

**На правах рукописи**

**Сергушичева Мария Александровна**

**МОДЕЛИ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ  
ОБСЛУЖИВАНИЕМ И РЕМОНТОМ ОБОРУДОВАНИЯ  
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Специальность: 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Владимир  
2010

Работа выполнена на кафедре «Информационные системы и технологии» Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Вологодский государственный технический университет» (ВоГТУ)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Швецов Анатолий Николаевич

Официальные оппоненты:  
доктор технических наук, доцент  
Александров Дмитрий Владимирович  
кандидат технических наук  
Федин Дмитрий Николаевич

Ведущая организация: Государственное образовательное  
учреждение высшего  
профессионального образования  
«Ивановский государственный  
энергетический университет имени В.И.  
Ленина»

Защита диссертации состоится \_\_\_\_\_ г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д212.025.01 при ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет» по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, корпус 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ВлГУ.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2010 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу совета университета: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ученому секретарю диссертационного совета Д212.025.01.

Ученый секретарь диссертационного  
совета, д.т.н., профессор

Р.И. Макаров

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В нашей стране актуальность повышения качества технического обслуживания и ремонта (ТОиР) обусловлена, прежде всего, значительным уровнем износа оборудования. По данным статистики, на большинстве российских крупных предприятий износ основных фондов достигает уровня 60-70%, в целом по стране средний показатель износа оценивается примерно в 70%. В связи с этим сотрудникам служб ТОиР крупных и средних промышленных предприятий ежедневно приходится обрабатывать огромный объем данных, что значительно усложняет, особенно в условиях территориальной распределенности подразделений, планирование, подготовку и учет ремонтной деятельности. Грамотное управление позволяет одновременно повысить качество ТОиР и снизить возникающие временные и финансовые издержки.

Управление ТОиР охватывает широкий круг проблем, таких как структурная организация, способы исследования, контроля и повышения надежности оборудования, календарное планирование, которым посвящены работы В.Н. Буркова, М. Месаровича, Д.А.Новикова, И. Такахары (оргсистемы), Н.И. Воропая, Ю.Б. Гука, Э.А.Лосева, Л.А. Мелентьева, А.В.Мясникова, А.Н. Назарычева (надежность), Р.В. Конвея, Л.В. Миллера, В.А. Сафроненко, В.С. Танаева, Я.М. Шафранского (теория расписаний) и других.

Без использования современных методов и средств автоматизации реализация поставленных целей одновременного снижения эксплуатационных затрат и аварийности невозможна. Существуют многочисленные программные продукты, так или иначе затрагивающие управление ТОиР. Однако они не содержат средств оптимизации и не учитывают накопленный опыт решения схожих задач, в то время как в связи с ростом сложности техносферы информационная нагрузка на лицо, принимающее решения (ЛПР), постоянно возрастает. Для комплексного решения указанных проблем требуется гибкая информационная система, способная к адаптации и учитывающая специфику управления ТОиР на крупном промышленном предприятии, которая определяется такими признаками, как: иерархичность структуры, распределенность, разнородность и отсутствие мобильности многих объектов ремонта.

Для моделирования и информационной поддержки распределенных процессов наиболее целесообразно использовать технологию мультиагентных систем (МАС), исследования в области которых проводились такими учеными, как Р.А. Брукс, М. Вулдридж, В.И. Городецкий, Н. Дженнингс, А.В. Костров, Х. С. Нвана, Д.А. Поспелов, В.Б. Тарасов.

В то же время, чтобы облегчить информационную нагрузку на персонал ремонтных служб, от информационной системы требуется поддержка принятия решений, т.е. она должна обладать некоторыми свойствами экспертной системы. Исследования в этом направлении проводились Д.А. Александровым, Т.А. Гавриловой, С.Д. Коровкиным, Дж. МакАдамсом, П.Л. Миллером, И.Д. Ратмановой, В.Л. Стефанюком, Э.А. Трахтенгерцом, А. Уокером, Д.Н. Фадиным, Э. Фейгенбаумом, Т.Финином, В.Ф. Хорошевским и др.

Общие вопросы управления производством освещены в работах Д.В. Александрова, В.В. Кульбы, Р.И. Макарова, А.Г. Мамиконова, Б.Я. Советова, В.Д. Чертовского и др.

**Целью диссертационного исследования** является повышение эффективности и качества обработки информации, обеспечивающей интеллектуальную поддержку процессов управления ТОиР оборудования промышленных предприятий.

Для достижения поставленной цели в работе были поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Исследование существующих принципов управления ТОиР на промышленных предприятиях.
2. Совершенствование и разработка методов и алгоритмов управления ТОиР на основе прогнозирования технического состояния оборудования с использованием технологии экспертных систем.
3. Разработка концептуальных и логических моделей МАС управления ТОиР (МАСУ ТОиР).
4. Исследование и разработка моделей интеллектуальных агентов в структуре МАСУ ТОиР.
5. Разработка инструментального программного обеспечения для реализации прототипа МАСУ ТОиР.
6. Экспериментальное исследование эффективности разработанных методов, моделей и программных средств.

**Объектом исследования** является система управления ТОиР оборудования на промышленном предприятии.

**Предметом исследования** являются модели и алгоритмы информационной поддержки процессов управления ТОиР.

**Методы исследования.** Для решения поставленных задач используются методы инженерии знаний, математической логики, теории фреймов, теории графов, теории календарного планирования, исследования операций, эволюционных вычислений, статистического анализа, объектно-ориентированного и логического программирования.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Концептуальная модель системы управления ТОиР на промышленном предприятии, отличающаяся представлением организационной и информационной структур управления в виде проекций уровней и связей и позволяющая определить информационные потоки и информационную загрузку элементов.
2. Комплекс алгоритмов управления и интеллектуальной поддержки ТОиР, учитывающий нечеткий характер сроков ремонта и позволяющий получить формальное представление задачи многокритериальной оптимизации календарного планирования и построить с помощью эволюционных методов набор субоптимальных календарных графиков для предъявления лицу, принимающему решения.
3. Модели МАСУ ТОиР и алгоритмы взаимодействия интеллектуальных агентов, отличающиеся агентно-ориентированной интерпретацией алгоритмов планирования и управления ТОиР в структуре промышленного предприятия, позволяющие автоматизировать решение задач ТОиР и повысить эффективность и качество обработки информации.

**Область исследования.** Работа выполнена в соответствии с паспортом специальности ВАК РФ 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям), пункты 4 и 10.

**На защиту выносятся** следующие результаты:

1. концептуальная модель системы управления ТОиР на промышленном предприятии;
2. комплекс алгоритмов управления и интеллектуальной поддержки ТОиР;
3. модели МАСУ ТОиР и алгоритмы взаимодействия интеллектуальных агентов.

**Практическая значимость** исследования определяется тем, что:

1. Концептуальная модель системы управления ТОиР позволяет получить наглядное представление структуры задач информационной поддержки ТОиР.

2. Разработанные алгоритмы позволяют осуществлять интеллектуальную поддержку ТОиР, что способствует уменьшению количества ошибочных решений при управлении ТОиР на промышленном предприятии и сокращению времени, затрачиваемого на планирование, согласование, регламентирование, контроль и учет ТОиР.

3. Полученные модели МАСУ ТОиР позволяют реализовать гибкие и адаптивные системы для управления ТОиР на предприятиях различных отраслей промышленности.

**Реализация результатов исследований.** Результаты внедрены в ОАО «Вологодский оптико-механический завод», Филиале ОАО «МРСК Северо-Запада» «Вологдаэнерго», а также используются в учебном процессе кафедры Информационных систем и технологий Вологодского государственного технического университета. Результаты диссертации получены в рамках гранта РФФИ №08-01-00457-а «Исследование фундаментальных проблем построения мультиагентных интеллектуальных систем», выполнения работ по государственному контракту №02.740.11.0625 федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

**Апробация результатов работы.** Основные положения работы были представлены на международных конференциях «Интеллектуальные системы и компьютерные науки» (Москва – 2006), «Научный сервис в сети Интернет: многоядерный компьютерный мир» (Новороссийск – 2007), «Автоматизация машиностроительного производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования» (Вологда – 2006, 2007), «Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования» (Вологда – 2008, 2009), «Информатизация процессов формирования открытых систем на основе СУБД, САПР, АСНИ и систем искусственного интеллекта» (Вологда – 2007, 2009), девятом Международном симпозиуме «Интеллектуальные системы» (Владимир – 2010); всероссийских конференциях «III Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых “Искусственный интеллект: философия, методология, инновации”» (Москва – 2009), «Молодые исследователи – регионам» (Вологда – 2006), «Вузовская наука – региону» (Вологда – 2007); региональных конференциях «Актуальные проблемы управления и экономики: история и современность» (Вологда – 2006, 2007, 2008, 2009), «II ежегодные смотры-сессии аспирантов и молодых ученых по отраслям наук» (Вологда – 2009).

Результаты исследований докладывались на семинарах Вологодского регионального отделения Научного Совета РАН по методологии искусственного интеллекта.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 15 печатных работ: 3 статьи (из них 2 в реферируемых изданиях, рекомендованных ВАК), 12 работ в материалах международных и всероссийских конференций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из \_\_\_ наименований и приложений. Общий объем работы \_\_\_ страниц, включая \_\_ рисунков, \_\_ таблиц, \_\_ страниц приложений.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы, дается анализ исследуемой проблемы и обосновывается применяемый подход к ее решению, формулируются цели и задачи исследования, описывается научная новизна и практическая значимость полученных результатов, дается краткая характеристика диссертации.

**В первой главе** проанализировано современное состояние сферы организации ТОиР на крупных промышленных предприятиях, выявлены ключевые особенности организации ТОиР. Показана актуальность решения задач управления ТОиР в связи с большой степенью износа оборудования и переходом многих предприятий на более экономичную стратегию ремонта по техническому состоянию. Произведен обзор моделей и представленных на рынке программных средств автоматизации в области ТОиР и установлено недостаточное соответствие их требованиям имеющихся бизнес-процессов.

Процесс управления ТОиР (в целом и на распределенных предприятиях в частности) часто осложняют такие факторы, как невозможность транспортировки оборудования с места его нахождения в ремонтный цех, проведение ремонтных работ на открытом воздухе и т.п.

Исследована структура организационно-технических средств обеспечения надежности оборудования. Основными функциями службы организации ТОиР на промышленном предприятии являются:

- планирование и организационно-методическое руководство ТОиР;
- выполнение организационно-технической подготовки ТОиР;
- обеспечение и контроль планомерного и эффективного проведения работ, рационального использования финансовых, материальных и трудовых ресурсов, качества отремонтированного оборудования;
- повышение технического состояния оборудования и его технико-экономических показателей;
- организация и координация деятельности исполнителей технического обслуживания и ремонтов оборудования.

Исходя из приведенных задач, с точки зрения автоматизации можно выделить следующие бизнес-процессы:

- планирование работ (включает формирование многолетних, годовых и других планов и графиков);
- согласование планов и графиков и их корректировка;
- контроль и учет использования средств на проведение ТОиР и качества выполняемых работ;
- подготовка нормативной документации (сборники расценок, рекомендуемые материалы и т.п.).

В настоящее время используются три основные стратегии ТОиР: планово-предупредительный ремонт (ППР), ремонт по техническому состоянию (РТС), аварийно-восстановительный ремонт (АВР). На практике часто используются различные подходы для разных групп оборудования – «смешанная» стратегия. При этом в промышленности наблюдается постепенный переход от ППР к стратегии РТС. Основой для организации ТОиР при этом принимается перспективный (годовой, месячный) план ремонтных работ.

Из проведенного обзора моделей оптимального планирования ТОиР по экономическим и техническим критериям, решений в области диагностирования и прогнозирования остаточного ресурса оборудования с помощью технологии экспертных систем следует, что отсутствует модель или решение, полностью охватывающее все необходимые бизнес-процессы управления ТОиР. Тем не менее, наиболее подходящие модели можно использовать как составную часть описания отдельных бизнес-процессов.

При планировании учитываются финансовые и трудовые затраты на проведение ремонта, имеющиеся ограничения, эксплуатационная информация, ресурс оборудования, ущерб от возможных аварийных ситуаций и другие факторы в условиях существ-

венной неопределенности данных, т.к. поломки оборудования имеют вероятностный характер. Для того чтобы обрабатывать эту информацию на предприятиях, обладающих большим парком оборудования, используются автоматизированные системы.

Модули, позволяющие осуществлять автоматизацию процесса организации ТОиР, входят в промышленные системы классов ERP/ERP II, MRPII, EAM, CRM, SCM, MRO, PLM и CPM. Из проведенного исследования специализированных программных средств автоматизации организации ТОиР следует, что бизнес-процессы охвачены не полностью. Наиболее полно автоматизируется контроль и учет. План в проанализированных системах составляется пользователем вручную, его оптимизация не предусматривается. Исходный план может быть автоматически создан только на основе регламентируемых в документации сроков. В тех системах (например, IFS Applications), где предусмотрено проведение ремонтов по состоянию, предлагается назначать ремонт при достижении контролируемые датчиками параметрами граничных значений, что не позволяет автоматически формировать долгосрочные планы. Проблема согласования планов решается выдачей доступа к системе участвующих в данном процессе лиц и внедрением модуля электронного документооборота. Однако при этом возникают проблемы: недостаточное развитие в подразделениях инфраструктуры сетей передачи данных и технологическая несвязанность документооборота с процессом рассмотрения и согласования плана ремонтов. Создание регламентирующей документации в проанализированных системах может производиться лишь частично.

Таким образом, принятие решений соответствующими сотрудниками при составлении планов и графиков, их согласовании и корректировке по-прежнему основывается в большей степени на собственном опыте и интуиции. Поэтому в условиях изменения стратегии ремонта с ППР на РТС и возрастания информационной нагрузки от информационной системы ТОиР требуется поддержка принятия решений. Система управления ТОиР должна поддерживать распределенность, быть адаптивной, гибкой и обладать функциональным аппаратом для оптимизации планов и графиков по различным критериям.

Решения указанных выше проблем можно добиться путем применения мультиагентных систем. Существующие средства создания МАС, как правило, имеют ориентацию на определенную предметную область. Разработчики подобных инструментов предлагают достичь их универсальности за счет предоставления возможности дописывать программный код, к чему и сводится процесс разработки МАС. Проведенный анализ не выявил программных средств, которые могли бы быть использованы для построения мультиагентной системы управления ТОиР, поэтому актуальной задачей является разработка их моделей и технологии создания.

**Вторая глава** посвящена разработке моделей и методов информационной поддержки управления ТОиР на основе агентно-ориентированного подхода.

Разработана концептуальная модель организационной структуры предприятия в проекции ТОиР с использованием фрейм-ориентированного подхода. Введено понятие «абстрактной FK-проекции» (AFK-проекция), определяемой как множество:

$$AFK = (ML, MR, MF),$$

где  $ML = \{L_{i,i=1..n}\}$  – множество уровней,  $n$  – количество уровней,  $L = \{FK_{l,l=1..m}\}$  – множество лежащих на данном уровне фрейм-концептов (ФК),  $m$  – количество ФК;  $MR = \{ILR_{j,j=1..n-1}\}$  – множество межуровневых отношений,  $ILR = \{KO_{k,k=1..r}\}$  – множество концептуальных отношений (КО) между ФК уровня  $N$  и ФК уровня  $N+1$ ;  $MF$  – отображение  $ML \times ML \rightarrow MR$ .

Уровни обозначены как абстрактные ФК (АФК), а межуровневые отношения – как абстрактные КО (АКО), каждый АФК представляет собой сеть входящих в него ФК, а АКО – совокупность КО, возникающих между этими сетями. Структура уровней и связей имеет следующий вид (рис. 1).

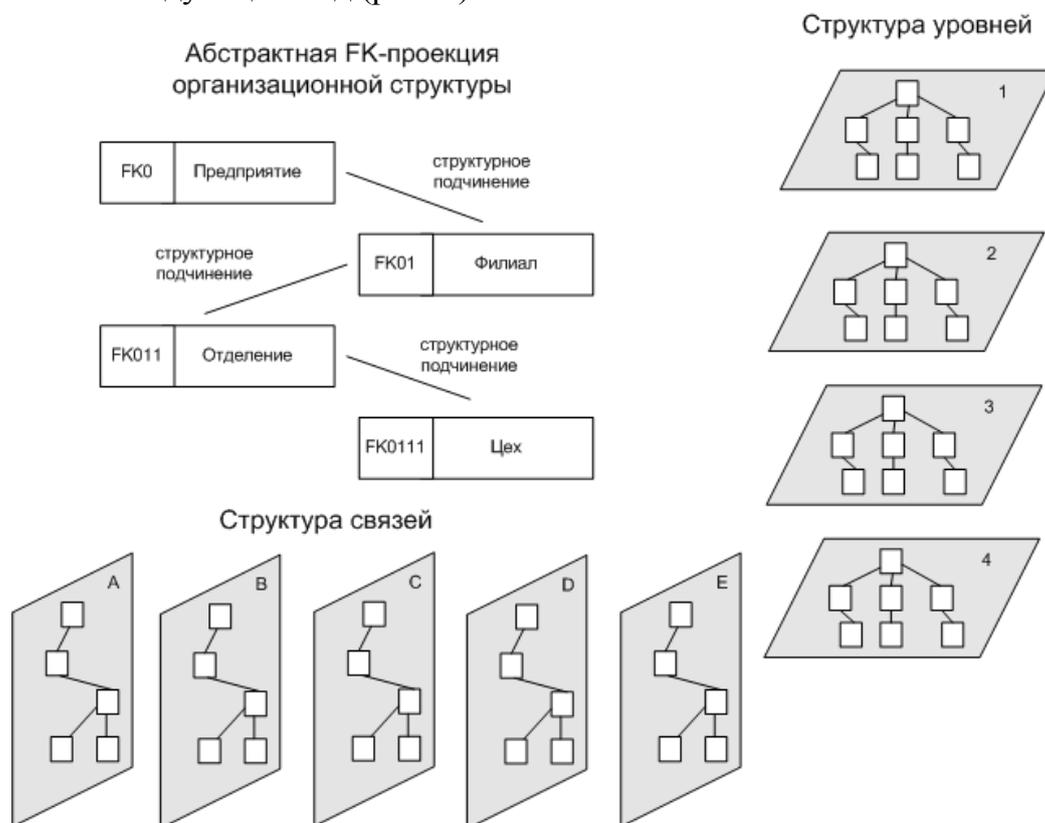


Рис. 1. Разбиение абстрактной FK-проекции

С помощью понятий теории графов определены показатели качества, позволяющие сравнить различные варианты организационных структур. Данная модель далее используется как основа для формирования модели информационных потоков.

Информационная модель представляется неориентированным графом (рис. 2)  $I = (X, U(X))$ , вершины которого соответствуют основным элементам организационной структуры, входящим в систему ТООиР,  $X = \{FK_{i,i=1..n}\}$ , а ребра – информационным потокам, возникающим между участниками процесса управления ТООиР,  $U = \{u_{j,j=1..m}\}$ . Для оценки информационной нагрузки на участников определяется степень каждой вершины неориентированного графа и выделяются максимально загруженные элементы. В схеме основных информационных потоков на рис. 2 в эту группу входят: отдел ремонтов филиала уровня 2 (узел 30), отдел ремонтов филиала уровня 1 (узел 23), главный инженер филиала уровня 3 (узел 32), отдел ремонтов центра (узел 11) и инженер филиала уровня 3 (узел 38). Именно этим узлам необходимо в первую очередь обеспечить интеллектуальную поддержку принятия решений.

Наиболее трудоемким бизнес-процессом среди решаемых службами ТООиР, в особенности для крупных распределенных предприятий, является процесс планирования, который заключается в разработке, согласовании и коррекции перспективных, годовых, месячных и других возможных планов и графиков ремонтных работ. Построение плана ТООиР в системе РТС можно разделить на два этапа: прогнозирование, результатом которого должно быть значение остаточного ресурса оборудования, и непосредственно календарное планирование (существовавшее в системе ППР) – расстановка работ во времени.

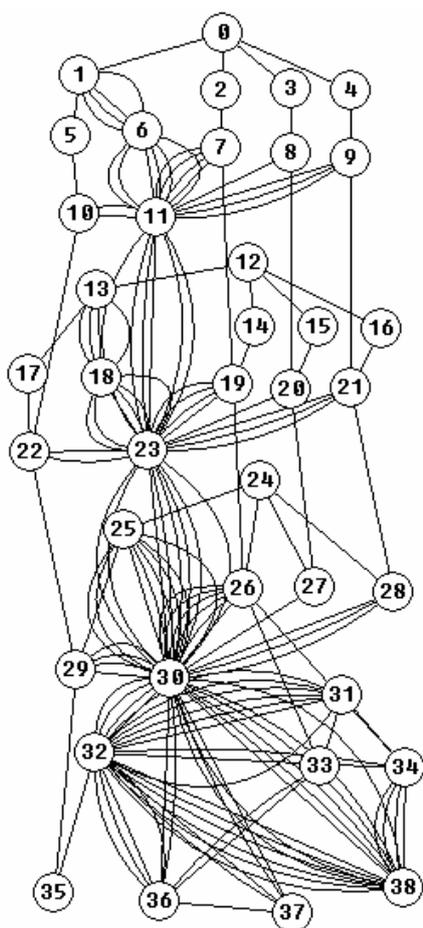


Рис. 2. Граф основных информационных потоков

$W_e = \{w_i^e\}$  – множество необходимых ремонтных работ, которое определяется по базе знаний в соответствии с правилами, которые можно описать продукциями следующего вида:

$$F_{kind} \# F_{value} \# F_{equip} \Rightarrow W_e,$$

где  $F_{kind}$  – функция вида фактора эксплуатации,  $F_{value}$  – функция значения фактора эксплуатации,  $F_{equip}$  – функция вида оборудования.

Поскольку на этапе календарного планирования ТОиР оперируют объектами, а не единицами оборудования, то требуется формирование на базе списка планируемого к ремонту оборудования (1) списка объектов вида:

$$M_O = \{O, T_1, T_2, L, W_O\}, \quad (2)$$

где  $O = \{e_i\}$  – объект как совокупность оборудования,  $T_1$  – верхняя граница срока ремонта,  $T_2$  – нижняя граница срока ремонта,  $L$  – длительность группы работ  $W_O$ ,  $W_O = \{w_i^O\}$  – множество необходимых работ, которые должны быть выполнены в период  $(T_1, T_2)$ .

Известен перечень работ, выполняемых в системе ТОиР, каждую из которых можно определить кортежем

$$\langle ID, Name, Wage, Mach, Manhour, Alive, Season \rangle,$$

где  $ID$  – уникальный идентификатор,  $Name$  – наименование,  $Wage$  – нормативная заработная плата,  $Mach$  – нормативное время использования средств механизации,

Прогнозирование предложено осуществлять по следующему алгоритму:

1. Заполнить недостающие значения в истории изменения контролируемого параметра путем экстраполяции либо нормативными значениями.
2. Найти остаточный ресурс  $R_{ost}$  на момент последнего наблюдения.
3. Определить по  $N$  заданным для данного вида оборудования алгоритмам функцию изменения эксплуатационного фактора  $X(t)$  в прогнозируемый период с допустимым отклонением  $\varepsilon$  (для каждого вида оборудования отклонения могут различаться).
4. Решить уравнение  $R_{ost}(X \pm \varepsilon) = 0$ , получив диапазон  $(t_1, t_2)$  для каждого вида оборудования.

Исходя из полученного диапазона  $(t_1, t_2)$  сроков исчерпания остаточного ресурса для каждого вида оборудования, определяется список оборудования, нуждающегося в ремонте в планируемый период, вида:

$$M_e = \{e, t_1, t_2, W_e\}, \quad (1)$$

где  $e$  – единица оборудования,  $t_1$  – верхняя граница срока ремонта,  $t_2$  – нижняя граница срока ремонта,

*Manhour* – нормативная трудоемкость, *Alive* – возможность выполнения без отключения объекта, *Season* – период, в который можно выполнять работу.

Работы на объекте, которые можно выполнять параллельно, группируются с учетом (1), приоритета данного вида оборудования и приоритета данного объекта. Применяются экспертные правила вида:

$$P_{\parallel} \# P_{alive} \# P_{t1} \# P_{t2} \# P_{pe} \# P_{po} \Rightarrow R(O, w_O) \text{ и} \\ P_{\parallel} \# P_{alive} \# P_{t1} \# P_{t2} \# P_{pe} \# P_{po} \# R(O, w_O) \Rightarrow R(O, w_O, T_1, T_2, L), \quad (3)$$

где  $P_{\parallel}$  – функция параллельности работы  $w_O$ ,  $P_{alive}$  – функция возможности выполнения работы под напряжением,  $P_{t1}$  и  $P_{t2}$  – функции соответственно верхней и нижней границ срока выполнения работы,  $P_{pe}$  – функция приоритета вида оборудования,  $P_{po}$  – функция приоритета объекта,  $R(O, w_O)$  – список выполнимых одновременно работ,  $R(O, w_O, T_1, T_2, L)$  – список работ, разбитый на укрупненные периоды  $(T_1, T_2)$ .

В зависимости от продолжительности планового периода выделяют перспективное (долгосрочное и среднесрочное) и текущее (краткосрочное) планирование ТОиР. Основой перспективного планирования ремонтных работ являются многолетние графики комплексного ремонта, составляемые на утвержденный цикл, и годовые графики с учетом обеспеченности трудовыми, материальными и финансовыми ресурсами.

Согласно действующим отраслевым нормам, перспективные графики должны учитывать техническое состояние объектов и регламентированную периодичность ремонтов. Каждый объект ремонта должен характеризоваться следующими показателями:

$$\langle ID, Name, Priority, Preparation, Access, Switchoff, Endorsement \rangle,$$

где  $ID$  – идентификатор объекта;  $Name$  – наименование объекта;  $Priority$  – приоритет;  $Preparation$  – временной диапазон (множество пар  $\{t_1, t_2\}$ ), за который необходимо подготовить объект к сезонным работам потребителей;  $Access$  – временной диапазон, в который объект доступен для ремонта;  $Switchoff$  – временной диапазон, когда отключение потребителей возможно;  $Endorsement$  – согласованный временной диапазон, во время которого ремонт возможен.

Из значений указанных параметров объекта и значений параметра *Season* планируемых на объекте работ необходимо определить разрешенный период для каждой группы работ  $W_O$  из (2). В простейшем случае это будет пересечение:

$$P_{allowed}^{W_O} = Season \cap Preparation \cap Access \cap Switchoff \cap Endorsement. \quad (4)$$

Если в результате (4)  $P_{allowed}^{W_O} = \emptyset$ , то снова требуется применение экспертных правил вида:

$$P_{Season}^{W_O} \# P_{Preparation}^{W_O} \# P_{Access}^{W_O} \# P_{Switchoff}^{W_O} \# P_{Endorsement}^{W_O} \# P_{po} \Rightarrow P_{allowed}^{W_O},$$

где  $P_{Season}^{W_O}$  – функция сезонности работы,  $P_{Preparation}^{W_O}$  – функция допустимого периода подготовки объекта к сезонным работам потребителей,  $P_{Access}^{W_O}$  – функция периода доступности объекта для ремонта,  $P_{Switchoff}^{W_O}$  – функция периода возможности отключения объекта,  $P_{Endorsement}^{W_O}$  – функция согласованного периода, во время которого ремонт возможен,  $P_{po}$  – функция приоритета объекта.

Поскольку ограничения на ресурсы при создании перспективного графика отсутствуют, задача календарного планирования сводится к размещению периодов

$P_{need}^O = \{L_i\}$  внутри периодов  $P_{allowed}^O = \{P_i\}$ , где  $P_i = P_{allowed_i}^{W_o} \cap T_i^{W_o}$ ,  $T_i^{W_o} = (T_1, T_2)_i$  – единственный укрупненный период из списка результатов (3).

Для этого необходимо выполнение условия  $l(P_i) \geq L_i$ , где  $l(P_i)$  – длительность периода  $P_i$ . Если данное условие не выполняется, то, принимая во внимание, что изменить  $P_{allowed}^{W_o}$  без дополнительных согласований невозможно, требуется скорректировать период  $T_i^{W_o}$  в соответствии с некоторыми правилами вида:

$$P_L \# P_{p0} \# P_{T1} \# P_{T2} \# P_{allowed} \rightarrow (T_1', T_2'), \quad (5)$$

где  $P_L$  – функция длительности  $L_i$  группы работ,  $P_{T1}, P_{T2}$  – функции граничных сроков возможного периода выполнения  $T_i^{W_o}$  группы работ,  $P_{allowed}$  – функция граничных значений периода  $P_{allowed}^{W_o}$ ,  $T_1', T_2'$  – новые граничные сроки периода  $T_i^{W_o}$ .

Сроки выполнения ремонтов определены нечетко, следовательно, существует  $n = l(P_i) - L_i + 1$  вариантов размещения каждой группы работ. При перспективном (как и годовом) планировании ремонтных работ единицей дискретности является месяц, поэтому  $n$  может принимать значения от 1 до 60. Среднее число  $p$  ведомостей (в приведенной терминологии - укрупненных групп работ) объектов определим на примере Филиала ОАО «МРСК Северо-Запада» «Вологдаэнерго». При экспертном задании плана по 2006-2011 годам составляет 65,75 в год, или 429 в пятилетний период. Для оптимизации также требуется оценить взаимное расположение групп работ, т.е. проделать в среднем  $N = n^p$  операций сравнения, что не позволяет решить эту задачу перебором за приемлемое время.

Задача текущего планирования решается путем актуализации действующего перспективного плана на данный период. Дополнительно в текущий график включаются работы по техническому обслуживанию, которые осуществляются по регламентируемым для каждого типа оборудования нормам и имеют обычно небольшой разрешенный период. Текущий график формируется с учетом имеющихся расценок, оптимизация финансовых затрат и трудозатрат не производится, поскольку они определяются с помощью экспертных правил.

Описанная задача планирования представляет собой многокритериальную задачу дискретной оптимизации. Поскольку для данной предметной области не требуется поиск именно самого оптимального решения, а достаточно нахождения наиболее приближенного к нему за приемлемое время, применяется генетический алгоритм.

Пусть для множества  $W = \{\omega_0, \dots, \omega_K\}$  пар «объект-группа работ»  $\omega_k = (w_i, o_j)$  из списка (2) задан отрезок планирования  $[0, T]$  и  $t \in [0, T]$  – независимая переменная времени, а  $\alpha(\omega_k)$  и  $\beta(\omega_k)$  – моменты начала и завершения выполнения группы работ  $\omega_k$ . Расписание определяется как множество:

$$s = \{(\alpha(\omega_k), \beta(\omega_k))\}, \quad \alpha(\omega_k), \beta(\omega_k) \in [0, T], \quad \alpha(\omega_k) < \beta(\omega_k), \quad k = \overline{1, K}. \quad (6)$$

Каждая группа работ  $\omega_k \in W$  характеризуется длительностью  $\bar{l}_k$  и парой моментов начала и конца разрешенного периода выполнения:

$$(t_k^1, t_k^2), \quad t_k^1, t_k^2 \in [0, T], \quad t_k^1 \leq t_k^2, \quad t_k^2 - t_k^1 \geq \bar{l}_k.$$

Ограничений на ресурсы в перспективном планировании нет, поэтому решение задачи нахождения расписания (6) является допустимым, если для всех  $\forall \omega_k \in W$  выполняются следующие условия:

$$\beta(\omega_k) \leq T, \quad \alpha(\omega_k) \geq t_k^1, \quad \beta(\omega_k) \leq t_k^2, \quad \beta(\omega_k) - \alpha(\omega_k) = \bar{l}_k. \quad (7)$$

За критерии оптимальности расписаний принимаются следующие:

1. минимальное суммарное количество по всему плановому периоду занятых периодов для каждого объекта

$$q(s_r) = \sum_{e=1}^E \left[ \sum_{l=1}^N (\alpha(\omega_{el}) - \beta(\omega_{el})) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N \min(\max(\alpha(\omega_{ei}), \alpha(\omega_{ej})) - \min(\beta(\omega_{ei}), \beta(\omega_{ej})), 0) \right], \quad (8)$$

где  $E$  – количество объектов,  $N$  – количество групп работ на объекте  $e$ ;

2. минимальное суммарное расстояние от конца выбранного значения периода ремонта до конца допустимого диапазона по всему плановому периоду

$$l(s_r) = \sum_{k=1}^K (t_k^2 - \beta(\omega_k)); \quad (9)$$

3. минимальная площадь диаграммы Ганта по всему плановому периоду для каждого объекта

$$g(s_r) = \sum_{e=1}^E \sum_{l=1}^N (\beta_{\max}(\omega_{el}) - \alpha_{\min}(\omega_{el})). \quad (10)$$

Для получения группы Парето-оптимальных решений предложено использовать известные алгоритмы многокритериальной оптимизации NSGA-2 и  $\epsilon$ -MOEA.

Предложена модель бизнес-процесса согласования, который состоит из этапов отправки заявки на согласование, ее обработки и отправки резолюции разработчику. Выделяются агенты двух типов: регистратор и согласователь. Маршрут согласования представляется графом  $G = (Et, U(Et))$ , в котором узлами являются этапы согласования, характеризующиеся кортежем

$$Et = \langle \text{Num}, \text{Coord}, \text{Type}, \text{Time}, \text{If} \rangle,$$

где  $\text{Num}$  – номер узла,  $\text{Coord}$  – номер согласователя,  $\text{Type}$  – тип согласования,  $\text{Time}$  – срок согласования,  $\text{If}$  – условие перехода к следующему этапу.

В бизнес-процессе контроля и учета ТОиР выделены агенты контролера и исполнителя. Один и тот же элемент организационной структуры может выступать одновременно в роли исполнителя и контролера, когда требуется объединить несколько отчетов. Контролер отправляет запрос об отчете, который может формироваться автоматически с учетом текущей даты и обращений других агентов (например, по завершении согласования). Содержимое запроса имеет структуру вида  $\langle T, P, O, R, A \rangle$ , где  $T$  – тип отчета,  $P$  – период отчета,  $O$  – объект отчета,  $R$  – вид ремонта,  $A$  – дополнительные параметры.

Бизнес-процесс регламентирования представляет собой подготовку и распространение информации, регламентирующей остальные бизнес-процессы, – сборников расценок, рекомендуемых к использованию материалов и т.п. Агенты данного бизнес-процесса выполняют функции подготовки управляющей информации и ее распространения. Запрос на изменение базы знаний формируется с помощью логических правил вида

$$F_{IW} \# F_{Par} \# F_{AH} \Rightarrow Q(D, T),$$

где  $F_{IW}$  – функция способа получения информации из внешней среды,  $F_{Par}$  – функция параметров полученного информационного сообщения,  $F_{AH}$  – функция положения данного агента в структуре агентов,  $Q$  – полученный запрос с параметрами

$D = \{A_{Spread}\}$  – область действия информации, описанная как множество агентов-распространителей,  $T$  – текст запроса.

**Третья глава** описывает архитектуру МАСУ ТООИР и модели отдельных интеллектуальных агентов, входящих в ее состав.

Глобальная цель обеспечения качества информационной поддержки бизнес-процессов ТООИР может быть декомпозирована на совокупность подцелей обеспечения информационной поддержки в рамках узловых элементов информационной модели предприятия в проекции управления ТООИР из гл. 2.

Формально МАСУ ТООИР можно представить как

$$MAS = \langle MM_A, MM_P, M_I \rangle,$$

где  $MM_A$  – множество моделей агентов,  $MM_P$  – множество моделей процессов,  $M_I$  – модель взаимодействия агентов.

Для построения моделей агентов используется понятие информационного объекта (ИО), определение и описание которого изложено в работах А.Н. Швецова и С.А. Яковлева. ИО определяется как:

$$O = \langle N, \{A\}, \{O\}, BM \rangle,$$

где  $N$  – имя ИО,  $\{A\}$  – множество атрибутов ИО,  $\{O\}$  – множество вложенных объектов,  $BM$  – модель поведения ИО.

Действуя в рамках этого подхода, процесс обработки информации можно разбить на ряд этапов, которые выполняют агенты операции, представляющие собой примитивные ИО, не включающие в себя другие ИО.

$$O_{OP} = \langle N_{OP}, \{A_{OP}\}, \emptyset, BM \rangle,$$

где  $N_{OP}$  – название операции,  $\{A_{OP}\}$  – множество входных параметров операции. В модели поведения агента операции не используются логические модули. В начальном состоянии агент готов к запуску. По завершению выполнения операции результаты записываются в соответствующие атрибуты.

Агента процесса определим как  $O_{PR} = \langle N_{PR}, \{A_{PR}\}, \{O_{OP}\}, BM \rangle$ . В модели поведения данного агента определен логический модуль для определения возможных операций. Атрибуты агента процесса изменяются агентом-координатором. Результаты выполнения отдельных этапов процесса агент получает из атрибутов агента операции. После этого происходит выбор следующей операции.

Поскольку многие организационные единицы обрабатывают потоки информации нескольких видов, то кроме агентов бизнес-процессов каждому узлу информационной модели требуются агенты-координаторы

$$O_C = \langle N_C, \{A_C\}, \{O_{PR}\}, BM \rangle,$$

где  $N_C$  – название организационной единицы, которой принадлежит агент-координатор,  $\{A_C\}$  – множество атрибутов, изменяемых пользователем (расписание вызова агентов процесса, установления связи с агентами других узлов и т.п.). Агент-координатор собирает результаты работы всех вложенных агентов и реализует процедуры изменения атрибутов агентов процесса в зависимости от этих результатов.

Взаимодействие агентов, принадлежащих одному узлу, с агентами других узлов осуществляется путем передачи сообщений, основанной на теории речевых актов и соответствующей стандарту FIPA. При этом для описания реакции на то или иное сообщение используются продукционные правила. Отправлять и принимать сообщения вне данного компонента разрешено только агентам процесса. Предусматриваются сообщения следующих типов: установка значений атрибутов, запрос значений

атрибутов, произвольное сообщение, системное сообщение. При необходимости взаимодействия агентов, входящих в различные интеллектуальные компоненты, ИК становится для сервера обмена сообщениями другого ИК фиктивным агентом.

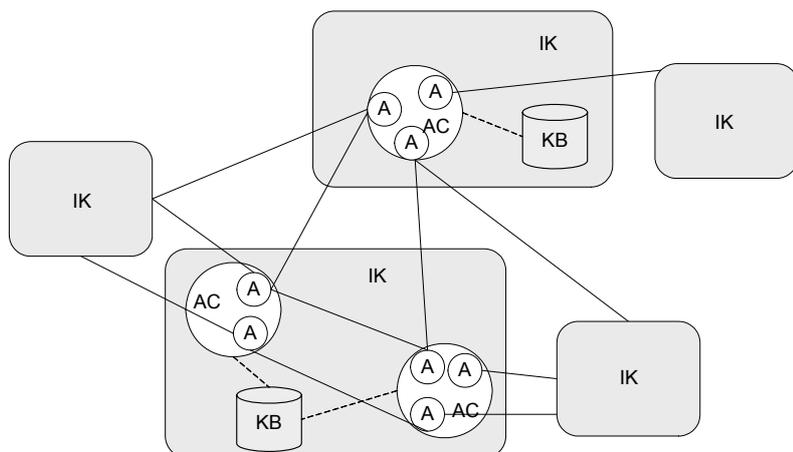


рис. 3. Архитектура MASU TOiP

получаемой этими узлами информации (планирование, согласование, обработка регламентирующих документов, отчет), и подчиненных им агентов операций.

Помимо выделенных в соответствии с существующими бизнес-процессами агентов, определены служебные агенты, необходимые для поддержания нормального функционирования MASU TOiP, которые позволяют обеспечить целостность, полноту и непротиворечивость базы знаний, а также логический вывод внутри иерархии ИК. Структура распределенной базы знаний определяется областями действия знаний, среди которых выделяются: локальная, глобальная и наследуемая. В соответствии с этими областями производятся проверки при внесении изменений.

**В четвертой главе** описан разработанный инструментальный программный комплекс DISIT, предназначенный для проектирования мультиагентных систем. Разработана методика построения прототипа MASU TOiP в пакете DISIT и проведено экспериментальное исследование эффективности разработанных методов, моделей и программных средств.

В основу пакета DISIT (Distributed Intellectual System Integrated Toolkit) положена методология, описанная в работах А.Н. Швецова и С.А. Яковлева, согласно которой процесс моделирования предметной области (МПО) разделяется на три этапа



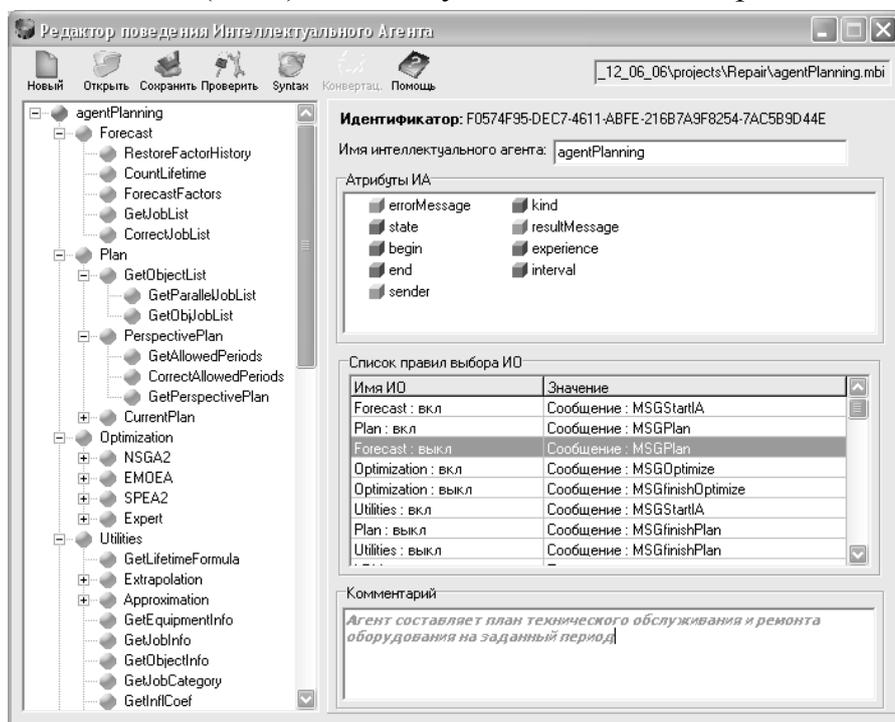
Рис 4. Составляющие описания МПО

(рис.4): структурное описание в виде иерархии фрейм-концептов, логическое описание в терминах ФК с помощью формальной логики первого порядка, реактивное описание поведения интеллектуальных агентов.

Комплекс DISIT включает в себя три подсистемы: концептуального проектирования, технического проектирования и времени исполнения. Подсистема концептуального проектирования содержит Конструктор фрейм-концептов, Логический конструктор, Констру-

ктор моделей поведения. Подсистема технического проектирования состоит из Транслятора логической модели и Конструктора баз знаний. Подсистема времени исполнения включает 4 менеджера: Менеджер логического вывода, Менеджер формальной объектной системы, Менеджер поведения ИА, Менеджер обмена сообщениями.

Проектирование МАС начинается с описания с помощью Конструктора фрейм-концептов (КФК) концептуальной модели предметной области. Логический кон-



структор (ЛК) на следующем этапе преобразует ФК-проекцию в ФКМ-проекцию путём добавления в неё модулей с утверждениями. Кон-

структор моделей поведения (КМП) позволяет создавать необходимую иерархию интеллектуальных агентов (ИА). Пример работы КМП представлен на рис. 5.

Процесс трансляции концептуальной модели предметной области в логическую модель МАС состоит из четырех этапов. В результате трансляции выделяются интел-

Рис. 5. Конструктор моделей поведения в пакете DISIT интеллектуальные компоненты (ИК). Для этих ИК Конструктор баз знаний (КБЗ) создает структуру баз знаний (БЗ).

Задачу обеспечения практического функционирования интеллектуальных составляющих МАС выполняет система менеджеров. Менеджер формальной объектной системы (МФОС) обеспечивает модификацию и обновление списков глобальных (ГА) и распространяемых сверху вниз аксиом (РА), а также локальных БЗ ФОС. Изменения, затрагивающие БЗ других ИК, запускают механизм сопоставления и обновления этих БЗ. Менеджер логического вывода (МЛВ) обслуживает запросы на осуществление операций логического вывода, поступающие от интеллектуальных агентов. Программа поддерживает два типа вывода: локальный и аддитивный. В качестве механизма логического вывода были использованы соответствующие средства среды Visual Prolog. Менеджер поведения ИА (МИА) позволяет задать параметры выполнения моделей поведения, а также параметры связи и передачи данных. Также МИА включает функции транспортировки сообщений и связи агента с внешним миром. С внешней средой и с другими агентами ИА связан через транспортный модуль. Менеджер обмена сообщениями (МОС) имеет две части: серверную и клиентскую. Сервер управляет транспортным потоком сообщений. Транспортный модуль ИА (клиент) получает и отправляет данные во внешнюю среду, а также получает и отправляет сообщения другим агентам через сервер обмена сообщениями.

На основании разработанных моделей с помощью пакета DISIT был реализован прототип МАСУ ТОиР для распределительной сетевой компании «Вологдаэнерго», которое является территориально распределенным филиалом компании ОАО «МРСК Северо-Запада». Реализованный в пакете DISIT прототип МАСУ ТОиР опирается на

разработанные в предыдущих главах модели и алгоритмы. За основу КМПО взята организационная модель ТОиР. Структура агентов выделена в соответствии с описанными выше ролями:

- агент планирования (agentPlanning);
- агент согласования (agentAgreement);
- агент-регистратор (agentRegistrar);
- агент-контролер (agentSupervisor);
- агент-исполнитель (agentExecutor);
- агент-источник управляющей информации (agentManager);
- агент-распространитель управляющей информации (agentDistributor).

Таким образом, каждому из ФК сопоставлен один или несколько агентов уровня бизнес-процесса. Каждый такой агент может включать произвольную структуру вложенных агентов операции. Функции агента-координатора в данном прототипе выполняют менеджеры подсистемы исполнения DISIT. При этом его поведение представляет собой отправку входящих сообщений всем подчиненным ему АБП.

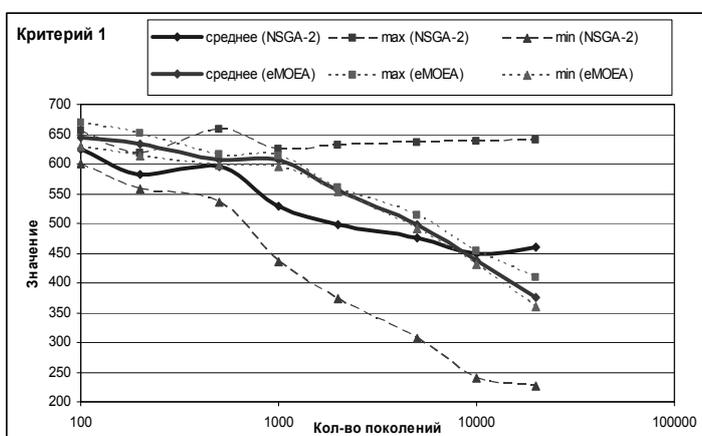


рис. 6. Зависимость критерия 1 от числа поколений

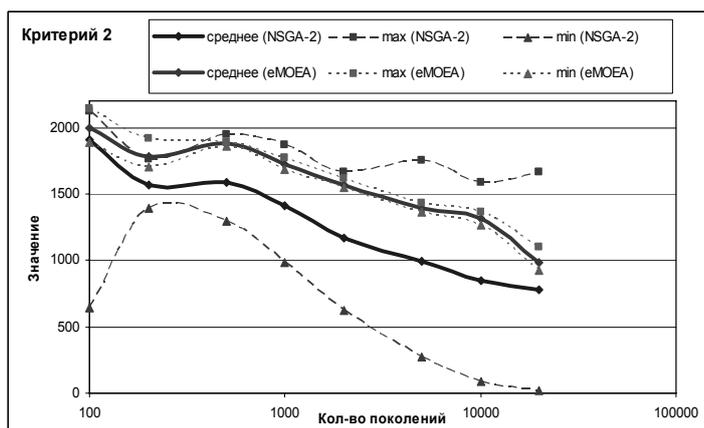


рис. 7. Зависимость критерия 2 от числа поколений

Произведено сравнение реальных и программно сгенерированных графиков ТОиР в нескольких районах электрических сетей филиала ОАО «МРСК Северо-Запада» «Вологда-энерго». Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о повышении эффективности работы служб ТОиР в результате использования прототипа МАСУ ТОиР. Так, время обработки объекта в узле МАСУ ТОиР уменьшилось в среднем в 3,08 раз.

Исследование оптимизации планирования при использовании МАСУ ТОиР производилось с помощью алгоритмов NSGA-2 и  $\epsilon$ -МОЕА. Из результатов тестирования (рис. 6-8) видно, что при увеличении количества поколений увеличивается оптимальность. Хотя используемые критерии оптимальности не являются аддитивными, для первичной оценки можно воспользоваться суммой их значений (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость суммы средних значений критериев от числа поколений

Число поколений	100	200	500	1000	2000	5000	10000	20000
NSGA-2	3609	3126	3193	2795	2491	2263	2097	2059
$\epsilon$ -МОЕА	3802	3531	3576	3349	3026	2706	2494	2059

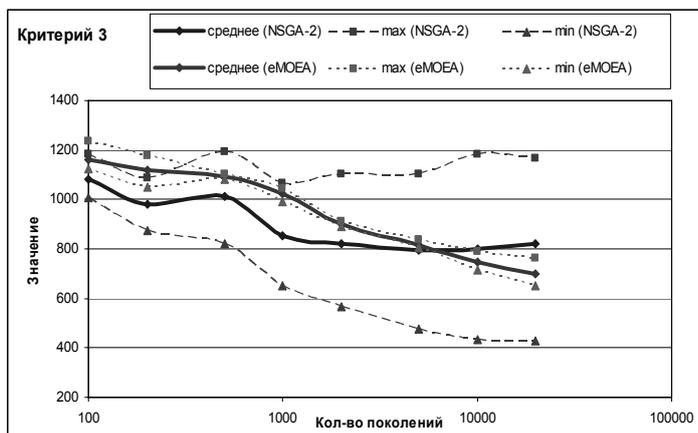


рис. 8. Зависимость критерия 3 от числа поколений

График, составленный вручную, имеет сумму критериев 3089. Сравнивая реализованные алгоритмы  $\epsilon$ -MOEA и NSGA-2, можно сделать вывод, что NSGA-2 показывает более значительный разброс значений в популяции или более широкий фронт Парето.

В целом применение МАСУ ТОиР, построенной на основе предложенных моделей, методов и средств позволяет повысить эффективность работы задействованных в

ремонтном процессе служб предприятия за счет поддержки принятия решений на основе баз знаний и повышения оперативности выполнения отдельных бизнес-процессов на каждом узле МАСУ ТОиР.

## ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Исследованы существующие принципы управления ТОиР на промышленных предприятиях. Выделены проблемы, возникающие при переходе на стратегию ремонта по техническому состоянию. Определены основные бизнес-процессы управления ТОиР.

2. Разработаны формальные модели организационной и информационной структуры управления ТОиР, определена информационная нагрузка элементов.

3. Разработан алгоритм планирования работ по ТОиР при использовании стратегии ремонта по техническому состоянию, учитывающий нечеткий характер сроков ремонта и порождающий формальное представление задачи многокритериальной оптимизации календарного планирования.

4. Сформулированы критерии и разработаны генетические алгоритмы для решения задачи многокритериальной оптимизации календарного планирования капитального, среднего и текущего ремонта, позволяющие получить набор субоптимальных календарных графиков для предъявления ЛПР.

5. Разработаны модели МАСУ ТОиР и алгоритмы взаимодействия интеллектуальных агентов, обеспечивающие информационную поддержку бизнес-процессов в структуре промышленного предприятия. Выделены типы агентов: агент операции, агент процесса и агент-координатор.

6. Разработан инструментальный программный комплекс DISIT, позволяющий осуществить весь жизненный цикл мультиагентной системы. В данном комплексе реализован прототип МАСУ ТОиР.

7. Произведено экспериментальное исследование эффективности разработанных методов, моделей и программных средств. Полученные результаты показывают, что в среднем в 5 раз повысилась скорость составления планов и графиков ремонтов, увеличилась их оптимальность, уменьшилось время принятия решений, снизилось в среднем в 4 раза время подготовки отчетов, повысилась достоверность данных о фактических затратах.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### *В изданиях из перечня ВАК*

1. Сергушичева, М.А. Иерархическая распределенная система поддержки управления техническим обслуживанием и ремонтом энергооборудования / М.А. Сергушичева, А.Н. Швецов // Информационные технологии в проектировании и производстве: Науч.-техн. журн. / ФГУП «ВИМИ», 2009. – №3. – с. 14-19. (соискатель – 60%).
2. Сергушичева, М.А. Проектирование прикладных мультиагентных систем с использованием пакета DISIT / М.А. Сергушичева, А.Н. Швецов // Информационные технологии: Теор. и приклад. науч.-техн. журн. / Изд-во «Новые технологии», 2009. – №8. – с. 54-60. (соискатель – 50%).

### *В прочих изданиях*

3. Сергушичева, М.А. Архитектура мультиагентной системы управления техническим обслуживанием и ремонтом оборудования на распределенном предприятии / М.А. Сергушичева, А.Н. Швецов // Интеллектуальные системы: Труды Девятого международного симпозиума / Под ред. К.А. Пупкова. – М.: РУСАКИ, 2010. – с. 624-628. (соискатель – 60%).
4. Сергушичева, М.А. Интеллектуальная поддержка управления техническим обслуживанием и ремонтом оборудования на распределенном предприятии электроэнергетики // Искусственный интеллект: философия, методология, инновации. Мат-лы III Всерос. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Москва, МИРЭА, 11-13 ноября 2009 г. Под ред. Д.И. Дубровского и Е.А. Никитиной. – М.: «Связь-Принт», 2009. – с. 379-382.
5. Сергушичева, М.А. Подход к оптимизации перспективного графика ремонтных работ объектов электрических сетей / М.А. Сергушичева, А.Н. Швецов // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: Мат-лы пятой межд. науч.-техн. конф. Т. 2. – Вологда: ВоГТУ, 2009. – с. 123-126. (соискатель – 60%).
6. Сергушичева, А.П. Управление планированием ремонтов в территориально распределенной организации с применением агентного подхода / А.П. Сергушичева, М.А. Сергушичева // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: Мат-лы пятой межд. науч.-техн. конф. Т. 2. – Вологда: ВоГТУ, 2009. – с. 120-123. (соискатель – 60%).
7. Сергушичева, М.А. Организационная модель территориально распределенного предприятия электроэнергетики в проекции управления ремонтами / М.А. Сергушичева, А.Н. Швецов // Информатизация процессов формирования открытых систем на основе СУБД, САПР, АСНИ и систем искусственного интеллекта: Мат-лы 5-й межд. научно-техн. конф. – Вологда: ВоГТУ, 2009. – с. 288-292. (соискатель – 50%).
8. Сергушичева, М.А. Моделирование системы организации технического обслуживания и ремонта на распределенном предприятии энергоснабжения / М.А. Сергушичева, А.Н. Швецов // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: Мат-лы четвертой междунар. науч.-техн. конф. т.2. – Вологда: ВоГТУ, 2008. – с. 107-110. (соискатель – 60%).
9. Сергушичева, М.А. Подходы к разработке системы поддержки принятия решений при планировании ремонтов / М.А. Сергушичева, А.Н. Швецов // Информатизация процессов формирования открытых систем на основе СУБД, САПР, АСНИ и систем искусственного интеллекта: Материалы 4-й межд. науч.-техн. конф. – Вологда: ВоГТУ, 2007. – с. 190-192. (соискатель – 60%).
10. Сергушичева, М.А. Инструментальный комплекс для проектирования распределенных интеллектуальных систем обработки данных / М.А. Сергушичева, С.И. Сорокин, А.Н. Швецов // Научный сервис в сети Интернет: многоядерный компьютерный мир. 15 лет

- РФФИ: Труды Всероссийской научной конференции (24-29 сентября 2007г., г. Новороссийск). – М.: Изд-во МГУ, 2007. – с. 88-93. (соискатель – 40%).
11. Сергушичева, М.А. Моделирование бизнес-процесса планирования ремонтов оборудования на базе агентно-ориентированного подхода / М.А. Сергушичева, А.Н. Швецов // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования: мат-лы третьей междунар. науч.-техн. конф. Т.2. – Вологда: ВоГТУ, 2007. – С. 91-95. (соискатель – 60%).
  12. Сергушичева, М.А. Реализация инструментального комплекса DISIT для построения мультиагентных систем / М.А. Сергушичева, С.И. Сорокин, А.Н. Швецов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных: Сборник научных статей / Под ред. С.С. Садыкова, Д.Е. Андрианова – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – с. 126-137. (соискатель – 40%).
  13. Котов, С.С. Инструментально-программный комплекс для проектирования мультиагентных систем / С.С. Котов, М.А. Сергушичева, С.И. Сорокин, А.Н. Швецов // Мат-лы IX Междунар. конф. «Интеллектуальные системы и компьютерные науки» (23-27 октября 2006 г.), том 2, часть 2. – М.: Изд-во механико-математического факультета МГУ, 2006. – с. 309-312. (соискатель – 25%).
  14. Сергушичева, М.А. Реализация механизмов управления знаниями в структуре комплекса DISIT / М.А. Сергушичева, А.Н. Швецов // Молодые исследователи – регионам: Матер. всероссийской науч. конф. студентов и аспирантов. В 2-х т. – Вологда: ВоГТУ, 2006. – Т.1. – с. 108-110. (соискатель – 50%).
  15. Сергушичева, М.А. Применение инструментального комплекса DISIT в задачах управления предприятиями энергоснабжения / М.А. Сергушичева, А.Н. Швецов // Автоматизация машиностроительного производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования: Мат-лы второй междунар. науч.-технич. конф. т.1. – Вологда: ВоГТУ, 2006. – с. 173-177. (соискатель – 50%).