

На правах рукописи

Марков Андрей Игоревич

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ
РЕМОНТА ВЕРТОЛЕТОВ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление
и обработка информации (в технической отрасли)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук»

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Кушников Вадим Алексеевич

Официальные оппоненты: **Большаков Александр Афанасьевич**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Саратовский
государственный технический
университет имени Гагарина Ю.А.»,
профессор кафедры «Системы
искусственного интеллекта»

Иванов Александр Сергеевич
кандидат физико-математических наук,
доцент, ФГБОУ ВПО «Саратовский
государственный университет
им. Н.Г. Чернышевского»,
заведующий кафедрой
«Математическая кибернетика
и компьютерные науки»

Ведущая организация – ФГБОУ ВПО «Уфимский
государственный авиационный
технический университет»

Защита состоится «17» сентября 2013 г. в 15.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.242.04 при ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» по адресу: 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77, Саратовский государственный технический университет, ауд. 319/1 корп.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.».

Автореферат разослан «_____» _____ 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Алешкин Валерий Викторович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Внедрение современных инновационных технологий, способствующих значительному росту валового национального продукта, повышению уровня жизни населения и надежному обеспечению обороноспособности страны, невозможно осуществить без улучшения конкурентоспособности и качества продукции, выпускаемой отечественной промышленностью, в том числе и авиаремонтными предприятиями. Один из перспективных путей решения этой проблемы связан с разработкой и внедрением концепции компьютеризированного интегрированного производства, характерной особенностью которой является комплексный подход к автоматизации всего производственного процесса, что дает возможность объединить отдельные информационные системы промышленного предприятия в составе единой интегрированной системы управления. По мнению экспертов это позволяет в среднем на 15-35% сократить затраты на реализацию основных производственных функций, на 50-60% ускорить выполнение технологических процессов, на 50% снизить потери от брака и на 50-60% сократить неритмичность выполнения производственных заданий.

В нашей стране с конца 80-х годов ведется разработка методологии, технических и программных средств, необходимых для создания и внедрения в промышленности первых двух этапов концепции интегрированного производства. При этом основной акцент делается на создание гибридных систем, сочетающих использование формализованных моделей и методов традиционных АСУ и АСУ ТП с системами ситуационного управления.

Теоретическое обоснование принципов функционирования систем управления производственными процессами было осуществлено в работах таких зарубежных и отечественных ученых как Э. Фейгенбаум, Д. Уотермен, И.В. Прангишвили, Д.А. Поспелов, Г.С. Поспелов, О.И. Ларичев, Ю.И. Клыков, Э.В. Попов, А.Ф. Резчиков, С.В. Петров и других. В результате практического применения этой теории в настоящее время созданы и хорошо зарекомендовали себя на практике эффективные аппаратные и программные средства управления сложными производственными комплексами.

Между тем, как показывает опыт объединения существующих систем автоматизации в единый информационный комплекс, для более успешного создания компьютеризированного интегрированного производства необходимо разработать новые задачи, модели, методы, алгоритмы и программные продукты, позволяющие значительно расширить функциональные возможности системы ситуационного управления производственными процессами, повысить качество принимаемых решений и получить существенный экономический эффект. При этом основное внимание следует уделить задачам совершенствования математического обеспечения систем управления промышленным предприятием в сложных производственных ситуациях.

Приведенные выше соображения обуславливают актуальность, экономическую целесообразность и практическую значимость темы диссертационной работы, посвященной совершенствованию математического

обеспечения системы управления интегрированного авиаремонтного предприятия созданием новых моделей, методов, алгоритмов и комплексов программ ситуационного управления, позволяющих в значительной степени решить данные задачи.

Основные результаты диссертации являются составной частью фундаментальных научных исследований, выполняемых Институтом проблем точной механики и управления РАН (№ темы 01201156340). Кроме того, диссертационная работа соответствует темам основных научных исследований, проводимых в течение ряда лет на кафедрах «Системотехника» и «Информационные системы» Саратовского государственного технического университета.

Цель исследования диссертации заключается в разработке нового, более совершенного математического и программного обеспечения, применение которого значительно расширит функциональные возможности систем управления авиаремонтных предприятий, существенно повысит качество принимаемых решений в сложных производственных ситуациях и позволит получить значительный экономический эффект.

Объектом исследования являются производственные процессы авиаремонтных предприятий.

Методы исследования. В диссертации использованы методы теории управления, функционального анализа, теории графов, теории множеств, математической логики, динамического программирования, искусственного интеллекта, имитационного моделирования, теории дифференциальных уравнений, концептуального и логического проектирования баз данных распределенной структуры.

Научная новизна:

1. Разработана методика оперативного распознавания производственных ситуаций и поиска данных, используемых управленческим персоналом при подготовке и принятии решения. Методика основана на идее формирования метрического пространства производственных ситуаций и определении расстояния между его точками по зависимостям, традиционно используемым в поисковых системах при оценке сходства между сравниваемыми информационными объектами.

2. Развита математическая модель, позволяющая в режиме реального времени определить величину ожидаемых затрат на ликвидацию сложной производственной ситуации, а также продукционная модель, определяющая условия, уменьшающие ущерб от возникшей ситуации.

3. Предложены и обоснованы эвристические алгоритмы решения комплекса задач оперативного управления интегрированным авиаремонтным предприятием в сложных производственных ситуациях, основанные на использовании метода динамического программирования, логических функций и теории системного анализа.

4. Разработаны постановка, математическая модель и алгоритм решения задачи минимизации ущерба от ситуаций, связанных с остановкой ремонта агрегатов вертолетов в цехах предприятия. Решение данной задачи позволило в режиме реального времени определить оптимальную величину интенсивности восстановления отказов производственного оборудования,

обеспечивающую минимум функции вероятности возникновения аварии, приводящей к полной остановке процессов ремонта агрегатов вертолетов в цехах предприятия.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость диссертации заключается в разработке нового математического обеспечения для проблемно-ориентированных систем управления производственными процессами, позволяющего значительно расширить функциональные возможности данных систем, осуществить оперативную идентификацию сложных производственных ситуаций, а также выбрать оптимальный способ их ликвидации по критерию минимума ущерба.

Практическая значимость основных результатов диссертационного исследования связана с созданием типового информационно-программного обеспечения, используемого при управлении производственными процессами авиаремонтных предприятий в сложных производственных ситуациях.

Разработанные теоретические положения диссертации, подтвержденные в процессе апробации и внедрения полученных результатов, позволяют рекомендовать для практического использования в составе математического обеспечения систем управления данных предприятий:

- эффективные модели и алгоритмы оперативной идентификации сложных производственных ситуаций;
- математическое обеспечение нового, более совершенного информационно-измерительного комплекса, используемого для диагностирования в полевых условиях дефектов геометрических параметров фюзеляжа вертолета МИ-8 и его модификаций;
- тиражируемое программное обеспечение, реализующее разработанные модели и алгоритмы ситуационного управления в информационных системах авиаремонтного предприятия;
- опыт создания и методику внедрения разработанного типового математического и программного обеспечения как составной части интегрированной системы управления авиаремонтного предприятия.

Достоверность теоретических разработок, научных положений и выводов подтверждается корректностью применения математического аппарата теории управления, функционального анализа, теории дифференциальных уравнений, согласованностью результатов теоретических расчетов с данными, определенными в процессе практической апробации работы, имитационным моделированием управляемых процессов, а также натурными экспериментами с математическим обеспечением информационных систем производственного назначения.

Выносимые на защиту результаты:

1. Математическое обеспечение в виде формальных моделей, методик и алгоритмов, позволяющих значительно повысить оперативность идентификации производственных ситуаций и эффективность поиска семантически связанной с ними информации в распределенной базе данных и знаний компьютерно-интегрированного авиаремонтного предприятия.

2. Алгоритмы решения комплекса задач управления авиаремонтным предприятием в сложных производственных ситуациях, основанные на

использовании метода динамического программирования и логических функций.

3. Программное обеспечение, реализующее разработанные модели и алгоритмы ситуационного управления в информационных системах авиаремонтного предприятия.

4. Опыт создания и методика внедрения разработанного типового математического и программного обеспечения как составной части системы управления авиаремонтного предприятия.

Реализация и внедрение результатов исследований. Основные теоретические положения диссертационной работы в виде постановок задач, математических моделей, методик, алгоритмов и комплексов программ были внедрены в структурных подразделениях предприятия ОАО «356 Авиационный ремонтный завод» (г. Энгельс), использованы в учебном процессе специальности 22.02.20 «Автоматизированные системы обработки информации и управления» Саратовского государственного технического университета, а также применены при решении ряда других важных народнохозяйственных задач.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались в 2010-2012 гг. на ряде конференций и научных семинарах различного уровня: Международной конференция «Перспективные компьютерные, управляющие и телекоммуникационные системы для железнодорожного транспорта Украины» (Алушта, 2010); XXV Международной конференции «Математические методы в технике и технологиях, ММТТ – 25» (Саратов, 2012); Всероссийской научной конференции «Проблемы управления в социально-экономических и технических системах» (Саратов, 2012); на семинаре «Критические компьютерные технологии и системы» Харьковского аэрокосмического университета им. Жуковского; на научных семинарах кафедр «Системотехника» и «Информационные системы» Саратовского государственного технического университета; на кафедре «Дискретная математика и математическая кибернетика» Саратовского государственного университета; на научно-практических семинарах лаборатории «Системные проблемы автоматизации и управления в машиностроении» Института проблем точной механики и управления РАН.

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 8 научных работах, 3 из них изданы в ведущих научных журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав с выводами, заключения, списка литературы из 204 наименований и приложения. Объем работы составляет 149 страниц, в том числе 130 страниц основного текста. В работе 40 рисунков и 12 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулирована цель работы, проведен выбор объекта управления, определена научная новизна и практическая значимость диссертации, охарактеризованы

методы исследования, установлены выносимые на защиту научные положения и результаты.

В первой главе приведено описание производственных процессов типового авиаремонтного предприятия, осуществляющего ремонт широко распространенных в мире вертолетов Ми-8 и их модификаций (рис. 1). Определены основные направления совершенствования систем управления на основе внедрения технологии компьютерно-интегрированных производств, рассмотрены математические модели и методы, используемые при разработке проблемно-ориентированных систем управления авиаремонтным предприятием как сложным человеко-машинным комплексом.

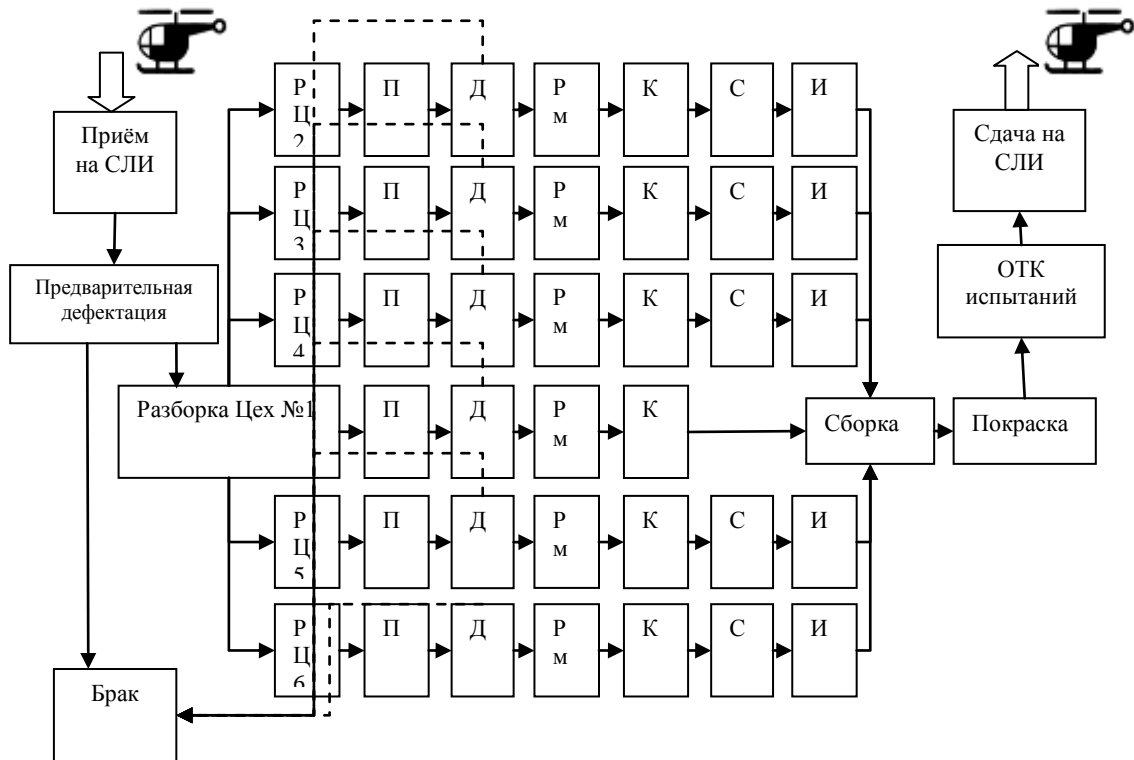


Рис. 1. Основные этапы ремонта вертолетов Ми-8 и их модификаций на типовом авиаремонтном предприятии: Р – разборка, П – промывка, Д – определение дефектов, Рм – ремонт, К – комплектация, С – сборка, И – испытания; ОТК – отдел технического контроля; СЛИ – станция летных испытаний

Во второй главе диссертации разработаны постановка, модели и эвристические алгоритмы решения задачи идентификации типовых производственных ситуаций и поиска информации в распределенной базе данных интегрированной системы управления авиаремонтного предприятия.

Постановка задачи. Допустим, что в процессе функционирования авиаремонтного предприятия периодически возникают сложные

производственные ситуации $S(a(t), u(t)) \in \left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ \rightarrow \rightarrow \end{matrix} \right\}$, требующие принятия

решения на основе анализа документов и данных, хранящихся в распределенной базе данных $\left\{ \begin{matrix} \rightarrow \rightarrow \\ \rightarrow \rightarrow \end{matrix} \right\}$ – множество различных

производственных ситуаций, возникающих на авиаремонтном предприятии,

$\vec{a}(t), \vec{u}(t)$ – векторы параметров окружающей среды и управляющих воздействий, характеризующих производственную ситуацию, соответственно).

Будем считать, что каждая сложная производственная ситуация $S(\vec{a}(t), \vec{u}(t)) \in \left\{ S(\vec{a}(t), \vec{u}(t)) \right\}$ однозначно характеризуется множеством

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Name, Reason, Consequence, Time, Division, Action, } A_1, A_2, A_3, \dots, A_n, \\ \text{Documents, Data} \end{array} \right\} \quad (1)$$

(Name, Reason, Consequence, Time, – наименование, причина, последствия, время начала и окончания производственной ситуации; Division – подразделения предприятия, затронутые данной ситуацией; Action – мероприятия, необходимые для разрешения ситуации; $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ – параметры объекта управления, системы управления и окружающей среды, учитываемые ЛПП при принятии решения в сложившейся ситуации; Documents, Data – перечень данных и документов, используемых ЛПП при принятии решения).

Примем также, что на предприятии существует информационное хранилище, в котором размещено множество документов $\{D\}$ и множество данных $\{F\}$, используемых ЛПП при управлении производственным процессом в ситуациях $\left\{ S(\vec{a}(t), \vec{u}(t)) \right\}$.

С учетом сделанных допущений формализованная постановка решаемой задачи имеет следующую формулировку.

Для систем управления авиаремонтного предприятия разработать методы и алгоритмы идентификации производственных ситуаций, позволяющие на временном интервале $[t_n, t_k]$ при известных параметрах среды

$$\vec{a}(t) \in \left\{ \vec{A}(t) \right\} \text{ и управляющих воздействиях } \vec{u}(t) \in \left\{ \vec{U}(t) \right\}, \text{ характеризующих}$$

сложную производственную ситуацию, в течение времени, отведенного на решение задачи, выполнить следующие действия.

1. Установить степень совпадения возникшей сложной производственной ситуации $S(\vec{a}(t), \vec{u}(t)) \in \left\{ S(\vec{a}(t), \vec{u}(t)) \right\}$ с другими из множества $\left\{ S(\vec{a}(t), \vec{u}(t)) \right\}$.

Упорядочить все ситуации множества $\left\{ S(\vec{a}(t), \vec{u}(t)) \right\}$ по степени их близости

к возникшей ситуации $S(\vec{a}(t), \vec{u}(t)) \in \left\{ S(\vec{a}(t), \vec{u}(t)) \right\}$ в метрическом

пространстве производственных ситуаций.

3. Определить данные и документы, которые в возникшей ситуации должен учесть ЛПР в процессе выработки решения: $d_1, d_2, d_3, \dots, d_w \in \{D\}$, $f_1, f_2, f_3, \dots, f_v \in \{F\}$, $w \ll |\{D\}|$, $v \ll |\{F\}|$ и упорядочить их по степени важности представляемой информации:

$$R(d_z) > R(d_x) > R(d_c) > \dots > R(d_t), z, x, c, t \leq w$$

$$R(f_{z1}) > R(f_{x1}) > R(f_{c1}) > \dots > R(f_{t1}), z1, x1, c1, t1 \leq v$$

($d_1, d_2, d_3, \dots, d_w$ – данные, необходимые ЛПР для принятия решения в ситуации

$S(a(t), u(t)) \in \left\{ S(a(t), u(t)) \right\}$; $f_1, f_2, f_3, \dots, f_v$ – документы, необходимые ЛПР для

принятия решения в ситуации $S(a(t), u(t)) \in \left\{ S(a(t), u(t)) \right\}$; $R(d_z)$ – ранг

документа d_z , характеризующий степень важности документа на процесс выработки решения в возникшей производственной ситуации; $R(f_{z1})$ – ранг

данного f_{z1} ; w, v – количество данных и документов, характеризующих

сложную производственную ситуацию $S(a(t), u(t)) \in \left\{ S(a(t), u(t)) \right\}$; $\left\{ U(t) \right\}$,

$\left\{ A(t) \right\}$ – множество допустимых значений вектора управляющих воздействий и

вектора параметров окружающей среды, соответственно; $|\{D\}|$, $|\{F\}|$ – мощности множеств $\{D\}$ и $\{F\}$, соответственно).

Для определения расстояния между двумя произвольными производственными ситуациями $S_1(t), S_2(t) \in \{S(t)\}$ необходимо предварительно определить функции, устанавливающие степень сходства между характеристиками этих ситуаций. Для этого разобьем характеристики множества (1) на пять подмножеств, первое из которых содержит текстовую информацию, второе – время возникновения и окончания производственной ситуации, третье содержит ориентированные графы, используемые ЛПР в процессе подготовки и принятия решения. В четвертом подмножестве хранятся названия производственных ситуаций, в пятом – количественные показатели производственного процесса, учитываемые ЛПР при подготовке и принятии решения. Рассмотрим процедуру формирования функций сходства для каждого из указанных подмножеств, а затем, на основании этих функций, сформируем метрику, определяющую расстояние между сравниваемыми производственными ситуациями $S_1(t), S_2(t) \in \{S(t)\}$.

В качестве функций сходства для характеристик первого подмножества (Reason, Consequence, Division, Documents) может быть использован один из приведенных ниже показателей, которые традиционно используются в

информационных поисковых системах для сравнения степени совпадения текстовых документов:

$$\Psi_1^1(S_1, S_2) = \begin{cases} \frac{2(\sum_{k=1}^n t_{ik} t_{jk})}{\sum_{k=1}^n t_{ik} + \sum_{k=1}^n t_{jk}}, \text{ при } \sum_{k=1}^n t_{ik} + \sum_{k=1}^n t_{jk} \neq 0 \\ \emptyset, \text{ при } \sum_{k=1}^n t_{ik} + \sum_{k=1}^n t_{jk} = 0 \end{cases}$$

$$\Psi_1^2(S_1, S_2) = \begin{cases} \frac{\sum_{k=1}^n t_{ik} t_{jk}}{\sum_{k=1}^n t_{ik} + \sum_{k=1}^n t_{jk} - \sum_{k=1}^n t_{ik} t_{jk}}, \text{ при } \sum_{k=1}^n t_{ik} + \sum_{k=1}^n t_{jk} - \sum_{k=1}^n t_{ik} t_{jk} \neq 0 \\ \emptyset, \text{ при } \sum_{k=1}^n t_{ik} + \sum_{k=1}^n t_{jk} - \sum_{k=1}^n t_{ik} t_{jk} = 0 \end{cases}$$

$$\Psi_1^3(S_1, S_2) = \begin{cases} \frac{\sum_{k=1}^n t_{ik} t_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n t_{ik}^2 \cdot \sum_{k=1}^n t_{jk}^2}}, \text{ при } \sum_{k=1}^n t_{ik} \neq 0, \sum_{k=1}^n t_{jk} \neq 0 \\ \emptyset, \text{ при } \sum_{k=1}^n t_{ik} \neq 0, \sum_{k=1}^n t_{jk} \neq 0 \end{cases}$$

$$\Psi_1^4(S_1, S_2) = \begin{cases} \frac{\sum_{k=1}^n t_{ik} t_{jk}}{\min(\sum_{k=1}^n t_{ik}^2 \cdot \sum_{k=1}^n t_{jk}^2)}, \text{ при } \sum_{k=1}^n t_{ik} \neq 0, \sum_{k=1}^n t_{jk} \neq 0 \\ \emptyset, \text{ при } \sum_{k=1}^n t_{ik} \neq 0, \sum_{k=1}^n t_{jk} \neq 0 \end{cases}$$

(n – количество ключевых слов, характеризующих текстовую характеристику; t_{ik}, t_{jk} – переменные, определяющие наличие ($t_{ik}=1; t_{jk}=1$) или отсутствие ($t_{ik}=0; t_{jk}=0$) k -го ключевого слова в тексте сравниваемых характеристик, соответственно; $\Psi_1^i(S_1, S_2), i=\overline{1,4}$ – коэффициенты, характеризующие степень совпадения сравниваемых характеристик).

Для определения сходства между характеристиками второй группы (Time) была выбрана функция $\Psi_2(S_1, S_2) = 1 - \frac{\Delta t}{\Delta t_{\max}}$, которая имеет следующие свойства:

монотонно возрастает с увеличением степени сходства между сравниваемыми характеристиками; $\Psi_2 = 0$ при полном отсутствии сходства (при $\Delta t = \Delta t_{\max}$);

$\Psi_2 = 1$ при наибольшем сходстве (при $\Delta t = 0$).

Характеристики третьей группы (Action) представляют собой графы. Для определения функции сходства $\Psi_3(S_1, S_2)$ здесь используются методы количественного анализа, основанные на оценке степени совпадения множеств вершин, дуг и весов дуг у сравниваемых графов. Данные методы подробно рассмотрены в специальной литературе.

Характеристики четвертой группы (Name) представляют наименования ситуаций $S_1(t), S_2(t) \in \{S(t)\}$, хранящиеся в памяти вычислительного комплекса в виде текстовой информации. Функция сходства между сравниваемыми характеристиками производственных ситуаций имеет следующий вид:

$$\Psi_4(S_1, S_2) = \begin{cases} 1, & \text{при совпадении 'Name}(S_1(t))' \text{ и 'Name}(S_2(t))' \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

$\Psi_4(S_1, S_2)$ принимает значение 1, если существует полное совпадение между именами сравниваемых характеристик, или 0, если оно отсутствует.

Расстояние между характеристиками пятой группы определяется по формуле

$$\Psi_5(Data(S_1(t)), Data(S_2(t))) = \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{S_1} - x_{S_2})_k^2 \eta_k}$$

($\eta_k, k = \overline{1, m}$ – весовые коэффициенты, характеризующие степень влияния количественных характеристик ситуаций $S_1(t), S_2(t)$ на процесс принятия решений).

Функции сходства различных характеристик сравниваемых ситуаций $\Psi_i, i = \overline{1, 9}$ входят в состав метрики ρ_S , определяющей расстояние между $S_1(t), S_2(t) \in \{S(t)\}$ в пространстве производственных ситуаций. При ее формировании принималось во внимание, что $\rho_S(S_1(t), S_2(t))$ должна быть действительной числовой функцией, для которой выполняются известные аксиомы метрики. В качестве функции, заведомо обладающей данными свойствами, было выбрано расстояние риманова пространства, определяемое

по формуле $\rho_S(S_1(t), S_2(t)) = \left[\sum_{k=1}^9 \Psi_k^2 \mu_k \right]^{1/2}$ ($\mu_k, k = \overline{1, 9}$ – весовые коэффициенты, определяемые экспертами).

Разработанная методика определения расстояния между различными производственными ситуациями, возникающими в процессе функционирования объекта управления, позволила сформировать ряд новых алгоритмов, использованных при оперативной идентификации производственных ситуаций и поиске данных в информационных системах интегрированного авиаремонтного предприятия.

Алгоритм решения. Список производственных ситуаций, контролируемых средствами вычислительной техники, составляется ведущими специалистами предприятия таким образом, чтобы в него вошли все ситуации, существенно влияющие на процесс выполнения производственной программы,

связанные с оперативной обработкой значительных объемов информации, а также с трудоемким поиском данных и документов в распределенной базе данных предприятия. При анализе возникшей производственной ситуации она сравнивается с известными ситуациями, занесенными в память ЭВМ. Если в метрическом пространстве производственных ситуаций, сформированном в соответствии с разработанной выше методикой, обнаруживается ее полное совпадение с известными ситуациями, то ситуация считается известной, ЛПР выдается перечень документов, данных и рекомендаций, необходимых для принятия адекватных управленческих решений. В противном случае в метрическом пространстве ситуаций определяется точка, наиболее близкая к возникшей ситуации, и управленческому персоналу выдаются документы, данные и рекомендации, непосредственно связанные с ситуацией, которую эта точка характеризует. Если для выработки решения управленческий персонал сочтет полученную информацию недостаточной, то соответствующая точка исключается из рассмотрения, система управления автоматически определяет следующую точку, расположенную наиболее близко к исходной ситуации, и выдает связанные с ней документы, данные и рекомендации управленческому персоналу. Указанный процесс продолжается до тех пор, пока ЛПР не сочтет полученную информацию достаточной и не примет решения, адекватные возникшей ситуации.

После окончания производственной ситуации уточненная информация по данным, документам и рекомендациям, использованным управленческим персоналом в процессе принятия решения, заносится экспертами в память ЭВМ, а сама ситуация включается в базу данных, используемую системой управления.

Графическая иллюстрация процедуры упорядочивания ситуаций в римановом пространстве с метрикой ρ_S по степени их близости к новой ситуации $S(t)$ представлена на рис. 2.

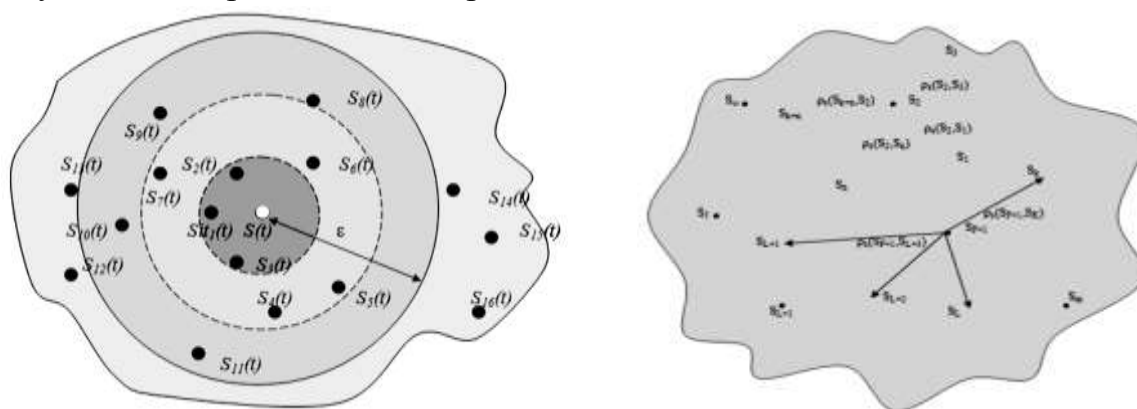


Рис. 2. Упорядочение ситуаций $S_1(t), \dots, S_{16}(t)$, хранящихся в базе данных решаемой задачи, по степени их близости к новой ситуации $S(t)$

В третьей главе осуществлена постановка комплекса задач оперативного управления интегрированным авиаремонтным предприятием в сложных производственных ситуациях, разработан обобщенный алгоритм решения этих задач с использованием метода динамического программирования, сформирована математическая модель, предназначенная

для определения рациональной стратегии управления при ликвидации сложной производственной ситуации, решена задача определения ущерба от ситуации, связанной с неисправностью производственного оборудования при ремонте вертолетов и рассмотрен модельный пример, поясняющий процедуру использования разработанного математического обеспечения.

Формализованная постановка комплекса задач оперативного управления интегрированным авиаремонтным предприятием в сложных производственных ситуациях имеет следующий вид.

Вариант 1. Для системы оперативного управления производственными процессами интегрированного авиаремонтного предприятия разработать формальные модели и алгоритмы, позволяющие на временном интервале

$[t_H, t_k]$ при известных параметрах среды $\vec{a}(t) \in \left\{ \vec{A}(t) \right\}$ и управляющих

воздействиях $\vec{u}(t) \in \left\{ \vec{U}(t) \right\}$, характеризующих сложную производственную

ситуацию $S(\vec{a}(t), \vec{u}(t)) \in \left\{ S(\vec{a}(t), \vec{u}(t)) \right\}$, осуществить переход из начального

состояния $s_0(t) \in \{ S(t) \}$ в конечное состояние $s_k(t) \in \{ S(t) \}$, минимизируя функцию ущерба, который был причинен или может быть причинен производственному процессу в результате возникновения этой ситуации

$$R = \int_{t_H}^{t_k} r(\vec{a}(t), \vec{u}(t)) dt \rightarrow \min. \quad (2)$$

Указанный переход осуществить при соблюдении ограничений на размер временного интервала $[t_H, t_k]: t_k - t_H \leq \varepsilon$, необходимого для ликвидации сложной производственной ситуации; на величину максимального ущерба:

$$\int_{t_H}^{t_k} r(\vec{a}(t), \vec{u}(t)) dt \leq R_{\max}, \quad (3)$$

а также при других функциональных ограничениях в виде равенств и неравенств, описывающих особенности функционирования объекта и системы управления

$$L_j(\vec{a}(t), \vec{u}(t)) \geq 0, j = \overline{1, n_1}, L_j(\vec{a}(t), \vec{u}(t)) \leq 0, j = \overline{n_1 + 1, n_2}, \quad (4)$$

граничных условиях

$$\Psi_M^{(t_H)} \left(\vec{a}(t), \vec{u}(t) \right) = 0; M = \overline{n_2 + 1, n_3}; \Psi_M^{(t_k)} \left(\vec{a}(t), \vec{u}(t) \right) = 0; M = \overline{n_3 + 1, n_4} \quad (5)$$

(t_H и t_k – время начала и окончания сложной производственной ситуации; R_{\max} – максимально допустимая величина ущерба; $\varepsilon, n_i, i = \overline{1, 4}$ – известные константы).

Вариант 2. Из опыта управления сложными производственными процессами интегрированного авиаремонтного предприятия известно, что сформулированную выше задачу часто необходимо решить при соблюдении ряда дополнительных ограничений. С их учетом постановка задачи имеет следующий вид.

Решить задачу (2)-(5) при дополнительном ограничении, в соответствии с которым траектория перехода объекта управления из начального состояния $s_0(t)$ в конечное $s_k(t)$:

$s_0(t) \rightarrow s_1(t) \rightarrow s_2(t) \rightarrow \dots \rightarrow s_K(t); s_0(t), s_1(t), s_2(t), \dots, s_K(t) \in \{ S(t) \}$ (6) должна содержать φ точек $\{s_i\}, i = \overline{1, \varphi}$ с предварительно заданными координатами.

Выполнение данного требования означает, что объект управления необходимо перевести из начального состояния в конечное по траектории, проходящей через множество точек $\{s_i\}, i = \overline{1, \varphi}$.

На практике целесообразность решения задачи (2)-(5) с учетом дополнительного ограничения (6) может возникнуть в том случае, когда апостериори известно, что ликвидацию возникшей ситуации $\begin{matrix} \rightarrow & \rightarrow \\ S(a(t), u(t)) \in \{ & S(a(t), u(t)) \} \end{matrix}$ следует осуществить поэтапно, переводя объект управления в конечное состояние $s_k(t) \in \{ S(t) \}$ через множество известных состояний $\{s_i\}, i = \overline{1, \varphi}$, при нахождении в которых производственному процессу будет причинен незначительный ущерб.

Вариант 3. Допустим, что из-за ограниченности ресурсов, имеющихся в распоряжении ЛПР на момент возникновения сложной производственной ситуации $\begin{matrix} \rightarrow & \rightarrow \\ S(a(t), u(t)) \in \{ & S(a(t), u(t)) \} \end{matrix}$, переход из любого состояния $s_i(t) \in \{ S(t) \}$ в произвольное состояние $s_j(t) \in \{ S(t) \}$ возможно осуществить только при выполнении следующего условия:

$$\rho(s_i(t), s_j(t)) \leq \varepsilon_1 \quad (7)$$

(ε_1 – известная константа; $\rho(s_i(t), s_j(t))$ – функция метрики, определяющая расстояние между двумя произвольными точками $s_i(t) \in \{ S(t) \}$ и $s_j(t) \in \{ S(t) \}$ пространства производственных ситуаций).

С учетом сделанных ограничений постановка решаемой задачи имеет следующую формулировку. Устранить сложную производственную ситуацию $\begin{matrix} \rightarrow & \rightarrow \\ S(a(t), u(t)) \in \{ & S(a(t), u(t)) \} \end{matrix}$, осуществив переход из начального состояния

$s_0(t) \in \{ S(t) \}$ в конечное $s_k(t) \in \{ S(t) \}$, минимизируя длину траектории перехода $\lambda(a(t), u(t))$ с учетом условия (7): $\lambda(a(t), u(t)) = \sum_{i=1}^{f_1} \lambda_i(a(t), u(t)) \rightarrow \min$; $\lambda(a(t), u(t)) \in \left\{ \lambda(a(t), u(t)) \right\} \cdot \left(\left\{ \lambda(a(t), u(t)) \right\} \right)$ – множество допустимых траекторий перехода из начального состояния $s_0(t) \in \{ S(t) \}$ в конечное состояние $s_k(t) \in \{ S(t) \}$; $f_1 = \frac{t_k - t_H}{\Delta T}$ – количество шагов квантования функции $\lambda(a(t), u(t))$; ΔT – длина шага квантования).

При разработке алгоритма решения первого варианта задачи в постановке (2)-(5) делается допущение о том, что в информационной системе авиаремонтного предприятия имеются в наличии математические модели, позволяющие определить величину ущерба $R(a(t), u(t))$ как функцию параметров окружающей среды и управляющих воздействий $a(t), u(t)$, характеризующих производственную ситуацию. Если такие сведения отсутствуют, то зависимость $R(a(t), u(t))$ можно будет определить, воспользовавшись, например, приближенной или уточненной моделями, традиционно используемыми для оценки ущерба от чрезвычайной ситуации природного или техногенного характера.

При ликвидации сложной производственной ситуации $S(a(t), u(t)) \in \left\{ S(a(t), u(t)) \right\}$ переход объекта управления из состояния $s_0(t) \in \{ S(t) \}$ в состояние $s_k(t) \in \{ S(t) \}$ осуществляется в метрическом пространстве $\{ S(t) \}$. Каждая точка этого пространства $s_i(t) \in \{ S(t) \}$ характеризуется конечным набором координат $x_1(t), x_2(t), x_3(t), \dots, x_n(t)$, в состав которых входят характеристики производственных процессов, системы управления и среды, учитываемые ЛПР при подготовке и принятии решения по ликвидации возникшей ситуации.

В соответствии с разрабатываемым алгоритмом ликвидацию сложной производственной ситуации планируется осуществить в течение d этапов. Для каждого из них $\xi_i, i = \overline{1, d}$ эксперты и ЛПР определяют точки пространства $\{ s(t) \}_d \in \{ S(t) \}$, в которые объект управления может перейти после окончания данного этапа ликвидации сложной производственной ситуации. На этапе с порядковым номером d производственные процессы интегрированного авиаремонтного предприятия будут находиться в состоянии $s_k(t) \in \{ S(t) \}$, что

означает благополучное окончание возникшей ситуации

$$S(a(t), u(t)) \in \left\{ S(a(t), u(t)) \right\}.$$

Каждому переходу $s_i(t) \in \{ S(t) \} \rightarrow s_j(t) \in \{ S(t) \}$ в соответствие ставится значение критерия $R(s_i(t), s_j(t))$, характеризующего величину ущерба, причиненного производственному процессу на данном этапе ликвидации сложной производственной ситуации.

Исходя из личного опыта ЛПР и экспертов, участвующих в ликвидации возникшей производственной ситуации, для каждого перехода $s_i(t) \in \{ S(t) \} \rightarrow s_j(t) \in \{ S(t) \}$ определяется перечень условий, при выполнении или не выполнении которых данный переход может быть реализован на практике. В формализованном виде эти условия могут быть представлены в виде следующих продукций:

ПЕРЕХОД $s_i(t) \in \{ S(t) \} \rightarrow s_j(t) \in \{ S(t) \}$ БУДЕТ УСПЕШНО ОСУЩЕСТВЛЕН, ЕСЛИ ВЫПОЛНИТСЯ / НЕ ВЫПОЛНИТСЯ <УСЛОВИЕ U_1 > Θ <УСЛОВИЕ U_2 > Θ <УСЛОВИЕ U_3 > Θ <УСЛОВИЕ U_m > или ПЕРЕХОД $s_i(t) \in \{ S(t) \} \rightarrow s_j(t) \in \{ S(t) \}$ НЕ МОЖЕТ БЫТЬ ОСУЩЕСТВЛЕН, ЕСЛИ ВЫПОЛНИТСЯ / НЕ ВЫПОЛНИТСЯ <УСЛОВИЕ F_1 > Θ <УСЛОВИЕ F_2 > Θ <УСЛОВИЕ F_3 > Θ <УСЛОВИЕ F_n > (8)

(<УСЛОВИЕ $U_i, i = \overline{1, m}$ >, <УСЛОВИЕ $F_j, j = \overline{1, n}$ > – логико-лингвистические переменные, содержащие описание условий, способствующих или препятствующих осуществлению перехода $s_i(t) \in \{ S(t) \} \rightarrow s_j(t) \in \{ S(t) \}$; m, n – известные константы; Θ – логико-лингвистическая переменная, заданная на множестве логических операторов $\{ AND, OR, NOT \}$).

Решение задачи (2)-(5) осуществляется методом динамического программирования. Функция ущерба $R(s_i(t), s_j(t))$, возникающего при переходе из одного состояния в другое $s_i(t) \in \{ S(t) \} \rightarrow s_j(t) \in \{ S(t) \}$ в процессе ликвидации сложной производственной ситуации, определяется только в том случае, если выполняются условия перехода, заданные продукционной моделью (8). Проверка данных условий позволяет повысить степень реалистичности управленческих решений, принимаемых в процессе ликвидации сложной производственной ситуации $S(a(t), u(t)) \in \left\{ S(a(t), u(t)) \right\}$, и уменьшить объем вычислений, необходимых для решения поставленной задачи методом динамического программирования.

При разработке алгоритма решения для второго варианта задачи оперативного управления интегрированным предприятием в сложных

производственных ситуациях в качестве основы была использована рассмотренная выше схема поиска оптимальной стратегии управления. Перед началом решения φ точек $\{s_i\}, i = \overline{1, \varphi}$ с предварительно заданными координатами, через которые по условию задачи должна пройти траектория движения объекта управления при ликвидации сложной производственной ситуации, декомпозируются ЛПР по d различным этапам таким образом, чтобы на каждом из них было не более одной точки $s_i^* \in \{s_i\}, i = \overline{1, \varphi}$.

При невыполнении данного условия задача не имеет решения. Решение отсутствует также и в том случае, когда $d < \varphi$. При решении задачи методом динамического программирования переход из любого предыдущего этапа $\xi_i, i = \overline{1, d-1}$ на следующий этап $\xi_{i+1}, i = \overline{2, d}$ осуществляется по следующему правилу:

– в состоянии $s_j(t) \in \{S(t)\}$, для которого величина ущерба $R(s_i(t), s_j(t))$ минимальна, если на этапе $\xi_{i+1}, i = \overline{2, d}$ не используется точка $s_i^* \in \{s_i\}, i = \overline{1, \varphi}$;

– в состоянии $s_i^* \in \{s_i\}, i = \overline{1, \varphi}$, если на этапе $\xi_{i+1}, i = \overline{2, d}$ данная точка присутствует.

Решение третьего варианта поставленной задачи осуществляется, в основном, по той же схеме, что и решение ее первых двух вариантов. Характерной особенностью эвристического алгоритма решения третьего варианта задачи является проверка выполнения условия $\rho(s_i(t), s_j(t)) \leq \varepsilon_1$ для каждого перехода $s_i(t) \in \{S(t)\} \rightarrow s_j(t) \in \{S(t)\}$. Если это условие не выполняется, то данный переход при ликвидации сложной производственной ситуации $S(a(t), u(t)) \in \left\{ S(a(t), u(t)) \right\}$ осуществить невозможно.

При решении задачи затраты на ликвидацию возникшей сложной производственной ситуации учитываются посредством определения длины траектории перехода из начальной точки $s_0(t) \in \{S(t)\}$ в конечную точку $s_k(t) \in \{S(t)\}$. При этом делается допущение, что большая длина траектории перехода соответствует большей величине ущерба, причиняемого объекту управления в процессе ликвидации сложной производственной ситуации.

В четвертой главе рассмотрены вопросы экспериментального подтверждения достоверности разработанных моделей и алгоритмов управления производственными процессами авиаремонтного предприятия; разработано типовое информационно-программное обеспечение, позволяющее реализовать эти функции в составе математического обеспечения систем автоматизированного управления; разработано математическое обеспечение

нового информационно-измерительного комплекса, используемого для диагностирования дефектов геометрических параметров фюзеляжа вертолета Ми-8 и его модификаций; предложена и обоснована методика и систематизирован опыт внедрения основных результатов диссертации в структурных подразделениях предприятия ОАО «356 Авиационный ремонтный завод» (г. Энгельс).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

1. Предложена и обоснована новая методика оперативной идентификации производственных ситуаций и поиска информации в распределенной базе данных предприятия. Методика основана на идее формирования метрического пространства производственных ситуаций и определении расстояния между его точками по формулам, традиционно используемым в системах распознавания образов при оценке сходства между сравниваемыми информационными объектами.

2. Разработана новая математическая модель, позволяющая в режиме реального времени определить величину затрат на ликвидацию сложной производственной ситуации, а также продукционная модель, описывающая условия перехода объекта управления из одного состояния в другое при минимизации ущерба от возникновения этой ситуации.

3. Предложены и обоснованы эвристические алгоритмы решения комплекса задач оперативного управления интегрированным авиаремонтным предприятием в сложных производственных ситуациях, основанные на использовании метода динамического программирования и логических функций.

4. Разработано тиражируемое информационно-программное обеспечение, позволяющее осуществить внедрение основных результатов диссертационной работы в составе систем управления производственными процессами авиаремонтного предприятия.

5. Предложена методика и обобщен опыт внедрения основных результатов диссертации на авиаремонтном предприятии ОАО «356 Авиационный ремонтный завод» (г. Энгельс). Результаты работы использованы в учебном процессе, а также в отчетах о НИР Института проблем точной механики и управления РАН (№ гос. регистрации 0120 0 803005).

6. Разработано математическое обеспечение нового, более совершенного информационно-измерительного комплекса, предназначенного для оперативного диагностирования в полевых условиях дефектов геометрических параметров фюзеляжа вертолетов МИ-8 и его модификаций.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

*Статьи в российских рецензируемых научных журналах,
рекомендованных ВАК РФ*

1. Марков, А.И. Информационно-измерительный комплекс для диагностирования дефектов геометрических параметров фюзеляжей вертолетов / А.Ф. Резчиков, В.А. Кушников, В.А. Твердохлебов, А.И. Марков // Аэрокосмическое приборостроение. 2012. №4. С. 32-37.

2. Марков, А.И. Задача оперативного диагностирования дефектов фюзеляжа вертолета МИ-8 при проведении предварительной оценки его ремонтпригодности / А.И. Марков, В.А. Кушников // Известия вузов. Поволжский регион. Технические науки. №3. 2012. С. 95-101.

3. Марков, А.И. Задачи, модели и алгоритмы управления ремонтом вертолетов на авиационном ремонтном предприятии / А.И. Марков, В.А. Кушников // Естественные и технические науки. №3 (59). 2012. С. 272-274.

Прочие публикации

4. Марков, А.И. Диагностирование изменений геометрических параметров трехмерных объектов с применением геометрических образов автоматов / А.И. Марков // Доклады Академии Военных Наук. №5(49). 2011. С. 80-83.

5. Марков, А.И. Разработка информационной системы для процесса диагностирования дефектов вертолета МИ-8 / А.И. Марков, В.А. Кушников // Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. XXV Международной научной конференции. Т. 10. Секция 12. Волгоград, 2012; Харьков, 2012. С. 38-41.

6. Марков, А.И. Информационная система для диагностирования неисправностей вертолета Ми-8 / А.И. Марков, В.А. Кушников // Участники школы молодых ученых и программы УМНИК: сб. тр. XXV Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях». Саратов, 2012. С. 218-220.

7. Марков, А.И. Комплекс программ для оперативного управления компрессорным хозяйством авиаремонтного предприятия / А.И. Марков, В.А. Кушников // Проблемы управления в социально-экономических и технических системах: сб. науч. статей по материалам Всероссийской научной конференции. Саратов, 2012. С. 32-34.

8. Марков, А.И. Математическая модель для определения ущерба от нарушения заданного режима воздухообеспечения на авиаремонтном предприятии / А.И. Марков, В.А. Кушников // Проблемы управления в социально-экономических и технических системах: сб. науч. статей по материалам Всероссийской научной конференции. Саратов, 2012. С. 34-37.

Подписано в печать 24.07.13

Бум. офсет.

Тираж 100 экз.

Усл. печ. л. 1,0

Заказ 113

Формат 60×84 1/16

Уч.-изд. л. 1,0

Бесплатно

Саратовский государственный технический университет

410054, Саратов, Политехническая ул., 77

Отпечатано в Издательстве СГТУ. 410054, Саратов, Политехническая ул., 77

Тел.: 24-95-70; 99-87-39, e-mail: izdat@sstu.ru

