обобщенной модели по п.1 с использованием метода по п.2 и ее преобразования в специализированные модели методом по п.3.

5. Программное обеспечение для автоматизированной поддержки управления планированием инструментального обслуживания в среде Microsoft Visual FoxPro 8.0, *отличающееся тем, что с целью реализации модели процесса планирования по п.4* оно включает расчетные модули, основанные на моделях и методах по п.1–3, а также интерфейсные модули, выполняющие преобразование внешних представлений пользователей во внутреннюю форму и обратно.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ

### *В рецензируемом журнале из списка ВАК*

1. О построении моделей управления на основе графов с приоритетами по методологии экспертных оценок / С.Г. Газетдинова, Р.А. Ярцев // Вестник УГАТУ : научн. журн. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та, 2006. Т. 7, №2 (15). С.212–222.

### *В других изданиях*

2. Интегрированная экспертная модель с использованием графов с приоритетами / С.Г. Газетдинова // XXX Гагаринские чтения : материалы междунар. молодёжн. науч. конф. М. : МАТИ – РГТУ им. Циолковского, 2004. Т. 5, С.19.

3. Модели экспертных оценок / С.Г. Газетдинова // Материалы XLII Междунар. науч. студенч. конф. Новосибирск : Изд-во Новосиб. гос. ун-та, 2004. С.217–219.

4. Методика обработки моделей процессов управления в виде графов с приоритетами / С.Г. Газетдинова // Математические методы и информационные технологии в экономике, социологии и образовании : сб. статей XVII Межднар. науч.-техн. конф. Пенза : Приволжский Дом знаний, 2006. С.229–230.

5. Об алгоритме контроля простого элементарного процесса / В.С. Виссарионов, С.Г. Газетдинова, Ю.Б. Головкин [и др.]. Рукопись деп. в ВИНТИ 24.05.06 №703 - В2006. 12 с.

6. О моделировании элементарных процессов на основе экспертных оценок / С.Г. Газетдинова, Р.А. Ярцев. Рукопись деп. в ВИНТИ 24.05.06 №702 - В2006. 42 с.

7. О контроле дискретных процессов специального вида на основе графов с приоритетами / В.С. Виссарионов, С.Г. Газетдинова, Ю.Б. Головкин [и др.]. // Интеллектуальные системы обработки информации и управления : сб. статей 2-ой рег. зимн. шк.-сем. аспирантов и молодых ученых. Уфа : Технология, 2007. Т. 1. С.102–106.

8. Построение моделей развития процесса планирования объема оснащения для основного производства / С.Г. Газетдинова // Интеллектуальные системы обработки информации и управления : сб. статей 2-й рег. зимн. шк.-сем. аспирантов и молодых ученых. Уфа: Технология, 2007. Т. 1. С.90–93.

Диссертант

**С.Г. Газетдинова**

ГАЗЕТДИНОВА Светлана Геннадьевна

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДДЕРЖКА УПРАВЛЕНИЯ  
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ ПРОИЗВОДСТВА  
НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ДИСКРЕТНЫХ ПРОЦЕССОВ С ПРИОРИТЕТАМИ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление  
технологическими процессами и производствами

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано к печати . Формат 60x84 1/16.  
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.  
Усл.печ.л. 1,0. Усл.кр.-отт. 1,0. Уч.-изд.л. 0,9.  
Тираж 100 экз. Заказ № .

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет  
Центр оперативной полиграфии  
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12.