

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И УПРАВЛЕНИИ**

Научный журнал

№ 3



ISSN 2413 – 0133

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

Абламейко С.В., академик НАН Беларуси, Минск, БГУ
Андрианов А.Н., д.ф.-м.н., Москва, ИПМ РАН
Аршинский Л.В., д.т.н., Иркутск, ИрГУПС
Берестнева О.Г., д.т.н., Томск, ТПУ
Бухановский А.В., д.т.н., Санкт-Петербург, НИУ ИТМО
Бычков И.В., академик РАН, Иркутск, ИДСТУ СО РАН
Воеводин В.В., чл.-корр. РАН, Москва, НИВЦ МГУ
Вольфенгаген В.Э., д.т.н., Москва, МИФИ
Воропай Н.И., чл.-корр. РАН, Иркутск, ИСЭМ СО РАН
Горнов А.Ю., д.т.н., Иркутск, ИДСТУ СО РАН
Грибова В.В., д.т.н., Владивосток, ИАПУ ДВО РАН
Донской В.И., ак. Крымской АН, Симферополь, Тавр. академия им. В.И. Вернадского
Дунаев М.П., д.т.н., Иркутск, ИРНТУ
Елисеев С.В., д.т.н., Иркутск, ИрГУПС
Казаков А.Л., д.ф.-м.н., Иркутск, ИДСТУ СО РАН
Карпенко А.П., д.ф.-м.н., Москва, МГТУ им. Баумана
Массель Л.В., д.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН
Москвичев В.В., д.т.н., Красноярск, СКТБ «Наука» СО РАН
Мохор В.В., д.т.н., Киев, ИПМЭ им. Г.Е. Пухова НАН Украины
Силич В.А., д.т.н., Томск, ТПУ
Смирнов С.В., д.т.н., Самара, ИПУСС РАН
Федотов А.М., чл.-корр. РАН, Новосибирск, ИВТ СО РАН
Хамисов О.В., д.ф.-м.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН
Чубаров Л.Б., д.ф.-м.н., Новосибирск, ИВТ СО РАН
Юсупова Н.И., д.т.н., Уфа, УГАТУ

ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

Массель Л.В., д.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН – главный редактор
Макагонова Н.Н., к.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН – выпускающий редактор
Копайгородский А.Н., к.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН – редактор
Массель А.Г., к.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН – редактор
Иванов Р.А., к.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН – дизайнер

Рабочие контакты

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН
664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130
Тел: (3952) 42-47-00 Факс: (3952) 42-67-96

Раб. тел.: 8 (3952) 500-646 доп. 441

Массель Л.В.,
e-mail: massel@isem.irk.ru

Раб. тел.: 8 (3952) 500-646 доп. 440

Макагонова Н.Н.,
e-mail: mak@isem.irk.ru

Сайт журнала и конференции ИМТ - <http://imt.isem.irk.ru>

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Номер контракта 202-04/2016

Отпечатано в полиграфическом участке ИСЭМ СО РАН © Все права принадлежат авторам публикуемых статей.

Подписано в печать 14.06.2016 г. Тираж 100 экз.

© Издательство ИСЭМ СО РАН

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА	7
Математическое моделирование и его применение в научных исследованиях	
Дивеев А.И., Софронова Е.А., Шмалько Е.Ю. Эволюционные численные методы решения задачи синтеза системы управления группой роботов	11
Хан П.В., Хванг Пёнг, Ким Ын Хё, Ли Чхун Му Численный анализ жёсткости и демпфирования аэростатических линейных направляющих с пористыми ограничителями наддува и вакуумным нагружением	24
Лобанов А.В. Определение возможных вариантов структуры заданного сбое- и отказоустойчивого комплекса в произвольной графовой структуре исходной системы	33
Ашарина И.В. Подходы к оптимизации временных характеристик процесса взаимного информационного согласования в многомашинных вычислительных системах	38
Прокина Н.В., Шубенин А.А. Декомпозиционный подход в моделировании земной поверхности для информационно-разведывательных систем	48
Болодурина И.П., Парфёнов Д.И. Моделирование объектов виртуального центра обработки данных	60
Яворский В.В. Проблема решения задачи определения оптимальной иерархии	72
Системы поддержки принятия решений	
Шубенин А.А., Прокина Н.В., Мухин В.Н., Поздняков С.Ю. Информационные технологии поддержки принятия решений на основе хранилищ данных	80
Ризванов Д.А. Методологические основы поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах в условиях динамично изменяющейся внешней среды	92
Ризванов Д.А., Чернышев Е.С. Управление ресурсами при планировании развития производственных мощностей предприятия	102
Загорулько Ю.А., Загорулько Г.Б. Проблемы комплексной поддержки процесса разработки интеллектуальных СППР в слабоформализованных предметных областях	115
Кононенко И.С., Сидорова Е.А., Веремьянина А.О. Подход к извлечению информации о событиях в энергетике (на материале новостных сообщений информагентств)	126
Информационные системы и технологии	
Золотухин Д.Е. Аномальное морское подтопление 6-7 февраля 2014 года в районе Охотска: наблюдения и моделирование	137
Блохин А.А. Интеллектуальная информационная система для интегральной оценки качества жизни с учётом уровня обеспеченности энергоресурсами	145

Коршунов С.А., Павлов А.И., Николайчук О.А. WEB-ориентированная оболочка производственной экспертной системы	156
Носырева Е.В., Носырева Л.Л. Формализация понятия безопасности	164
Зубарев И.В., Жидков И.В., Кадушкин И.В., Медовщикова С.А. Уязвимости информационных систем	174
Горбылев А.Л. Программный комплекс для автоматизированной генерации организационно-распорядительных документов по защите информации в критических инфраструктурах	185
Правила приема статей в журнал	192

EDITOR'S FOREWORD**Mathematical modeling and its application in scientific research****Askhat I. Diveev, Elena A. Sofronova, Elizaveta Yu. Shmalko**Evolutionary computational methods to solve problems of control system synthesis for groups of robots **11****Polina V. Khan, Hwang Pyung, Kim Eun Hyo, Lee Chun Moo**Numerical analysis of stiffness and damping of aerostatic linear bearing with porous restrictor and vacuum preload **24****Anatoly V. Lobanov**Identification of possible options for the structure of a given fault-tolerant complex in an arbitrary graph structure of source system **33****Irina V. Asharina**Approaches to optimize the time characteristics of the process of mutual informative agreement in multicomputer systems **38****Natalya V. Prokina, Alexey A. Shubenin**Decomposition approach in earth surface modeling for information and reconnaissance system **48****Irina P. Bolodurina, Denis I. Parfenov**Modeling objects of the virtual data center **60****Vladimir V. Yavorskiy**The problem of solving the task of determining the optimal hierarchy **72****Decision support systems****Aleksey A. Shubenin, Natalia V. Prokina, Vladimir N. Muhin, Sergey Y. Pozdnyakov**Information technologies of support decision based on data warehousing **80****Dmitry A. Rizvanov**Methodological basis of a decision support in the management of resources in complex systems under a fast changing environment **92****Dmitry A. Rizvanov, Evgeny S. Chernyshev**Resource management in development planning of manufacturing facilities **102****Yury A. Zagorulko, Galina B. Zagorulko**Problems of the complex support of the intelligent DSS development in weakly formalized domains **115****Irina S. Kononenko, Elena A. Sidorova, Alisa O. Veremianina**Approach to extracting information on energetics from news agency reports **126****Information Systems and Technologies****Dmitriy E. Zolotukhin**Anomalous sea flooding 6-7 February 2014, in the Okhotsk area: observations and modeling **137****Arseniy A. Blokhin**Intelligent information system for integrated assessment of quality of life in view of level energy supply **145****Sergei A. Korshunov, Alexander I. Pavlov, Olga A. Nikolaychuk**Web-oriented shell of expert system **156****Elena V. Nosyreva, Ludmila L. Nosyreva**Formalization of the concepts of security **164**

Igor V. Zubarev, Igor V. Zhidkov, Ivan V. Kadushkin, Svetlana A. Medovshchikova	
Vulnerabilities in information systems	174
Alexander L.Gorbylev	
Software for automated generation of organizational and administrative documents to information protection in the critical infrastructures	185
Call for papers	192

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

Уважаемые читатели! Этот выпуск журнала издается в преддверии традиционной XXI Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Начиная с этого года, Труды конференции, которые последние десять лет издавались в 2-3-х томах к началу конференции, издаются как периодическое издание четыре раза в год. Журналу присвоен международный индекс ISSN, статьи индексируются в РИНЦ. К публикации принимаются также статьи «заочных» участников. Вашему вниманию предлагается третий выпуск журнала.

Информация для тех, кто присоединяется к нам в этом году. Наша конференция проводится с 1993 г., начиная с 1998 г. – ежегодно, с 2001 г. – при поддержке РФФИ. Конференция начиналась как семинар «Информационные технологии в энергетике», базовая организация – Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН (г. Иркутск). Члены оргкомитета конференции работают преимущественно в этом институте, в лаборатории «Информационные технологии в энергетике», и мы всегда благодарны нашему институту за многолетнюю поддержку.

Характер конференции – междисциплинарный. В конференции традиционно принимают участие до 200 человек из разных городов нашей страны, от Владивостока до Санкт-Петербурга, и из других стран.

Члены программного комитета конференции являются членами редколлегии нашего издания, его тематика совпадает с тематикой конференции.

Предлагаемый Вашему вниманию выпуск журнала включает три раздела: математическое моделирование и его применение в научных исследованиях, системы поддержки принятия решений, информационные системы и технологии.

Первый раздел «Математическое моделирование и его применение в научных исследованиях» открывается статьей Дивеева А.И., Софроновой Е.А., Шмалько Е.Ю. (ФИЦ «Информатика и управление» РАН, г. Москва). Авторы продолжают тематику, начатую ими в предыдущем выпуске журнала. В этой статье рассматривается задача синтеза управления группой роботов. Для решения задачи используется эволюционный численный метод многослойного сетевого оператора. Приведен пример синтеза управления группой из трех мобильных роботов. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ и Президента РФ.

Следующая статья подготовлена сотрудницей ИСЭМ СО РАН Хан П.В. совместно с коллегами из Кореи: Хванг Пёнг, Ким Ын Хё, Ли Чхун Му. Статья посвящена вопросам численного анализа жёсткости и демпфирования аэростатических линейных направляющих с пористыми ограничителями наддува и вакуумным нагружением. Приводятся описание математической модели таких опор и пример расчёта для опоры прямоугольной формы.

В статье Лобанова А.В. (АО "Научно-исследовательский институт "Субмикрон", Москва, Зеленоград) рассматривается использование необходимого механизма взаимного информационного согласования для организации отказоустойчивых вычислений в многомашинных вычислительных системах. Статья посвящена определению возможных вариантов структуры заданного сбое- и отказоустойчивого комплекса в произвольной графовой структуре исходной системы.

Статья Ашариной И.В. (АО "Научно-исследовательский институт "Субмикрон", Москва, Зеленоград) продолжает эту тематику. В статье рассматриваются подходы к

оптимизации временных характеристик процесса взаимного информационного согласования в многомашинных вычислительных системах.

В статье Прокиной Н.В. и Шубенина А.А. (ФГБУ «3 ЦНИИ» Минобороны России, г. Москва) представлена методика применения декомпозиционного подхода (применение метода автономных блоков с виртуальными каналами Флоке на гранях) в моделировании распространения волн на земной поверхности при воздействии на нее наземных объектов. Метод автономных блоков позволяет моделировать волновую картину различных грунтов и местностей, определять параметры сейсмоакустических сигналов. Предлагаемая методика может использоваться при разработке алгоритмов обнаружения и распознавания в сейсмоакустических информационно-разведывательных системах.

Следующая статья – Болодуриной И.П. и Парфёнова Д. И. (Оренбургский государственный университет, г. Оренбург) посвящена вопросам моделирования объектов виртуального центра обработки данных. Обосновывается необходимость разработки моделей и алгоритмических решений, способных оптимизировать размещение ключевых ресурсов: виртуальных машин, данных, приложений в хранилищах облачных систем, для минимизации времени отклика сервиса и обеспечения эффективного доступа к большим массивам данных. Работа выполнена при поддержке РФФИ.

В заключительной статье этого раздела Яворский В.В. (Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Темиртау (Казахстан)) рассматривает проблему решения задачи определения оптимальной иерархии. Предлагается схема метода разбиения ориентированного графа без контуров на многослойную иерархию. Автор считает, что предлагаемая схема решения эффективнее некоторых известных дискретных методов.

Второй раздел «Системы поддержки принятия решений» открывается статьей коллектива авторов: Шубенин А.А., Прокина Н.В. (ФГБУ «3 ЦНИИ» Минобороны России, г. Москва), Мухин В.Н., Поздняков С.Ю. (АО «Научно-производственное предприятие «Рубин», г. Пенза). В статье представлен обзор архитектур систем поддержки принятия решений и оперативной аналитической обработки данных на основе ХД (хранилищ данных). Рассмотрены наиболее популярные типы архитектур СППР, их преимущества и недостатки, а также технологии обработки данных в реальном масштабе времени.

Статья Ризванова Д.А. (Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа), посвящена разработке методологических основ поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах в условиях динамично изменяющейся внешней среды. Отличительной особенностью предлагаемой методологии является интеграция многоагентных технологий и онтологических моделей, что позволяет учитывать слабо формализуемую информацию о предметной области. Исследование выполнено при поддержке грантов РФФИ.

В следующей статье, Ризванова Д.А. и Чернышева Е.С. (Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа), посвященной управлению ресурсами при планировании развития производственных мощностей предприятия, рассмотрено применение предложенной методологии. Для обеспечения планомерного развития производств и создания новых производственных мощностей предлагается использовать основанное на многоагентном подходе разрабатываемое программное обеспечение информационной поддержки принятия решений при управлении ресурсами на производстве. Результаты также получены при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ.

В статье Загорюлько Ю.А. и Г.Б. (Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН, г. Новосибирск) обосновывается необходимость организации комплексной поддержки процесса разработки интеллектуальных СППР в слабоформализованных предметных областях, описываются возникающие при этом проблемы, предлагаются подходы к их решению. Формулируются цель и задачи инициативного проекта, выполняемого при поддержке РФФИ, направленного на решение указанной проблемы, описываются современное состояние исследований в этой области и предлагаемые методы.

Завершает раздел статья Кононенко И.С., Сидоровой Е.А. (Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН, г. Новосибирск) и Веремьяниной А.О. (Новосибирский национальный исследовательский государственный университет), в которой предлагается подход к решению задачи извлечения информации о событиях в области энергетики из текстов новостных заметок. Используемая база знаний включает онтологию предметной области и лингвистические ресурсы: словарь семантически размеченной предметной лексики, словарь моделей управления предикатных лексем, модель формальной и жанровой сегментации текста, и схемы извлечения фактов, которые связывают обнаруженные в тексте термины и конструкции с элементами онтологии. Работа выполняется при поддержке гранта РФФИ.

Третий раздел «Информационные системы и технологии» открывается статьей Золотухина Д.Е. (Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск). В статье рассматривается аномальное морское подтопление береговой полосы в северной части Охотского моря. На основе анализа данных наблюдений и результатов численного моделирования взаимодействия атмосферы и океана автор предполагает, что аномальное морское подтопление береговой полосы в районе поселка Охотск было вызвано метеоцунами, порождённом выходом глубокого циклона с Тихого океана. Результаты исследования говорят о том, что метеоцунами, вызванные движением циклонов, представляют серьезную угрозу для побережья Дальнего Востока России.

В следующей статье, Блохина А.А. (Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, г. Иркутск), рассматриваются вопросы разработки и применения интеллектуальной информационной системы для интегральной оценки качества жизни с учётом уровня обеспеченности энергоресурсами. Автор предлагает использовать когнитивные модели для описания индикаторов качества жизни, что позволяет разрабатывать новые методы оценки качества жизни и/или оценивать существующие, а также использовать методы сценарного программирования применительно к индикаторам качества жизни.

В статье Коршунова С.А., Павлова А.И., Николайчук О.А. (Институт динамики систем и теории управления СО РАН, г. Иркутск) рассматриваются вопросы реализации оболочки продукционной экспертной системы в виде web-приложения. Предполагается, что данная оболочка позволит специалисту в предметной области решать проблемы, используя сформированные им логические правила, описывающие динамику исследуемых процессов. Web-доступ к оболочке обеспечит возможность ее коллективного использования, что особенно важно при междисциплинарных исследованиях, требующих работы коллектива специалистов из разных областей знаний. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ.

Три последних статьи этого раздела посвящены вопросам безопасности. В статье Носыревых Е.В. и Л.Л. анализируются существующие подходы к определению безопасности. На основе анализа структуры данного понятия авторами предлагается новый

подход: безопасность рассматривается не как состояние или свойство, а как отношение между двумя системами, при котором одна из систем не может нанести другой недопустимый ущерб. Исходя из данного положения, предлагается формальное определение безопасности с использованием аппарата теории вероятностей и математической статистики.

Коллектив авторов: Зубарев И.В., Жидков И.В., Кадушкин И.В. (ФГБУ «3 ЦНИИ» Минобороны России, г. Москва), Медовщикова С.А. (АО «Научно-производственное предприятие «Рубин», г. Пенза) в своей статье рассматривают классификацию уязвимостей информационных систем, учитывающую этапность жизненного цикла ИС, и функциональные компоненты ИС, в которых содержатся уязвимости, а также структуру описания уязвимости, использование которой позволит обеспечить достаточность информации для идентификации уязвимости ИС и выполнения работ по их анализу.

В заключительной статье выпуска Горбылева А.Л. (ООО по защите информации «Секрет-Сервис», г. Иркутск) предлагается новый подход к решению задачи построения систем защиты информации в части организационно-распорядительной документации, а также поддержки специалистов в принятии ключевых решений по вопросам построения систем защиты информации в критических инфраструктурах.

Таким образом, опубликованные статьи затрагивают основные рубрики тематики нашей конференции, и, надеемся, будут интересны нашим читателям. Полные тексты всех статей, в соответствии с соглашениями, подписанными авторами при регистрации на сайте конференции <http://imt.isem.irk.ru>, помещаются в E-Library и индексируются в РИНЦ.

В заключение выпуска приведены правила подачи статей в журнал. Будущих авторов просим обращать внимание на сроки подачи статей и требования к их оформлению (смотрите на сайте конференции), отличающиеся от требований к статьям в сборниках предыдущих лет.

Третий выпуск выходит в начале лета 2016 г. Вспомним, что «лето – это маленькая жизнь!» Хотелось пожелать авторам и читателям, чтобы эта жизнь оказалась для них насыщенной и плодотворной, богатой на интересные события, которые позволили бы совмещать и работу, и отдых. Желаем всем набраться сил, новых идей и впечатлений на нашей XXI Байкальской конференции в июле 2016-го!

Л.В. Массель

УДК 519.714

ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ РОБОТОВ

Дивеев Асхат Ибрагимович

Д.т.н., профессор, зав. сектором «Проблем кибернетики»,
Федеральное государственное учреждение Федеральный исследовательский центр
«Информатика и управление» Российской академии наук,
119333 г. Москва, ул. Вавилова 44, e-mail: aidiveev@mail.ru

Софронова Елена Анатольевна

К.т.н., доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования Российский университет дружбы народов
117198, ул. Миклухо-Маклая, д.6, e-mail: sofronova_ea@mail.ru

Шмалько Елизавета Юрьевна

К.т.н., научный сотрудник,
Федеральное государственное учреждение Федеральный исследовательский центр
«Информатика и управление» Российской академии наук,
119333 г. Москва, ул. Вавилова 44, e-mail: e.shmalko@gmail.com

Аннотация. Рассмотрена задача синтеза управления группой роботов. В задаче необходимо перестроить группу роботов из разных начальных условий в терминальное состояние с учетом фазовых ограничений и исключения столкновений между роботами. Для решения задачи используется эволюционный численный метод многослойного сетевого оператора. Первоначально решается задача стабилизации робота. На этом этапе методом сетевого оператора находится управление в виде регулятора обратной связи, которое стабилизирует робота относительно заданной точки пространства состояний. На втором этапе находятся пространственные траектории, по которым роботы двигаются из текущего состояния в заданное терминальное состояние. На третьем этапе методом многослойного сетевого оператора находится система дифференциальных уравнений, частное решение которой аппроксимирует пространственные траектории движения роботов, найденные на втором этапе. С целью исключения столкновений всем роботам в процессе управления присваиваются приоритеты в зависимости от их расположения относительно терминального состояния. Приведен пример синтеза управления группой из трех мобильных роботов.

Ключевые слова: синтез управления, управление группой роботов, метод сетевого оператора.

Введение. Синтез системы управления группой роботов является сегодня актуальной задачей. Основные проблемы, которые возникают в процессе ее решения, связаны с построением алгоритмов поиска оптимального управления, обеспечивающего перестроение группы роботов из одного строя в другой, и исключения столкновения роботов между собой и со встречающимися на пути препятствиями. Наиболее популярный путь решения задачи

синтеза управления состоит в создании системы стабилизации каждого робота относительно любой заданной точки пространства состояний и построения оптимальных траекторий из точек пространства состояний, стабилизация к которым обеспечивает нужное движение каждого робота из начального состояния или положения в начальном строе в конечное состояние или положение в конечном строе. Перед поиском оптимальной траектории часто решают промежуточную задачу нахождения терминальной точки в конечном заданном строе для каждого робота группы.

Для решения задачи стабилизации используют ПИД-регуляторы, работающие по отклонению компонент вектора состояний робота от компонент заданной точки стабилизации или метод потенциалов [8], который синтезирует управление как функцию обратной связи по минимуму евклидовой нормы разности между значением вектора состояний робота и точкой стабилизации. При поиске терминальных точек для каждого робота используют алгоритм для решения задачи о назначениях, с помощью которого находят такие терминальные точки для каждого робота, чтобы суммарный путь всех роботов до терминальных точек был минимальным. Задачу о назначениях эффективно решает венгерский алгоритм [9]. Для решения задачи избегания столкновений используют алгоритм отступающего горизонта [5], с помощью которого просчитывают вперед движения роботов и определяют момент столкновения. Если робот должен столкнуться с неподвижным препятствием, то изменяют траекторию движения, при этом заново пересчитывают задачу о назначениях. Если робот должен столкнуться с другим роботом, то роботам назначают приоритеты по расстоянию до терминальной точки, и робот с наименьшим приоритетом останавливается или совершает избегающий столкновения маневр.

В настоящей работе для решения задачи синтеза управления группой роботов используем один из методов символьной регрессии: метод многослойного сетевого оператора [4]. Первоначально с помощью метода сетевого оператора [1, 2, 6, 7] решаем задачу синтеза системы стабилизации каждого робота относительно точки пространства состояний. Для решения задачи стабилизации не обязательно использовать метод многослойного сетевого оператора. Если вектор состояния робота имеет невысокую размерность, то достаточно использовать сетевой оператор с одним слоем [3]. Траектории движения роботов определяем в виде решения системы дифференциальных уравнений, имеющей размерность, равную общей размерности задачи, которая равна сумме размерностей векторов состояний всех роботов. Правые части дифференциальных уравнений ищем с помощью метода многослойного сетевого оператора. Моменты столкновений определяем с помощью пересечения габаритных областей положения роботов в геометрическом пространстве. Если определено столкновение между роботами, то это означает, что угол габаритной области одного робота попал внутрь габаритной области другого робота, тогда к значениям функционалов качества добавляем величину штрафа, который равен наименьшему расстоянию от нарушившего ограничения угла до границы габаритной области, которую он нарушил. Это же правило выполняем при нарушении статических ограничений. Для всех роботов устанавливаем приоритеты. При обнаружении столкновения между роботами робот с меньшим приоритетом останавливаем.

Применение метода сетевого оператора для построения траекторий движения роботов позволяет с помощью одного сетевого оператора задать множество оптимальных траекторий движения для различных начальных положений роботов. В работе рассмотрен пример

синтеза управления группой из трех роботов, которые должны перемещаться в заданное терминальное состояние из восьми различных начальных условий.

1. Задача синтеза управления группой мобильных роботов. Задана модель одинаковых мобильных роботов

$$\dot{x}_i = u_{1,i} \cos(\theta_i), \quad \dot{y}_i = u_{1,i} \sin(\theta_i), \quad \dot{\theta}_i = \frac{u_{2,i}}{L} \operatorname{tg}(u_{2,i}), \quad i = 1, \dots, N, \quad (1)$$

где (x_i, y_i) - координаты геометрического центра i -го робота, θ_i - угол между продольной осью i -го робота и осью x неподвижной системы координат, L - габаритный параметр робота, $u_{1,i}, u_{2,i}$ - компоненты вектора управления i -го робота, N - количество роботов.

Заданы ограничения на управление:

$$u_1^- \leq u_{1,i} \leq u_1^+, \quad u_2^- \leq u_{2,i} \leq u_2^+. \quad (2)$$

Схематичное изображение мобильного робота представлено на рис. 1.

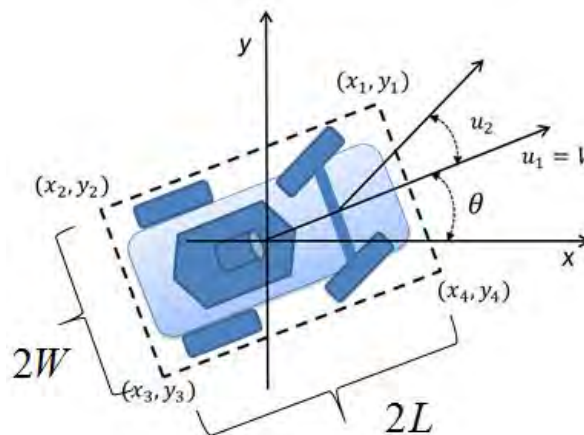


Рис. 1. Габаритная область и управление мобильного робота

На рис. 1 (x_k, y_k) – координаты углов габаритной области расположения робота, $2W$ – ширина габаритной области. Для определения столкновения роботов между собой и с другими геометрическими препятствиями необходимо располагать информацией о координатах углов роботов. Для вычисления координат углов i -го робота повернем систему координат на угол θ_i . В повернутой на угол θ_i системе координат определим координаты геометрического центра i -го робота

$$\tilde{x}_i = x_i \cos(\theta_i) + y_i \sin(\theta_i), \quad \tilde{y}_i = -x_i \sin(\theta_i) + y_i \cos(\theta_i). \quad (3)$$

Координаты углов i -го робота в повернутой на угол θ_i системе координат вычисляем из соотношений

$$\tilde{x}_{k,i} = \tilde{x}_i + (-1)^{\lfloor k/2 \rfloor} L, \quad \tilde{y}_{k,i} = \tilde{y}_i - (-1)^{\lfloor (k+1)/2 \rfloor} W, \quad k = 1, 2, 3, 4. \quad (4)$$

Для получения значения координат углов робота в неподвижной системе координат выполним обратное по отношению к (2) преобразование

$$x_{k,i} = \tilde{x}_{k,i} \cos(\theta_i) - \tilde{y}_{k,i} \sin(\theta_i), \quad y_{k,i} = \tilde{x}_{k,i} \sin(\theta_i) + \tilde{y}_{k,i} \cos(\theta_i), \quad k = 1, 2, 3, 4. \quad (5)$$

Для проверки столкновения роботов i и j необходимо определить попадание каждого угла робота j в габаритную область робота i , и, наоборот, попадание каждого угла

робота i в габаритную область робота j . Для выполнения проверки первоначально вычислим координаты углов робота j в повернутой на угол θ_i системе координат, получаем

$$\tilde{x}_{k,j}(\theta_i) = x_{k,j} \cos(\theta_i) + y_{k,j} \sin(\theta_i), \tilde{y}_{k,j}(\theta_i) = -x_{k,j} \sin(\theta_i) + y_{k,j} \cos(\theta_i), k = 1,2,3,4. \quad (6)$$

Для попадания угла $(x_{k,j}, y_{k,j})$ в область робота i необходимо выполнение условий

$$(\tilde{x}_{k,j}(\theta_i) \leq \tilde{x}_i + L) \wedge (\tilde{x}_{k,j}(\theta_i) \geq \tilde{x}_i - L) \wedge (\tilde{y}_{k,j}(\theta_i) \leq \tilde{y}_i + W) \wedge (\tilde{y}_{k,j}(\theta_i) \geq \tilde{y}_i - W), \quad (7)$$

где $k = 1,2,3,4$.

Для полной проверки столкновения двух роботов еще необходимо проверить попадание углов робота i в габаритную область робота j .

$$(\tilde{x}_{k,i}(\theta_j) \leq \tilde{x}_j + L) \wedge (\tilde{x}_{k,i}(\theta_j) \geq \tilde{x}_j - L) \wedge (\tilde{y}_{k,i}(\theta_j) \leq \tilde{y}_j + W) \wedge (\tilde{y}_{k,i}(\theta_j) \geq \tilde{y}_j - W), \quad (8)$$

$k = 1,2,3,4$.

Выполнение одного из условий (6) или (7) определяет попадание угла габаритной области одного робота в габаритную область другого робота.

Для проверки столкновения роботов в группе из N роботов достаточно всегда проверять столкновения только между парами роботов, поэтому число проверок для группы будет равно числу размещений из N по 2

$$A_N^2 = N(N-1).$$

Для группы роботов задано множество начальных условий

$$X_0 = \{((x_1^{0,1}, y_1^{0,1}, \theta_1^{0,1}), \dots, (x_N^{0,1}, y_N^{0,1}, \theta_N^{0,1})), \dots, ((x_1^{0,M}, y_1^{0,M}, \theta_1^{0,M}), \dots, (x_N^{0,M}, y_N^{0,M}, \theta_N^{0,M}))\}. \quad (9)$$

Задано терминальное состояние роботов

$$|x_k(t_f) - x_k^f| \leq \varepsilon, |y_k(t_f) - y_k^f| \leq \varepsilon, |\theta_k(t_f) - \theta_k^f| \leq \varepsilon, k = 1, \dots, N, \quad (10)$$

где t_f не заданное ограниченное сверху время выполнения терминальных условий, $t_f \leq t^+$,

ε - заданная малая положительная величина, t^+ - заданное предельное время достижения терминальных условий

Задан критерий качества управления

$$J = \sum_{i=1}^M \left(\sum_{k=1}^N \int_0^{t_f} f_0(x_k(t), y_k(t), \theta_k(t), u_{1,k}(t), u_{2,k}(t)) dt \right)_i. \quad (11)$$

где нижний индекс i при скобке $(\dots)_i$ означает, что выражение в скобках вычислено при начальных значениях $((x_1^{0,i}, y_1^{0,i}, \theta_1^{0,i}), \dots, (x_N^{0,i}, y_N^{0,i}, \theta_N^{0,i}))$, $1 \leq i \leq M$.

Необходимо найти управление в виде

$$u_{i,k} = h_{i,k}(x_1, y_1, \theta_1, \dots, x_N, y_N, \theta_N), i = 1,2, k = 1, \dots, N, \quad (12)$$

которое обеспечивает соблюдение ограничений на управление (2) и для любых начальных условий из (9) за ограниченное время $t_f \leq t^+$ выполнение терминальных условий (10) с наименьшим значением критерия качества (11).

Из-за большого количества аргументов $3N$ использование метода сетевого оператора для решения задачи синтеза напрямую затруднительно, поэтому используем метод трехэтапного синтеза управления. Первоначально решаем задачу синтеза системы стабилизации относительно заданной точки пространства состояний для одного робота.

Задаем для k -го робота точку пространства состояний, $(x_k^*, y_k^*, \theta_k^*)$, величины отклонений компонент вектора пространства состояний, $\Delta x_k, \Delta y_k, \Delta \theta_k$ и определяем управление

$$u_{i,k} = g_i(x_k^* - x_k, y_k^* - y_k, \theta_k^* - \theta_k), \quad i = 1, 2, \quad (13)$$

которое обеспечивает достижение терминальной точки $(x_k^*, y_k^*, \theta_k^*)$ из любой точки области

$$X_{0,k} = \{x_k^* \pm \Delta x_k, y_k^* \pm \Delta y_k, \theta_k^* \pm \Delta \theta_k\}. \quad (14)$$

В качестве критерия оптимизации выбираем время достижения цели управления

$$J_s = \sum_{i=1}^8 (t_1)_i \rightarrow \min, \quad (15)$$

где сумма вычисляется для начальных условий из (14)

$$(x_k^* + (-1)^{\lfloor (i-1)/4 \rfloor} \Delta x_k, y_k^* + (-1)^{\lfloor (i-1)/2 \rfloor} \Delta y_k, \theta_k^* + (-1)^{i-1} \Delta \theta_k), \quad i = 1, \dots, 8, \quad (16)$$

$$t_1 = \begin{cases} t, & \text{если } t < t^+ \text{ и } \max\{|x_k^* - x(t)|, |y_k^* - y(t)|, |\theta_k^* - \theta(t)|\} < \varepsilon \\ t^+ & - \text{иначе} \end{cases}. \quad (17)$$

После синтеза системы стабилизации или нахождения функций управления (13) движение роботов в пространстве состояний осуществляется с помощью изменения положения точки стабилизации $(x_k^*, y_k^*, \theta_k^*)$, поэтому для управления роботами необходимо найти оптимальные пространственные траектории из точек пространства состояний

$$\Gamma_{k,j} = ((x_{k,j,1}^*, y_{k,j,1}^*, \theta_{k,j,1}^*), \dots, (x_{k,j,r_j}^*, y_{k,j,r_j}^*, \theta_{k,j,r_j}^*)), \quad k = 1, \dots, N, \quad j = 1, \dots, M, \quad (18)$$

где траектории строятся для каждого k -го робота из начального состояния $(x_k^{0,k}, y_k^{0,k}, \theta_k^{0,k})$ в конечное состояние

$$x_{k,j,r_j}^* = x_k^f, \quad y_{k,j,r_j}^* = y_k^f, \quad \theta_{k,j,r_j}^* = \theta_k^f. \quad (19)$$

При поиске оптимальных траекторий в виде наборов точек пространства состояний всех роботов используем заданный критерий качества (11) и учитываем столкновения между роботами с помощью штрафа. На рис. 2 приведено нарушение углом k робота j габаритной области робота i .

Величину штрафа за нарушение углом k робота j габаритной области робота i определяем в каждый момент времени по минимальной величине нарушений

$$p(i, j, t) = \min\{|\tilde{x}_{2,i} - \tilde{x}_i - \tilde{x}_{k,j}|, |\tilde{x}_{1,i} - \tilde{x}_i - \tilde{x}_{k,j}|, |\tilde{y}_{1,i} - \tilde{y}_i - \tilde{y}_{k,j}|, |\tilde{y}_{3,i} - \tilde{y}_i - \tilde{y}_{k,j}|\}. \quad (20)$$

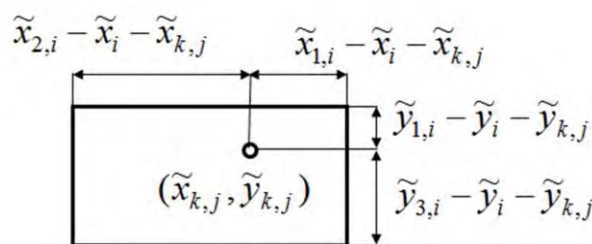


Рис. 2. Штраф за столкновение роботов

Интегралы от величины штрафа вычисляем для всех M начальных условий, суммируем и добавляем к функционалу (11). Поиск оптимальных траекторий в виде наборов точек (18) осуществляем по критерию минимума суммарного функционала

$$\tilde{J} = J + \sum_{l=1}^M \left(\int_0^{t_f} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p(i, j, t) dt \right)_l \rightarrow \min. \quad (21)$$

После нахождения оптимальных траекторий в виде множеств (18) точек пространства состояний выполняем третий этап синтеза и строим систему дифференциальных уравнений, частные решения которой аппроксимируют точки оптимальных траекторий

$$\dot{x}_k^* = g_{1,k}(x_1^f - x_1^*, \dots, x_N^f - x_N^*, y_1^f - y_1^*, \dots, y_N^f - y_N^*, \theta_1^f - \theta_1^*, \dots, \theta_N^f - \theta_N^*), \quad (22)$$

$$\dot{y}_k^* = g_{2,k}(x_1^f - x_1^*, \dots, x_N^f - x_N^*, y_1^f - y_1^*, \dots, y_N^f - y_N^*, \theta_1^f - \theta_1^*, \dots, \theta_N^f - \theta_N^*), \quad (23)$$

$$\dot{\theta}_k^* = g_{3,k}(x_1^f - x_1^*, \dots, x_N^f - x_N^*, y_1^f - y_1^*, \dots, y_N^f - y_N^*, \theta_1^f - \theta_1^*, \dots, \theta_N^f - \theta_N^*), \quad (24)$$

где правые части являются искомыми функциями $\mathbf{R}^{3N} \rightarrow \mathbf{R}^{3N}$, $k = 1, \dots, N$.

Структурная схема системы управления мобильного робота приведена на рис. 3. Генератор траекторий на рис. 3 реализует решение системы уравнений (22) – (24).

Для решения задачи идентификации модели генератора траекторий используем метод многослойного сетевого оператора.

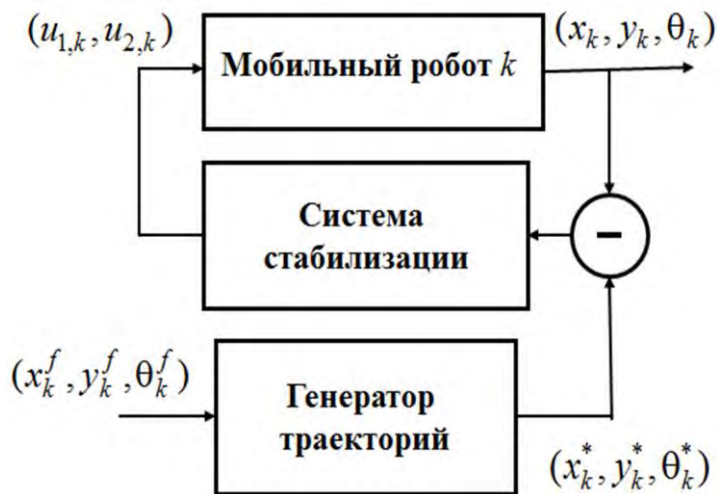


Рис. 3. Система управления мобильного робота

2. Многослойный сетевой оператор. Решение задачи синтеза осуществляем методом сетевого оператора [1]. Метод сетевого оператора позволяет с помощью эволюционного алгоритма находить структуру и параметры математического выражения, закодированного в виде ориентированного графа или целочисленной матрицы. Поскольку вектор пространства состояний множества роботов имеет высокую размерность, в частности, для рассматриваемой модели (3) мобильного робота размерность вектора состояния равна $3N$, то при использовании одного сетевого оператора необходимо задавать матрицу сетевого оператора большой размерности. Заметим, что количество строк в матрице должно превосходить величину, равную сумме количества аргументов и количества выходов. При условии включения в формулы искомого выражения в качестве аргументов оптимизируемых параметров, количество которых, допустим, равно количеству переменных, то размерность

матрицы одного сетевого оператора должна превышать величину $9N \times 9N$. Целесообразно разбить граф сетевого оператора на несколько подграфов и соответственно матрицу сетевого оператора на несколько подматриц. Сетевой оператор, состоящий из нескольких сетевых операторов, называем многослойным сетевым оператором.

Многослойный сетевой оператор состоит из нескольких соединенных между собой сетевых операторов. Структура соединений сетевых операторов описывается в матрице связей, которая имеет размерность $K \times 2I$, где K – число сетевых операторов или число слоев, I – количество входов в одном слое. Выходы многослойного сетевого оператора указываются в матрице выходов размерностью $M \times 2$, где M – размерность векторной функции, описываемой сетевым оператором.

Рассмотрим пример кодирования математического выражения с помощью многослойного сетевого оператора. Пусть задано векторное математическое выражение

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(x_1 + \sin(x_2 + q_2)) \\ e^{-q_1 x_1 + q_2} \cos(x_2^2 - x_1^2) \end{bmatrix}.$$

Пусть заданы следующие множества функций

$$F_0 = \{f_{0,1} = x_1, f_{0,2} = x_2, f_{0,3} = q_1, f_{0,4} = q_2\},$$

$$F_1 = \{f_{1,1}(z) = z, f_{1,2}(z) = -z, f_{1,3}(z) = e^z, f_{1,4}(z) = z^2, f_{1,5}(z) = \sin(z), f_{1,6}(z) = \sin(z)\},$$

$$F_2 = \{f_{2,1}(z_1, z_2) = z_1 + z_2, f_{2,2}(z_1, z_2) = z_1 z_2\}.$$

Построим граф сетевого оператора согласно известной методике [1]. Полученный граф сетевого оператора представлен на рис. 4.

Разобьем сетевой оператор на несколько подграфов. Каждый подграф называем слоем. Полученные после разбиения три слоя сетевого оператора представлены на рис. 5.

Построим матрицы сетевого оператора для каждого слоя, получаем

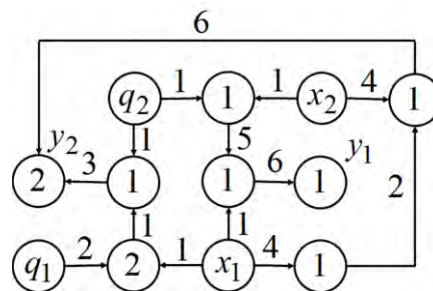


Рис. 4. Сетевой оператор математического выражения

$$\Psi_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \Psi_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \Psi_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}.$$

Для описания условий соединения матриц используем матрицу связности

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 & 4 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 3 & 0 & 4 \\ 0 & 1 & 0 & 2 & 2 & 6 \end{bmatrix}.$$

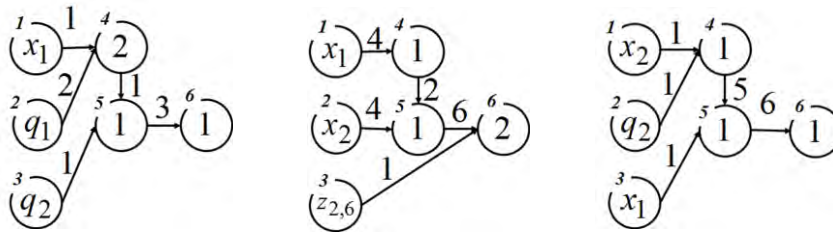


Рис. 5. Слои сетевого оператора

Информация о выходах сетевого оператора содержится в матрице выходов $\Omega = [\omega_{i,j}]$, которая имеет размерность $M \times 2$. Для рассматриваемого примера матрица выходов имеет вид

$$\Omega = \begin{bmatrix} 1 & 6 \\ 3 & 6 \end{bmatrix}.$$

Для вычисления результирующего математического выражения используем векторы узлов z^k , где k - номер слоя. Компоненты вектора узлов каждого слоя соответствуют каждому узлу в графе, или строке в матрице сетевого оператора, и содержат результаты промежуточных вычислений. Сами вычисления осуществляем для каждой матрицы, последовательно просматривая каждую строку и находя в ней ненулевые элементы, по следующей формуле

$$z_{k,r} = \begin{cases} z_{\sigma_{k,2r}}^0, & \text{если } \sigma_{k,2r-1} = 0 \\ z_{\sigma_{k,2r-1}, \sigma_{k,2r}} & \text{- иначе} \end{cases}, \quad (25)$$

$$z_{k,j} \leftarrow \begin{cases} f_{2, \Psi_{k,j,i}}(z_{k,j}, f_{1, \Psi_{k,i,j}}(z_{k,i})), & \text{если } \Psi_{k,i,j} \neq 0 \\ z_{k,j} & \text{- иначе} \end{cases}, \quad (26)$$

где $\Psi_k = [\Psi_{k,i,j}]$, $\Sigma = [\sigma_{k,m}]$, $m = 1, \dots, 2I$, k - номер слоя, $k = 1, \dots, K$, r - номер выхода, $r = 1, \dots, I$, i - номер строки в матрице сетевого оператора, $i = 1, \dots, L-1$, j - номер столбца в матрице сетевого операторе, $j = i+1, \dots, L$, $f_{1,d}(z)$ - функция номером d с одним аргументом, $f_{2,g}(z_1, z_2)$ - функция номер g с двумя аргументами.

Выходы сетевого операторы определяем по матрице выходов в соответствии с формулой

$$y_i = z_{\omega_{i,1}, \omega_{i,2}}, \quad i = 1, \dots, M. \quad (27)$$

3. Вычислительный эксперимент. Рассмотрим пример решения задачи синтеза управления тремя роботами, $N = 3$. В примере заданы три робота, математические модели которых описываются уравнениями (3). Габаритные размеры каждого робота определены величинами: $L = 2$, $W = 1$. Заданы восемь начальных значений:

$$X_0 = \{((-10,2,0), (-10,4,0), (-10,6,0)), ((10,2,0), (-10,4,0), (-10,6,0)), \\ ((-10,2,0), (10,4,0), (-10,6,0)), ((-10,2,0), (-10,4,0), (10,6,0)), \\ ((10,2,0), (10,4,0), (-10,6,0)), ((10,2,0), (-10,4,0), (10,6,0)), \\ ((-10,2,0), (10,4,0), (10,6,0)), ((10,2,0), (10,4,0), (10,6,0))\}.$$

Заданы терминальные условия:

$$x_i - x_{i,f} = 0, \quad y_i - y_{i,f} = 0, \quad \theta_i - \theta_{i,f} = 0, \quad i = 1, 2, 3,$$

где $x_{1,f} = -5, y_{1,f} = 0, \theta_{1,f} = 0, x_{2,f} = 0, y_{2,f} = 0, \theta_{2,f} = 0, x_{3,f} = 5, y_{3,f} = 0, \theta_{3,f} = 0$.

Критерий качества управления определяется минимальным временем удовлетворения терминальных условий

$$J = t_f \rightarrow \min,$$

где

$$t_f = \begin{cases} t, & \text{если } \max\{|x_i(t) - x_{i,f}|, |y_i(t) - y_{i,f}|, |\theta_i(t) - \theta_{i,f}|, i = 1, 2, 3\} < \varepsilon \\ t^+ & \text{иначе} \end{cases},$$

$\varepsilon = 0,01, t^+ = 12$.

Заданы статические фазовые ограничения в виде двух прямоугольных областей с координатами углов: $(x_1^i, y_1^i), (x_2^i, y_2^i), (x_3^i, y_3^i), (x_4^i, y_4^i), i = 1, 2$, где $x_1^1 = -8, y_1^1 = 1, x_2^1 = -20, y_2^1 = 1, x_3^1 = -20, y_3^1 = -1, x_4^1 = -8, y_4^1 = -1, x_1^2 = 20, y_1^2 = 1, x_2^2 = 8, y_2^2 = 1, x_3^2 = 8, y_3^2 = -1, x_4^2 = 20, y_4^2 = -1$.

На первом этапе решали задачу стабилизации одного робота. Для решения задачи использовали метод сетевого оператора. В результате получили систему стабилизации

$$u_j = \begin{cases} u_j^+, & \text{если } \tilde{u}_j > u_j^+ \\ u_j^-, & \text{если } \tilde{u}_j < u_j^-, \quad j = 1, 2, \\ \tilde{u}_j & \text{иначе} \end{cases}$$

где

$$\begin{aligned} \tilde{u}_1 &= 3A/2, \quad \tilde{u}_2 = \text{sgn}(3D+B)(e^{3D+B} - 1), \\ A &= (C + \text{sgn}(\Delta_x)e^{-q_0\Delta_x})/2 + (1 - e^{-C})/(1 + e^{-C}) + \Delta_x^3, \\ B &= \text{sgn}(A)e^{-3A}, \quad C = -q_2\Delta_\theta\Delta_y + q_1\Delta_y + q_0\Delta_x, \\ D &= E \cos(\Delta_x) + \text{sgn}(E)(e^{E} - 1) + 1/F, \\ E &= F + \text{sgn}(F)\sqrt{|F|} + \text{sgn}(\Delta_\theta \text{sgn}(\Delta_x))(e^{q_5\Delta_\theta \text{sgn}(\Delta_x)\sqrt{q_6\Delta_x}} - 1), \\ F &= q_5\Delta_\theta \text{sgn}(\Delta_x)\sqrt{|q_6\Delta_x|} + q_4\Delta_y + q_6\Delta_x + (q_5\Delta_\theta \text{sgn}(\Delta_x)\sqrt{|q_6\Delta_x|})^{-1} + \text{sgn}(\Delta_y) - q_6\Delta_x, \\ q_0 &= 10.218, \quad q_1 = 0.4478, \quad q_2 = 1.4932, \quad q_3 = 0.421, \quad q_4 = 14.377, \quad q_5 = 8.48, \quad q_6 = 0.283, \\ \Delta_x &= x^* - x, \quad \Delta_y = y^* - y, \quad \Delta_\theta = \theta^* - \theta. \end{aligned}$$

На втором этапе находим точки пространственных траекторий для каждого робота и каждого начального значения. При движении робота к терминальным состояниям используем по две промежуточные точки пространственных траекторий. С учетом начальных и терминальных условий каждая траектория будет содержать по 4 точки. Так как количество роботов $N = 3$, количество начальных условий $|X_0| = 8$, искомым точек на траектории по 2 и каждая точка описывается тремя координатами, $n = 3$, то всего искомым точек $3 \times 8 \times 2 \times 3 = 144$. Для решения задачи используем вариационный генетический алгоритм. В результате получили следующие оптимальные пространственные траектории:

$T_{1,1} = ((-10,2,0), (-5,0.6,-0.7), (-5,0,-0.7), (-5,0,0));$ $T_{1,2} = ((-10,2,0), (-5.5,0.6,-0.7), (-5,0,-0.7), (-5,0,0));$ $T_{1,3} = ((-10,2,0), (-5.5,0.6,-0.7), (-5,0,-0.7), (-5,0,0));$ $T_{1,4} = ((-10,2,0), (-5.5,0.6,-0.71), (-5,0,-0.67), (-5,0,0));$ $T_{1,5} = ((10,2,0), (5,2.1,0), (0.1,1,0.24), (-5,0,0));$
 $T_{1,6} = ((10,2,0), (5,2.1,0), (0,1,0.24), (-5,0,0));$ $T_{1,7} = ((10,2,0), (5,2.1,0), (0.1,1,0.24), (-5,0,0));$
 $T_{1,8} = ((10,2,0), (5,2.1,0), (0,1,0.24), (-5,0,0));$ $T_{2,1} = ((-10,4,0), (-7,4,0), (-2,4.2,0), (0,0,0));$
 $T_{2,2} = ((-10,4,0), (-7,4,0), (-2,4.2,0), (0,0,0));$ $T_{2,3} = ((10,4,0), (5.3,2.4,0.34), (0.7,0.42,0.52), (0,0,0));$
 $T_{2,4} = ((10,4,0), (5.2,2.45,0.33), (0.7,0.4,0.5), (0,0,0));$ $T_{2,5} = ((-10,4,0), (-5,4,0), (-0.6,4,-0.5), (0,0,0));$
 $T_{2,6} = ((-10,4,0), (-5,4.1,0), (-0.3,4,-0.5), (0,0,0));$ $T_{2,7} = ((10,4,0), (9,3.8,0.27), (4.3,2.2,0.34), (0,0,0));$
 $T_{2,8} = ((10,4,0), (9,3.8,0.27), (4.3,2.35,0.34), (0,0,0));$ $T_{3,1} = ((-10,6,0), (-5,6.1,0), (0,6.2,0), (5,0,0));$
 $T_{3,2} = ((10,6,0), (5.8,4.1,1), (5.1,0.47,1.4), (5,0,0));$ $T_{3,3} = ((-10,6,0), (-5,6.1,0), (0,6.2,0), (5,0,0));$
 $T_{3,4} = ((10,6,0), (7.4,5.8,0.62), (5.3,2.3,1.46), (5,0,0));$ $T_{3,5} = ((-10,6,0), (-5,6.1,0), (-0.9,6.2,0), (5,0,0));$
 $T_{3,6} = ((10,6,0), (6.6,5.1,0.74), (5.3,2.2,1.47), (5,0,0));$
 $T_{3,7} = ((-10,6,0), (-5,6.1,0), (0,6.2,0), (5,0,0));$ $T_{3,8} = ((10,6,0), (7.3,5.7,0.66), (7.1,5.5,0.66), (5,0,0)).$

На третьем этапе аппроксимируем многослойным сетевым оператором полученные оптимальные траектории. Для решения используем многослойный сетевой оператор с четырьмя слоями, с матрицами сетевого оператора размерностью 16×16 .

Вход сетевого оператора использовал 9 желаемых переменных и 9 значений параметров, оптимальные значения которых определялись в процессе поиска сетевого оператора. В результате входной вектор или нулевой слой многослойного сетевого оператора имел вид:

$$\Psi_0 = [x_1^* \ y_1^* \ \theta_1^* \ x_2^* \ y_2^* \ \theta_2^* \ x_3^* \ y_3^* \ \theta_3^* \ -9,2 \ 5,2 \ -9,1 \ -8,2 \ -9,0 \ 7,3 \ -8,1 \ -9,9 \ -2,2].$$

Матрицы слоев многослойного сетевого оператора, а также матрица связей слоев и матрица выходов имели следующий вид:

$$\Psi_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \Psi_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 17 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 18 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\Psi_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 15 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \Psi_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 10 & 0 & 2 & 0 & 11 & 0 & 3 & 0 & 12 \\ 0 & 4 & 0 & 13 & 0 & 5 & 0 & 14 & 0 & 6 & 0 & 15 \\ 0 & 7 & 0 & 16 & 0 & 8 & 0 & 17 & 0 & 9 & 0 & 18 \\ 1 & 15 & 1 & 16 & 2 & 15 & 2 & 16 & 3 & 15 & 3 & 16 \end{bmatrix}, \Omega^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 4 & 2 & 2 & 4 & 3 & 3 & 4 \\ 16 & 14 & 16 & 16 & 14 & 15 & 16 & 14 & 14 \end{bmatrix}.$$

Номера бинарных и унарных операций в матрицах соответствует работе [1].

Полученные матрицы многослойного сетевого оператора представляют собой описание правых частей дифференциальных уравнений, решение которых аппроксимирует точки оптимальных траекторий $T_{1,1} - T_{3,8}$. Начальные условия для всех 24 траекторий определены в первых точках этих траекторий. Сами значения траекторий подаются на системы стабилизации роботов и обеспечивают движение робота по траектории. Моделирование показало, что роботы двигаются точно по заданным пространственным траекториям и достигают терминальных условий без столкновения между собой.

Заключение. Представлен трехэтапный метод синтеза управления группой роботов. Метод состоит из этапа стабилизации, поиска оптимальных траекторий и аппроксимации. На всех этапах используются эволюционные алгоритмы. На этапах стабилизации и аппроксимации для синтеза структуры и параметров математического выражения предложено использовать метод многослойного сетевого оператора. Предложенный метод позволяет автоматизировать процесс создания системы управления группой роботов.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (№ 16-29-04224, № 14-08-00008-а) и Президента РФ (МК-6277.2015.8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дивеев А.И. Метод сетевого оператора. – М.: Изд-во ВЦ РАН, 2010. 178 с.
2. Дивеев А.И. Численный метод сетевого оператора для синтеза системы управления с неопределенными начальными значениями // Известия РАН ТИСУ, 2012. № 2. С. 63-78.
3. Дивеев А.И., Софронова Е.А., Шмалько Е.Ю. Метод идентификационного синтеза управления и его применение к мобильному роботу / Информационные и математические технологии в науке и управлении. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2016. № 2. С. 53- 61.
4. Дивеев А.И., Шмалько Е.Ю. Метод многослойного сетевого оператора в задаче синтеза системы управления группой роботов. Труды Второй молодежной научной конференции

- «Задачи современной информатики» – М.: ФИЦ ИУ РАН, 2015. – 319 с. – Москва, 29–30 октября 2015. С. 241-247.
5. Chen J., Sun D., Yang J., Chen H. Leader–Follower Formation Control of Multiple Non-holonomic Mobile Robots Incorporating a Receding-horizon Scheme// The International Journal of Robotics Research Vol. 29, № 6, May 2010. Pp. 727–747.
 6. Diveev A.I., Shmalko E.Yu. Automatic Synthesis of Control for Multi-Agent Systems with Dynamic Constraints. Preprints, 1st IFAC Conference on Modelling, Identification and Control of Nonlinear Systems, June 24-26, 2015, Saint Petersburg, Russia, pp. 394-399.
 7. Diveev A.I., Shmalko E.Yu. Self-adjusting Control for Multi Robot Team by the Network Operator Method. Proceedings of the 2015 European Control Conference (ECC), July 15-17, 2015. Linz, Austria. Pp. 709-714.
 8. Garg D.P., Fricke G.K. Potential Function Based Formation Control of Mobile Multiple-Agent Systems// Proceedings of the 1st International and 16th National Conference on Machines and Mechanisms (iNaCoMM2013), IIT Roorkee, India, Dec 18-20 2013. P. 816-822.
 9. Liu L., Shell D.A. Physically Routing Robots in a Multi-robot Network: Flexibility through a Three Dimensional Matching Graph// The International Journal of Robotics Research October 2013 vol. 32 no. 121475-1494.
-

UDK 519.714

**EVOLUTIONARY COMPUTATIONAL METHODS TO SOLVE PROBLEMS
OF CONTROL SYSTEM SYNTHESIS FOR GROUPS OF ROBOTS**

Askhat I. Diveev

Dr., Professor, Head. Sector «Problems of Cybernetics»,
Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences,
44, Vavilova str., 119333, Moscow, e-mail: aidiveev@mail.ru

Elena A. Sofronova

PhD, Assistant professor,
Peoples’ Friendship University of Russia
6, Miklukho-Maklaya str., 117198, Moscow, e-mail: sofronova_ea@mail.ru

Elizaveta Yu. Shmalko

PhD, Researcher,
Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences,
44, Vavilova str., 119333, Moscow, e-mail: e.shmalko@gmail.com

Abstract. The problem of control system synthesis for a group of robots is considered. The goal is to displace the group of robots from different initial conditions to some terminal position with regard to phase constraints and avoiding to collisions between robots. We apply the method of multilayer network operator to solve the problem. Initially, a stabilization problem is considered. By the method of network operator we construct a feedback control which stabilize robots in a given point of the state space. At

the second stage we design spacial trajectories of robots' movement from a current position to the terminal position. At the third stage by the multilayer network operator method we build a system of differential equations which partial decision approximates spatial trajectories of the movement of robots received at the previous stage. In order to avoid collisions all robots are prioritized during the control process depending on their location with respect to the terminal state. The approach is illustrated on the example of control system synthesis for a group of three mobile robots.

Keywords: control synthesis, robotic team control, network operator method.

References

1. Diveev A.I. Metod setevogo operatora [Network operator method]. Moscow, CC RAS, 2010. 178 p. (in Russian)
2. Diveev A.I. Chislennyi metod setevogo operatora dlia sinteza sistemy upravleniya s neopredelennymi nachal'nymi znacheniiami [Numerical method of the network operator for synthesis of a control system with uncertain initial values], Journal of Computer and Systems Sciences International. 2012, № 2. Pp. 63-78 (in Russian)
3. Diveev A.I., Sofronova E.A., Shmal'ko E.Ju. Metod identifikacionnogo sinteza upravlenija i ego primenenie k mobil'nomu robotu [Method of identificational synthesis control and its application to mobile robot] /Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management. Publ. Irkutsk: Melentiev Energy Systems Institute SB RAS, 2016. №2. Pp. 53- 61.
4. Diveev A.I., Shmalko E.Yu. Metod mnogosloynnogo setevogo operatora v zadache sinteza sistemy upravleniya gruppy robotov [Method of multilayer network operator for the problem of control system synthesis for a group of robots]. Trudy Vtoroi molodezhnoi nauchnoi konferentsii "Zadachi sovremennoi informatiki" = Proceedings of the second youth scientific conference "Problems of modern informatics", Moscow: FRC CSC RAS, 2015. – 319 p. – October 29–30, 2015. Pp. 241-247 (in Russian)
5. Chen J., Sun D., Yang J., Chen H. Leader–Follower Formation Control of Multiple Non-holonomic Mobile Robots Incorporating a Receding-horizon Scheme// The International Journal of Robotics Research Vol. 29, No. 6, May 2010, pp. 727–747.
6. Diveev A.I., Shmalko E.Yu. Automatic Synthesis of Control for Multi-Agent Systems with Dynamic Constraints. Preprints, 1st IFAC Conference on Modelling, Identification and Control of Nonlinear Systems, June 24-26, 2015. Saint Petersburg, Russia, Pp. 394-399.
7. Diveev A.I., Shmalko E.Yu. Self-adjusting Control for Multi Robot Team by the Network Operator Method. Proceedings of the 2015 European Control Conference (ECC), July 15-17, 2015. Linz, Austria. Pp. 709-714.
8. Garg D.P., Fricke G.K. Potential Function Based Formation Control of Mobile Multiple-Agent Systems// Proceedings of the 1st International and 16th National Conference on Machines and Mechanisms (iNaCoMM2013), IIT Roorkee, India, Dec 18-20 2013. P. 816-822.
9. Liu L., Shell D.A. Physically Routing Robots in a Multi-robot Network: Flexibility through a Three Dimensional Matching Graph// The International Journal of Robotics Research October 2013 vol. 32 no. 121475-1494.

**ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЖЁСТКОСТИ И ДЕМПФИРОВАНИЯ
АЭРОСТАТИЧЕСКИХ ЛИНЕЙНЫХ НАПРАВЛЯЮЩИХ С ПОРИСТЫМИ
ОГРАНИЧИТЕЛЯМИ НАДДУВА И ВАКУУМНЫМ НАГРУЖЕНИЕМ**

Хан Полина Вениаминовна

К.ф.-м.н., ведущий инженер, Лаборатория динамики парогенерирующих систем №73

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,

664130 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130, e-mail: polinakhan@gmail.com

Хванг Пёнг

PhD, Профессор кафедры машиностроения, Университет Ёнгнам

38541, Республика Корея, г. Кёнгсан, ул. Тэхак, 280, e-mail: phwang@yu.ac.kr

Ким Ын Хё

Аспирант, Факультет машиностроения, Университет Ёнгнам

38541, Республика Корея, г. Кёнгсан, ул. Тэхак, 280, e-mail: ehkim@yu.ac.kr

Ли Чхун Му

Аспирант, Факультет машиностроения, Университет Ёнгнам

38541, Республика Корея, г. Кёнгсан, ул. Тэхак, 280, e-mail: cmlee@yu.ac.kr

Аннотация. Аэростатические линейные направляющие находят широкое применение в прецизионных станках и измерительных устройствах, поскольку позволяют с большой точностью воспроизводить движение. Направляющие с пористыми ограничителями наддува и вакуумным нагружением обладают повышенной жёсткостью и возможностью установки с одной стороны опорной поверхности. Выбирая значения давления наддува и вакуумного прижима, а также толщину пористого материала, рабочий зазор, ширину аэростатической опоры и вакуумного «кармана», можно получить опору с заданными показателями несущей способности, жёсткости, и демпфирования, а также уменьшить расход воздуха. В работе приводится описание математической модели таких опор, и приводится пример расчёта для опоры прямоугольной формы.

Ключевые слова: аэростатические опоры, пористые ограничители наддува, метод малых возмущений, жёсткость, демпфирование.

Введение. Аэростатические опоры обладают почти нулевым коэффициентом трения в движении и в покое, а также высокой виброустойчивостью, что обуславливает их широкое применение в прецизионных станках точения, шлифования, фрезерования, нанесения дифракционных решёток, и в измерительной аппаратуре [1-3]. Использование воздуха в качестве смазочного материала особенно предпочтительно там, где предъявляются высокие требования к чистоте. Наддув через пористый материал по сравнению с наддувом через отверстия обеспечивает более равномерное распределение давления, большую подъёмную силу и жёсткость при том же расходе воздуха, и, при достаточном допуске на проницаемость, дешевле в изготовлении. Дополнительный прижим необходим для уменьшения рабочего зазора и увеличения жёсткости опоры [3, 4]. Прижим часто создают установкой двух и более противонаправленных аэростатических опор. Недостаток этого

подхода состоит в необходимости подготовки нескольких рабочих поверхностей и в увеличении массы движущихся частей, что отрицательно сказывается на точности движения. Вакуумный прижим требует изготовления опор с карманами и каналами для воздуха низкого давления, и постоянной откачки воздуха одновременно с наддувом, зато позволяет использовать одиночную опору [4, 5, 10, 11, 12]. Изобретённые ещё в середине прошлого века [4] аэростатические опоры с вакуумным прижимом лишь в последнее десятилетие, с развитием технологии производства пористых подшипников, вышли в массовое производство [5, 11, 12]. Опоры с магнитным прижимом наиболее просто устроены, но могут использоваться только на ферромагнитных рабочих поверхностях [3, 5].

Численное моделирование движения воздуха в пористом материале и слое воздушной смазки позволяет найти распределение давления воздуха на опорной поверхности при заданных геометрических параметрах и типе опоры, давлении наддува и вакуума, заданном взаимном положении и скорости поверхностей смазки. Несущая способность вычисляется, как интеграл давления. Жёсткость опоры может быть оценена по изменению суммарного действия давления на поверхности опоры при малом изменении зазора. Также жёсткость вместе с демпфированием могут быть найдены из Фурье-анализа динамического отклика системы на возмущение, или путём интегрирования реальной и мнимой составляющей малой поправки давления в методе малых возмущений. Последний метод требует на порядок меньше вычислений, так как позволяет вычислить динамические коэффициенты за один шаг решения линейной задачи [8, 9, 13, 14]. Для нахождения распределения давления используется аналитический подход для симметричных задач [6], метод конечных разностей [9] и метод конечных элементов. В последнем случае чаще используются коммерческие инженерные пакеты программ, такие, как COMSOL [13] и FLUENT [7].

Вопросам моделирования опор с вакуумным прижимом посвящено относительно немного работ [10]. В данной работе свойства прямоугольной опоры с вакуумным карманом посередине исследуются с помощью метода конечных разностей и метода малых возмущений.

1. Исходные уравнения. Уравнение непрерывности для движения газа в недеформируемой пористой среде применимо для движения воздуха в материале опоры.

$$\nabla \cdot (\rho \vec{u}) + m \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

Здесь ρ – плотность воздуха, \vec{u} – скорость воздуха, m – пористость материала.

Согласно закону Дарси, движение жидкости или газа в пористом материале под действием сил давления описывается соотношением

$$\vec{u} = \frac{-k}{\mu} \nabla p \quad (2)$$

Здесь k – проницаемость пористой среды, m – динамическая вязкость жидкости или газа, p – гидродинамическое давление.

Поскольку аэростатические подшипники обеспечивают почти нулевое трение и тепловыделение в системе незначительно, температура считается постоянной, и плотность воздуха пропорциональна давлению.

$$\rho \propto p \quad (3)$$

С учётом (2) и (3), (1) преобразуется в уравнение, описывающее распределение давления воздуха в пористом материале.

$$\Delta p^2 - \frac{\mu t}{k} \frac{\partial p}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

Распределение давления на поверхности скольжения при пренебрежимо малой скорости скольжения описывается уравнением Рейнольдса.

$$\frac{h^3}{12} \Delta_T p^2 - \mu \frac{\partial(p h)}{\partial t} - k \frac{\partial p^2}{\partial n} = 0 \quad (5)$$

Здесь $h(t)$ – толщина плёнки смазочного слоя. Δ_T – лапласиан в плоскости поверхности скольжения.

На герметично закрытых поверхностях пористого материала выполняется условие нулевого потока.

$$\frac{\partial p}{\partial n} = 0 \quad (6)$$

На поверхности подачи воздуха, в вакуумном кармане и на внешних рёбрах поверхности скольжения давление фиксировано, соответственно, на уровнях p_s, p_A и p_v . Причём выполняется условие

$$p_s < p_A < p_v \quad (7)$$

Сила реакции аэростатической опоры вычисляется как интеграл разности давлений сверху и снизу, учитывая, что выше кармана подачи на внешнюю поверхность действует атмосферное давление.

$$F(t) = \iint (p - p_A) dS \quad (8)$$

2. Метод малых возмущений. Жёсткость и демпфирование в данной работе определялись методом малых возмущений. Рассматривается малое гармоническое возмущение положения опоры

$$h = h_0(1 + \varepsilon \sin(\omega t)) \quad (9)$$

где ε – величина возмущения, $\varepsilon \ll 1$, ω – частота возмущения, в данной работе принимаемая за 1 рад/с. Соответствующее распределение давления также будет содержать статическую и малую динамическую компоненты.

$$p(\vec{r}, t) = p_0(\vec{r}) + \varepsilon p_1(\vec{r}t) \quad (10)$$

Здесь \vec{r} – текущие координаты.

Отклик также будет гармоническим. Введём новые переменные с размерностью давления в квадрате:

$$\begin{aligned} p_0(\vec{r})^2 &= g_0(\vec{r}) \\ p_0(\vec{r})p_1(\vec{r}t) &= g_1(\vec{r})\sin(\omega t) + g_2(\vec{r})\cos(\omega t) \end{aligned} \quad (11)$$

Подставляя разложения (9), (10) и (11) в уравнения (4) и (5), и выписывая отдельно слагаемые нулевого и первого порядка малости, а также, среди слагаемых первого порядка малости, коэффициенты при синусе и при косинусе, получим следующую систему дифференциальных уравнений на g_0, g_1 и g_2 .

$$\Delta g_0 = 0 \quad (12)$$

$$\frac{h^3}{12} \Delta_T g_0 - k \frac{\partial g_0}{\partial n} = 0 \quad (13)$$

$$2k \Delta g_1 + \frac{\mu t \omega}{\sqrt{g_0}} g_2 = 0 \quad (14)$$

$$\frac{h_0^3}{12} (3 \Delta g_0 + 2 \Delta g_1) + \frac{\mu h_0 \omega}{\sqrt{g_0}} g_2 - 2k \frac{\partial g_1}{\partial n} = 0 \quad (15)$$

$$2k \Delta g_2 - \frac{\mu t \omega}{\sqrt{g_0}} g_1 = 0 \quad (16)$$

$$\frac{h_0^3}{12} (2\Delta g_2) - \frac{\mu h_0 \omega}{\sqrt{g_0}} (g_1 + g_0) - 2k \frac{\partial g_2}{\partial n} = 0 \quad (17)$$

Статическая подъемная сила, жёсткость и демпфирование вычисляются по следующим формулам

$$F_0 = \iint (p_0 - p_A) dS \quad (18)$$

$$K = \frac{-1}{h_0} \iint \frac{g_1}{p_0} dS \quad (19)$$

$$C = \frac{-1}{h_0 \omega} \iint \frac{g_2}{p_0} dS \quad (20)$$

3. Результаты и обсуждение. Уравнения (12-17) были решены, как линейные, при помощи метода конечных разностей на равномерной прямоугольной сетке с количеством узлов 120×40×16. Модель, параметры и граничные условия показаны на рис. 1 и в табл. 1.

Таблица 1. Значения параметров модели

Параметр	Значение
Вязкость воздуха (Па*с)	1,7e-5
Пористость, m (%)	12
Проницаемость, k (мкм ²)	0,0048
Давление подачи относительное (кПа)	500
Давление вакуума относительное (кПа)	-20; -40; -60; -80
Толщина плёнки смазки, зазор (мкм)	12
Толщина пористого слоя (мм)	8
Длина направляющей, L ₁ (мм)	120
Ширина направляющей, L ₂ (мм)	40
Ширина полосы пористого материала, w (мм)	5; 7,5; 10; 12,5; 15; 17,5
Длина вакуумного кармана	L ₁ -2w
Ширина вакуумного кармана	L ₂ -2w

На рис. 2 видно, как подъемная сила увеличивается при увеличении ширины полосы пористого материала и уменьшается при увеличении глубины вакуума. Причём второй эффект сходит на нет по мере увеличения w, поскольку размер вакуумного кармана уменьшается. На рис. 3 видно, что жёсткость опоры также увеличивается при увеличении ширины полосы пористого материала, однако почти не зависит от глубины вакуума. Как показано на рис. 4, демпфирование также растёт с увеличением ширины полосы пористого материала, и, подобно подъемной силе, уменьшается при понижении давления в «кармане». Только эффект этот не столь явный и линейный, и имеет свойство увеличиваться с увеличением w, а не уменьшаться, как в случае с подъемной силой. Это можно объяснить тем, что непосредственно давление в пределах вакуумного «кармана» постоянно, и вносит вклад только в статическую составляющую силы, а на демпфирование оно влияет за счёт перераспределения потоков и изменения плотности воздуха под пористым материалом.

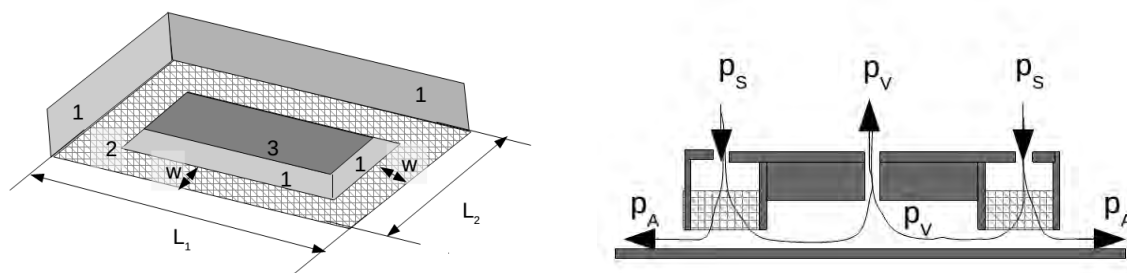


Рис. 1. Модель направляющей: 1 – поверхность, покрытая воздухонепроницаемым материалом, 2 – пористый материал, 3 – вакуумный карман; p_S – давление наддува, p_V – давление вакуума, p_A – атмосферное давление.

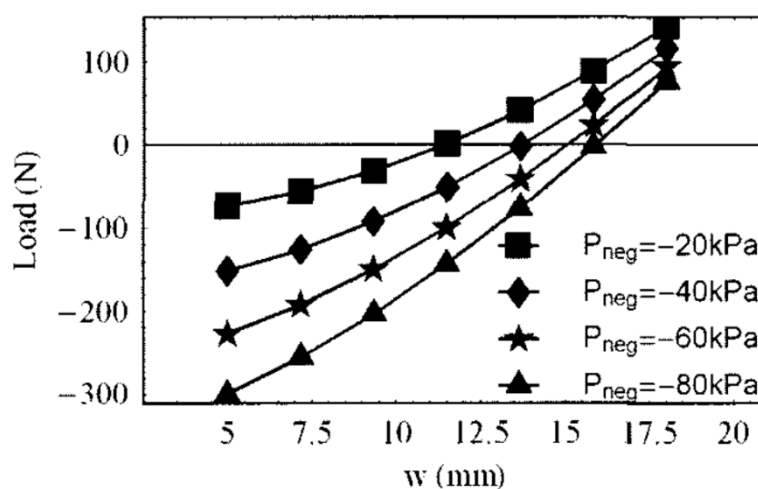


Рис. 2. Статическая подъемная сила аэростатической опоры, как функция ширины полосы пористого материала и давления вакуума.

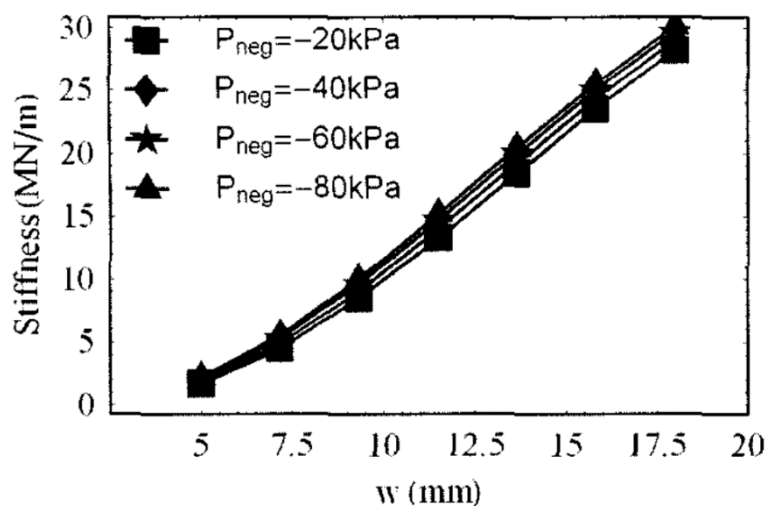


Рис. 3. Жёсткость аэростатической опоры, как функция ширины полосы пористого материала и давления вакуума.

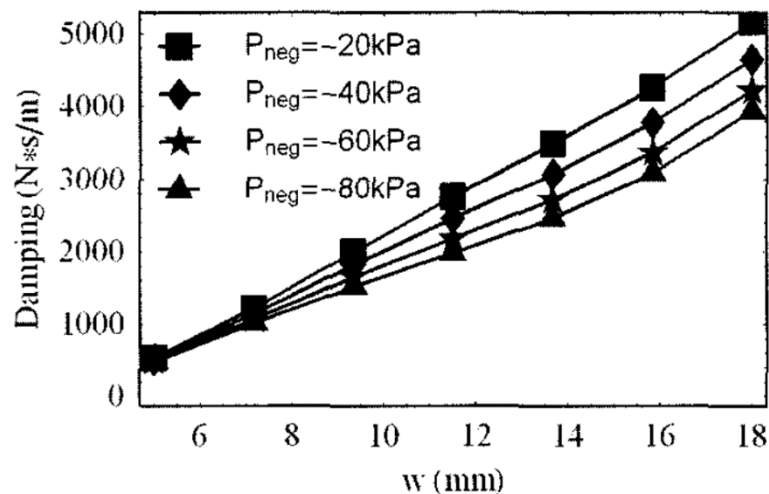


Рис. 4. Демпфирование аэростатической опоры, как функция ширины полосы пористого материала и давления вакуума

Заключение. В работе рассматривается метод малых возмущений для анализа динамических характеристик аэростатической опоры с пористым ограничителем наддува и вакуумным нагружением и приводятся результаты расчётов для прямоугольной опоры с вакуумным карманом посередине, окруженным полосой пористого материала постоянной ширины.

Показано, что увеличение ширины полосы пористого материала за счёт уменьшения размеров вакуумного кармана одновременно увеличивает подъемную силу, жёсткость и демпфирование

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Космынин А.В., Шаломов В.И. Пористые ограничители расхода газостатических подшипников // Современные проблемы науки и образования. 2006. №3. С 70-73. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=338> (дата обращения 17.02.2016)
2. Легаев В.П. Газостатические опоры с повышенной несущей способностью: дис. ... док. техн. наук. Владимир, 2006. 251 с.
3. Пошехонов Р.А., Гуськов А.М. Влияние неоднородности проницаемости ограничителей наддува на характеристики плоских аэростатических опор // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. №8. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/611443.html> (дата обращения: 17.02.2016)
4. Шейнберг С.А., Жедь В.П., Табачников Ю.Б., Шапиро И.М., Плоская аэростатическая опора // патент 211231 СССР. 1968. База патентов СССР. Режим доступа: <http://patents.su/2-211231-ploskaya-aeurosticheseskaya-opora.html>
5. Air bearing application and design guide / New Way Air Bearings. 2006. USA. Available at: http://www.newwayairbearings.com/sites/default/files/new_way_application_and_design_guide_%20Rev_E_2006-01-18.pdf, accessed: 17.02.2016.
6. Analysis of pressurized porous air bearings / NewWay Precision Air Bearings Inc (20 th Annual Workshop on Mathematical Problems in Industry University of Delaware, June 21–

- 25, 2004). Available at: <http://homepages.rpi.edu/~schwed/Workshop/MPIReports/2004/newway04.pdf>, accessed: 18.02.2016.
7. Huang T. ., Wang B.Z., Lin S.C., Hsu S.Y. A study on characteristics and geometric parameters of the flat porous aerostatic bearing // International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering. 2003. Vol. 7, pp. 148 – 154. Available at: <http://iastem.com/publications/16415>, accessed: 18.02.2016.
 8. Hwang P., Khan P.V. Non-iterative finite element scheme for combined annular-thrust porous aerostatic bearings analysis // ASME/STLE 2012 International Joint Tribology Conference (Denver, Colorado, USA, 8-10 October, 2012): ASME Digital Collection, 2012. Available at: <http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/proceeding.aspx?articleid=1721803>, accessed: 17.02.2016. DOI:10.1115/IJTC2012-61088
 9. Majumdar B.C. Dynamic characteristics of externally pressurized rectangular porous gas thrust bearings // ASME Journal of Lubrication Technology. 1976.Vol. 98. No. 1. pp. 181-190. Available at: <http://tribology.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1463231>, accessed: 17.02.2016.
 10. Park G.H., Hong C. Analysis on the static performance of vacuum-preloaded porous air bearings // Journal of the Korean Society for Precision Engineering. 2013. Vol. 30(12). pp.1327-1333. Available at: http://www.koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=JMGHBV_2013_v30n12_1327, accessed 17.02.2016.
 11. Porous media ® Air Bearings Solution – Vacuum Preloaded / NewWay ® Air Bearings. 2009. USA. Available at: http://www.newwayairbearings.com/sites/default/files/new_way_line_brochure_vpl_nwab-09-046-v03-2009-02-27_0.pdf, accessed: 17.02.2016.
 12. Vacuum preloaded air bearings / IBS Precision Engineering. 2016. P. 1. Available at: <http://www.ibspe.com/category/vacuum-preloaded-air-bearings.htm> accessed: 17.02.2016.
 13. Van Ostayen R. A. J., van Beek A., Munnig-Schmidt R. Design and optimization of an active aerostatic thrust bearing // The 22nd Annual ASPE Meeting: Proceedings of ASPE, 2007. Available at: https://www.researchgate.net/publication/267809449_Design_and_optimization_of_an_active_aerostatic_thrust_bearing, accessed: 18.02.2016.
 14. Yoshimoto S., Kohno K. Static and dynamic characteristics of aerostatic circular porous thrust bearings (Effect of Shape of the Air Supply Area) // ASME Journal of Tribology. 2001. Vol. 123, pp. 501-508. Available at:<http://tribology.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1466469>, accessed: 17.02.2016)

NUMERICAL ANALYSIS OF STIFFNESS AND DAMPING OF AEROSTATIC LINEAR BEARING WITH POROUS RESTRICTOR AND VACUUM PRELOAD

Polina V. Khan

PhD, Leading Engineer, Laboratory of Dynamics of Steam-Generating Systems №73,
Melentiev Energy Systems Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
130, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia, e-mail: polinakhan@gmail.com

Hwang Pyung

PhD, Professor, School of Mechanical Engineering Yeungnam University
280 Daehak-Ro Gyeongsan Gyeongbuk 38541, Republic of Korea, e-mail: phwang@yu.ac.kr

Kim Eun Hyo

Graduate Student, Department of Mechanical Engineering, Graduate School Yeungnam University
280 Daehak-Ro Gyeongsan Gyeongbuk 38541, Republic of Korea, e-mail: ehkim@yu.ac.kr

Lee Chun Moo

Graduate Student, Department of Mechanical Engineering, Graduate School Yeungnam University
280 Daehak-Ro Gyeongsan Gyeongbuk 38541, Republic of Korea, e-mail: cmlee@yu.ac.kr

Abstract. Linear aerostatic guides are widely used in high precision machinery and measuring devices for its' high accuracy of motion. Guides with porous air supply restrictors and vacuum preload have such advantages as high stiffness and installation at only one side of sliding surface. Adjusting several parameters, such as supply pressure, vacuum preload pressure, size of the porous pad, vacuum pocket and clearance, one can design a bearing with desired load carrying capacity, stiffness and damping, and minimize air consumption. In the present work, the mathematical model for such bearings is described, and an example of load carrying capacity, stiffness and damping for the rectangular bearing is given.

Keywords: aerostatic bearing, porous restrictors, perturbation method, stiffness, damping.

References

1. Kosmynin A.V., Shalomov V.I. Poristye ogranichiteli rashoda gazostaticeskikh podshipnikov [Porous supply resitrictors of gasostatic bearings]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* = Modern problems of science and education, 2006, no.3, pp. 70-73. Available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=338>, accessed 17.02.2016. (in Russian)
2. Legaev V.P. Gazostaticheskie opory s povyshennoj nesushhej sposobnost'ju [Gasostatic bearing with increased load carrying capacity]: thesis of Doctor of Technical Sciences, Vladimir, 2006, P. 251. (in Russian)
3. Poshehonov R.A., Gus'kov A.M. Vlijanie neodnorodnosti pronicaemosti ogranichitelej nadduva na harakteristiki ploskih ajerostaticeskikh opor [Effect of supply restrictors permeability heterogeneity on the characteristics of flat aerostatic bearings]. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* = Science and Education of the Bauman MSTU,

- 2013, no. 8. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/611443.html>, accessed 17.02.2016. (in Russian)
4. Shejnberg S.A., Zhed' V.P., Tabachnikov Ju.B., Shapiro I.M., Ploskaja aerostatischeeskaja opora [Flat aerostatic bearings]. Patent no. 211231 USSR, 1968, USSR patent database. Available at: <http://patents.su/2-211231-ploskaya-aerostatischeeskaja-opora.html> (in Russian)
 5. Air bearing application and design guide. New Way Air Bearings, 2006, USA. Available at: http://www.newwayairbearings.com/sites/default/files/new_way_application_and_design_guide%20Rev_E_2006-01-18.pdf, accessed: 17.02.2016.
 6. Analysis of pressurized porous air bearings. NewWay Precision Air Bearings Inc (20 th Annual Workshop on Mathematical Problems in Industry University of Delaware, June 21–25, 2004). Available at: <http://homepages.rpi.edu/~schwed/Workshop/MPIReports/2004/newway04.pdf>, accessed: 18.02.2016.
 7. Huang T.Y., Wang B.Z., Lin S.C., Hsu S.Y. A study on characteristics and geometric parameters of the flat porous aerostatic bearing. International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, 2003, Vol. 7, pp. 148 – 154. Available at: <http://iastem.com/publications/16415>, accessed: 18.02.2016.
 8. Hwang P., Khan P.V. Non-iterative finite element scheme for combined annular-thrust porous aerostatic bearings analysis. ASME/STLE 2012 International Joint Tribology Conference (Denver, Colorado, USA, 8-10 October, 2012): ASME Digital Collection, 2012. Available at: <http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/proceeding.aspx?articleid=1721803>, accessed: 17.02.2016. DOI:10.1115/IJTC2012-61088
 9. Majumdar B.C. Dynamic characteristics of externally pressurized rectangular porous gas thrust bearings. ASME Journal of Lubrication Technology, 1976, Vol. 98, No. 1, pp. 181-190. Available at: <http://tribology.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1463231>, accessed: 17.02.2016.
 10. Park G.H., Hong C. Analysis on the static performance of vacuum-preloaded porous air bearings. Journal of the Korean Society for Precision Engineering, 2013, Vol. 30(12), pp.1327-1333. Available at: 04.10.2016 http://www.koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=JMGHBV_2013_v30n12_1327, accessed 17.02.2016.
 11. Porous media ® Air Bearings Solution – Vacuum Preloaded. NewWay ® Air Bearings. 2009, USA. Available at: http://www.newwayairbearings.com/sites/default/files/new_way_line_brochure_vpl_nwab-09-046-v03-2009-02-27_0.pdf, accessed: 17.02.2016.
 12. Vacuum preloaded air bearings. IBS Precision Engineering, 2016, P. 1. Available at: <http://www.ibspe.com/category/vacuum-preloaded-air-bearings.htm> accessed: 17.02.2016.
 13. Van Ostayen R.A.J., van Beek A., Munnig-Schmidt R. Design and optimization of an active aerostatic thrust bearing. The 22nd Annual ASPE Meeting: Proceedings of ASPE, 2007. Available at: https://www.researchgate.net/publication/267809449_Design_and_optimization_of_an_active_aerostatic_thrust_bearing, accessed: 18.02.2016.
 14. Yoshimoto S., Kohno K. Static and dynamic characteristics of aerostatic circular porous thrust bearings (Effect of Shape of the Air Supply Area). ASME Journal of Tribology, 2001, Vol. 123, pp. 501-508. Available at: <http://tribology.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1466469>, accessed: 17.02.2016)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ СТРУКТУРЫ ЗАДАННОГО СБОЕ- И ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО КОМПЛЕКСА В ПРОИЗВОЛЬНОЙ ГРАФОВОЙ СТРУКТУРЕ ИСХОДНОЙ СИСТЕМЫ

Лобанов Анатолий Васильевич

Д.т.н., с.н.с., ученый секретарь-начальник лаборатории, Акционерное общество "Научно-исследовательский институт "Субмикрон", 124460, РФ, Москва, Зеленоград, Георгиевский проезд., д. 5, строение 2, lav@se.zgrad.ru

Аннотация. Использование необходимого механизма взаимного информационного согласования для организации отказоустойчивых вычислений в многомашинных вычислительных системах может значительно снижать их пропускную способность из-за присущей ему временной избыточности. Поэтому снижение такой избыточности в процессе выделения в исходной системе заданного отказоустойчивого комплекса является актуальной задачей и рассматривается в данной работе.

Ключевые слова: многомашинная вычислительная система, отказоустойчивость, репликация задачи, динамическая избыточность, взаимное информационное согласование.

Введение. Наиболее перспективным способом обеспечения сбое- и отказоустойчивого выполнения целевой задачи в многомашинных вычислительных системах и сетях цифровых вычислительных машин (ЦВМ) является репликация этой задачи с использованием динамической избыточности. Репликация задачи состоит в парировании допустимых неисправностей посредством одновременного параллельного исполнения копий задачи на нескольких ЦВМ, составляющих комплекс, с обменом результатами и выбором из них правильного в предположении, что неисправными может быть только малая часть этих ЦВМ. Динамическая избыточность обеспечивает системное самообнаружение проявившихся неисправностей, их самоидентификацию по месту проявления и типу (сбой, программный сбой, отказ), самовосстановление целевой работы в сбившихся ЦВМ, самореконфигурацию системы, состоящую в изоляции отказавших ЦВМ и включения вместо них и втягивания в целевую работу системы запасных ЦВМ (при их наличии) либо осуществления управляемой самодеградации системы с переходом к безопасному останову при возникновении недопустимых неисправностей или исчерпанию ресурсов. Ключевым механизмом такой организации вычислений является взаимное информационное согласование (ВИС), обеспечивающее во всех исправных ЦВМ системы согласование различающейся согласуемой информации разных ЦВМ системы таким образом, что в общей согласованной информации, одинаковой во всех исправных ЦВМ, согласованная информация каждой исправной ЦВМ совпадает с ее согласуемой информацией даже при возникновении враждебных (византийских) неисправностей ЦВМ допустимой кратности. В научной литературе рассматриваемая проблема широко известна как Проблема Византийских Генералов [5, 7, 8]. Развитие этой весьма важной проблемы для неполносвязных систем и сетей представлено в [1 -3].

Согласованная информация во всех исправных ЦВМ системы составляет основу согласованных, синхронизированных и, возможно, различающихся действий всех исправных ЦВМ системы по обеспечению ее сбое- и отказоустойчивости. Механизм ВИС включает многообразный обмен согласуемой информацией между всеми ЦВМ системы, временные затраты (временная избыточность алгоритма ВИС) на который могут значительно снижать пропускную способность системы, и особенно неполносвязной системы, в целом представляющей собой комплекс. Такая система должна иметь определенные структурные особенности, обеспечивающие достаточные условия для построения алгоритма ВИС в таком комплексе. Эти условия и методы построения алгоритмов ВИС для комплексов неполносвязных систем представлены в [2, 3]. Поэтому снижение временной избыточности алгоритмов ВИС для неполносвязных систем является весьма актуальной задачей. В [1] рассматривается метод выделения комплекса с заданным уровнем сбое- и отказоустойчивости в графовой структуре исходной многомашинной вычислительной системы или сети ЦВМ и предлагается соответствующий алгебраический аппарат. Причем, процесс выделения заканчивается сразу после нахождения первого варианта искомого комплекса и не ставится задача оценки временной избыточности алгоритма ВИС для этого комплекса и, тем более, определения варианта комплекса с наилучшей оценкой временной избыточности. В [4] представлен метод оценки временной избыточности алгоритма ВИС для заданной неполносвязной системы.

Метод определения возможных вариантов структуры заданного сбое- и отказоустойчивого комплекса в произвольной графовой структуре исходной системы и выбор наилучшего варианта. Алгоритм А5, представленный на языке логических схем алгоритмов, предложенном А.А. Ляпуновым [6], который выполняет выделение всевозможных вариантов искомого комплекса, оценивает каждый из них по значению временной избыточности и выбирает вариант с наименьшим таким значением, имеет следующий вид:

$$\Psi_1 \downarrow^{19} \Pi_2 \uparrow^{18} \Psi_3 \downarrow^{17} \Pi_4 \uparrow^{19} \Psi_5 \downarrow^{14} \Psi_6 \Psi_7 \downarrow^{11} \downarrow^{16} \Pi_8 \uparrow^{15} \Psi_9 \Pi_{10} \uparrow^{12} \Psi_{11} \uparrow^8 \downarrow^{10} \Psi_{12} \Pi_{13} \uparrow^{15} \Psi_{14} \uparrow^6 \downarrow^8 \downarrow^{13} \Psi_{15} \Pi_{16} \uparrow^8 \Psi_{17} \uparrow^4 \downarrow^2 \Psi_{18} \text{ ОСТ} \downarrow^4 \Psi_{19} \uparrow^2$$

Здесь символика и терминология взяты из [1]. Так, q -й безусловный оператор или составной безусловный оператор обозначается через Ψ_q , а r -й оператор условного перехода или составной оператор условного перехода, заканчивающийся оператором типа «если ..., то ..., иначе ...», – через Π_r . Переходы в алгоритме отображаются стрелками. После выполнения очередного оператора и при отсутствии перехода выполняется следующий справа оператор. Переход задается точкой выхода (стрелка вверх) и точкой входа (стрелка вниз). Безусловный переход от Ψ_q к r -му оператору имеет обозначение \uparrow^r , расположенное непосредственно за Ψ_q , и обозначение \downarrow^q , расположенное непосредственно перед обозначением r -го оператора. Оператор Π_q , оканчивающийся оператором условного перехода, например, «если ДА, то переход к оператору Ψ_r , иначе переход к оператору Π_r », в случае, когда оператору Π_r в записи алгоритма предшествует оператор Ψ_s , отображается записью $\Pi_q \uparrow^r \Psi_r \dots \Psi_s \downarrow^q \Pi_r$. Окончание работы алгоритма отмечается сокращением ОСТ, обозначающим оператор остановки (окончания) действия алгоритма.

Далее в описании алгоритма используется понятие выбора очередного элемента (варианта), следующего по порядку относительно текущего элемента (варианта) в упорядоченном пронумерованном множестве таких элементов (вариантов). В результате

такого выбора очередной элемент (вариант) становится текущим элементом (вариантом). При этом предполагается, что в этом упорядоченном множестве имеется как начальный элемент (вариант), который выбирается на первом шаге в алгоритме выбора очередного элемента (варианта) из данного множества, так и конечный элемент (вариант) такой, что если этот элемент (вариант) является текущим, то выбор очередного элемента (варианта) завершается формированием признака «текущий элемент (вариант) отсутствует».

Оператор Ψ_1 определяет начало работы алгоритма, сопровождающееся заданием исходного системного орграфа G (пронумерованные вершины отображают ЦВМ с соответствующими номерами, дуги – симплексные межмашинные канала связи), допустимого количества μ неисправных ЦВМ в выделяемом комплексе, исходного значения «пусто» для выходного параметра алгоритма «Лучший комплекс» (ЛК), значения переменной $i:=1$. Кроме того, в этом операторе определяются все вершины в исходном графе G с полустепенью как входа, так и исхода не менее чем 3μ и строятся всевозможные подмножества O^1, O^2, \dots таких вершин, с мощностью каждого из них равной $3\mu+1$. Эти подмножества являются кандидатами в множества основных вершин возможных вариантов искомого комплекса.

Оператор Π_2 – выбор очередного O^i и анализ его наличия.

Ψ_3 – построение для очередного O^i всевозможных орподграфов $G^{i,j}(A^{i,j}, D^{i,j})$ [1]. Π_4 – выбор очередного орподграфа $G^{i,j}(A^{i,j}, D^{i,j})$ и анализ его наличия.

Ψ_5 – задание уровня $r:=1$ для вершин, требующих Ч2- и Ч3-достроек [1].

Ψ_6 – определение состава вершин, требующих достроек на r -м уровне.

Ψ_7 – определение всевозможных последовательностей достроек на r -м уровне.

Π_8 – выбор очередной последовательности достроек r -го уровня.

Ψ_9 – проведение Ч2- и Ч3-достроек очередной последовательности.

Π_{10} – анализ условия «построение орграфа очередного варианта комплекса завершено?».

Ψ_{11} – оценка временной избыточности алгоритма ВИС для построенного орграфа очередного варианта искомого комплекса методом из [6]; сравнение полученной оценки с оценкой орграфа из ЛК. Если оценка лучше или если ЛК содержит значение «пусто», то занесение очередного варианта комплекса вместе с его оценкой в ЛК.

Ψ_{12} – вычисление $r:=r+1$.

Π_{13} – проверка условия «требуются достройки r -го уровня?».

Ψ_{14} – переход к 6-му оператору.

Ψ_{15} – вычисление $r:=r-1$.

Π_{16} – проверка условия « $r=0$?».

Ψ_{17} – переход к 4-му оператору.

Ψ_{18} – принятие решения «ЛК содержит комплекс с лучшей оценкой».

Ψ_{19} – вычисление $i:=i+1$.

Заключение. Представленный алгоритм выделяет в графовой структуре исходной системы всевозможные варианты структуры искомого комплекса, соответствующего заданному уровню μ его сбое- и отказоустойчивости. Комплекс обеспечивает возможность построения алгоритма взаимного информационного согласования в процессе осуществления репликации задачи с указанным уровнем сбое- и отказоустойчивости и использованием

динамической избыточности. Полнота такого выделения основана на полном переборе как всевозможных подмножеств O^i – кандидатов в множество основных вершин искомого комплекса, так и полного перебора вариантов структуры искомого комплекса для каждого из возможных множеств O^i . Оценка временной избыточности каждого очередного построенного варианта искомого комплекса и сравнение ее значения с оценкой наилучшего найденного ранее варианта обеспечивают определение наилучшего варианта в процессе работы представленного алгоритма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашарина И.В., Лобанов А.В. Выделение комплексов, обеспечивающих достаточные структурные условия системного взаимного информационного согласования в многокомплексных системах // Автоматика и телемеханика. №6. 2014. С. 115-131.
2. Ашарина И.В., Лобанов А.В., Мищенко И.Г. Взаимное информационное согласование в неполносвязных многомашинных вычислительных системах // Автоматика и телемеханика. 2003. №5. С. 190-198.
3. Ашарина И.В., Лобанов А.В. Взаимное информационное согласование в неполносвязных гетерогенных многомашинных вычислительных системах // Автоматика и телемеханика. 2010. № 5. С. 133–146.
4. Ашарина И.В. Подходы к оптимизации временных характеристик процесса взаимного информационного согласования в многомашинных вычислительных системах // В настоящем выпуске.
5. Генинсон Б.А., Панкова Л.А., Трахтенгерц Э.А. Отказоустойчивые методы обеспечения взаимной информационной согласованности в распределенных вычислительных системах // Автоматика и телемеханика. 1989. № 5. С. 3–18.
6. Ершов А.П. Введение в теоретическое программирование. М.: Наука, 1977. 288 с/
7. Barborak M., Malek M. The Consensus Problem in Fault-Tolerant Computing // ACM Comput. Surveys. June 1993. V. 25. № 2. P. 171–220.
8. Lamport L., Shostak R., Pease M. The Byzantine Generals Problem // ACM Trans. Progr. Lang. Syst. 1982. V. 4. № 3. P. 382–401.

УДК 62-501.72:681.326.7

IDENTIFICATION OF POSSIBLE OPTIONS FOR THE STRUCTURE OF A GIVEN FAULT-TOLERANT COMPLEX IN AN ARBITRARY GRAPH STRUCTURE OF SOURCE SYSTEM

Anatoly V. Lobanov

Dr., Joint-Stock Company "Research Institute "Submicron",
State 2, Bld. 5, Georgievsky Pas, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498

Abstract. Using a required technique of a mutual information coordination for fault-tolerant computing in multicomplex computer systems can significantly reduce their throughput due to inherent time redundancy. We consider how to reduce this redundancy while selecting a specified fault-tolerant complex in the initial system.

Keywords: multiprocessor systems, task replication, fault-tolerance, mutual information agreement, dynamic redundancy.

References

1. Asharina I.V., Lobanov A.V. Vydelenie kompleksov, obespechivajushhich dostatochnye strukturnye uslovija sistemnogo vzaimnogo informacionnogo soglasovanija v mnogokompleksnyh sistemach [Extracting Complexes that Ensure Sufficient Structural Conditions for System Mutual Informational Agreement in Multicomplex Systems.] / *Avtomatika i telemekhanika = Automation and Remote Control*, 2014, vol.75, no.6. Pp.1078-1089 (in Russian).
2. Asharina I.V., Lobanov A.V., Mishenko I.G. Vzaimnoe informacionnoe soglasovanie v nepolnosvjaznyh mnogomasinnyh vychislitel'nyh sistemach [Mutual Informational Coordination in Incompletely Connected Multicomputer Systems] / *Avtomatika i telemekhanika = Automation and Remote Control*, 2003, vol. 64, no. 5. Pp. 843–850 (in Russian).
3. Asharina I.V., Lobanov A.V. Vzaimnoe informacionnoe soglasovanie v nepolnosvjaznyh geterogennyh mnogomashinnyh vychislitel'nyh sistemach [Mutual Information Reconciliation in Non-fully Connected Heterogeneous Multicomputer Computational Systems] / *Avtomatika i telemekhanika = Automation and Remote Control*, 2010, vol. 71, no. 5. Pp. 847–858 (in Russian).
4. Asharina I.V. Podhody k optimizacii vremennyh characteristic processa vzaimnogo informacionnogo soglasovanija [Approaches to Optimize the Time Characteristics of the process of mutual informative agreement in multicomputer systems] / *V nastojashhem vypuske* (in Russian).
5. Geninson B.A., Pankova L.A., Trakhtengerts E.A. Otkazoustojchivye metody obespechenija vzaimnoj informacionnoj soglasovannosti v raspredelennyh vychislitel'nyh sistemah [Fault-Tolerant Methods of Ensuring Interactive Consistency in Distributed Computing Systems.] / *Avtomatika i telemekhanika = Automation and Remote Control*, 1989, vol. 50, no. 5, part 1, Pp. 579–590 (in Russian).
6. Ershov A.P. Vvedenie v teoreticheskoe programmirovanie [Introduction to Theoretical Programming], Moscow: Nauka = Science, 1977. 288 p. (in Russian).
7. Barborak M., Malek M. The Consensus Problem in Fault-Tolerant Computing // *ACM Comput. Surveys*. June 1993. V. 25. № 2. P. 171–220.
8. Lamport L., Shostak R., Pease M. The Byzantine Generals Problem // *ACM Trans. Progr. Lang. Syst.* 1982. V. 4. № 3. P. 382–401.

**ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРОЦЕССА ВЗАИМНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО СОГЛАСОВАНИЯ
В МНОГОМАШИННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

Ашарина Ирина Владимировна

К.т.н., доцент, с.н.с., Акционерное общество "Научно-исследовательский институт
"Субмикрон", 124460, РФ, г.Москва, Зеленоград, Георгиевский проезд, д.5, стр. 2,
asharinairina@mail.ru

Аннотация. Временные характеристики процесса взаимного информационного согласования в многомашинных вычислительных системах существенно влияют на пропускную способность таких систем, поэтому оптимизация временных характеристик при отказоустойчивом решении целевых задач в многомашинных вычислительных системах является актуальной задачей и рассматривается в данной работе.

Ключевые слова: многопроцессорные системы, репликация задач, отказоустойчивость, системное взаимное информационное согласование, динамическая избыточность.

Введение. Ключевой проблемой отказоустойчивого выполнения целевой задачи (методом репликации) в однокомплексной многомашинной вычислительной системе (МВС) при реализации в системе динамической избыточности [9] является взаимное информационное согласование (ВИС), обеспечивающее согласованность системной информации во всех цифровых вычислительных машинах (ЦВМ) системы в условиях возникновения допустимых неисправностей. Предложены подходы к снижению временных затрат на процесс ВИС в МВС заданной структуры. Эти временные затраты представляют собой временную избыточность применяемого алгоритма ВИС.

Рассматриваются замкнутые (необслуживаемые) [1] МВС, имеющие следующие характерные особенности [11]: 1) большое число автономных взаимосвязанных ЦВМ без общей памяти; 2) высокая степень распределенности управления или функций операционной системы среди ЦВМ при отсутствии централизованного управляющего органа; 3) обеспечение достоверности полученного результата путем репликации решаемой задачи.

Используемые модели и методы. Графовая модель исходной МВС представляет собой ориентированный граф (орграф) системы, отображающий структуру системы, в котором вершины, пронумерованные в диапазоне 1, 2, ..., отображают соответствующие ЦВМ системы. Симплексный межмашинный канал связи, принадлежащий ЦВМ, передающей по нему информацию, изображается дугой, исходящей из соответствующей вершины. Дуплексный канал связи представляется парой разнонаправленных псевдосимплексных каналов и парой разнонаправленных дуг в орграфе (которые для простоты могут быть обозначены двунаправленной стрелкой) или ребром в смешанном графе. Рассматриваются МВС, в которых нет дублированных каналов связи, поэтому орграфы таких систем не имеют параллельных дуг.

Воспользуемся здесь терминологией и математическим аппаратом из [4], где приведен метод выделения в исходной системе комплекса согласования, удовлетворяющего заданному уровню сбое- и отказоустойчивости.

Полным орграфом называется орграф, имеющий пару разнонаправленных дуг между любыми двумя вершинами. Орграфы являются гомеоморфными, если существуют их изоморфные подразделения, образующиеся в результате подразделения дуг [8].

Существует ряд методов по решению проблемы ВИС в отдельном полносвязном комплексе согласования [5, 10, 12, 13], основанных на многораундных обменах сообщениями между ЦВМ комплекса с последующим вычислением вектора согласованных значений всех ЦВМ комплекса в каждой его ЦВМ. Обоснованные методы достижения ВИС в неполносвязных однокомплексных МВС представлены в [2].

Воспользуемся методами построения алгоритма ВИС для однокомплексных неполносвязных МВС [2, 3], в которых вся система является комплексом. Эти методы основаны на том, что в системном орграфе $T = (X \cup P \cup Q, B)$ комплекса имеется орподграф ${}_T H = (X \cup P, D)$, гомеоморфный полному орграфу, обозначим его через M , с количеством вершин более 3μ . Вершины орподграфа ${}_T H$, взаимно однозначно соответствующие вершинам орграфа M , называются основными и составляют множество X . Остальные вершины орграфа T называются неосновными и составляют множество $N = (P \cup Q)$. Вершины из P называются также разделительными. Наличие такого орподграфа ${}_T H$ является первой частью (обозначим ее через Ч1) достаточных условий достижения ВИС в орграфе T . Второй составной частью достаточных условий достижения ВИС в комплексе является часть Ч2: для каждой его неосновной вершины существуют исходящие из этой вершины и далее непересекающиеся пути к не менее чем $2\mu+1$ конечным основным вершинам. Последней составной частью достаточных условий достижения ВИС в комплексе является часть Ч3: для каждой его неосновной вершины существуют входящие и ранее не пересекающиеся пути не менее чем от $2\mu+1$ начальных основных вершин [4].

Передача сообщения из p -й ЦВМ-передатчика в соседнюю q -ю ЦВМ-приемник осуществляется по симплексному каналу связи и занимает один временной квант – неделимый далее временной отрезок с синхронным началом и равной длительностью во всех ЦВМ системы, в течение которого по крайней мере из одной ЦВМ системы осуществляется передача сообщения(й) в одну (или несколько) соседнюю(их) ЦВМ и необходимая обработка полученного(ых) сообщения(й). Посылка сообщения из r -й ЦВМ-источника в s -ю ЦВМ-получатель по некоторому пути посылки выполняется посредством последовательности передач этого сообщения между соседними ЦВМ в этом пути [4] и осуществляется за несколько квантов. Каждому такому возможному пути посылки информации соответствует некоторый путь в орграфе МВС и наоборот.

В данной работе рассматриваются неполносвязные системы, для которых согласно [2, 3] строится алгоритм ВИС для неполносвязной системы (ВИНС), содержащий три внутренних этапа: 1) этап посылки копий согласуемого значения каждой неосновной ЦВМ в выбранное для нее подмножество основных ЦВМ; 2) этап взаимообмена согласуемыми значениями между всеми основными ЦВМ и вычисление в каждой основной ЦВМ вектора согласованных значений всех ЦВМ системы (этап ВИС основных вершин – ВИСОВ); 3) этап

посылки копий векторов согласованных значений в каждую неосновную ЦВМ из определенного для нее подмножества неосновных ЦВМ и вычисления в ней вектора согласованных значений системы. Выполнение алгоритма ВИСНС, включающее многократный взаимообмен сообщениями между всеми ЦВМ системы с промежуточным индивидуальным преобразованием полученной информации в каждой ЦВМ требует определенной синхронности их действий. Естественной необходимостью алгоритма ВИСНС является высший уровень синхронизации по началу и концу его выполнения (синхронизация по началу и концу ВИСНС). Для полносвязных систем в [12, 13] и их алгоритмов ВИС предлагается также синхронизация более низкого уровня по началу и концу каждого из раундов взаимообмена (пораундная синхронизация), где раунд с синхронизированным началом во всех ЦВМ системы включает передачу сформированного сообщения из каждой ЦВМ системы во все остальные ее ЦВМ и последующую обработку полученных в этом раунде сообщений с формированием сообщения для следующего раунда, если таковой должен быть.

Подходы к снижению временной избыточности ВИСНС. В алгоритмах ВИСНС [3, 6] для обеспечения синхронности индивидуальных, возможно, отличающихся действий различных ЦВМ системы потребовалось ввести синхронизацию на уровне кванта. Кроме того, с целью упрощения методов построения алгоритмов ВИСНС, может вводиться синхронизация на уровне начала и окончания его внутренних этапов. Квантовая синхронизация является синхронизацией самого нижнего уровня, на основе которой строятся синхронизации более высоких уровней. Для алгоритмов ВИСНС возможны следующие сочетания уровней синхронизации (перечисленных от высшего к низшему):

1) по началу и концу ВИСНС, по этапам его выполнения, по раундам взаимообмена на втором этапе, по квантам (предполагается, что переход к следующему раунду (этапу) возможен только после истечения количества квантов, предназначенного для полного завершения этого раунда (этапа) в случае отсутствия неисправностей в системе);

2) по началу и концу ВИСНС, по этапам его выполнения, по квантам;

3) по началу и концу ВИСНС, по квантам.

При этом алгоритмическая сложность метода построения распределенного алгоритма ВИС для рассматриваемых систем возрастает от первого к третьему сочетанию уровней синхронизации. В терминах передачи сформированных сообщений эти сочетания уровней синхронизации можно трактовать так: сформированное в текущем раунде (этапе) сообщение, предназначенное для передачи в следующем раунде (этапе), передается только в начале следующего раунда (этапа). Для третьего сочетания трактовка имеет следующий вид: сообщение, предназначенное для последующей передачи и подготовленное полностью в текущем кванте, передается по назначению в следующем кванте.

Рассмотрим вычисление времени выполнения ВИСНС для примера МВС, показанной на рис. 1, считая $\mu=1$. Будем считать термины вершина и ЦВМ синонимами. Основными вершинами в данной МВС являются вершины из множества $O_1^1 = \{1, 2, 3, 4\}$, остальные вершины – неосновные, каждой из которых нужно передать свое согласуемое значение не менее чем в $2\mu+1$ основных вершин на первом этапе согласования. В качестве примера рассмотрим передачу согласуемого значения неосновной 5-й ЦВМ в $2\mu+1$ основных ЦВМ.

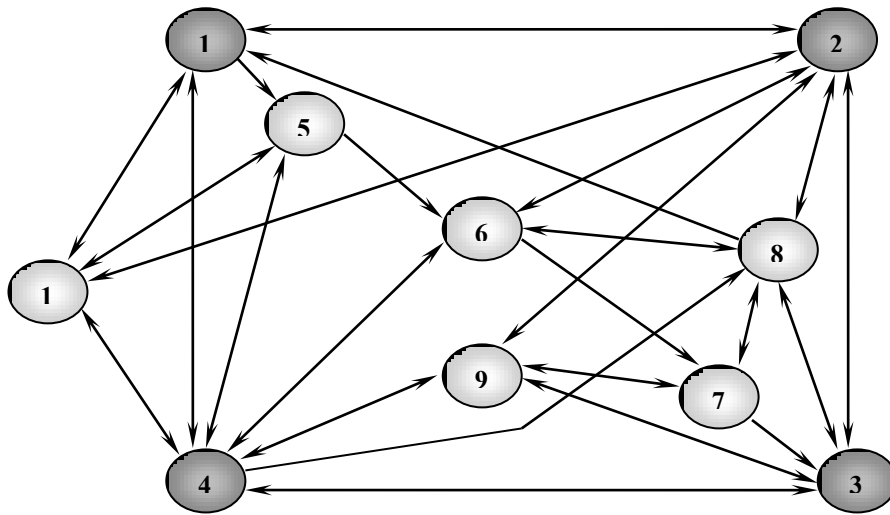


Рис. 1. Пример орграфовой модели МВС.

Для этого строятся непустые выражения в дизъюнктивной нормальной форме (ДНФ) исходящего пучка [4]: $SOP_DNF(5, O_1^1, B_1^1 \setminus O_1^1) = 5 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 4 \vee \dots$

Терм $5 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 4$ соответствует путям посылки сообщения из 5-й ЦВМ в ЦВМ, соответственно, 1-, 3-, 4-ю.

Процесс ВИС для основных вершин (второй этап согласования – ВИСОВ) определяется построением непустых ДНФ входящих пучков:

$$SRP_DNF(O_1^1 \setminus \{1\}, \tilde{S}_1 \setminus O_1^1) = 2 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 1 \vee 2 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 10 \cdot 1 \vee \dots$$

Здесь каждый терм определяет пучок путей, сходящихся в первую вершину, с начальными вершинами из $O_1^1 \setminus \{1\}$, а все термы – всевозможные такие пучки. Так, первый терм состоит из трех частей: $2 \cdot 1$, $3 \cdot 8 \cdot 1$, $4 \cdot 1$, каждая из которых представляет отдельный путь этого пучка, соответственно, из вершин 2, 3, 4. Аналогично строятся непустые ДНФ входящих пучков для остальных основных вершин:

$$SRP_DNF(O_1^1 \setminus \{2\}, \tilde{S}_1 \setminus O_1^1) = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 2 \vee 1 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 9 \cdot 2 \vee \dots$$

$$1 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 2 \vee \dots$$

$$SRP_DNF(O_1^1 \setminus \{3\}, \tilde{S}_1 \setminus O_1^1) = 1 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 3 \vee 1 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 3 \vee \dots$$

$$\vee 1 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 9 \cdot 3 \vee \dots \vee 1 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 3 \vee \dots$$

$$SRP_DNF(O_1^1 \setminus \{4\}, \tilde{S}_1 \setminus O_1^1) = 1 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 9 \cdot 10 \cdot 11 \cdot 12 \cdot 4 \vee \dots$$

Из этих выражений при построении U_i^j [4] образуется терм $2 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 1 \ \& \ 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 2 \ \& \ 1 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 3 \ \& \ 1 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 9 \cdot 10 \cdot 11 \cdot 12 \cdot 4$ (дополнительные знаки конъюнкции $\&$ указывают также границы участков терма), который полностью определяет пути посылки сообщений в процессе ВИСОВ.

Третий этап согласования – посылка результата согласования в каждую неосновную вершину не менее чем из $2\mu+1$ основных вершин. В качестве примера рассмотрим неосновную 7-ю ЦВМ, для которой построим непустую ДНФ входящей смежности:

$$SRP_DNF(O_1^1 \setminus \{7\}, \tilde{S}_1 \setminus O_1^1) = 1 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 3 \cdot 9 \cdot 7 \vee \dots \vee 1 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 4 \cdot 9 \cdot 7 \vee \dots$$

$$1 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 3 \cdot 9 \cdot 7 \vee \dots$$

Первый и второй терм соответствует наименьшим временным характеристикам. При этом в соответствии с приведенным выше определением пораундной синхронизации (первый случай) время, необходимое для выполнения всех трех этапов согласования составляет сумму максимальных времен, необходимых для выполнения каждого этапа. Для орграфа, приведенного на рис. 1, самый длинный путь на первом этапе – при посылке согласуемого значения из 5-й ЦВМ в 3-ю ЦВМ, что составляет 3 кванта, необходимые для выполнения первого этапа, 8 квантов для второго этапа (ВИСОВ) и 2 кванта, необходимых для третьего этапа. Итого – время ВИСНС составляет 13 квантов.

Для определения времени согласования при поэтапной синхронизации (второй случай) выполним следующие действия.

Назовем орграфом R_i посылки согласуемого значения Z_i информации ЦВМ-источника M_i , передаваемого в своем начальном кванте из i -й вершины в процессе выполнения некоторого алгоритма ВИС, ациклический орграф, являющийся ориентированным деревом, в котором 1) полустепени захода [5] всех вершин, за исключением одной – корня, равны единице, а полустепень захода корня равна нулю, и дуга в этом орграфе отображает передачу копии значения Z_i или значения, сформированного или вычисленного с участием значения Z_i , из ЦВМ-передатчика к ЦВМ-приемнику по двухточечному симплексному (или псевдосимплексному [13]) каналу связи между ними, а путь от корня дерева до некоторого его листа отображает процесс посылки копии значения Z_i или значения, сформированного или вычисленного с участием значения Z_i , из ЦВМ-источника этого согласуемого значения к ЦВМ-получателю этого значения. Необходимо заметить, что в таком пути возможно наличие повторяющихся вершин, отображающих многократность взаимодействий между ЦВМ в процессе ВИС. Объединение всех таких деревьев полностью определяет процесс ВИС для полносвязной МВС или ВИСНС для неполносвязной МВС. Ниже, без потери общности, будем рассматривать только алгоритм ВИСНС.

Если передача сообщения, поступившего в текущем кванте в ЦВМ-приемник, передается из этой ЦВМ в следующую по пути ЦВМ-приемник в следующем кванте, то вес соответствующей дуги будет равен единице. Если же некоторая ЦВМ-передатчик в составе этого пути задерживает передачу на t квантов, то вес соответствующей дуги будет равен $t+1$. Тогда вес пути будет равен длительности посылки в квантах по данному пути.

Объединим все орграфы посылок в орграф UR_i следующим образом.

Рассмотрим некоторый алгоритм ВИСНС. Введем отдельную «начальную» для алгоритма ВИСНС вершину, из которой исходит взвешенная дуга в вершину корня каждого из объединяемых орграфов. Если передача из ЦВМ, отображаемой корнем орграфа, осуществляется в первом кванте алгоритма ВИСНС, то вес дуги, входящей в эту вершину, будет равен нулю. Если же такая передача осуществляется в t -м кванте, то дуге приписывается вес $t-1$.

Можно с достаточной очевидностью утверждать, что длительность процесса ВИСНС при любом сочетании уровней синхронизации будет равна наибольшему весу из весов всевозможных путей в UR_i . Этот наибольший вес будем называть величиной оценки временной избыточности рассматриваемого алгоритма ВИСНС.

Для примера орграфа, приведенного на рис. 1, фрагмент такого дерева показан на рис. 2. Эллипсами со сплошным контуром обозначены вершины дерева, соответствующие вершинам орграфа. Пути от 5-й вершины, являющейся корнем дерева, ко 2-, 3- и 4-й

вершинам соответствуют посылкам согласуемого значения Z_5 из 5-й вершины в основные вершины МВС. На рисунке 2 суффиксом "I" рядом с номером ЦВМ обозначен первый этап ВИСНС, суффиксом "ВИС1" – первый раунд процесса ВИСОВ, суффиксом "ВИС2" – второй раунд процесса ВИСОВ, суффиксом "III" – третий этап ВИСНС посылки согласованного значения из основных ЦВМ в неосновные и вычисления в них согласованного значения.

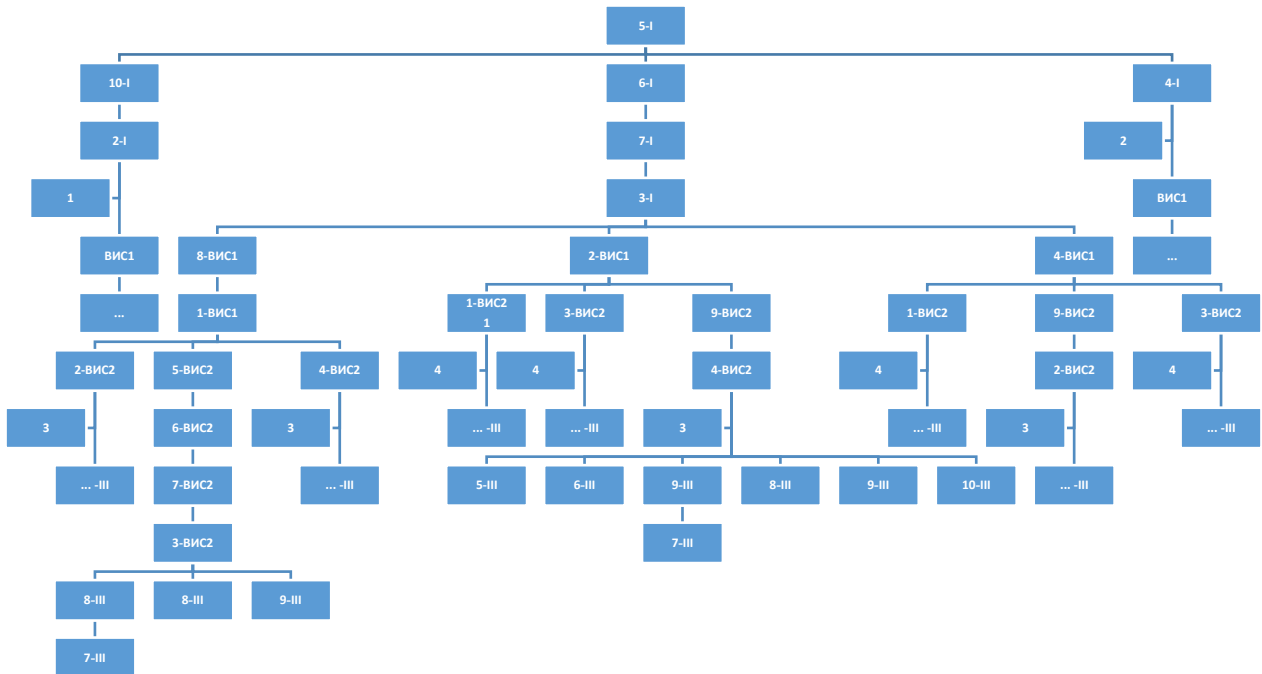


Рис. 2. Пример фрагмента взвешенного дерева посылок сообщений в процессе ВИСНС при поэтапной синхронизации.

Далее вершины дерева, окрашенные в серый цвет со сплошным серым контуром, (рис. 2) обозначают передачи сообщений между ЦВМ МВС на соответствующем этапе ВИСНС. Белый эллипс со штриховым контуром обозначает вес дуги, с которой он связан, и равный $(t_{max}-t_i)$ квантов, где t_{max} – максимальное число квантов на данном этапе, t_i – номер кванта, в котором завершился данный этап в ЦВМ i . Дуги с неуказанным весом имеют вес, равный 1. Эллипсами серого цвета с черным контуром обозначены кванты, в которых завершается процесс ВИСОВ в соответствующих ЦВМ. Для фрагмента дерева, представленного на рис. 2, после завершения процесса ВИСОВ, основные вершины пересылают копии согласованного значения в неосновные вершины, которые также вычисляют согласованное значение на основе полученных данных; вычисление происходит после получения всех необходимых копий, для данного примера – во втором кванте третьего этапа ВИСНС.

Для приведенного примера в случае поэтапной синхронизации время, необходимое для первого и третьего этапов, остается неизменным, а этап ВИСОВ сократится до 6 квантов. Итого – время ВИСНС составляет 11 квантов.

Третье сочетание уровней синхронизации предполагает, отсутствие квантов ожидания между первым и вторым этапами ВИСНС. Алгоритм согласования при этом может быть развернут по одному из двух сценариев: 1) каждая неосновная ЦВМ посылает в $2\mu+1$ основных ЦВМ свое согласуемое значение, каждая основная ЦВМ вычисляет вектор

согласованных значений и затем рассылает его неосновным ЦВМ; 2) каждая неосновная ЦВМ посылает в $2\mu+1$ основных ЦВМ свое согласуемое значение, каждая основная ЦВМ вычисляет согласованное значение каждой ЦВМ МВС, рассылает их неосновным ЦВМ, при этом формирование вектора согласованных значений происходит независимо в каждой из ЦВМ по мере получения ею согласованных значений (рис. 3). Вычисление согласованных значений происходит в ЦВМ после получения ею всех необходимых копий, но процесс получения этих копий может занимать разное число квантов.

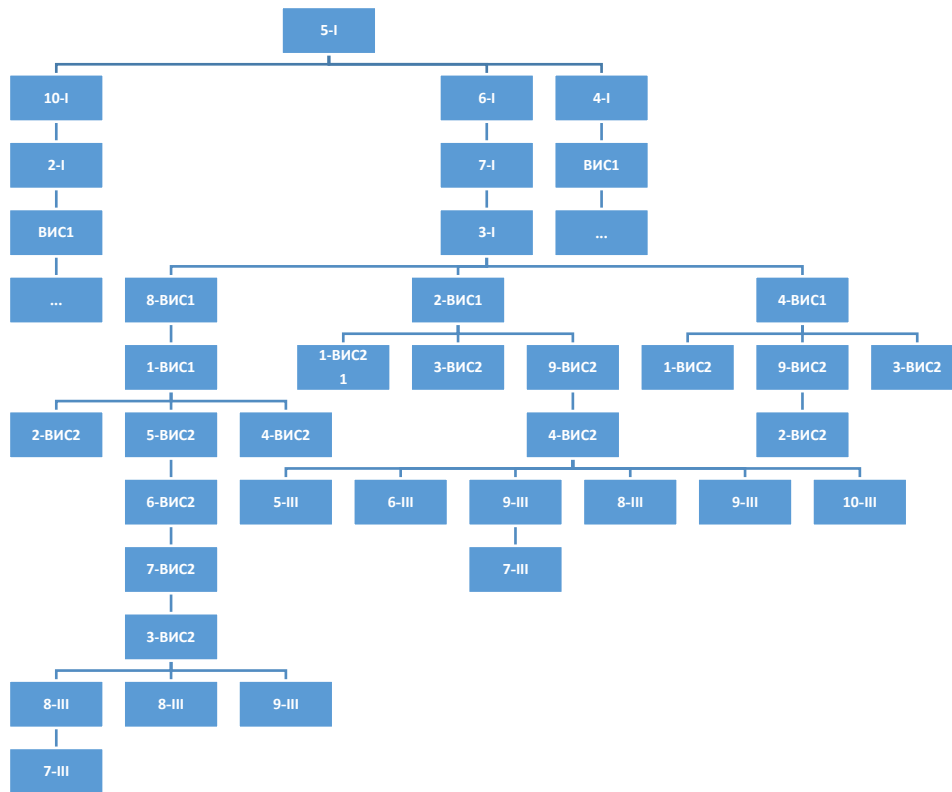


Рис. 3. Пример фрагмента дерева посылок сообщений в процессе ВИСНС при синхронизации по началу и концу ВИСНС, по квантам в соответствии со вторым сценарием построения алгоритма ВИСНС.

В случае первого сценария кванты ожидания между различными ЦВМ присутствуют только перед третьим этапом, т.к. в этом случае формирование вектора согласованных значений в процессе ВИСНС происходит в последнем кванте ВИСОВ. Для нашего примера формирование вектора согласованных значений происходит в 9 кванте, окончательное завершение процесса ВИСНС в некоторых неосновных ЦВМ занимает 10 квантов, в других – 11 квантов.

В случае второго сценария построения алгоритма ВИСНС время построения вектора согласованных значений в каждой ЦВМ не зависит от времени его построения в других ЦВМ. Для приведенного примера время ВИСНС в самой "медленной" из неосновных 7-й ЦВМ составляет 11 квантов, в самой "быстрой" из неосновных 10-й ЦВМ – 8 квантов. Выбор сценария зависит от дальнейших действий каждой ЦВМ, предусмотренных алгоритмом ее работы.

Заключение. В результате работы получено следующее. В случае неполносвязных комплексов возможно сокращение временной избыточности путем перехода от пораундной

синхронизации (первый случай) к поэтапной (второй случай). При переходе к третьему случаю (по началу и концу ВИСНС, по квантам) общая временная избыточность ВИСНС имеет то же значение, что и во втором случае, однако отдельные ЦВМ могут завершить процесс ВИСНС существенно раньше остальных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авиженис А. Отказоустойчивость - свойство, обеспечивающее постоянную работоспособность цифровых систем // ТИИЭР. 1978. Т.66. N10. С.5-25.
2. Ашарина И.В., Лобанов А.В., Мищенко И.Г. Взаимное информационное согласование в неполносвязных многомашинных вычислительных системах //Автоматика и телемеханика, 2003. №5. С. 190-198.
3. Ашарина И.В., Лобанов А.В. Взаимное информационное согласование в неполносвязных гетерогенных многомашинных вычислительных системах //Автоматика и телемеханика, 2010. № 5. С. 133–146.
4. Ашарина И.В., Лобанов А.В. Выделение комплексов, обеспечивающих достаточные структурные условия системного взаимного информационного согласования в многокомплексных системах //Автоматика и телемеханика, 2014. №6. С. 115-131.
5. Генинсон Б.А., Панкова Л.А., Трахтенгерц Э.А. Отказоустойчивые методы обеспечения взаимной информационной согласованности в распределенных вычислительных системах // Автоматика и телемеханика, 1989. № 5. С. 3-18.
6. Лобанов А.В. Взаимное информационное согласование с обнаружением и идентификацией враждебных неисправностей в неполносвязных многомашинных вычислительных системах //Автоматика и телемеханика, 2003. № 6, 175–185.
7. Лобанов А.В. Модели замкнутых многомашинных вычислительных систем со сбое- и отказоустойчивостью на основе репликации задач в условиях возникновения враждебных неисправностей //Автоматика и телемеханика, 2009. № 2. С. 171–189.
8. Нефедов В.Н., Осипова В.А. Курс дискретной математики. Уч. пос. М.: Изд-во МАИ, 1992.
9. Пархоменко П.П., Согомоян Е.С. Основы технической диагностики. – М.: Энергия, 1981. – 320 с.
10. Barborak M., Malek M. The consensus problem in fault-tolerant computing // ACM Computing Surveys. June 1993. V. 25. № 2. P. 171-220.
11. Kuhl J.G., Reddy S.M. Fault-tolerance considerations in large, multiple-processors systems // Computer. 1986. V.19. N3, Pp.56-67.
12. Lamport L., Shostak R., Pease M. The byzantine generals problem // ACM Trans. Progr. Lang. and Syst. 1982. V. 4. № 3. Pp. 382-401.
13. Pease M., Shostak R., Lamport L. Reaching agreement in the presence of faults // J. Ass. Comput. Mach. 1980. V. 27. № 2. Pp. 228-237.

APPROACHES TO OPTIMIZE THE TIME CHARACTERISTICS OF THE PROCESS OF MUTUAL INFORMATIVE AGREEMENT IN MULTICOMPUTER SYSTEMS

Irina V. Asharina

PhD, Joint-Stock Company "Research Institute "Submikron",
State 2, Bld. 5, Georgievsky Pas, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498

Abstract. The time redundancy of a mutual information coordination in multicomputer systems affects significantly to the throughput of such systems. Therefore, the assessment of such redundancy is an important task and is discussed in this paper.

Keywords: multiprocessor systems, task replication, fault-tolerance, mutual information agreement, dynamic redundancy.

References

1. Avizienis, A. Otkazoustojchivost' - svojstvo, obespechivajushhee postojannuju rabotosposobnost' cifrovyh sistem [Fault-tolerance: the survival attribute of digital systems] / TIIJeR. = IEEE Transactions of Computers. 1978. T.66. N10. Pp.5-25. (in Russian)
2. Asharina, I.V., Lobanov, A.V., and Mishenko, I.G. Vzaimnoe informacionnoe soglasovanie v nepolnosvjaznyh mnogomashinnyh vychislitel'nyh sistemah [Mutual Informational Coordination in Incompletely Connected Multicomputer Systems] / Avtomatika i telemekhanika = Automation and Remote Control, 2003. №5. Pp. 190-198. (in Russian)
3. Asharina, I.V. and Lobanov, A.V. Vzaimnoe informacionnoe soglasovanie v nepolnosvjaznyh geterogennyh mnogomashinnyh vychislitel'nyh sistemah [Mutual Information Reconciliation in Non-fully Connected Heterogeneous Multicomputer Computational Systems] / Avtomatika i telemekhanika = Automation and Remote Control, 2010. № 5. Pp. 133–146. (in Russian)
4. Asharina, I.V. and Lobanov, A.V., Vydelenie kompleksov, obespechivajushhih dostatochnye strukturnye uslovija sistemnogo vzaimnogo informacionnogo soglasovanija v mnogokompleksnyh sistemah [Extracting Complexes That Ensure Sufficient Structural Conditions for System Mutual Informa-tional Coordination in Multicomplex Systems] /Avtomatika i telemekhanika = Automation and Remote Control, 2014. №6. Pp. 115-131. (in Russian)
5. Geninson, B.A., Pankova, L.A., and Trakhtengerts, E.A. Otkazoustojchivye metody obespechenija vzaimnoj informacionnoj soglasovannosti v raspredelennyh vychislitel'nyh sistemah [Fault-Tolerant Methods of Ensuring Interactive Consistency in Distributed Computing Systems] / Avtomatika i telemekhanika = Automation and Remote Control, 1989. № 5. Pp. 3-18. (in Russian)
6. Lobanov, A.V. Vzaimnoe informacionnoe soglasovanie s obnaruzheniem i identifikaciej vrazhdebnyh neispravnostej v nepolnosvjaznyh mnogomashinnyh vychislitel'nyh sistemah [Mutual Information Agreement with the Detection and Identification of Byzantine Faults in Incompletely Connected Multicomputer Systems] /Avtomatika i telemekhanika= Automation and Remote Control, 2003. № 6, Pp. 175–185. (in Russian)

7. Lobanov, A.V. Modeli zamknutyh mnogomashinnyh vychislitel'nyh sistem so sboe- i otkazoustojchivost'ju na osnove replikacii zadach v uslovijah vozniknovenija vrazhdebnyh neispravnostej [Models of Closed Multimachine Computer Systems with Transient-Fault-Tolerance and Fault-Tolerance on the Basis of Replication under Byzantine Faults] / *Avtomatika i telemekhanika = Automation and Remote Control*, 2009. № 2. Pp. 171–189. (in Russian)
8. Nefedov V.N., Osipova V.A. Kurs diskretnoj matematiki. Uch. pos. [The course of discrete mathematics. Textbook] M.: Izd-vo MAI, 1992. (in Russian)
9. Parhomenko P.P., Sogomonjan E.S. Osnovy tehnicheckoj diagnostiki [Fundamentals of technical diagnostics] M.: Jenergija = Energetics. 1981. 320 p. (in Russian)
10. Barborak M., Malek M. The consensus problem in fault-tolerant computing // *ACM Computing Surveys*. June 1993. V. 25. № 2. P. 171-220.
11. Kuhl J.G., Reddy S.M. Fault-tolerance considerations in large, multiple-processors systems // *Computer*. 1986. V.19. N3, Pp.56-67.
12. Lamport L., Shostak R., Pease M. The byzantine generals problem // *ACM Trans. Progr. Lang. and Syst*. 1982. V. 4. № 3. P. 382-401.
13. Pease M., Shostak R., Lamport L. Reaching agreement in the presence of faults // *J. Ass. Comput. Mach*. 1980. V. 27. № 2. Pp. 228-237.

ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЙ ПОДХОД В МОДЕЛИРОВАНИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Прокина Наталья Владимировна

К.т.н., старший научный сотрудник,
ФГБУ «3 ЦНИИ» Минобороны России,

105567, г. Москва, Погонный проезд 10, e-mail: nataly_pr@mail.ru

Шубенин Алексей Алексеевич

К.т.н., начальник лаборатории,
ФГБУ «3 ЦНИИ» Минобороны России,

105567, г. Москва, Погонный проезд 10, e-mail: ashubenin@yandex.ru

Аннотация. В статье представлена методика применения декомпозиционного подхода (применение метода автономных блоков с виртуальными каналами Флоке на гранях) в моделировании распространения волн на земной поверхности при воздействии на нее наземных объектов. Методика может применяться разработчиками сейсмоакустических информационно-разведывательных систем, в частности в разработке алгоритмов обнаружения и распознавания. Метод автономных блоков позволяет моделировать волновую картину различных грунтов и местностей, определять такие параметры сейсмоакустического сигнала, как фазовая и групповая скорости, затухание сигнала, длина и частота его составляющих.

Ключевые слова: декомпозиция, автономные блоки, сейсмоакустические волны

Введение. В данной работе представлена методика применения вычислительного метода автономных блоков, позволяющая учесть слоистость и неоднородность грунта, а также трансформацию волн на границе раздела сред «воздух-грунт». Впервые эта методика прорабатывалась в 2013 году в составе научно-исследовательской работы, выполняемой по Гособоронзаказу в Пензенском государственном университете [1]. В частности, методика была разработана для моделирования волновой картины прохождения сейсмоакустических колебаний при разработке сейсмических систем обнаружения и распознавания движущихся наземных объектов (техника, человек, группа людей и т.п.), которые применяются как самостоятельные системы, так и в составе комплексных информационно-разведывательных систем.

В отличие от низкочастотных (инфразвуковых) сейсмических процессов, возникающих при землетрясениях, колебания грунта, обусловленные движением транспорта или человека, содержат более высокие частоты, в том числе и звуковые, поэтому их называют сейсмоакустическими. Такие колебания могут распространяться как в воздушной среде, так и по грунту, и обладают возможностью трансформации из акустических в сейсмические.

В случае сейсмоакустических полей волновая картина более сложна, чем для газов или жидкостей. В твердых телах деформации вызывают напряжения не только сжатия, но и сдвига [2]. Поэтому напряженное состояние среды описывается не скалярной величиной –

давлением, а тензором напряжений [3]. Вопросы, связанные с многообразием упругих волн, изложены в ряде монографий как для сейсмических [4-6], так и для акустических [7] колебаний. Однако открытым оставался вопрос о сейсмоакустических колебаниях, распространяющихся в верхних слоях грунта.

1. Метод автономных блоков. Впервые метод автономных блоков использовался еще в 60-х годах русским ученым Никольским В.В. [8]. Развитие этого метода тогда нашло применение для решения задач прикладной электродинамики. Метод позволял с наибольшей точностью и наименьшими затратами времени и ресурсов, учитывая очень невысокую производительность существовавшей на тот момент компьютерной техники, проводить численное моделирование сложных систем.

Математические модели гетерогенных структур земной поверхности оптимально строить с использованием именно декомпозиционного подхода [9]. В результате объединения дескрипторов автономных блоков получается матрица импеданса (математическая модель) гетерогенной структуры земной поверхности в базисах виртуальных каналов [10]. Такой подход позволяет строить широкий класс математических моделей гетерогенных структур с различными типами неоднородностей.

Исходя из развитого ранее метода автономных блоков для кусочно-неоднородных упругих сред в статьях и методиках, описанных в [11-14], позволяющих применять метод автономных блоков для создания моделей грунта, далее предлагается методика определения параметров распространения сейсмоакустической волны.

2. Построение математических моделей гетерогенных структур земной поверхности на основе декомпозиционного подхода. Область фрагмента земной поверхности (рис.1) разобьем условными границами на подобласти в виде прямоугольных параллелепипедов, которые рассматриваем как автономные блоки.

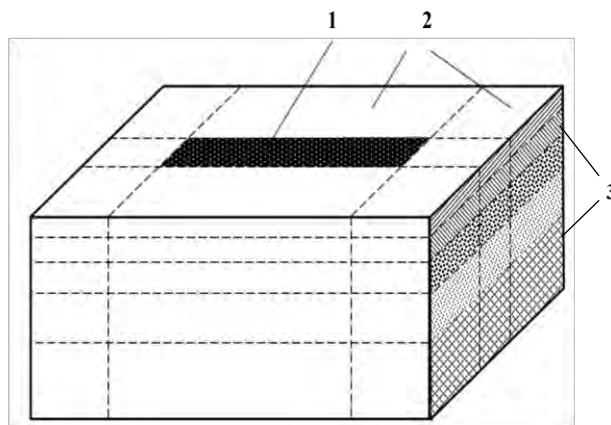


Рис. 1. Гетерогенная структура земной поверхности:
 1 – поверхность динамического нагружения (человек, транспорт и т. д.);
 2 – автономные блоки; 3 – слои моделируемой поверхности

Дескрипторы (математические описания в виде матриц импеданса Z или рассеяния S) автономных блоков определяем из решения краевых задач дифракции для системы уравнений, которым удовлетворяет сейсмоакустическое поле в объеме параллелепипеда:

$$\begin{cases} \operatorname{div} \vec{v} = -\frac{i\omega p}{c_l^2 \rho_0}, \operatorname{grad} p = \vec{H}, \\ \operatorname{rot} \vec{E} = \frac{i\omega \rho_0}{c_r^2} \vec{v} + \frac{1}{c_r^2} \vec{H}, \operatorname{rot} \vec{v} = -\frac{i\omega}{\rho_0} \vec{E}, \end{cases} \quad (1)$$

а на поверхности граней – условиям неасимптотического излучения [12-13].

Решение краевой задачи в целом (построение математической модели гетерогенной структуры фрагмента земной поверхности) находим как объединение дескрипторов автономных блоков по виртуальным каналам [15-16]. Виртуальные каналы автономных блоков могут иметь различные происхождения, главное, чтобы система собственных функций обладала полнотой на входных сечениях автономного блока. В статьях [15-16] используются виртуальные каналы Флоке, которые представляют собой прямоугольные волноводы с периодическими краевыми условиями на стенках.

3. Методика определения параметров распространения сейсмоакустического сигнала. Анализ распространения сейсмоакустической волны сводится к моделированию бесконечного полупространства. Рассмотрим волновое поле в твердой упругой сплошной слоистой среде со свободной границей. Для этого представим грунт в виде трехмерной бесконечно-периодической структуры (рис. 2).

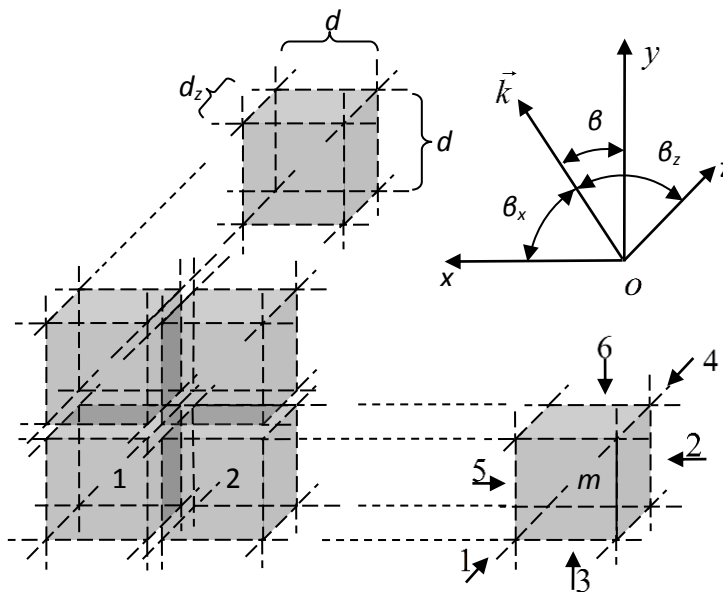


Рис. 2. Декомпозиционный подход в моделировании трехмерной периодической системы

В трехмерной периодической структуре подлежат исследованию свободные сейсмоакустические волны, которые удовлетворяют теореме Флоке. Выделив пространственный период системы d , запишем:

$$\left\{ \begin{array}{l} p(x + d_x, y, z) = p(x, y, z) \exp(-i\varphi_x); \\ \bar{v}(x + d_x, y, z) = \bar{v}(x, y, z) \exp(-i\varphi_x), \\ p(x, y + d_y, z) = p(x, y, z) \exp(-i\varphi_y); \\ \bar{v}(x, y + d_y, z) = \bar{v}(x, y, z) \exp(-i\varphi_y) \\ p(x, y, z + d_z) = p(x, y, z) \exp(-i\varphi_z); \\ \bar{v}(x, y, z + d_z) = \bar{v}(x, y, z) \exp(-i\varphi_z). \end{array} \right. \quad (2)$$

Анализ безграничной периодической структуры сводится к описанию отдельно взятого канала Флоке с условиями периодичности [14]. Рассмотрим распространение свободных колебаний вдоль оси z , поперечная структура которых в силу симметрии повторяется через период dz . Допустим, что фазы соседних колебаний, отстоящих друг от друга на расстояние dz , различаются на φz , тогда при дальнейшем смещении на mdz дополнительный фазовый сдвиг m -ой гармоники будет составлять $m\varphi z$. Для комплексных амплитуд волнового поля будут справедливы соотношения:

$$\left\{ \begin{array}{l} p(x, y, z + d_z) = p(x, y, z) \exp(-i\varphi_z); \\ \bar{v}(x, y, z + d_z) = \bar{v}(x, y, z) \exp(-i\varphi_z). \end{array} \right. \quad (3)$$

Поскольку определить, по какому закону изменяется фаза, невозможно, некоторая постоянная распространения, характеризующая быстроту изменения фазы вдоль выбранного отрезка длиной dz канала Флоке, определится как

$$\Gamma = \frac{\varphi_z}{d_z}. \quad (4)$$

Тогда для m -ой гармоники постоянная распространения будет:

$$\Gamma_m = \Gamma + \frac{2\pi m}{d_z}. \quad (5)$$

Построим базис, на котором будет производиться проектирование, таким образом, чтобы множитель $\exp(-i\frac{\varphi_z}{d_z}z)$ компенсировался. Для этого возьмем зависимости:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{p}(x, y, z) = p(x, y, z) \exp(-i\Gamma z); \\ \tilde{\bar{v}}(x, y, z) = \bar{v}(x, y, z) \exp(-i\Gamma z), \end{array} \right. \quad (6)$$

которые являются периодическими. Поскольку любая периодическая функция может быть разложена в ряд Фурье, для $\tilde{p}(x, y, z)$ и $\tilde{\bar{v}}(x, y, z)$ имеем:

$$\begin{aligned} \tilde{p}(x, y, z) &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} \tilde{p}_m(x, y) \exp(-i\frac{2\pi m}{d_z}z); \\ \tilde{\bar{v}}(x, y, z) &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} \tilde{\bar{v}}_m(x, y) \exp(-i\frac{2\pi m}{d_z}z), \end{aligned} \quad (7)$$

где
$$\tilde{\bar{v}}_m(x, y) = \frac{1}{d_z} \int_z^{z+d_z} \bar{v}(x, y, z) \exp(i(\frac{\varphi_z}{d_z} + \frac{2\pi m}{d_z}z)dz,$$

$$\tilde{p}_m(x, y) = \frac{1}{d_z} \int_z^{z+d_z} p_m(x, y, z) \exp(i(\frac{\varphi_z + 2\pi m}{d_z} z)) dz. \quad (8)$$

Получаем выражения для свободных сейсмоакустических колебаний в направлении оси z :

$$\begin{cases} \vec{v}(x, y, z) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \vec{v}_m(x, y) \exp(-i(\Gamma + \frac{2\pi m}{d_z})z), \\ p(x, y, z) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} p_m(x, y) \exp(-i(\Gamma + \frac{2\pi m}{d_z})z). \end{cases} \quad (9)$$

Или

$$\begin{cases} \vec{v}(x, y, z) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \vec{v}_m(x, y) \exp(i(\omega t - \Gamma_m z)), \\ p(x, y, z) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} p_m(x, y) \exp(-i(\omega t - \Gamma_m z)). \end{cases} \quad (10)$$

Каждая составляющая выражений (10) является пространственной гармоникой. Здесь \vec{v}_m , p_m – амплитуды пространственных m -тых гармоник, ω – круговая частота, t – время.

Как уже было сказано, базис выбирается таким образом, чтобы зависимость $\exp(-i\frac{\varphi_z}{d_z} z)$ компенсировалась. При этом поверхностные интегралы уничтожаются и сводятся к линейным алгебраическим формам [17].

Аналогично рассматриваются свободные колебания вдоль осей x и y .

Полученное разложение является одним из основных соотношений теории периодических направляющих структур. Согласно (10), свободный волновой процесс в периодической структуре в направлении оси z можно рассматривать как наложение бесконечной совокупности плоских неоднородных волн с компонентами $\vec{v}_m(x, y)$, $\tilde{p}_m(x, y)$ и постоянными распространения

$$\Gamma_m = \Gamma + \frac{2\pi m}{d_z}, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \infty. \quad (11)$$

Поскольку постоянная распространения определяет собой быстроту изменения фазы волны вдоль пространственной координаты z , плоским неоднородным волнам (10) свойственны фазовые скорости:

$$v_{\phi(m)} = \frac{dz}{dt} \quad (12)$$

Учитывая известные соотношения $\lambda = \frac{2\pi}{\Gamma}$, $f = \frac{2\pi}{\omega}$ и равенство (9), из (12)

получим

$$v_{\phi(m)} = \frac{dz}{dt} = \lambda_m \cdot f_m = \frac{\omega_m}{\Gamma + \frac{2\pi m}{d_z}}, \quad (13)$$

где λ_m , f_m – длина волны и частота m – ой гармоники соответственно.

Групповая скорость совпадает с фазовой скоростью лишь в случае одномерных сред без дисперсии. Грунт представляет собой диссипативную или поглощающую среду с

дисперсией скоростей. Определим групповую скорость или скорость пакета волн. Групповая скорость характеризуется скоростью перемещения амплитудного максимума огибающей цуга волн, поэтому

$$v_{gp} = \frac{z}{t} \quad (14)$$

или с учетом (14)

$$v_{gp} = \frac{d\omega}{d\Gamma_m} \quad (15)$$

Из (13) получим, что

$$\omega_m = v_{\phi(m)} \cdot \left(\Gamma + \frac{2\pi m}{d_z} \right) = v_{\phi(m)} \cdot \Gamma_m \quad (16)$$

Продифференцируем по Γ_m (16), получим

$$\frac{d\omega_m}{d\Gamma_m} = \Gamma_m \frac{dv_{\phi(m)}}{d\Gamma_m} + v_{\phi(m)} \quad (17)$$

Поскольку $\Gamma = \frac{2\pi}{\lambda}$, продифференцируем по λ и найдем

$$\frac{d\Gamma_m}{d\lambda_m} = \left(-\frac{2\pi}{\lambda_m^2} \right) \text{ или } d\Gamma_m = \left(-\frac{2\pi}{\lambda_m^2} \right) d\lambda_m \quad (18)$$

Подставим (18) в (17)

$$v_{gp} = \Gamma_m \frac{dv_{\phi(m)}}{\left(-\frac{2\pi}{\lambda_m^2} \right) d\lambda_m} + v_{\phi(m)} \quad (19)$$

И подставляя (11) в (19)

$$v_{gp} = \left(\Gamma + \frac{m}{d_z} \right) \cdot \frac{dv_{\phi(m)}}{\left(-\frac{1}{\lambda_m^2} \right) d\lambda_m} + v_{\phi(m)} \quad (20)$$

Групповая скорость для всех гармоник одинаковая, так как представляет собой скорость перемещения волнового пакета. Фазовая и групповая скорости характеризуют передачу энергии.

В зависимости от соотношения фазовой и групповой скоростей различают аномальную и нормальную дисперсии. Для сред с нормальной дисперсией характерно, что скорость огибающей волнового пакета распространяется медленнее любой из его составляющих, т.е. $v_{gp} < v_{\phi(m)}$. И напротив, если $v_{gp} > v_{\phi(m)}$, то это случай аномальной дисперсии.

В зависимости от величины m в (11) фазовые скорости волн $v_{\phi(m)}$ (12), называются пространственными гармониками и имеют разные знаки. Волновой процесс в периодической структуре в направлении оси z , таким образом, представляется в виде совокупности прямых

($\frac{v_{\phi(m)}}{v_{cp}} \geq 0$) и обратных ($\frac{v_{\phi(m)}}{v_{cp}} \leq 0$) волн. Последние обладают тем свойством, что фазовая и групповая скорости противоположны.

Физическое содержание пространственных гармоник заключается в том, что в области существования волнового поля можно реализовать взаимодействия одной из них с кусочно-неоднородными включениями. Будем рассматривать взаимодействие с основным типом пространственной волны в периодической структуре, которая имеет постоянную распространения Γ_0 .

На рис. 2 представлено распространение свободного сейсмоакустического поля (p, \vec{v}) в трехмерной периодической структуре в направлении некоторого вектора \vec{k} , который может быть представлен как $\vec{k} = (\cos\beta_x, \cos\beta_y, \cos\beta_z)$.

Свободный сейсмоакустический процесс будем рассматривать как наложение бесконечной совокупности плоских неоднородных волн согласно (9), где подлежит определению значение величины Γ .

Свободный сейсмоакустический процесс в трехмерной периодической структуре, как уже было сказано, подчинен теореме Флоке в форме:

$$\left\{ \begin{array}{l} p(x + d_x, y, z) = p(x, y, z) \exp(-i\varphi_x); \\ \vec{v}(x + d_x, y, z) = \vec{v}(x, y, z) \exp(-i\varphi_x); \\ p(x, y + d_y, z) = p(x, y, z) \exp(-i\varphi_y); \\ \vec{v}(x, y + d_y, z) = \vec{v}(x, y, z) \exp(-i\varphi_y); \\ p(x, y, z + d_z) = p(x, y, z) \exp(-i\varphi_z); \\ \vec{v}(x, y, z + d_z) = \vec{v}(x, y, z) \exp(-i\varphi_z). \end{array} \right. \quad (21)$$

где $\varphi_x = \Gamma_m a \cos\beta_x$, $\varphi_y = \Gamma_m b \cos\beta_y$, $\varphi_z = \Gamma_m d \cos\beta_z$; $\beta_x, \beta_y, \beta_z$ – углы ориентации направления распространения волнового процесса.

Трехмерная периодическая структура с геометрическими размерами периодической ячейки вдоль заданных осей координат dx, dy, dz показана на рис. 2. Представим ячейку периодической структуры автономным блоком с упругой средой заполнения. Тогда для матрицы импеданса автономного блока \mathbf{Z} :

$$\mathbf{b} = \mathbf{Z} \cdot \mathbf{a}, \quad (22)$$

где векторы \mathbf{a} и \mathbf{b} составлены соответственно из коэффициентов рядов Фурье, условия теоремы Флоке принимают следующий вид [12-13]:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{n(4)} = a_{n(1)} \exp(-i\varphi_x), \\ a_{n(5)} = a_{n(2)} \exp(-i\varphi_y), \\ a_{n(6)} = a_{n(3)} \exp(-i\varphi_z), \\ b_{k(4)} = b_{k(1)} \exp(-i\varphi_x), \\ b_{k(5)} = b_{k(2)} \exp(-i\varphi_y), \\ b_{k(6)} = b_{k(3)} \exp(-i\varphi_z), \quad k, n = 1, 2, \dots \end{array} \right. \quad (23)$$

Подставляя (23) в (22), получаем следующее характеристическое уравнение для определения постоянных распространения Γ_m волн в трехмерной периодической структуре:

$$\Delta(\Gamma_m) = |\mathbf{Z}_{AA} - \mathbf{H}^{-1} \cdot \mathbf{Z}_{BA} + \mathbf{Z}_{AB} \cdot \mathbf{H} - \mathbf{H}^{-1} \cdot \mathbf{Z}_{BB} \cdot \mathbf{H}| = 0, \quad (24)$$

где $\Delta(\Gamma_m)$ - определитель матрицы; $\mathbf{Z}_{AA}, \mathbf{Z}_{BA}, \mathbf{Z}_{AB}, \mathbf{Z}_{BB}$ - клетки матрицы импеданса

$\mathbf{Z} = \begin{pmatrix} \mathbf{Z}_{AA} & \mathbf{Z}_{AB} \\ \mathbf{Z}_{BA} & \mathbf{Z}_{BB} \end{pmatrix}$ (A - совокупность входных сечений автономного блока S_1, S_2, S_3 ; B -

совокупность входных сечений автономного блока S_4, S_5, S_6); $\mathbf{H} = \begin{pmatrix} \mathbf{h}_x & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{h}_y & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{h}_z \end{pmatrix}$ -

диагональная матрица с элементами:

$$h_{x(l,j)} = -i\delta_{lj}\Gamma_m \cdot a \cos\beta_x,$$

$$h_{y(l,j)} = -i\delta_{lj}\Gamma_m \cdot b \cos\beta_y,$$

$$h_{z(l,j)} = -i\delta_{lj}\Gamma_m \cdot d \cos\beta_z.$$

Решая характеристическое уравнение (24), определяем постоянную распространения Γ_0 основного типа волны в трехмерной периодической структуре.

Постоянная распространения Γ_0 сейсмоакустических волн в звукопоглощающем материале является комплексной величиной: $\Gamma_0 = \Gamma_0' - i\Gamma_0''$. Волны в упругом материале в направлении распространения z затухают по экспоненциальному закону $\exp(-\Gamma_0''z)$ (6).

Закключение. Таким образом, предложена методика определения параметров распространения сейсмоакустического сигнала (фазовая и групповая скорость, длина волны, затухание амплитуды различных частот) на основе теоремы Флоке для трехмерной периодической структуры грунта и использования математических описаний в виде матриц импеданса, полученных в результате моделирования гетерогенной структуры грунта методом автономных блоков с виртуальными каналами Флоке на гранях. Нужно отметить, что матрица импеданса (или рассеяния) может быть получена и любым другим численным методом. Метод автономных блоков предложен как наиболее экономичный и достаточно точный, по мнению автора статьи [18].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет о СЧ НИР, шифр «Лес-ПГУ» / ПГУ; рук. А. А. Кичкидов. – Пенза, 2011-2013. – 150 с.
2. Ландау, Л.Д. Теория упругости / Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц – М.: Наука. – 1965. – 248 с.
3. Слепян, Л.И. Нестационарные упругие волны / Л.И. Слепян. – Санкт-Петербург.: Судостроение. – 1972. – 189 с.
4. Аки, К. Количественная сейсмология / К. Аки, П. Ричардс. – Т.1,2. Пер с англ. – М.: Мир. – 1983. – 700 с.
5. Pilant, W.L. Elastic Waves in the Earth/ W.L. Pilant. – Amsterdam: Elsevier. – 1979. – 318 p.
6. Петрашень, Г.И. Основы математической теории распространения упругих волн / Г.И. Петрашень // Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн. – 1978. – №18. – 248 с.
7. Иссакович, М.А. Общая акустика / М.А. Иссакович. – М.: Наука. – 1973. – 496 с.
8. Никольский, В.В. Электродинамика и распространение радиоволн: учебное пособие для радиотехнических специальностей вузов. 5-е изд. / В.В. Никольский, Т.И. Никольская. – М.: Эдиториал УРСС, 2011. – 544 с.
9. Голованов, О.А. Автономные блоки с виртуальными каналами Флоке и их применение для решения прикладных задач электродинамики / О.А. Голованов // Радиотехника и электроника. – 2006. – Т.51. №12. – С.1 – 8.
10. Голованов, О.А. Построение дескрипторов нелинейных универсальных автономных блоков с каналами Флоке итерационным методом на основе проекционной модели / О.А. Голованов, Г.С. Макеева, А.А. Туманов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2006. – №5(26). – С. 157 – 166.
11. Прокина, Н.В. Подход к применению автономных блоков в исследованиях распространения поверхностных сейсмических волн от движущихся объектов./ А.А. Кичкидов, Н.В. Прокина, С.М. Захаров // Материалы XI научно-технической конференции «Проектирование боеприпасов». – М.: Издательство ФГУП «НТЦ «Информтехника». – 2013. – Т. 1. – С. 120 – 124. – (С)
12. Прокина, Н.В. Декомпозиционный подход в моделировании распространения сейсмических волн в земной поверхности / О.А. Голованов, А.А. Кичкидов, Н.В. Прокина, С.А. Тарасов // Датчики и системы: методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации (Датчики и системы - 2012): Труды международной научно-технической конференции с элементами научной школы для молодых ученых (г. Пенза, 22-26 октября 2012) – Пенза: Изд-во ПГУ. – 2012. – С. 149-153.
13. Прокина, Н.В. Математическое моделирование распространения сейсмических волн методом автономных блоков / А.А. Кичкидов, О.А. Голованов, Н.В. Прокина // Современные охраняемые технологии и средства обеспечения комплексной безопасности объектов: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции (Россия, Пенза-Заречный, 18-20 сентября 2012). – Пенза: Изд-во ПГУ. – 2012. – С. 280 – 283.
14. Никольский, В.В. Вариационные методы для задач дифракции/ В.В. Никольский // Известия ВУЗов. Радиофизика. – 1977. – Т.20. №1. – С. 5 – 20.

15. Прокина, Н.В. Моделирование волнового поля в приземной поверхности для сейсмических систем управления подрывом боеприпасов. / А.А. Кичкидов, Н.В. Прокина, В.Ф. Ульянов // Рдултовские чтения-2012: мат. Третьей Всерос. науч.-техн. конф., 10 – 12 октября 2012 г., Санкт-Петербург. – СПб.: БГТУ, 2013. – С. 153 – 160.
16. Голованов, О.А. Декомпозиционный подход к решению задач прикладной электродинамики и акустики с применением базовых элементов в виде автономных блоков / О.А. Голованов, Г.С. Макеева, А.И. Грачев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Сер. Технические науки. – 2006. – №6 (27). – С. 215 – 225.
17. Михлин, С.Г. Вариационные методы в математической физике / С.Г. Михлин. – М.: Наука, 1970. – 512с.
18. Прокина, Н.В. Методы моделирования в исследованиях гетерогенных структур земной поверхности / Н.В. Прокина // Математическое моделирование в машино- и приборостроении: сборник научных трудов Пензенского государственного университета. – Пенза: Изд-во ПГУ. – 2011. – Спецвыпуск №6.– С. 3–11. – (С)

UDK 538.5

**DECOMPOSITION APPROACH IN EARTH SURFACE MODELING
FOR INFORMATION AND RECONNAISSANCE SYSTEM**

Natalya V. Prokina

PhD, Senior Researcher,

Federal State Institution “3 Central Researcher Institute” Russian Defense Ministry,
10, Pogonyi proezd Str, 105567, Moscow, Russia, e-mail: nataly_pr@mail.ru

Alexey A. Shubenin

PhD, Head. Laboratory,

Federal State Institution “3 Central Researcher Institute” Russian Defense Ministry,
10, Pogonyi proezd Str, 105567, Moscow, Russia, e-mail: ashubenin@yandex.ru

Abstract. The article presents a methodology for applying the decomposition approach (the application of the method of Autonomous blocks with virtual Floque channels on the edges) in the simulation of wave propagation on the earth's surface when exposed to surface facilities. The technique can be used by developers seismoacoustic information and reconnaissance systems, in particular in the development of algorithms of detection and recognition. The method of Autonomous blocks allows to simulate wave picture of different soils and localities, to determine such parameters of seismic acoustic signals, phase and group velocities, attenuation, length and frequency of its components.

Keywords: decomposition, autonomous blocks, seismoacoustic waves

References

1. Otchet o SCH NIR, shifr «Les-PGU» / PGU; head: A.A. Kichkidov. Penza, 2011-2013.-150 p. (in Russian)

2. Landau L.D. Teoriya uprugosti [Elasticity theory] / L.D. Landau, E.M. Livshic-M.: Nauka, 1965. 248 p. (in Russian)
3. Slepyan L.I. Nestacionarnyye uprugie volny [Unsteady elastic waves] / Sankt-Peterburg.: Sudostroenie. 1972. 189 p. (in Russian)
4. Aki K. Kolichestvennaya seysmologiya [Quantitative seismology] / K. Aki, P. Richards. № 1, 2. Moscow. 1983. (in Russian)
5. Pilant W.L. Elastic Waves in the Earth /W.L. Pilant. – Amsterdam: Elsevier. 1979. 318p.
6. Petrashen G.I. Osnovi matematicheskoy teorii rasprostraneniya uprugich voln [The foundations of the mathematical theory of elastic wave propagation] / Woprosy dinamicheskoy teorii rasprostraneniya seysmicheskikh voln. = Questions of the dynamic theory of seismic wave propagation. 1978. № 8. 248 p. (in Russian)
7. Issakovich M.A. Obshaya akustika [Acoustic]. Moscow. 1973. 496 p. (in Russian)
8. Nikolskiy W.W. Elektrodinamika i rasprostranenie radiovoln: uchebnoe posobie dlya radiotekhnicheskikh specialnostey wuzov [Electrodynamics and Propagation: book for radio engineering specialties universities] / W.W. Nikolskiy, T.I. Nikolskaya. Moscow. 2011. 544p. (in Russian)
9. Golovanov O.A. Avtonomnyie bloki s wirtualnimi kanalami Floke i ih primeneniye dlia resheniya prikladnykh zadach yelektrodinamiki [Autonomous blocks with virtual channel and their application for the solution of applied problem in electrodynamics] / Radiotekhnika i elektronika = Radio and Electronics. 2006. T.51. № 12. Pp.1-8. (in Russian)
10. Golovanov O.A. Postroeniye deskriptorov nelinyenykh universalnykh avtonomnykh blokov s kanalami Floke iteratsionnyim metodom na osnove proektsionnoy modeli [Construction of universal handles nonlinear autonomous blocks with Floque-channel iterative method based on projection model] / O.A.Golovanov, G.S. Makeeva, A.A. Tumanov // Izvestiya vyisshykh uchebnykh zavedeniy. Povolshskiyi region. Estestvennyie nauki. = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2006. № 5(26). Pp. 157-166 (in Russian)
11. Prokina N.V. Podhod k primeneniiy avtonomnykh blokov v issledovaniyakh rasprostraneniya poverhnostnykh seysmicheskikh voln ot dvizushihhsya obektov [Approach to the use of autonomous blocks in studies of surface waves by moving objects] / A.A. Kichkidov, N.V. Prokina, S.M. Zaharov // Materialy XL nauchno-tehnicheskoi konferentsii «Proektirovaniye boepripasov» = Materials Sciences and Technology Conference «Ammunition Design». Moscow. 2013. T.1. Pp. 120 – 124. (in Russian)
12. Prokina N.V. Dekompozitsionnyi podhod v modelirovaniy rasprostraneniya seysmicheskikh voln v zemnoi poverhnosti [Decomposition approach in modeling seismic wave of Earth surface] / O.A. Golovanov, A.A. Kichkidov, N.V. Prokina, S.A. Tarasov//Datchiki i sistemy: metody, sredstva I tehnologii polucheniya i obrabotki izmeritelnoi informatsii (Datchiki I sistemy – 2012): Trudy mejdunarodnoi nauchno – tehnicheskoi konferentsii s elementami nauchnoi shkoly dlya molodykh uchenykh = Sensors and systems: methods, facilities and technologies of receiving and processing of measuring information (Sensors and systems - 2012): Works of the international scientific and technical conference with elements of school of sciences for young scientists (Penza, on October 22-26, 2012) Penza: Izd-vo PGU. 2012. Pp. 149-153. (in Russian)
13. Prokina N.V. Matematicheskoye modelirovaniye rasprostraneniya seysmicheskikh voln metodom avtonomnykh blokov [Mathematical modeling of distribution of seismic waves by method of

- autonomous blocks] / A.A. Kichkidov, O.A. Golovanov, N.V. Prokina// *Sovremennye ohrannye tehnologii i sredstva obespecheniya kompleksnoi bezopasnosti obektov: materialy 19 Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferencii = Modern security technologies and means of ensuring of complex safety of objects: materials IX of the All-Russian scientific and practical conference (Russia, Penza-Zarechny, on September 18-20, 2012). Penza. 2012. Pp.280-283. (in Russian)*
14. Nikolskiy V.V. *Variacionnye metody dlya zadach difrakcii [Variation methods for problems of diffraction] / Izvestiya vyischiykh uchebnykh zavedeniy. Radiofizika = University proceedings. Radiophysics. 1977. T.20. № 1. Pp.5-10. (in Russian)*
 15. Prokina N.V. *Modelirovanie volnovogo polya v prizemnoy poverhnosti dlya seysmicheskikh system upravleniya podryvom boepripisov [Modeling of the wave field in a ground surface for seismic control systems of blasting ammunitions] / A.A.Kichkidov, N.V. Prokina, V.F. Ulyanov // Rdultovskie chteniya – 2012: mat. Tretey Vseros. nauch. – tehn. konf. = Rdultovsky readings – 2012: materials Third All-Russian Science and Technical Conference, 10-12 October 2012, Sankt–Petersburg. 2013. Pp.153 – 160. (in Russian)*
 16. Golovanov O.A. *Dekompozitsionnyi podhod k resheniyu zadach prikladnoy elektrodinamiki i akustiki s primeneniem bazovykh elementov v vide avtonomnykh blokov [Decomposition approach to the solution of problems of applied electrodynamics and acoustics with application of Basic Elements in the form of autonomous blocks] / O.A.Golovanov, G.S. Makeeva, A.I. Grachev// Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povoljskiy region. Ser. Tehnicheskie nauki = University proceedings. Volga region. Technical sciences., 2006. no. 6 (27). Pp. 215 – 225. (in Russian)*
 17. Mihlin S.G. *Variacionnye metody v matematicheskoy fizike [Variation methods in mathematical physics] / S.G. Mihlin. M.: Nauka, 1970. – 512 p. (in Russian)*
 18. Prokina N.V. *Metody modelirovaniya v issledovaniyakh geterogennykh struktur zemnoy poverhnosti [Modeling methods in researches of heterogeneous structures of a terrestrial surface] / Matematicheskoe modelirovanie v mashino- i priborostroenii: sbornik nauchnykh trudov Penzenskogo gosudarstvennogo universiteta = Mathematical modeling in machine and instrument making: collection of scientific works of the Penza state university. Penza: 2011. Special issue No. 6. Pp. 3 – 11. (in Russian)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ВИРТУАЛЬНОГО ЦЕНТРА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Болодурина Ирина Павловна

Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО "Оренбургский государственный университет", 460018 г. Оренбург, пр. Победы 13, e-mail: prmat@mail.osu.ru

Парфёнов Денис Игоревич

К.т.н., начальник отдела, ФГБОУ ВО "Оренбургский государственный университет", 460018 г. Оренбург, пр. Победы 13, e-mail: fdot_it@mail.osu.ru

Аннотация. Для эффективного доступа к большим массивам данных (BigData) необходимо обеспечивать минимальное время отклика сервиса. Для достижения поставленной цели требуется разработка моделей и алгоритмических решений, способных оптимизировать размещение ключевых ресурсов: виртуальных машин, данных, приложений в хранилищах облачных систем.

Ключевые слова: облачные вычисления, виртуальные центры обработки данных, программно-управляемые устройства хранения

Введение. В настоящее время проблемы эффективного использования имеющихся вычислительных ресурсов являются весьма актуальной задачей. Прежде всего, это связано с тем, что в мировых корпоративных и частных центрах обработки данных (ЦОД) накоплен колоссальный объем вычислительных мощностей. Для снижения затрат на содержание такой значительной инфраструктуры в ЦОД применяют методы виртуализации ресурсов и передают в совместное использование часть имеющихся ресурсов. При этом конечные пользователи получают распределенную инфраструктуру, включающую различные гетерогенные вычислительные ресурсы и сервисы для обработки «больших» данных [6] с использованием сети передачи данных [1, 16].

Современные облачные вычислительные ресурсы имеют высокую структурную сложность. Для описания организации взаимодействия между предметно-ориентированными программными сервисами и распределенными источниками данных в рамках сервис-ориентированной вычислительной инфраструктуры в работах А.В. Бухановского, С.В. Ковальчука [2, 7] используется подход, основанный на описании рабочих потоков (Workflow). Однако такой подход не позволяет использовать возможности самоорганизации ресурсов при управлении инфраструктурой для обеспечения оптимальной производительности приложений. Как правило, для управления ресурсами используются простейшие классические алгоритмы планирования вычислительных заданий, представляющие собой сочетания алгоритма обратного заполнения Backfill [5] с методами их распределения на устройства First Fit или Best Fit [2]. Существенным недостатком перечисленных алгоритмов является недостаточно эффективная загрузка ресурсов системы. Средняя загрузка составляет 50-60% от номинальных возможностей инфраструктуры, что, очевидно, является недостаточным. Существующие алгоритмы планирования и распределения ресурсов не учитывают топологию системы, коммуникационные схемы

взаимодействия запускаемых приложений. Кроме этого, в алгоритмах не учитываются структура и порядок доступа к данным.

В состав ресурсов, предоставляемых облачными платформами, входят различные объекты доступа, при этом взаимодействие между ними имеет приоритетное значение для оперативного удовлетворения потребностей конечных пользователей. Требования к организации предоставления ресурсов меняются постоянно в процессе работы облачных приложений. При этом важным аспектом является автоматизация управления инфраструктурой облачной системы: создание виртуальных машин, реконфигурация хранилищ данных и размещение объектов.

Основным недостатком существующих облачных платформ является слабая организация динамического управления ресурсами, связанная с хранилищем данных [5]. В проведенном нами исследовании разработан подход, основанный на динамическом управлении ресурсами с использованием самоорганизующихся методов.

Анализ научно-информационных источников по проблеме исследования [3, 4, 10, 11, 13-15] показал, что на данный момент отсутствуют эффективные алгоритмические решения по планированию ресурсов облачных платформ, включая виртуальные машины, системы хранения данных, облачные сервисы и проблемно-ориентированные приложения, применяемые в облачных платформах, не используют принципы самоорганизации и недостаточно эффективны относительно масштабируемости и сбалансированности. Это подтверждает новизну решений проведенного исследования.

2. Теоретическая часть. Для более детального описания характеристик основных объектов облачной системы нами реализована структурная модель, описывающая основные элементы виртуального центра обработки данных. Основой структурной модели является программно-конфигурируемая сеть, которая может быть представлена в виде взвешенного ориентированного мультиграфа:

$$NVDC = (Nodes, Links), \quad (1)$$

$Nodes = \{Node_i\}_{i=1, \overline{N}}$ – множество сетевых устройств (узлов / серверов / и т.д.);

$Links = \{Link_j\}_{j=1, \overline{M}}$ – множество дуг, представляющих собой сетевое соединение.

Ребра мультиграфа $Links_k = \{(p_{ki}, p_{kj})\}$ это двусторонние сетевые соединения между портами сетевых устройств виртуального ЦОД.

Каждое сетевое устройство характеризуется следующим кортежем:

$$Node_i = (L_i, P_i, C_i, M_i, T_i) \quad (2)$$

L_i – множество дуг, исходящих из вершины; $P_i : L_i \rightarrow Z^+ \cup \{0\}$ – функция, которая характеризует текущую задержку для каждой дуги; $C_i : L_i \rightarrow Z^+ \cup \{0\}$ – пропускная способность; $M_i : L_i \rightarrow Z^+ \cup \{0\}$ – максимальная пропускная способность; $T \in \{host, switch\}$ – тип устройства.

Структурная модель виртуального ЦОД может быть определена как направленный мультиграф:

$$VDC = (Seg, Connect(t)), \quad (3)$$

где вершины графа $Seg = \{Seg_1, Seg_2, \dots, Seg_s\}$ – множество разделенных сегментов (автономных систем), образованных в процессе работы облачных приложений для эффективной изоляции потоков данных и оптимального использования физических ресурсов центра обработки данных; дуги графа $Connect(t) = \{(Seg_i, Seg_j)\}$ – направленная связь между сегментами через программно-конфигурируемую сеть.

Каждый сегмент $Seg_k \in Seg$ распределенной программно-конфигурируемой инфраструктуры может быть описан в виде взвешенного неориентированного мультиграфа:

$$Seg_k = (Devices_k, Links V_k, Flows_k(t)), \quad (4)$$

где узлами графа являются устройства $Devices_k = \{Devices_{k,1}, \dots, Devices_{k,n}\}$, входящие в состав выбранного сегмента Seg_k сетевой топологии виртуального ЦОД; $Links V_k = \{Links V_{k,1}, \dots, Links V_{k,n}\}$ - временные виртуальные сетевые соединения, образуемые на время взаимодействия устройств в процессе выполнения задачи; $Flows_k(t)$ - потоки данных облачных приложений, перемещаемые в момент времени t в пределах образованного сегмента Seg_k между устройствами виртуального ЦОД.

Вычислительные узлы $Node_{ki} \in Nodes_k$ в современном понимании могут иметь различные назначения в инфраструктуре ЦОД. Опишем основные виды узлов как объединение множеств:

$$Node_{ki} = VM_{ki} \cup Control_{ki} \cup GW_{ki} \cup B_{ki} \cup Stg_{ki} \quad (5)$$

где $VM_k = \{VM_{k1}, VM_{k2}, \dots, VM_{kz_k}\}$ – виртуальные машины, предназначены для запуска приложений и сервисов;

$C_k = \{C_{k1}, C_{k2}, \dots, C_{kz_k}\}$ – контролеры OpenFlow, позволяют осуществлять мониторинг и динамическую реконфигурацию топологии сети ЦОД;

$GW_k = \{GW_{k1}, GW_{k2}, \dots, GW_{kw_k}\}$ – шлюзы, являются входной точкой между сегментами сети и глобальными сетями;

$B_k = \{B_{k1}, B_{k2}, \dots, B_{kb_k}\}$ – балансировщики OpenFlow, отвечают за распределение нагрузки по все виртуальной сети ЦОД;

$Stg_k = \{Stg_{k1}, Stg_{k2}, \dots, Stg_{kh_k}\}$ – хранилища данных (NAS/SAN), применяются для распределенного хранения образов виртуальных машин и информации различной структуры, необходимой для работы сервисов и приложений.

Каждый вычислительный узел $Node_{ki} \in Nodes_k$ имеет следующие параметры и динамические характеристики:

$$Node_{ki} = (M_{ki}, D_{ki}, Core_{ki}, S_{ki}, m_{ki}(t), d_{ki}(t), s_{ki}^{node}(t)) \quad (6)$$

где $M_{ki} \in N$ и $D_{ki} \in N$ – соответственно размер оперативной памяти (Мб) и емкость диска (Мб); $Core_{ki} \in N$ – число вычислительных ядер; $S_{ki} \in R^+$ – производительность ядер; $m_{ki}(t) \in [0, 1]$ и $d_{ki}(t) \in [0, 1]$ – время отклика; $s_{ki}^{node}(t) \in \{ "online", "offline" \}$ – состояние узла.

На каждом узле есть очередь задач $Q_{kij}^{node}(t) = \{Q_{kije}^{node}(t)\}$. Она используется для обеспечения качества обслуживания в соответствии с минимальной гарантированной пропускной способностью и максимальной задержкой для данного сегмента сети.

$$Q_{kije}^{node}(t) = (MinB_{kije}^{node}(t), MaxD_{kije}^{node}(t)), \quad (7)$$

где $MinB_{kije}^{node}(t) \in N \cup \{0\}$ and $MaxD_{kije}^{node}(t) \in N \cup \{0\}$ представляют собой соответственно минимальную пропускную способность и максимальную задержку для соответствующей очереди порта (в мс), которые были созданы для обеспечения механизма QoS.

Предлагаемый подход. Ранее нами рассматривались решения для облачных хранилищ данных, обеспечивающих миграцию данных, а также алгоритмы размещения данных на устройствах [7, 8]. Учитывая новую парадигму программно-управляемых хранилищ, предлагаемые концепции требуют доработки в части определения типов размещаемых данных относительно их структуры. В ходе исследования нами проведена классификация данных, размещаемых на устройствах в сетевой среде. На основе матрицы соответствий нами построен алгоритм, позволяющий определять структурированность получаемых данных для определения конечного способа размещения (CXД/SQL/NOSql), вида физического устройства (HDD или SSD), так же непосредственный выбор самого оптимального устройства. Таким образом, размещаемые в хранилище данные можно представить в виде структуры:

$$Data = (TypeS, TypeD, RDisk), \quad (8)$$

где $TypeS$ - способ размещения; $TypeD$ - вид физического устройства; $RDisk$ – физическое устройство хранения.

В ходе исследования установлено, что размещение данных на физических устройствах имеет ряд ограничений, влияющих как на производительность операции по чтению/записи данных, так и на процесс оптимизации расположения данных на устройствах. Для нейтрализации установленного ограничения предлагается применять программно-управляемые хранилища данных. Данный вид хранилища можно представить в виде следующей структуры:

$$SoftStg = (Vm, Lan, Stype, Dtype, RDisk(t), Vdisk), \quad (9)$$

где Vm – виртуальная машина или сетевой контейнер; Lan – скорость доступа сетевого интерфейса, $Stype$ – поддерживаемый способ размещения данных; $Dtype$ вид физического устройства, на которых будет размещаться виртуальная машина; $RDisk(t)$ конкретное физическое устройство, содержащее виртуальную машину в данный момент времени t ; $Vdisk$ – общий объем хранилища данных.

Преимуществом такого размещения данных является возможность миграции хранилища между физическими устройствами. При этом связи и доступность данных со стороны облачной платформы остаются непрерывными, так как соединение осуществляется с виртуальным хранилищем, а не физическим устройством.

Концепция программно-управляемых хранилищ строится так же на принципах самоорганизации на базе абстракций. В настоящем исследовании использована модель

вычислительных ресурсов облачной системы, разработанная ранее. В дополнение к существующим объектам облачной инфраструктуры в модель введены понятия агента и узла управления. Агент представляет собой вычислительный узел облачной системы, который может выступать в роли вычислительного узла *Snode*, системы хранения данных *Sstg*, сетевого хранилища данных *Snas*. При этом в любой момент времени агент может стать узлом управления. Это возможно благодаря кластеризации вычислительных узлов.

В основу самоорганизации программно-управляемого хранилища данных положена адаптивная модель динамической реконфигурации адаптации к изменениям ресурсов. Это помогает оптимизировать организационную структуру облачной платформы, а именно алгоритмы поиска оптимальных узлов управления, а так же выделение групп управления. Предлагаемая нами модель управления состоит из двух частей: узлов и ресурсов. При формировании программно-управляемых хранилищ на каждом виртуальном вычислительном узле запускается программное обеспечение, отвечающее за обмен техническими данными об устройствах. Обмен данными осуществляется в пределах группы узлов, осуществляющих один способ хранения данных. При этом среди группы узлов выбирается наименее загруженный узел, выступающий в роли узла управления. Такой подход позволяет снизить риск деградации управляющего узла во время работы. Тем не менее, если происходит потеря связи с управляющим узлом, у оставшихся в группе виртуальных машин всегда присутствуют данные друг о друге, что позволяет произвести автоматически выбор нового узла управления и делегировать ему полномочия, что так же снижает риски отказов системы управления. Помимо задачи организации обмена и управления хранилищами своей группы, управляющий узел осуществляет взаимодействие с узлами управления других групп для поддержания актуальной информации о состоянии всей системы в целом. Таким образом, вся система программно-управляемых хранилищ построена по иерархическому сетевому принципу, включающему три базовых уровня:

- оперативный доступ;
- управления в группе;
- обмена данными всей системы в целом.

На базе описанной концепции программно-управляемых хранилищ нами реализован алгоритм размещения данных в программно-управляемых хранилищах.

3. Реализационная часть. Конкурентным преимуществом разработанного алгоритма управления программно-управляемым хранилищем данных по сравнению с имеющимися аналогами является эвристический анализ новых типов данных в процессе загрузки файлов в систему облачной платформы. При этом, благодаря виртуализации хранилища, осуществляется прозрачное для клиента зеркальное дублирование данных на несколько устройств хранения, что обеспечивает увеличение скорости размещения для обеспечения целостности и резервирования данных. Формирование программно-управляемых самоорганизующихся хранилищ данных на базе виртуальных машин и контейнеров позволяет не только снизить риски, связанные с потерей или недоступностью данных, но и обеспечивает интеллектуальный анализ востребованности данных, на базе которого формируются карты размещения виртуальных машин и контейнеров. В основу алгоритма размещения данных в программно-управляемых хранилищах положена модель, позволяющая описать структуру и связи виртуальных устройств, машин и контейнеров с

данными. Модель основана на мультиагентном подходе в организации устройств хранения. Агенты осуществляют сбор данных о состоянии системы. Полученная информация подвергается анализу с применением алгоритмов машинного обучения (Data Mining) [6, 9]. На выходе проведенного анализа получается карта расположения устройств внутри самой облачной платформы с привязкой к физическим устройствам, а также формируется карта востребованности самих данных. Путем анализа двух карт и эвристического алгоритма прогнозирования система управления облаком принимает решение о реконфигурации или перемещении устройств виртуального хранилища, а так же о ротации и перераспределении данных между различными узлами системы. При этом карты размещения являются динамическими объектами, формируемыми не только по мере возникновения событий загрузки или чтения данных, но с заданным интервалом времени. Обобщенная блок-схема работы алгоритма представлена на рисунке 1.

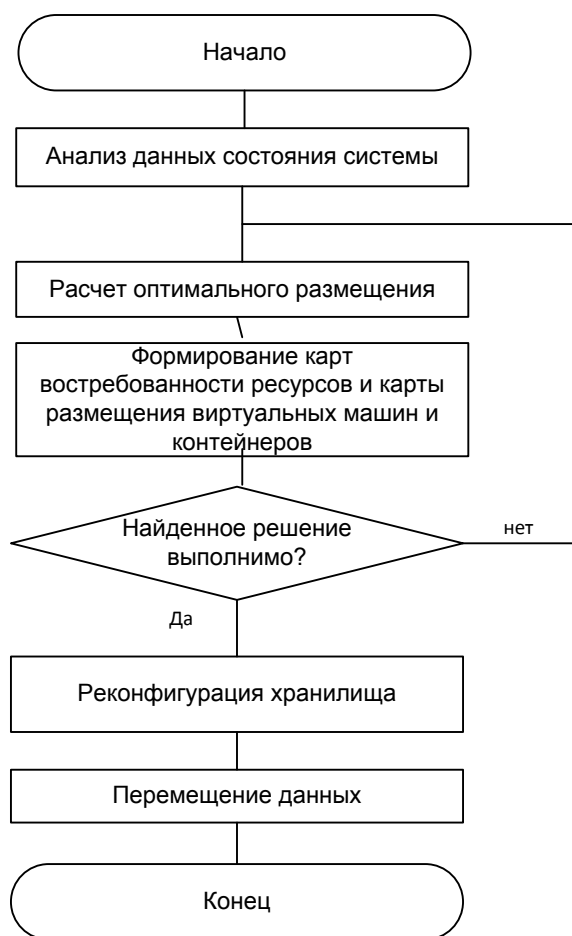


Рис. 1. Обобщенная блок-схема алгоритма размещения данных в программно-управляемых хранилищах облачной системы

За счет эффективного перераспределения потоков данных между запущенными экземплярами виртуальных машин и контейнеров обеспечивается не только должное качество обслуживания, но и компактное расположение устройств.

При работе с сервисами, размещенными в облачной системе, не исключена ситуация, при которой для обслуживания запроса пользователя могут быть задействованы сразу несколько хранилищ данных с различными характеристиками доступа. При работе с такими

данными облачной системе необходимо осуществлять подготовку доступа для оптимизации времени чтения. Для этого разработанный алгоритм размещения данных в программно-управляемых хранилищах в ходе работы строит ряд внутренних правил, тем самым подстраивая под поток запросов пользователей каждый экземпляр хранилища. В результате, план выполнения запросов с одинаковой интенсивностью в разные моменты времени может быть распределен по-разному. Перестроение правил происходит в соответствии с востребованностью ресурсов, что позволяет эффективно управлять распределением и динамической балансировкой нагрузки.

4. Экспериментальная часть. Для оценки эффективности алгоритма размещения данных в программно-управляемых хранилищах, построенного с учетом представленной модели программно-управляемого хранилища данных, нами проведено исследование работы облачной системы, построенной на базе Openstack [12] с различными параметрами. При этом в качестве эталонных данных для сравнения в эксперименте использовались типовые алгоритмы, применяемые в облачных системах, а так же традиционные системы хранения. Для экспериментального исследования создан прототип облачной среды, включающей в себя основные узлы, а так же программные модули для разработанных алгоритмов, модифицирующие обработку запросов пользователей к данным в программно-управляемом хранилище.

В облачной системе OpenStack реализован модуль, применяющий разработанный алгоритм размещения данных в программно-управляемых хранилищах для рационального использования вычислительных ресурсов облачной системы и эффективного распределения виртуальных машин по физическим узлам, а так же связанные с ними данные. В ходе эксперимента для анализа данных создан поток запросов, аналогичный реальному трафику облачной инфраструктуры, основанный на данных лог-записей доступа к определенным видам ресурсов с классификацией по типам данных и структуре запроса. Ретроспектива воспроизводимых запросов составила 3 года, при этом для нагрузочного эксперимента применялись усредненные данные. Полученные данные распределены на пуле виртуальных машин по следующим критериям: тип клиента, осуществившего обращение к данным; тип сервиса, востребованного при подключении. При этом количество одновременных запросов, поступивших в систему, составило 100000, что соответствует максимальному числу потенциальных пользователей системы.

Все сформированные запросы воспроизводились последовательно на трех экспериментальных площадках. Данное ограничение введено в связи необходимостью сопоставления результатов с физическими системами хранения данных, не способных к реконфигурации. Основным отличием экспериментальных площадок является использование твердотельных накопителей.

Помимо площадок для анализа эффективности, сформированы 3 группы экспериментов, направленных на интенсивное выполнение операции по чтению (эксперимент 1), записи (эксперимент 2) и одновременных операциях чтения и записи данных (эксперимент 3) (рис. 2-4).

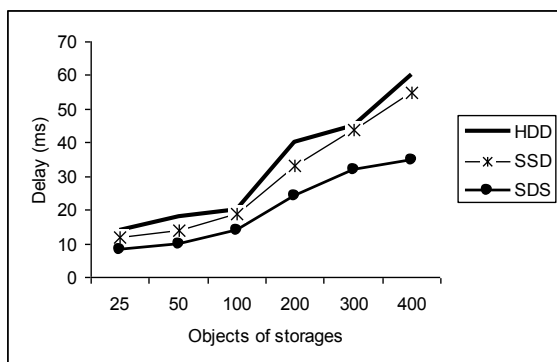


Рис. 2. Чтение данных

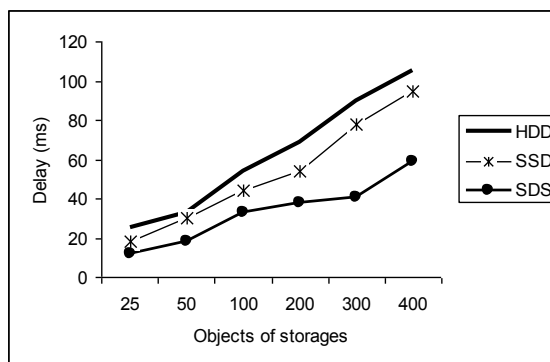


Рис. 3. Запись данных

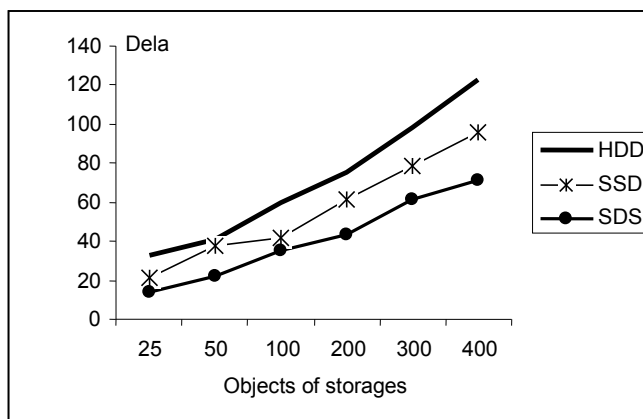


Рис. 4. Чтение и запись данных

Время эксперимента составило один час, что соответствует наиболее длительному периоду времени пиковой нагрузки системы, зафиксированному в реальном трафике. Проведя анализ данных экспериментальных исследований, авторы доказали, что программно-управляемые хранилища более эффективны, независимо от типа физических устройств.

Полученные данные подтверждают целесообразность применения разработанного алгоритма и программно-управляемых хранилищ данных для предоставления эффективного к сервисам облачных систем. По результатам проведенных экспериментов можно сделать вывод о снижении на 20-25% количества отказов в обслуживании при размещении данных в программно-управляемых хранилищах данных.

Кроме того, за счет оптимального выделения ресурсов на каждом вычислительном узле гарантировано обеспечение совместной работы всех запущенных экземпляров приложений, что удовлетворяет требованиям потенциальных пользователей. При этом благодаря работе алгоритма размещения данных в программно-управляемых хранилищах возможно высвобождение от 20 до 30% выделенных ресурсов вычислительных узлов. Таким образом, предложенный алгоритм может использоваться для произвольных архитектур вычислительных систем, в том числе с неоднородной конфигурацией физических узлов и виртуальных машин.

5. Заключение. Таким образом, оценивая общий результат работы алгоритма размещения данных в программно-управляемых хранилищах, можно получить прирост производительности от 20 до 25% по сравнению с физическими системами хранения и виртуальными машинами, используемыми в качестве системы хранения данных, что

является весьма эффективным при большой интенсивности запросов. Кроме того, сокращение числа выделенных виртуальных ресурсов позволяет более эффективно масштабировать облачную систему и обеспечить запас надежности при резком увеличении интенсивности использования выделенных приложений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (научные проекты № 16-37-60086 мол_а_дк и № 16-07-01004).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойченко И.В., Корытников С.В. Управление ресурсами в сервис-ориентированных системах типа «приложение как сервис» // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2010. №1-2. С. 156-160.
2. Бухановский А.В., Васильев В.Н., Виноградов В.Н., Смирнов Д.Ю., Сухоруков С.А., Яппаров Т.Г. CLAVIRE: перспективная технология облачных вычислений второго поколения // Известия вузов. Приборостроение. 2011. №10. С. 7-14.
3. Грибова В.В., Клещев А.С., Крылов Д.А., Москаленко Ф.М., Тимченко В.А., Шалфеева Е.А. Базовая технология разработки интеллектуальных сервисов на облачной платформе IASPaas. Часть 2. Разработка агентов и шаблонов сообщений // Программная инженерия. 2016. №1. С. 14-20. DOI: 10.17587/prin.7.14-20
4. Грибова В.В., Клещев А.С., Москаленко Ф.М. и др. Облачная платформа IASPAAS: текущее состояние и перспективы развития / Информационные и математические технологии в науке и управлении. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. – №2, 2016. – С. 94-102.
5. Жуков А.В. Некоторые модели оптимального управления входным потоком заявок в интранет-системах. // Материалы 6-й научно-технической конференции «Новые информационной технологии в ЦБП и энергетике», Петрозаводск, 2004. С. 87-90.
6. Майер-Шенбергер В., Кукьер К. Большие данные. Революция, которая изменит то, как мы живем, работаем, мыслим. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014. – 240 с.
7. Парфёнов Д.И. Сравнение эффективности алгоритмов динамического распределения данных в облачных хранилищах системы дистанционного обучения // Системы управления и информационные технологии, № 4.1 (50), 2012. – С. 163-168
8. Тарасов В.Н., Полежаев П.Н., Шухман А.Е., Ушаков Ю.А., Коннов А.Л. Математические модели облачного вычислительного центра обработки данных с использованием OpenFlow // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2012. – № 9. – С. 150-155.
9. Устименко О.В. Перспективы развития распределённого хранения сверхбольших объёмов данных // Материалы XVIII международной научной конференции объединения молодых ученых и специалистов ОИЯИ (ОМУС), Дубна, 2014. С. 198-207.
10. Bocchi E., Drago I.; Mellia M. Personal Cloud Storage Benchmarks and Comparison // IEEE Transactions on Cloud Computing. 2015. Vol. 99. DOI: 10.1109/TCC.2015.2427191
11. Darabseh, A., Al-Ayyoub, M., Jararweh, Y., Benkhelifa, E., Vouk, M., Rindos, A. “SDStorage: A Software Defined Storage Experimental Framework” Proc. of Cloud Engineering (IC2E), Tempe: IEEE Press, 2015. P.341- 346.

12. OpenStack Open Source Cloud Computing Software. Режим доступа: <http://www.openstack.org/> (дата обращения 01.12.2015).
13. Plakunov A., Kostenko V. "Data center resource mapping algorithm based on the ant colony optimization" Proc. of Science and Technology Conference (Modern Networking Technologies) (MoNeTeC), Moscow: IEEE Press, 2014. P.1- 6.
14. Singh A., Korupolu M., Mohapatra D. "Server-storage virtualization: integration and load balancing in Data Centers" Proc. of the 2008 ACM/IEEE Conf. on Supercomputing. Austin: IEEE Press, 2008. P.1- 12.
15. Wu X., Kumar V., Ross J., et. c. Top 10 algorithms in data mining // Journal Knowledge and Information Systems DOI 10.1007/s10115-007-0114-2
16. Wuhib F., Stadler, R., Lindgren H. Dynamic resource allocation with management objectives - Implementation for an OpenStack cloud // Network and service management, 2012 8th international conference and 2012 workshop on systems virtualization management, 2012. – С. 309-315.

UDK 519.687

MODELING OBJECTS OF THE VIRTUAL DATA CENTER

Irina P. Bolodurina

Dr., Professor, Head. Department of Applied mathematics Orenburg State University
Pobedy avenue, 13, 460018, Orenburg, Russia, e-mail: prmat@mail.osu.ru

Denis I. Parfenov

PhD, Faculty of Distance Learning Technologies Orenburg State University
Pobedy avenue, 13, 460018, Orenburg, Russia, e-mail: fdot_it@mail.osu.ru

Abstract. For efficient access to large data sets (BigData) is necessary to ensure a minimal of response time. For achieve this requires the development of models and algorithmic solutions for optimize the placement of key resources: virtual machines, information and applications in cloud storage systems.

Keywords: cloud computing, virtual data centers, software-controlled storage devices

References

1. Boychenko I.V., Korytnikov S.V. Upravlenie resursami v servis-orientirovannyh sistemah tipa «prilozhenie kak servis» [Resource management in service-oriented systems of the type "application as a service"] // Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravlenija i radiojelektroniki = Reports of the Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics, Vol. 1-2, 2010. - Pp. 156-160 (in Russian).
2. Buhanovskij A.V., Vasil'ev V.N., Vinogradov V.N., Smirnov D.Ju., Suhorukov S.A., Japparov T.G. CLAVIRE: perspektivnaja tehnologija oblachnyh vychislenij vtorogo pokolenija [CLAVIRE: promising technology of cloud computing second generation] // Izvestija vuzov. Priborostroenie = Scientific and Technical Journal «Priborostroenie». Vol. 10, 2011. Pp. 7–14 (in Russian).

3. Gribova V.V., Kleshchev A.S., Krylov D.A., Moskalenko F.M., Timchenko V.A., Shalfeeva E.A. Bazovaja tehnologija razrabotki intellektual'nyh servisov na oblachnoj platforme IACPaaS. Chast' 2. Razrabotka agentov i shablonov soobshhenij [Basic technology of development of intellectual services on the cloudy IACPaaS platform. Part 2. Development of the agents and message templates] / Programmaja inzhenerija = Program engineering. 2016. № 1. Pp. 14-20. DOI: 10.17587/prin.7.14-20 (in Russian).
4. Gribova V.V., Kleshchev A.S., Krylov D.A., Moskalenko F.M. Oblachnaja platforma IACPAAS: tekushhee sostojanie i perspektivy razvitija [IACPAAS cloud platform: current state and evolution trends] / Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management. Vol. 2, 2016. – Pp. 94-102 (in Russian).
5. Zhukov A.V. Nekotorye modeli optimal'nogo upravlenija vhodnym potokom zajavok v intranet-sistemah [Some models of optimal control input flow applications in intranet systems.] // Materialy 6-j nauchno-tehnicheskoi konferencii «Novye informacionnoj tehnologii v CBP i jenergetike» = Proceedings of the 6-th scientific-technical conference "New information technologies in the pulp and paper industry and the energy sector." – Petrozavodsk, 2004. - Pp. 87-90 (in Russian)
6. Majer-Shenberger V., Kuk'er K. Bol'shie dannye. Revoljucija, kotoraja izmenit to, kak my zhivem, rabotaem, myslim [Big data. A revolution that will change the way we live, work, thoughts]. – M.: Mann, Ivanov i Ferber, 2014. – P. 240 (in Russian).
7. Parfenov D.I. Sravnenie jeffektivnosti algoritmov dinamicheskogo raspredelenija dannyh v oblachnyh hranilishhah sistemy distancionnogo obuchenija [Comparison of the effectiveness of the dynamic data distribution algorithms in the cloud storage system of distance education] // Sistemy upravlenija i informacionnye tehnologii = Control systems and information technologies, № 4.1 (50), 2012. – Pp. 163-168 (in Russian).
8. Tarasov V.N., Polezhaev P.N., Shuhman A.E., Ushakov Ju.A., Konnov A.L. Matematicheskie modeli oblachnogo vychislitel'nogo centra obrabotki dannyh s ispol'zovaniem OpenFlow [Mathematical models of cloud computing datacenter based on openflow] // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta = Vestnik of the Orenburg State University. - 2012. - № 9. - Pp. 150-155 (in Russian).
9. Ustimenko O.V. Perspektivy razvitija raspredeljonogo hranenija sverhbol'shih ob#jomov dannyh [Prospects for the development of distributed storage of ultra-large data volumes] // Materialy XVIII mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii ob#edinenija molodyh uchenyh i specialistov OIJaI (OMUS) = Materials of the XVIII International scientific conference of Association of Young Scientists and Specialists (AYSS), 2014. Pp. 198–207 (in Russian).
10. Bocchi E., Drago I.; Mellia M. Personal Cloud Storage Benchmarks and Comparison // IEEE Transactions on Cloud Computing. 2015. Vol. 99. DOI: 10.1109/TCC.2015.2427191
11. Darabseh, A., Al-Ayyoub, M., Jararweh, Y., Benkhelifa, E., Vouk, M., Rindos, A. "SDStorage: A Software Defined Storage Experimental Framework" Proc. of Cloud Engineering (IC2E), Tempe: IEEE Press, 2015. P.341- 346.
12. OpenStack Open Source Cloud Computing Software. Режим доступа: <http://www.openstack.org/> (дата обращения 01.12.2015).

13. Plakunov A., Kostenko V. “Data center resource mapping algorithm based on the ant colony optimization” Proc. of Science and Technology Conference (Modern Networking Technologies) (MoNeTeC), Moscow: IEEE Press, 2014. P.1- 6.
14. Singh A., Korupolu M., Mohapatra D. “Server-storage virtualization: integration and load balancing in Data Centers” Proc. of the 2008 ACM/IEEE Conf. on Supercomputing. Austin: IEEE Press, 2008. P.1- 12.
15. Wu X., Kumar V., Ross J., et. c. Top 10 algorithms in data mining // Journal Knowledge and Information Systems DOI 10.1007/s10115-007-0114-2
16. Wuhib F., Stadler, R., Lindgren H. Dynamic resource allocation with management objectives - Implementation for an OpenStack cloud // Network and service management, 2012 8th international conference and 2012 workshop on systems virtualization management, 2012. – С. 309-315.

ПРОБЛЕМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ИЕРАРХИИ

Яворский Владимир Викторович

Д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Информационные технологии и естественно-научные дисциплины»,

Карагандинский государственный индустриальный университет,
101400, Республика Казахстан, г. Темиртау, пр. Республики, 30.

e-mail: yavorskiy-v-v@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрена задача разбиения частично-упорядоченного графа $G(Z, W)$, который, как правило, называют сетевым графиком на линейно упорядоченную совокупность классов. Исследуется пространство решений задачи, предлагается эффективная схема решения.

Ключевые слова: граф, сетевой график, систематизация, иерархия

Введение. Рассматривается задача группировки частично упорядоченного множества объектов Z и построения разбиения $R = (Z_1, Z_2, \dots, Z_L)$ фактически представляющего собой классификацию объектов. Хорошо известны задачи классификации объектов, в случае, когда задана мера связи между объектами в виде матрицы [6, 7]. Для решения такого рода задач широко применяются эвристические алгоритмы поиска глобального экстремума функционала, выражающего качество классификации. В виду сложной целевой функции и описания пространства допустимых решений в общем случае обычно не удается построить эффективный точный алгоритм.

Известен также класс задач, где объекты дополнительно обладают естественным свойством упорядоченности [2, 8]. Упорядоченность объектов в целом сокращает множество допустимых разбиений R . Если это сокращение существенно и просто описывается, например, в случае линейной упорядоченности объектов, удается получить решение задачи классификации точными методами [2]. В общем случае, когда необходимо найти разбиение частично-упорядоченного графа $G(Z, W)$ на линейно упорядоченную совокупность классов задача наоборот усложняется. Заметим, что разбиение графа $G(Z, W)$ который, как правило, называют сетевым графиком, в том смысле, что G является ориентированным графом без контуров, на линейно упорядоченную совокупность классов моделирует элементы структурного управления [4, 5, 9, 10]. Приведем два примера.

Например, пусть граф $G(Z, W)$ задает проект: последовательность выполнения некоторого комплекса работ. Пусть комплекс работ разбит на этапы их выполнения. Подрядчики приступают к выполнению работ, последовательно начиная и завершая определенный этап. Эффективность привлечения исполнителей на выполнение работ задана. Необходимо определить наиболее эффективное разбиение работ на этапы и последовательность привлечения подрядчиков к выполнению работ.

К рассматриваемой модели относятся задачи компоновки объекта (технического изделия, программы, природной среды), задаваемого частично упорядоченным графом по стандартизированным модулям. Например, рассмотрим геологическую задачу описания месторождения. Пусть по результатам бурения известна упорядоченная последовательность кернов,

как в каждой отдельной скважине, так и между скважинами, определяемая по морфологическим признакам. Такая упорядоченность может задаваться графом $G(Z, W)$. Кроме этого, эксперты обычно задают эскизный вариант описания месторождения, где выделяют слои полезных ископаемых: $R = (Z_1, Z_2, \dots, Z_L)$. Соответствие каждого ядра выделенным слоям задается величинами связи его с полезным ископаемым. Для точного описания месторождения и создания геоинформационной базы данных месторождения, необходимо решить задачу разделения графа $G(Z, W)$ на геологические слои, при этом необходимо максимизировать функцию соответствия ядер полезных ископаемым.

1. Постановка задачи. Пусть Z – конечное множество упорядоченных объектов, то есть на Z задано отношение порядка \leq , удовлетворяющее следующим условиям:

- а) для любого $z \in Z$ $z \leq z$;
- б) если $z_1 \leq z_2$, $z_2 \leq z_3$, где $z_1, z_2, z_3 \in Z$, то $z_1 \leq z_3$;
- в) если одновременно $z_1 \leq z_2$ и $z_2 \leq z_3$ ($z_1, z_2 \in Z$), то $z_1 = z_2$.

Выражение $z_1 < z_2$ будет означать, что $z_1 \leq z_2$ и $z_1 \neq z_2$.

Разбиением $R = (Z_1, Z_2, \dots, Z_n)$ упорядоченного множества Z на n классов назовем линейно упорядоченную совокупность подмножеств $Z_k \in Z, k = 1, \dots, n$, такую, что каждый объект $Z_k \in Z$ принадлежит одному и только одному из классов Z_k и, кроме того, сохраняется отношение порядка, то есть из того, что $z_1 \leq z_2$, где $z_1 \in Z_{k_1}$ и $z_2 \in Z_{k_2}$, следует, что $k_1 \leq k_2$.

Пусть на множестве Z задана вещественная векторная функция:

$$r(z) = (r_1(z), r_2(z), \dots, r_n(z)), \quad (1)$$

где $r_k(z)$ – степень соответствия объекта z классу $Z_k, k = 1, \dots, n$.

Множество всех разбиений множества Z на n классов обозначим через $I^n(Z)$.

Рассмотрим задачу максимизации функционала

$$\Phi(R) = \sum_{k=1}^n \sum_{z \in Z_k} r_k(z) \quad (2)$$

на множестве $I^n(Z)$.

Для произвольного разбиения $R^\gamma \in I^n(Z)$, где γ – некоторый индекс или пробел, будем пользоваться следующими обозначениями:

$$R^\gamma = (Z_1^\gamma, Z_2^\gamma, \dots, Z_n^\gamma);$$

$$\bar{Z}_k^\gamma = Z \setminus Z_1^\gamma \setminus \dots \setminus Z_k^\gamma;$$

$$p^\gamma(z) = r_i(z), \text{ где } i \text{ таково, что } z \in Z_i^\gamma.$$

Используя последнее из этих обозначений, можно представить значение функционала (2) в виде

$$\Phi(R^\gamma) = \sum_{z \in Z} p^\gamma(z). \quad (3)$$

В сетевой постановке рассматриваемая задача – это задача определения многослойной иерархии $R = (Z_1, Z_2, \dots, Z_n)$ множества вершин частично упорядоченного графа $G(Z, W)$, при этом не нарушается упорядоченность вершин и ищется максимум следующего функционала (2).

2. Традиционный подход к решению задачи. Если не учитывать сложившуюся структуру связей, задаваемую графом G , то очевидно, что максимум функционала (1) достигается на разбиении $R^* = (Z_1^*, Z_2^*, \dots, Z_n^*)$, которое определяется следующим образом:

$$Z_1^* = \left\{ z \in Z : r_1(z) = \max_{\lambda} r_{\lambda}(z) \right\}$$

$$Z_{k+1}^* = \left\{ z \in \bar{Z}_k^* : P_{k+1}(z) = \max_{\lambda > k} P_{\lambda}(\zeta) \right\}, \text{ для } k = 1, 2, \dots, n-1,$$

где $\bar{Z}_k^* = Z \setminus Z_1^* \setminus \dots \setminus Z_k^*$.

Разбиение Z на многослойную иерархию, не нарушающую отношение порядка, задаваемое графом G , существенно усложняет решение поставленной задачи.

Пусть $I^n(G)$ - множество всех разбиений графа G на многослойную иерархию вида R , тогда обозначим

$$f_n(Z) = \max_{R \in I_n(G)} \Phi_n(R).$$

Нетрудно видеть, что $f_n(Z)$ удовлетворяет функциональному уравнению Беллмана:

$$f_n(Z) = \max_{X \subseteq Z; \Theta(X)=X} \left\{ \sum_{z \in X} P_n(\zeta) + f_{n-1}(Z \setminus X) \right\},$$

где $\Theta(X)$ для произвольного подмножества $X \subseteq Z$ есть множество вершин графа G , для которых существует путь из X .

При решении реальных задач определения структур, размерность графа G может быть большой. В этом случае процедура решения задачи методом динамического программирования становится не только неэффективной, но и невозможной. Таким образом, возникает необходимость разработки методов упорядоченного перебора вариантов решения, позволяющих сократить количество вычислительных операций.

3. Предлагаемая схема решения задачи. Предлагается упорядочить решения задачи $I^n(Z)$ и затем пользоваться этой упорядоченностью, организовав некоторым образом упорядоченный перебор.

Введем во множестве $I^n(Z)$ отношение порядка:

$$R^1 \leq R^2, \text{ где } R^1, R^2 \in I^n(Z),$$

если для $k = 1, 2, \dots, n-1$ $\bar{Z}_k^1 \in \bar{Z}_k^2$.

Отношение $R^1 < R^2$, будет означать, что $R^1 \leq R^2$ и $R^1 \neq R^2$, то есть хотя бы для одного k - $\bar{Z}_k^2 \setminus \bar{Z}_k^1 \neq \emptyset$.

Всякое подмножество разбиений $I \subseteq I^n(Z)$ имеет точную верхнюю и точную нижнюю границы, которые будем обозначать соответственно через $\max I$ и $\min I$, то есть $I^n(Z)$ является решеткой [1].

Пусть $R^1 = \min I$, $R^2 = \max I$, тогда

$$\bar{Z}_k^1 = \bigcap_{R \in I} \bar{Z}_k, \bar{Z}_k^2 = \bigcap_{R \in I} \bar{Z}_k \quad (4)$$

Нетрудно показать, что

$$\bigcap_{R \in I} \bar{Z}_k \subseteq \bar{Z}_k^\lambda \subseteq \bigcup_{R \in I} \bar{Z}_k, \lambda = 1, 2. \quad (5)$$

Очевидно также, что

$$\begin{aligned} \min I^n(Z) &= (Z, \emptyset, \dots, \emptyset) \\ \max I^n(Z) &= (\emptyset, \emptyset, \dots, Z) \end{aligned} \quad (6)$$

Множество всех оптимальных разбиений, максимизирующих (2), обозначим через $I_0^n(Z)$. Таким образом,

$$I_0^n(Z) = \left\{ R \in I^n(Z) : \Phi(R) = \max_{R' \in I(Z)} \Phi(R') \right\} \quad (7)$$

$I_0^n(Z)$ также является решеткой. Для этого достаточно доказать следующее утверждение [11].

Утверждение 1. При любых $R^1, R^2 \in I^n(Z)$

$$\Phi(R^1) + \Phi(R^2) = \Phi(\min \{R^1, R^2\}) + \Phi(\max \{R^1, R^2\}). \quad (8)$$

Возьмем теперь произвольные $R^1, R^2 \in I_0^n(Z)$, так как R^1 и R^2 – оптимальные разбиения, то

$$\Phi(\min \{R^1, R^2\}) \leq \Phi(R^1);$$

$$\Phi(\max \{R^1, R^2\}) \geq \Phi(R^2).$$

Откуда на основании (8) получаем, что

$$\Phi(\min \{R^1, R^2\}) = \Phi(\max \{R^1, R^2\}) = \Phi(R^1) = \Phi(R^2),$$

то есть

$$\begin{aligned} \min \{R^1, R^2\} &\in I_0^n(Z); \\ \max \{R^1, R^2\} &\in I_0^n(Z). \end{aligned} \quad (9)$$

Из (9) по индукции получаем, что точная нижняя и точная верхняя границы всякого непустого подмножества $I \subseteq I_0^n(Z)$ также принадлежат $I_0^n(Z)$, то есть $I_0^n(Z)$ является решеткой.

Обозначим через R^* точную нижнюю границу множества всех оптимальных разбиений, то есть

$$R^* = \min I_0^n(Z) \quad (10)$$

Будем искать оптимальное разбиение R^* по следующей схеме:

(С1) в качестве начального приближения выбираем разбиение $R^{(0)} \in I^n(Z)$ такое, что

$$R^* \leq R^{(0)}; \quad (11)$$

(С2) определим оператор перехода A , преобразующий всякое разбиение $R \in I^n(Z)$, удовлетворяющее неравенству $R^* \leq R$, в разбиение $A(R) \in I^n(Z)$ такое, что

$$R^* \leq A(R) \leq R, \quad (12)$$

Причем, если

$$R^* < R, \text{ то } A(R) < R; \quad (13)$$

(С3) применяя оператор A последовательно к $R^{(0)}, R^{(1)} = A(R^{(0)}), R^{(2)} = A(R^{(1)}) \dots$ за конечное число итераций, так как множество $I^n(Z)$ конечно и выполняется условие (7), получим разбиение R^* ; при этом условием оптимальности разбиения R является равенство

$$A(R) = R. \quad (14)$$

Чтобы описать оператор A , предлагается вводить понятие «минимальная вариация» разбиения R [11]. Вначале для произвольного подмножества объектов $Q \subseteq Z$ определим множество предшествующих объектов

$$\pi(Q) = \{z \in Z : (\exists z_0 \in Q) z \leq z_0\}.$$

Если задано некоторое разбиение $R^\gamma \in I^n(Z)$, то будем рассматривать также множества $\pi_k^\gamma(Q) = \pi(Q) \cap \overline{Z_k^\gamma}$ для $k=1, 2, \dots, n-1$.

Можно показать, что преобразование вида

$$\begin{aligned} Z'_i &= Z_i^\gamma, \quad i = 1, \dots, k-1, \\ Z'_k &= Z_k^\gamma \cup \pi_k^\gamma(Q), \\ Z'_i &= Z_i^\gamma \setminus \pi_k^\gamma(Q), \quad i = k+1, \dots, n. \end{aligned} \quad (14)$$

разбиения $R^\gamma = (Z_1^\gamma, \dots, Z_k^\gamma)$ не выводит его из множества $I^n(Z)$, то есть $R' \in I^n(Z)$. При этом переход от разбиения R к разбиению R' влечет изменение значения функционала $\Phi(R)$ на величину

$$\Delta_k^\gamma(Q) = \sum_{z \in \pi_k^\gamma(Q)} (r_k(z) - p^\gamma(z)), \quad (15)$$

то есть

$$\Phi(R') = \Phi(R^\gamma) + \Delta_k^\gamma(Q). \quad (16)$$

Заметим также, что при преобразовании (14) вновь полученное разбиение удовлетворяет соотношению $R' \leq R^\gamma$.

Обозначим через $I^n(Z; Z_1)$ множество всех разбиений с фиксированным классом Z_1 . Условно-оптимальным разбиением назовем разбиение $R \in I^n(Z; Z_1)$ такое, что

$$\Phi(R) = \max_{R' \in I^n(Z)} \Phi(R'). \quad (17)$$

Множество всех условно-оптимальных разбиений при фиксированном слое Z_1 обозначим через $I_0^n(Z; Z_1)$, а минимальный элемент этого множества – $R^*(Z_1)$.

Для реализации приведенной алгоритмической схемы (С1) – (С3) рассматривается метод минимальных вариаций условно-оптимальных иерархий $R^*(Z_1)$, оптимизирующих функционал (1) при фиксированном слое Z_1 . Рассмотрим основные свойства множества $I^L(G)$, используемые в данном методе. Показано [10], что для того, чтобы R^* оставалась "не выше" условно-оптимальной иерархии: $R^* \leq R^*(Z_1)$, необходимо и достаточно, чтобы $Z_1 \subseteq Z_1^*$. Это позволяет строить вариации для наращивания слоя Z_1 оставаясь «не выше» оптимальных иерархий. Действительно, среди множества $V(Z_1)$ допустимых вариаций слоя Z_1 иерархии $R^*(Z_1)$, то есть таких $X \in V(Z_1)$, что $R^* \leq R^*(Z_1 \cup X) \leq R^*(Z_1)$, будем выбирать вариацию X' , для которой функционал (1) возрастает:

$$\Phi(R(Z_1 \cup X')) > \Phi(R^*(Z_1))$$

причем, не на одном подмножестве X' это соотношение не выполняется (в этом смысле вариация X' называется минимальной). С учетом введенных понятий оператор A можно определить следующим образом:

$$A(R^k) = \begin{cases} R^k, & \text{если } V(Z_1^k) \text{ не содержит } X' \\ R^*(Z_1^k \cup X'), & \text{где } X' \in V(Z_1^k) \end{cases}.$$

Следует отметить, что для повышения эффективности алгоритма при формировании X' необходимо использовать специфику рассматриваемой задачи классификации. С использованием данного алгоритма были решены задачи пространственного описания крупных месторождений полезных ископаемых [3].

Заключение. Очевидно, что ввиду направленного упорядоченного перебора точек пространства решений задачи, предлагаемая схема решения является эффективной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акилов Г.П., Кутателадзе С.С. Упорядоченные векторные пространства. Новосибирск: Наука, 1978. 368 с.
2. Бородкин С.М. Оптимальная группировка взаимосвязанных упорядоченных объектов // Автоматика и телемеханика, №2, 1980. С. 165–172.
3. Боярский Э.Ф., Rogozov В.В. Цифровое моделирование угольных пластов: монография. Москва: Недра, 1992. 129 с.
4. Бурков В.Н., Ириков В.А. Модели и методы управления организационными системами. М.: Наука, 1994. 325 с.
5. Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Введение в теорию управления организационными системами / Под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. М.: Либроком, 2009. 264 с.

6. Дорофеев А.А. Алгоритмы автоматической классификации (обзор) // Автоматика и телемеханика, № 12, 1971. С. 78-113.
 7. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск: ИМ им. С.Л. Соболева, 1999. 268 с.
 8. Миркин Б.Г. Дискретные задачи классификации взаимосвязанных объектов (обзор) / В сб. «Вопросы анализа сложных систем». Новосибирск: «Наука», 1974. С. 67-77.
 9. Новиков Д.А. Сетевые структуры и организационные системы. М.: ИПУ РАН, 2003. 102 с.
 10. Новиков Д.А. Управление проектами: организационные механизмы. М.: ПМСОФТ, 2007. 144 с.
 11. Яворский В.В. Методы структурного моделирования многоуровневых организационных систем. М.: Энергоатомиздат, 2002. 168 с.
-

UDK 338.244.42

THE PROBLEM OF SOLVING THE TASK OF DETERMINING THE OPTIMAL HIERARCHY

Vladimir V. Yavorskiy

Dr., professor, head of «Information technologies and natural-scientific disciplines», Karaganda state industrial university, 101400, Republic of Kazakhstan, Temirtau, Republic avenue, 30.

e-mail: yavorskiy-v-v@mail.ru

Abstract. The paper considers the task of "systematizing" partially-ordered graph $G(Z, W)$, which, as a rule, called a network schedule. The scheme method of partitioning a directed graph without circuits on multi-layer hierarchy is offered. Because of directed orderly enumeration of the points of the space of solutions of the problem, the proposed scheme is more efficient than the known solutions of the discrete methods, in particular dynamic programming.

Keywords: graph, network diagram, systematizing, hierarchy

REFERENCES

1. Akilov G.P., Kutaladze S.S. Uporyadochennye vektornye prostranstva [An ordered vector space]. Novosibirsk. Nauka = Novosibirsk. Science, 1978. 368 p. (in Russian)
2. Borodkin S.M. Optimal'naya gruppировка vzaimosvyazannyh uporyadochennyh ob"ektov [Optimal grouping of interrelated ordered objects] // Avtomatika i telemekhanika = Automation and remote control. – 1980. - №2. - p. 165–172. (in Russian)
3. Boyarskiy E.F., Rogozov V.V. Cifrovое modelirovanie ugol'nyh plastov: monografiya [Digital modeling of coal seams: monograph]. Moskva. Nedra = Moscow. Subsoil, 1992. 129 p. (in Russian)
4. Burkov V.N., Irikov V.A. Modeli i metody upravleniya organizacionnymi sistemami [Models and management methods organizational systems]. Moskva. Nauka = Moscow. Science, 1994. 325 p. (in Russian)

5. Burkov V.N., Korgin N.A., Novikov D.A. Vvedenie v teoriyu upravleniya organizacionnymi sistemami [Introduction to the theory of control of organizational systems] Moscow. Librokom, 2009. 264 p. (in Russian)
6. Dorofeyuk A.A. Algoritmy avtomaticheskoy klassifikacii (obzor) [Algorithms of automatic classification (review)] // Avtomatika i telemekhanika = Automation and remote control, 1971. №12. p. 78-113. (in Russian)
7. Zagoruiko N.G. Prikladnye metody analiza dannyh i znaniy [Applied methods of data analysis and knowledge]. Novosibirsk. IM after Sobolev L.N., 1999. 268 p. (in Russian)
8. Mirkin B.G. Diskretnye zadachi klassifikacii vzaimosvyazannyh ob"ektov (obzor) [Discrete classification tasks related objects (overview)] / Proc. «The analysis of complex systems». Novosibirsk. Nauka = Novosibirsk. Science, 1974. Pp. 67-77. (in Russian)
9. Novikov D.A. Setevye struktury i organizacionnye sistemy [Network structure and organizational system]. Moskva: IPU RAN = Moscow. Management Problem Institute RAS, 2003. 102 p. (in Russian)
10. Novikov D.A. Upravlenie proektami: organizacionnye mekhanizmy [Project management: organizational mechanisms]. Moscow. PMSOFT, 2007. 144 p. (in Russian)
11. Yavorskiy V.V. Metody strukturnogo modelirovaniya mnogourovnevnyh organizacionnyh sistem [Methods structural modeling of multilevel organizational systems]. Moscow. Energoatomizdat, 2002. 168 p. (in Russian)

УДК 519.816

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ХРАНИЛИЩ ДАННЫХ

Шубенин Алексей Алексеевич

К.т.н., начальник научно-исследовательской лаборатории
Федеральное государственное бюджетное учреждение «3 Центральный научно-
исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации
107564, г. Москва, Погонный проезд, дом 10, e-mail: ashubenin@yandex.ru

Прокина Наталья Владимировна

К.т.н., с.н.с., Федеральное государственное бюджетное учреждение «3 Центральный научно-
исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации
107564, г. Москва, Погонный проезд, дом 10, e-mail: nataly_pr@mail.ru

Мухин Владимир Николаевич

заместитель начальника НТЦ-1
Акционерное Общество «Научно-производственное предприятие «Рубин»
440000, г. Пенза, ул. Байдукова, 2, e-mail: bob12121@mail.ru

Поздняков Сергей Юрьевич

начальник отделения
Акционерное Общество «Научно-производственное предприятие «Рубин»
440000, г. Пенза, ул. Байдукова, 2, e-mail: pozdnyakov-sergey@yandex.ru

Аннотация. Основной особенностью информационной поддержки принятия решений является качественно новая организация взаимодействия человека и компьютера. Выработка решения является основной целью этой технологии. Принятие решений происходит в результате итерационного процесса, в котором участвуют система поддержки принятия решений (СППР) и человек как управляющее звено, задающее входные данные и оценивающее полученный результат. Окончание итерационного процесса происходит по воле человека. Информационная технология поддержки принятия решений может использоваться на любом уровне управления. Решения, принимаемые на различных уровнях управления, как правило, должны координироваться. Поэтому важной функцией СППР является координация действий лиц, принимающих решения на разных уровнях управления. В статье выполнен обзор архитектур СППР и оперативной аналитической обработки данных. Содержание статьи посвящено описанию наиболее популярных типов архитектур СППР, их преимуществ и недостатков, а также технологий обработки данных в реальном масштабе времени.

Ключевые слова: принятие решений, хранение данных, информационные технологии, анализ данных, системный анализ.

Введение. Системы поддержки принятия решений появились в 1970-1980 гг., чему способствовали широкое распространение персональных компьютеров, пакетов прикладных программ, а также успехи в создании систем искусственного интеллекта. Основной

особенностью информационной поддержки принятия решений является качественно новая организации взаимодействия человека и компьютера. Выработка решения является основной целью этой технологии. Принятие решений происходит в результате итерационного процесса, в котором участвуют СППР и человек как управляющее звено, задающее входные данные и оценивающее полученный результат. Окончание итерационного процесса происходит по воле человека.

Отличительные характеристики информационных технологий поддержки принятия решений следующие:

- ориентация на решение плохо структурированных задач;
- сочетание традиционных методов доступа и обработки данных с возможностями математических моделей и методами решения задач;
- направленность на непрофессионального пользователя компьютера;
- высокая адаптивность методов к характеристикам имеющегося технического и программного обеспечения.

Информационная технология поддержки принятия решений может использоваться на любом уровне управления. Решения, принимаемые на различных уровнях управления, как правило, должны координироваться. Поэтому важной функцией СППР является координация действий лиц, принимающих решения на разных уровнях управления.

1. Архитектура систем поддержки принятия решений. На сегодняшний день можно выделить четыре типа наиболее популярных архитектур СППР, основанных на технологии хранилищ данных: функциональная архитектура, независимые витрины данных, двухуровневое хранилище данных, трехуровневое хранилище данных [5]. Структура СППР с функциональной архитектурой приведена на рис. 1, она является наиболее простой с архитектурной точки зрения. Такие системы часто встречаются на практике, особенно в организациях с невысоким уровнем аналитической культуры и недостаточно развитой информационной инфраструктурой.

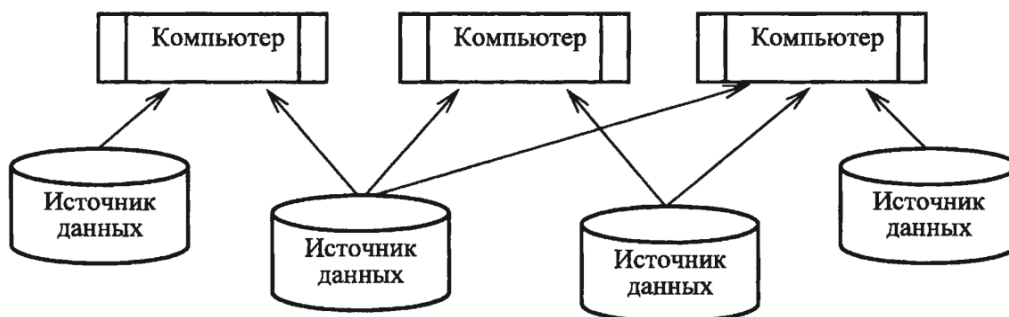


Рис. 1. СППР с функциональной архитектурой

Характерной чертой СППР с функциональной архитектурой является осуществление анализа с использованием данных из оперативных систем (источников данных), которые имеют общую черту: они предназначены для реализации отдельных операций (транзакций). Для обозначения таких систем используется термин OLTP (*On-Line Transaction Processing* - обработка транзакций в режиме реального времени). Транзакционные системы представляют собой источники данных, используемые для последующей аналитической обработки. Данные из транзакционных источников требуется собрать, структурировать и представить в

виде, удобном для задач принятия решений. Поэтому для многих аналитических задач (в том числе задач принятия решений) рекомендуется использовать системы с элементами более высоких уровней аналитической пирамиды.

Преимущества СППР с функциональной архитектурой:

– быстрое внедрение за счет отсутствия этапа перегрузки данных в специализированную систему;

– минимальные затраты за счет использования одной платформы.

Недостатки СППР с функциональной архитектурой:

– единственный источник данных, потенциально сужающий круг запросов, на которые может ответить система;

– низкое качество данных с точки зрения их роли в поддержке принятия стратегических решений, что обусловлено отсутствием этапа очистки данных;

– невысокое качество выходных данных СППР с функциональной архитектурой;

– большая нагрузка на оперативные системы, которая может привести к остановке работы СППР, что весьма нежелательно.

Структура СППР с независимыми витринами данных приведена на рис. 2. Данные СППР часто появляются в организации исторически и встречаются в крупных организациях с большим количеством независимых подразделений, зачастую имеющих свои собственные отделы информационных технологий. СППР этого типа в большей степени являются предметно-ориентированными. Как правило, витрина содержит информацию, относящуюся к какому-либо определенному направлению деятельности организации. Поэтому информация в витринах данных хранится в специальном виде, наиболее подходящем для решения конкретных задач обработки запросов и аналитических задач.

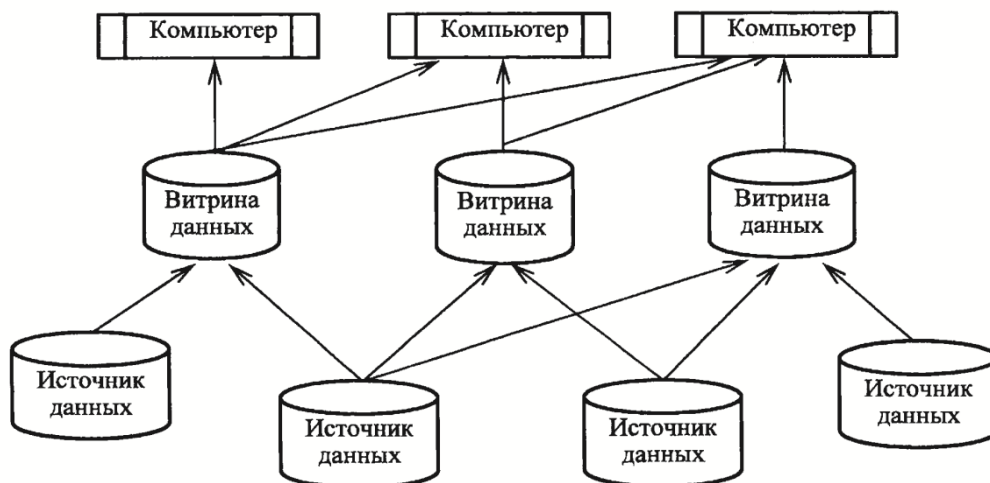


Рис. 2. СППР с независимыми витринами

Есть два подхода к применению витрин данных. Первый подход предполагает, что витрина данных представляет собой локальное хранилище данных, оптимизированное для запросов к данным конкретной предметной области при рассмотрении проблематики принятия решений. При втором подходе витрина рассматривается как OLAP-система (On-Line Analytical Processing), оптимизированная для запросов пользователей к данным

конкретной предметной области [1]. Витрины данных могут быть реляционными и многомерными. В любом случае витрины данных обладают таким общим свойством, как предметная ориентированность.

Преимущества СППР с витринами данных следующие:

- новые витрины данных можно внедрять в процессе эксплуатации существующих и достаточно быстро;
- витрины проектируются для решения задач принятия решений в интересах отдельных подразделений предприятия;
- данные, хранимые в витрине, оптимизированы для использования определенными группами пользователей, что облегчает процедуры их наполнения, а также способствует повышению производительности.

Недостатки СППР с витринами данных:

- данные дублируются, т.е. хранятся многократно в различных витринах данных, что приводит к увеличению расходов на хранение и возникновению потенциальных проблем, связанных с необходимостью поддержания непротиворечивости данных;
- сложность процесса наполнения витрин данных при большом количестве источников данных;
- данные не консолидируются на уровне предприятия, таким образом, отсутствует единое представление бизнес-процессов.

Архитектура СППР с двухуровневым хранением данных приведена на рис. 3. Структура СППР отличается централизацией предоставления информации в рамках одной компании. Для поддержки такой архитектуры необходима выделенная команда профессионалов в области создания и эксплуатации хранилищ данных (ХД). Таким образом, в организации должны быть согласованы все определения и процессы преобразования данных.

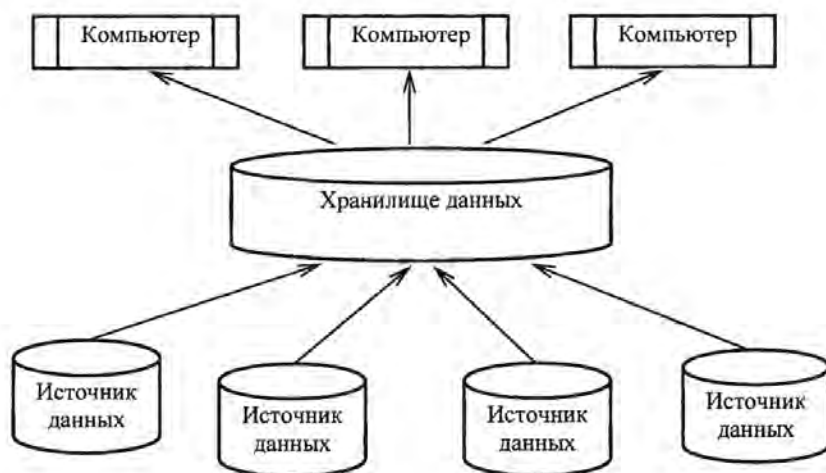


Рис. 3. СППР с двухуровневым хранением данных

ХД определяется как совокупность предметно-ориентированных, интегрированных, стабильных, поддерживающих хронологию наборов данных. ХД в СППР призвано выступать в роли «единого и единственного источника данных достоверной информации». Ценность хранилищ данных заключается в том, что они представляют собой крупные

источники данных масштаба предприятия (организации) для дальнейшей аналитической обработки. Обычно ХД обладают структурой, учитывающей отраслевую специфику деятельности организации. При этом, как правило, доступность ХД для обработки в реальном времени ограничена, особенно при больших объемах хранимых данных.

Преимущества СППР с двухуровневым хранением данных:

- данные хранятся в единственном экземпляре;
- минимальные затраты на хранение данных;
- отсутствие проблемы синхронизации нескольких копий данных;
- данные консолидируются на уровне предприятия, что позволяет иметь единое представление бизнес-процессов.

Недостатки СППР с двухуровневым хранением данных:

- данные не структурируются для поддержки потребностей отдельных пользователей или групп пользователей;
- возможны проблемы с производительностью системы;
- возможны трудности с разграничением прав пользователей на доступ к данным системы.

Структура СППР на основе трехуровневого хранения данных приведена на рис. 4.

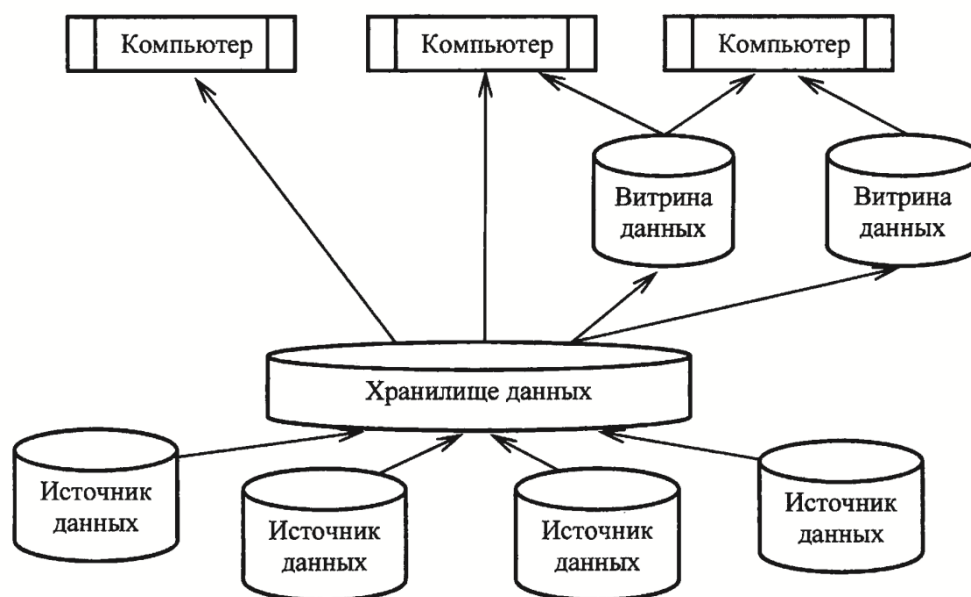


Рис. 4. СППР с трехуровневым хранением данных

Хранилище данных представляет собой единый централизованный источник корпоративной информации. Витрины данных представляют подмножества данных из хранилища, организованные для решения задач отдельных подразделений компании. Конечные пользователи имеют возможность доступа к детальным данным хранилища в случае, если данных в витрине недостаточно, а также для получения более полной картины состояния бизнеса.

Преимущества СППР с трехуровневым хранением данных:

- создание и наполнение витрин данных упрощено, поскольку наполнение происходит из единого надежного источника очищенных нормализованных данных (хранилища);

- витрины данных синхронизированы и совместимы с корпоративным представлением о бизнес-процессах;
- имеется корпоративная многомерная модель данных, на основе которой существует возможность расширения хранилища данных и добавления новых витрин данных при минимальных затратах;
- гарантированная производительность системы при принятии решений.

Недостатки СППР с трехуровневым хранением данных:

- избыточность хранимых данных, которая приводит к росту требований на хранение данных;
- необходимость согласования с принятой архитектурой СППР многих областей деятельности с потенциально различными требованиями, что увеличивает время на внедрение моделей и алгоритмов принятия решений.

Выше рассмотрены основные варианты архитектур СППР. Выбор конкретного варианта зависит от условий, при которых поставлена задача внедрения. Эти условия определяются требованиями скорости возврата от вложенных инвестиций, надежности создаваемой инфраструктуры и т.д. На выбор архитектуры СППР значительное влияние может оказать состав проектной группы, состоящей либо из одних профессионалов, либо преимущественно из новичков. Кроме того, на выбор архитектуры СППР может оказать влияние наличие формализованной методологии, технологии, инструментальных средств и методов проектирования [7, 8].

2. Оперативная аналитическая обработка данных. Широкое применение информационных технологий в различных сферах деятельности привело к появлению систем OLTP, предназначенных для оперативной обработки транзакций или выполнения транзакций в режиме реального времени. Системы OLTP ориентированы на быстрое обслуживание, связанное со сбором небольших объемов данных, поступающих с высокой интенсивностью. Характер использования систем OLTP определил требования, предъявляемые к используемым базам данных:

- высокая степень нормализации;
- при возникновении ошибки транзакция должна целиком «откатиться» и вернуть систему к состоянию, которое было до начала транзакции;
- обеспечение обработки данных в реальном времени.

Системы OLTP обладают функциональными возможностями, ограниченность которых при обработке больших объемов данных осознана в 90-х гг. XX в. Вместе с тем накопленные объемы данных о результатах деятельности предприятий имеют большую ценность. Использование имевшихся в распоряжении компаний систем OLTP в целях анализа данных и принятия решений не привело к ожидаемым результатам, поэтому возникла необходимость в аналитических системах, в том числе и СППР, оперирующих большими объемами исторических данных. В качестве решения данной проблемы возникла технология OLAP (On-Line Analytical Processing, оперативная аналитическая обработка данных).

Основоположником технологии OLAP является Э. Кодд. В 1993 г. он опубликовал статью под названием «OLAP для пользователей-аналитиков: какой он должен быть», в ней он сформулировал двенадцать основных правил, которые должны служить основой для

выбора наиболее подходящих инструментов OLAP [6]. Впоследствии количество правил выросло до 18, и они были разбиты на четыре группы. Для того, чтобы упростить проверку на соответствие инструментов OLAP необходимым требованиям, на основе правил, разработанных Коддом, в 1995 году был разработан тест FASMI (Fast Analysis Shared Multidimensional Information, Быстрый Анализ Разделяемой Многомерной Информации). Приложение должно иметь возможность обращаться к любой нужной информации, независимо от ее объема и места хранения. Также OLAP-система должна поддерживать анализ, определяемый бизнес-процессами организации, и статистический анализ. Отмечается, что необходима возможность использования основных операций OLAP, к которым, как правило, относят операции среза (Slice), вращения (Rotate), консолидации (Drill Up) и детализации (Drill Down). Требования включают в себя также обеспечение одинаково высокой скорости выполнения всех запросов к системе. Рекомендованным временем для выполнения большинства аналитических запросов указано 5 с., при этом допустимым временем выполнения для наиболее сложных запросов считается 20 с. В системе должен быть обеспечен многопользовательский доступ к данным, при этом необходимо обеспечивать разграничение информации. Ключевым требованием данного теста является предоставление пользователям возможности работы с многомерной моделью, отвечающей представлениям пользователей о деятельности и структуре организации. При этом многомерное концептуальное представление данных может быть обеспечено без организации многомерного хранилища [1, 3].

Автором концепции ХД считается Билл Инмон [9]. ХД он определил как «предметно-ориентированные, интегрированные, неизменяемые, поддерживающие хронологию наборы данных, организованные с целью поддержки управления». Впоследствии Инмон внес большой вклад в развитие данной концепции. Метод проектирования ХД, описываемый Инмоном, получил название «сверху вниз» и часто характеризуется как классический. Другим автором, внесшим большой вклад в развитие технологии хранилищ данных, является Ральф Кимбалл [10]. Подход, предлагаемый им, получил название «снизу вверх». Девятишаговая методология, описанная Кимбаллом, является одним из наиболее часто используемых подходов к проектированию хранилищ данных.

Поскольку отдача инвестиций от использования ХД оказалась достаточно высокой, то данная технология получила различные реализации.

По способу реализации многомерной модели данных OLAP- системы делятся на три группы:

– MOLAP (Multidimensional OLAP) – исходные и агрегатные данные хранятся в многомерной базе данных. Хранение данных в многомерных структурах позволяет манипулировать данными как многомерным массивом, благодаря чему скорость вычисления агрегатных значений одинакова для любого из измерений. Однако в этом случае многомерная база данных оказывается избыточной, так как многомерные данные полностью содержат исходные реляционные данные. Также минусом является необходимость специального инструмента для формирования кубов и их пересчета в случае изменения базовых значений [2].

– ROLAP (Relational OLAP) – исходные данные остаются в той же реляционной базе данных, где они изначально и находились. Агрегатные же данные помещают в специально созданные для их хранения служебные таблицы в той же базе данных. Требования к ре-

ляционной СУБД, предназначенной для хранилища данных, были сформулированы Red Brick Systems. Плюсом данного подхода является то, что все данные хранятся в одном формате внутри одной СУБД. Минусами являются чрезмерное увеличение объема таблицы данных для куба и сложность пересчета агрегированных значений при изменении начальных данных [2].

– HOLAP (Hybrid OLAP) – исходные данные остаются в той же реляционной базе данных, где они изначально находились, а агрегатные данные хранятся в многомерной базе данных. Технология HOLAP пытается совместить преимущества MOLAP и ROLAP, но при этом не достигаются скорость обработки данных, характерная для MOLAP, и целостность хранения данных, а также возрастают затраты на поддержку и определение типа хранения для подкубов [2].

Существуют три основных схемы ХД: «Звезда», «Снежинка» и «Созвездие». Модель данных «Звезда» является наиболее простой структурой данных, состоящей из одной таблицы фактов и нескольких таблиц измерений. Структура модели «Звезда» приведена на рис. 5. Модель содержит шесть измерений (сущностей, классов, таблиц): «Кафедра»; «Руководитель»; «Ученая степень»; «Научная специальность»; «Аспирант»; «Показатель». Сущность (таблица) «Запись» соответствует фактам, характеризующим деятельность аспирантов в определенный период времени. Сущность «Показатель» отражает сведения о показателях, по которым оценивается деятельность аспирантов.

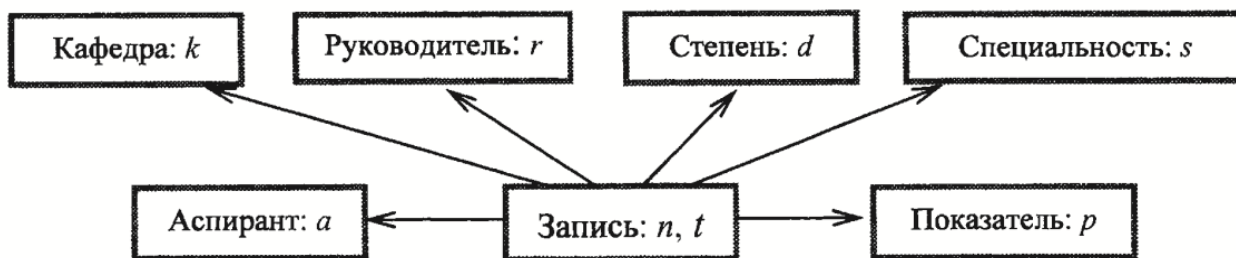


Рис. 5. Структура модели данных «Звезда»

Таблица фактов содержит сведения о произошедших событиях в деятельности аспирантов, которые могут быть проанализированы при принятии решений. Таблица измерений содержит атрибуты событий, сохраняемых в таблице фактов, представляющие собой текстовые или иные описания. При этом таблицы измерений имеют первичные ключи k, r, d, s, a, p , таблица фактов – n, t [4].

Схема «Снежинка» также состоит из таблицы фактов и нескольких таблиц измерений. Отличием является то, что в схеме «Снежинка» таблицы измерений нормализованы, в то время как для схемы «Звезда» характерны полностью денормализованные таблицы измерений. Обобщенная модель данных «Снежинка», содержащая измерения и факты, приведена на рис. 6.

Выбор схемы ХД является актуальной проблемой. Решение в пользу применения схемы «Звезда» или же схемы «Снежинка» обуславливается относительной мощностью платформы БД и инструментария для реализации запросов. Схема «Звезда» подходит для реализации хранилищ данных, использование которых предполагает выполнение простых запросов. Схема «Снежинка» более подходит для обработки запросов сложной структуры.

Также необходимо принимать во внимание используемый инструментарий, который может накладывать ограничения при реализации. При этом, как правило, хранилища, использующие схему «Звезда», выполняют запросы быстрее.



Рис. 6. Структура модели данных «Снежинка»

Таким образом, отличия между ХД и базами данных OLTP-систем определяются областями их применения. Отличия между базами данных OLTP-систем и хранилищами данных, характерными для OLAP-систем, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение особенностей баз данных OLTP и хранилищ данных

База данных OLTP	Хранилище данных
Содержит текущие данные	Содержит исторические данные
Хранит подробные сведения	Хранит подробные сведения, а также частично и полностью обобщенные данные
Данные являются динамическими	Данные в основном являются статическими
Повторяющийся способ обработки	Нерегламентированный, неструктурированный и эвристический способы обработки данных
Предсказуемый способ использования данных	Средняя и низкая интенсивность обработки транзакций
Предназначена для обработки транзакций	Непредсказуемый способ использования данных
Высокая интенсивность обработки транзакций	Предназначено для проведения анализа
Предсказуемый способ использования данных	Ориентировано на предметные области
Ориентирована на прикладные области	Поддержка принятия стратегических решений
Обслуживает большое количество работников исполнительного звена	Обслуживает относительно малое количество работников руководящего звена

Несмотря на появление новых разработок в области хранилищ данных, актуальным остается ряд характерных проблем:

- проблема качества данных, вызванная отсутствием или неточностью данных, необходимых для наполнения хранилища данных;
- проблема выбора источников данных, обусловленная тем, что необходимые данные, как правило, хранятся в различных источниках, имеющих отличающуюся структуру и формат данных;
- проблема производительности и масштабируемости, связанная с выбором методики проектирования и средств реализации хранилища данных.

Для решения проблемы очистки «грязных данных» и преобразования данных из различных источников к виду, определяемому структурой хранилища данных, в СППР реализуют процесс подготовки данных, известный в англоязычной литературе как ETL-процесс (Extract, Transform, Load). Процесс подготовки данных включает в себя извлечение данных из разных источников, очистку данных, преобразование, консолидирование и загрузку данных в хранилище данных. Каждый из названных этапов выполнения процесса подготовки данных включает в себя ряд подпроцессов, требующих выполнения определенных действий. Проблема производительности и масштабируемости решается, как правило, за счет модернизации программного и аппаратного обеспечения. Несмотря на то, что выбор структуры хранилища данных во многом способен повлиять на производительность системы OLAP, разработчик ХД полагается в основном на свой опыт и рекомендации ведущих специалистов в данной области, что определяет высокую степень зависимости производительности системы OLAP от квалификации разработчика

Заключение. Таким образом, в статье рассмотрены архитектуры наиболее популярных типов СППР на основе хранилищ данных, проанализированы преимущества и недостатки, а также описаны технологии обработки данных в реальном масштабе времени. Данный материал будет полезен не только для разработчиков информационных систем и баз данных, но и руководителей предприятий и организаций при планировании развития собственных информационных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барсегян А. А., Куприянов М. С., Степаненко В. В., Холод И. И.. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. – СПб. БХВ-Петербург, 2004. 336 с.
2. Барсегян А. А., Куприянов М. С., Степаненко В. В., Холод И. И. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP/ 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. БХВ-Петербург, 2007. 384 с.
3. Исаев Д.В, Родионов А.С. OLAP-система как инструмент современного экономиста // Финансовая газета. 2002. №44. С.14–15
4. Паклин Н. Б., Орешков В. И., Бизнес-аналитика: от данных к знаниям. – СПб. Питер, 2009. – 724 с.
5. Спирли, Э., "Корпоративные хранилища данных. Планирование, разработка и реализация. Т.1". Издательство: Вильямс (2001). 400 стр.
6. Codd E.F., Codd S.B. and Salley C.T. Providing OLAP (on-line analytical processing) to user-analysts: An IT mandate Technical report, 1993
7. Devlin B. Data warehouse: from architecture to implementation. Addison Wesley Longman, Inc. (1997). ISBN 0-201-96425-2.

8. IBM. «Business Intelligence Architecture on S/390. Presentation Guide». SG24-5747-00, IBM Corporation (2000).
 9. Inmon W Building the Data Warehouse New York: John Willey & Sons, 1992
 10. Kimbell R., Ross M. The Data Warehouse Toolkit: The Complete Guide to Dimensional Data Warehouses J. Willey & Sons. Second Edition, 2002 – 447 p
-

УДК 519.816

**INFORMATION TECHNOLOGIES OF SUPPORT DECISION
BASED ON DATA WAREHOUSING**

Aleksey A. Shubenin

PhD, chief research laboratory, Federal state budgetary institution «3 Central Research Institute»
of the Ministry of defense of the Russian Federation,
Pogonnij tr., 10, Moscow, Russia, 107564, e-mail: ashubenin@yandex.ru

Natalia V. Prokina

PhD, senior researcher, Federal state budgetary institution «3 Central Research Institute»
of the Ministry of defense of the Russian Federation,
Pogonnij tr., 10, Moscow, Russia, 107564, e-mail: nataly_pr@mail.ru

Vladimir N. Muhin

Deputy head of scientific-technical center, Joint stock Company "Scientific-production enterprise
"Rubin" Baidukov str., 2, Penza, Russia, 440000, e-mail: bob12121@mail.ru

Sergey Y. Pozdnyakov

Head of division, Joint stock Company "Scientific-production enterprise "Rubin"
Baidukov str., 2, Penza, Russia, 440000, e-mail: pozdnyakov-sergey@yandex.ru

Abstract. The main feature of informational support of decision-making is a qualitatively new organization of interaction between man and computer. Developing of solutions is the main goal of this technology. Decision making occurs as a result of the iterative process, which involves a system of decision support and management specifying the input data and evaluates the result. The end of the iterative process happens by the will of man. Information technology of decision support can be used at any level of management. Decisions made at various levels of management, as a rule, should be coordinated. Therefore, an important function of DSS is to coordinate the decision-makers at different management levels. The article describes the system architecture of the decision support and online analytical processing data. The content of the article is devoted to the description of the most popular types of DSS architectures with advantages and disadvantages, as well as the processing technologies in real time.

Keywords: decision making, data storage, information technologies, analysis of data, system analysis.

References

1. Barsegyan A., Kupriyanov M., V. Stepanenko, Holod I. Metodi i modeli analiza danih: OLAP и Data Mining [Methods and models of the analysis of data: OLAP and Data Mining]. St. Petersburg, 2004. 336 p. (in Russian).
2. Barsegyan A., Kupriyanov M., Stepanenko V., Holod I. Tehnologii analiza danih: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP [Holod Technologies of the analysis of data: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP]. 2-ye izd. pererab. I dop. - SPb. BHV-St. Peterburg, 2007. 384 p. (in Russian).
3. Isaev D.V., Rodionov A.S. OLAP-sistema kak instrument sovremennogo ekonomista. [OLAP-system as a tool of the modern economist]. Finansovaya gazeta = Financial newspaper. 2002. № 44. pp.14–15 (in Russian).
4. Paklin N., Oreshkov V. Biznes-analitika: ot danih k znanijam [Business analyst: from data to knowledge]. St. Peterburg, 2009. 724 p. (in Russian).
5. Spirli E. Corporativnye hranilisha danyh. Planirovanie, razrabotka i realizaciya. [Corporate data warehouse. Planning, development and implementation]. № 1, 2001. 400 p. (in Russian).
6. Codd E.F., Codd S.B. and Salley C.T. Providing OLAP (on-line analytical processing) to user-analysts: An IT mandate. Technical report, 1993.
7. Devlin B. Data warehouse: from architecture to implementation. Addison Wesley Longman, Inc. (1997). ISBN 0-201-96425-2.
8. IBM. «Business Intelligence Architecture on S/390. Presentation Guide». SG24-5747-00, IBM Corporation (2000).
9. Inmon W. Building the Data Warehouse New York: John Willey & Sons, 1992.
10. Kimbell R., Ross M. The Data Warehouse Toolkit: The Complete Guide to Dimensional Data Warehouses J. Willey & Sons. Second Edition, 2002. 447 p.

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЕСУРСАМИ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ
В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧНО ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ**

Ризванов Дмитрий Анварович

К.э.н., доцент, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики,
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»,
450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12, e-mail: office@ugatu.su

Аннотация. Управление ресурсами сложной системы необходимо для обеспечения ее эффективного функционирования. В условиях динамично изменяющейся внешней среды предлагается разработать методологию информационной поддержки принятия решений при управлении ресурсами сложных систем, базирующуюся на многоагентном подходе. При разработке методологии используются системное моделирование и основные принципы системного подхода. Разработанные методологические основы построения СППР базируются на использовании набора принципов и методов и применении интеллектуальных технологий. Отличительной особенностью предлагаемой методологии является интеграция многоагентных технологий и онтологических моделей, что позволяет учитывать слабо формализуемую информацию о предметной области.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, управление ресурсами, сложная система, многоагентный подход.

Введение. Любой коллектив или организация, рассматриваемые в качестве сложной социально-экономической системы, в процессе своей деятельности используют ресурсы для выполнения необходимых задач: сырье, необходимое для производства продукции; станки, оборудование, инструменты; финансовые средства; навыки, умения и компетенции, применяемые при изготовлении продукции и оказании услуг; время, затрачиваемое в процессе производства продукции и оказания услуг.

Отличительной особенностью такого процесса является ограниченность имеющихся ресурсов, что, с одной стороны, является сдерживающим фактором развития, а с другой стороны, ведет к постоянному совершенствованию технологий, используемых в процессе жизнедеятельности организаций. Отсутствие или недостаток того или иного ресурса делает невозможным выполнение тех или иных задач, требующих этого ресурса. Таким образом, при выполнении поставленных задач важным является рационально использовать имеющиеся в наличии ограниченные ресурсы.

Задачи управления ресурсами как одного из разделов исследования операций исследованы в работах Р. Акоффа [1], Р. Беллмана [2], Л. Берталанфи [3], Дж. Данцига, Т. Купманса [14], Л. Канторовича [8] и др.

Особый интерес представляют работы учёных самарской школы. Фундаментальные проблемы принятия решений в условиях агентного взаимодействия и распределения ресурсов на базе сетей потребностей и возможностей рассмотрены в цикле работ,

выполненных под руководством В.А. Виттиха [4]. Разработке интеллектуальных систем управления ресурсами с использованием мультиагентных технологий и сетецентрического подхода посвящены работы П.О. Скобелева [13].

Вопросы разработки моделей многоагентной самоорганизации при управлении сложными системами исследуются в работах В.И. Городецкого [5].

Анализ основных исследований в области управления распределением ресурсов в сложных системах показал, что большинство разработанных методов работают только с числовыми данными и не учитывают слабо формализуемую информацию об особенностях предметной области, а также индивидуальные особенности, присущие ресурсам одного вида.

1. Системный подход и системное моделирование процесса управления ресурсами сложных систем. Для исследования систем управления сложными системами существуют различные подходы: кибернетический, информационный, синергетический и ряд других. В данной работе при разработке методологических основ поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах в качестве базового выбран системный подход.

Системный подход позволяет исследовать любой объект как систему, в которой выделены элементы, внутренние и внешние связи, а цели каждого элемента определены исходя из цели всей системы [7].

При использовании системного подхода в сложной системе любого назначения и любой природы выделяются отдельные элементы и подсистемы, которые являются обособленными, но взаимосвязаны и взаимодействуют.

При этом, несмотря на то, что элементы являются обособленными, изменение одного элемента ведет к изменению в других элементах и подсистемах. С учетом этого функционирование любой системы необходимо изучать в динамике. Это дает возможность более адекватно описывать изучаемую сложную систему и процессы, происходящие в ней, а также позволяет планировать и прогнозировать развитие самой системы.

Существуют различные формальные методы системного подхода, используемые для анализа различных аспектов сложных систем. Для решения задач моделирования сложных систем разработаны проверенные и хорошо зарекомендовавшие себя методологии и стандарты. К таким стандартам относятся методология моделирования IDEF (Integration Definition Metodology), позволяющая исследовать структуру, параметры и характеристики производственно-технических и организационно-экономических систем [6].

Для системного моделирования процесса поддержки принятия решений при управлении ресурсами сложных систем выбрана методология IDEF0, позволяющая наиболее полно в достаточно удобной и наглядной графической форме представить систему с точки зрения совокупности функциональных блоков и элементов, описать входы и выходы этой системы, а также управляющие элементы. Стрелки на этой диаграмме отображают связи объекта моделирования с окружающей средой.

Рассмотрим далее постановку задачи поддержки принятия решений при управлении ресурсами сложных систем с использованием методологии IDEF0.

Для этого на первом этапе формальную постановку задачи поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах представим в графической нотации IDEF0 в виде контекстной диаграммы верхнего уровня функциональной модели. Результат построения представлен на рис. 1.

В данной диаграмме входными данными являются информация об имеющихся ресурсах и информация о потребностях в ресурсах.

Выходные данные – это план распределения ресурсов, оценка качества распределения ресурсов и рекомендации по совершенствованию управления ресурсами.

Управляющие воздействия и ограничения представлены в виде семантических ограничений предметной области, целей и критериев функционирования сложной системы и рекомендаций по совершенствованию управления ресурсами.

Механизмы и ресурсы, обеспечивающие основной процесс поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах, отражены на диаграмме в виде лица, принимающего решение (ЛПР) и системы поддержки принятия решений (СППР).

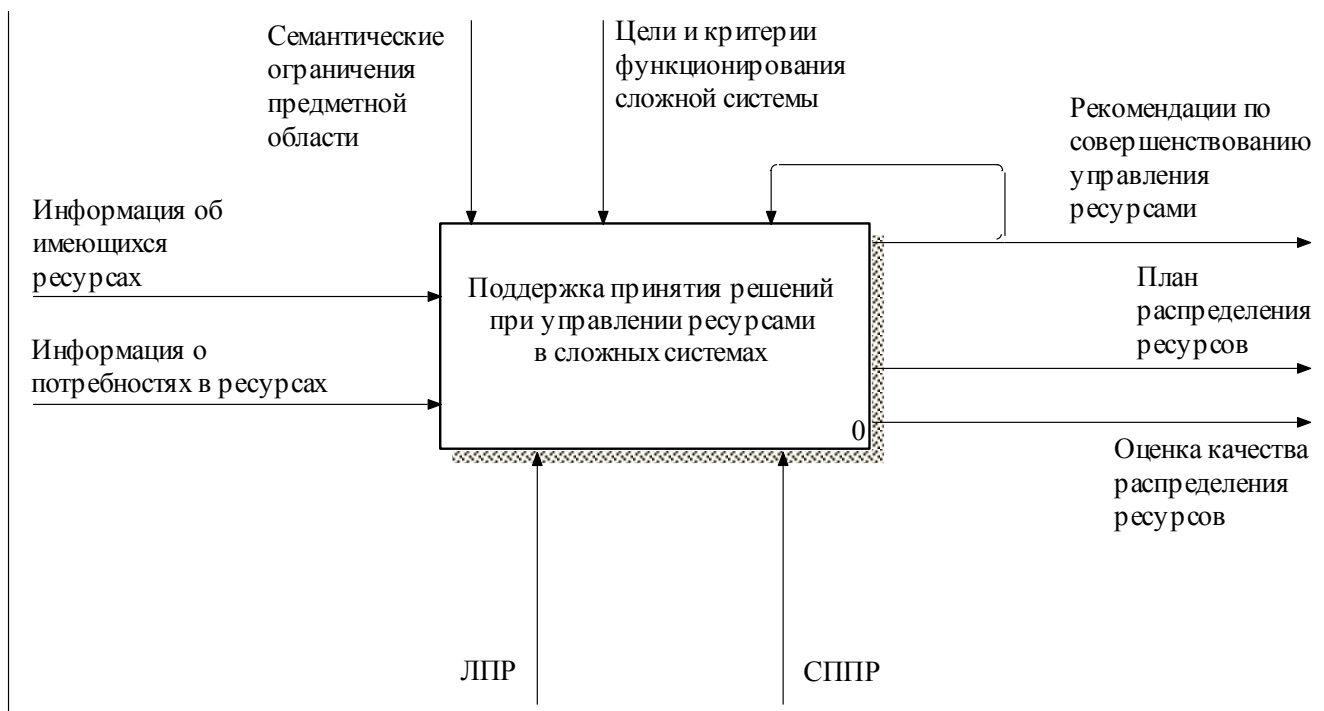


Рис. 1. Постановка задачи поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах

На основании исходных данных об имеющихся ресурсах и информации о потребностях в ресурсах требуется получить план распределения ресурсов и оценку качества такого распределения. Кроме этого, должна быть предусмотрена возможность выдачи рекомендаций по совершенствованию процесса управления ресурсами в сложных системах. На процесс управления ресурсами и, в конечном итоге, на формируемый план распределения ресурсов оказывают влияние технологические и семантические ограничения предметной области, а также цели и критерии функционирования сложной системы. Формируемые рекомендации по совершенствованию процесса управления вносят весомый вклад в процесс подготовки управленческих решений и должны способствовать получению более качественного плана распределения ресурсов с учетом целей и критериев функционирования сложной системы, а также имеющихся ограничений предметной области.

Следующим этапом является декомпозиция контекстной диаграммы верхнего уровня с целью определения основных этапов решения задачи. Результат представлен в виде диаграммы декомпозиции на рис. 2.

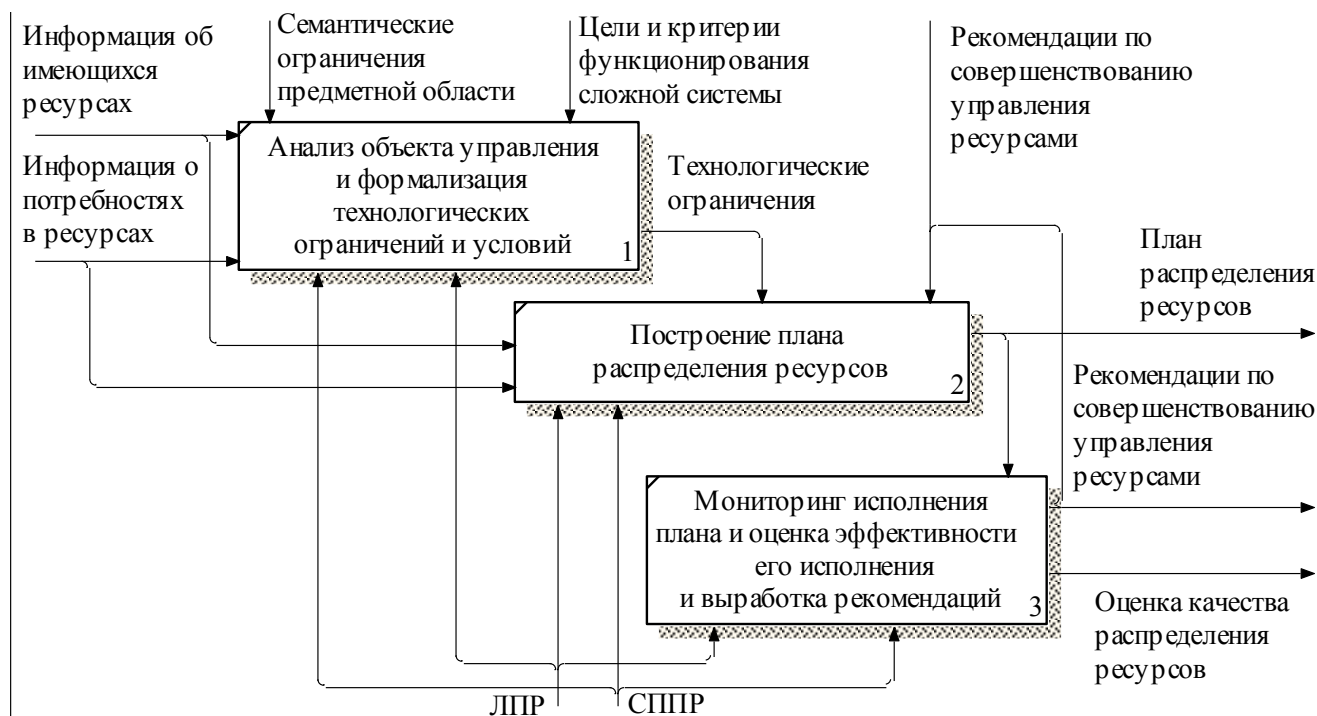


Рис. 2. Структура решения задачи поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах

На первом этапе происходит анализ объекта управления – сложной системы – и формализация технологических ограничений и параметров. Анализ проводится с учетом семантических ограничений предметной области, а также сформулированных целей и критериев функционирования сложной системы. Результатом такого анализа является формализованное описание технологических ограничений предметной области.

Далее на втором этапе информация об имеющихся ресурсах и потребностях в ресурсах используется непосредственно для построения плана распределения ресурсов. При этом на процесс построения плана распределения ресурсов оказывают влияние формализованные технологические ограничения. Построенный таким образом план распределения ресурсов используется для поддержки принятия решений и принимается к исполнению.

На третьем этапе проводится мониторинг исполнения этого плана, оценка эффективности его исполнения, а также выдаются рекомендации по совершенствованию процесса управления ресурсами сложной системы. Эти рекомендации, сформулированные на основе накопленного опыта и знаний, связанных с особенностями исполнения планов и не заложенных изначально в ограничения предметной области, в дальнейшем могут использоваться при построении новых планов распределения ресурсов. Таким образом, реализованная обратная связь в виде выдачи таких рекомендаций, учитываемых при построении последующих планов распределения ресурсов, ведет к постоянному совершенствованию процесса распределения ресурсов. Результатом такого мониторинга является оценка качества распределения ресурсов.

Предложенная формализация задачи позволяет определиться с выбором методов и моделей для каждого этапа предлагаемой методологии.

2. Основные принципы поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах.

Для рассматриваемого класса систем можно использовать различные подходы к управлению. На основе проведенного анализа основных особенностей управления ресурсами в сложных системах предлагается использовать интеллектуальную систему управления.

С учетом сформулированных в [12] требований к системе поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах в условиях динамично изменяющейся внешней среды предлагается использовать третий уровень интеллектуального управления – плановое управление. Это позволит моделировать непредвиденные ситуации и планировать реакцию на них с целью устранения негативных последствий, что, в конечном итоге, повысит адаптивность модели.

Предлагаемая схема интеллектуальной системы управления ресурсами в сложных системах представлена на рис. 3.



Рис. 3. Схема системы интеллектуального управления ресурсами в сложных системах

Объектом управления является процесс распределения ресурсов. ЛПР оказывает управляющие воздействия на объект управления в соответствии утвержденным планом распределения ресурсов. Информационная поддержка принятия решений заключается в выработке альтернативных вариантов управленческих решений и соответствующих им планов распределения ресурсов и предоставлении их лицу, принимающему решения.

Блок, отвечающий за подготовку альтернативных вариантов управленческих решений и планов распределений ресурсов, представлен на схеме в виде подсистемы адаптации. На основе технологических параметров и ограничений предметной области в блоке планирования и распределения строятся планы распределения ресурсов. Далее производится

оценка этих планов с учетом критериев эффективности, формализуемых и хранящихся в базе знаний СППР.

В результате формируется набор приемлемых альтернативных вариантов управленческих решений с учетом правил принятия решений, хранящихся в базе знаний, который и предоставляется лицу, принимающему решения.

Предложенная схема системы управления служит основой информационной поддержки принятия решений при управлении ресурсами сложных систем.

3. Разработка методологических основ поддержки принятия решений при управлении ресурсами сложных систем в условиях динамично изменяющейся внешней среды и семантических ограничений. В настоящее время накоплен достаточно богатый арсенал моделей, методов и подходов для решения задач управления сложными системами. В данном исследовании для управления ресурсами в сложных системах в условиях динамично изменяющейся внешней среды и семантических ограничений предметной области предлагается использовать следующий набор принципов и методов, которые в совокупности составляют методологические основы данного исследования.

Методология управления ресурсами сложных систем в условиях динамично изменяющейся внешней среды и семантических ограничений представляет собой последовательность выполнения определенных этапов, базирующихся на использовании определенных подходов, методов и принципов.

1. Анализ объекта управления (ОУ), выявление ресурсов (поставщиков ресурсов) и потребителей ресурсов:

- системный подход;
- принцип конечной цели;
- принцип единства;
- принцип связанности.

2. Определение (формализация) технологических ограничений предметной области и целей поставщиков и потребителей ресурсов:

- системный подход;
- теория игр;
- принцип измерения;
- принцип связанности.

3. Разработка информационного обеспечения (онтологические модели):

- методы инженерии знаний;
- онтологический подход;
- принцип развития.

4. Разработка алгоритмического обеспечения:

- многоагентный подход;
- самоорганизационный подход;
- принцип неопределенности;
- принцип функциональности;
- принцип децентрализации;
- принцип модульного построения;
- принцип эквивалентности;
- принцип развития.

5. Программная реализация прототипа СППР для управления ресурсами в сложных системах:

- многоагентный подход;
- агентно-ориентированная технология программирования;
- принцип развития;
- принцип модульного построения.

6. Построение плана распределения ресурсов:

- многоагентный подход;
- методы планирования в ИИ
- принцип эквивалентности;
- принцип конечной цели.

7. Мониторинг исполнения плана и внесение изменений в план в случае непредвиденных обстоятельств:

- многоагентный подход;
- принцип неопределенности;
- принцип развития.

8. Оценка качества плана и эффективности его исполнения, выработка рекомендаций по совершенствованию процесса управления:

- многоагентный подход;
- принцип измерения;
- принцип конечной цели.

Разработанные методологические основы нашли отражение при разработке прототипов СППР для управления ресурсами сложных систем в различных предметных областях (управление ресурсами при оказании медицинских услуг, календарном планировании производства, в условиях чрезвычайных ситуаций) [9-11].

Заключение. Разработана функциональная модель процесса поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах с использованием известной методологии системного моделирования IDEF0. Предложенная схема системы управления ресурсами в сложных системах служит основой для разработки информационной поддержки принятия решений при управлении ресурсами сложных систем.

Проведенный анализ особенностей управления ресурсами в сложных системах послужил основанием выбора интеллектуальной системы управления ресурсами третьего уровня (плановое управление), позволяющей планировать заранее не определенные ситуации, имитировать и моделировать неопределенности.

Разработанные методологические основы построения СППР для управления ресурсами сложных систем в условиях динамично изменяющейся внешней среды и семантических ограничений основаны на сформулированных принципах разработки систем поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах с учетом требований к математическому, алгоритмическому, информационному, методическому и программному видам обеспечений.

Существенным фактом является применение интеллектуальных технологий. Основное отличие предлагаемого подхода от известных заключается в интеграции многоагентных технологий и онтологических моделей, что позволяет формулировать задачи в новой постановке, учитывать слабо формализуемую информацию, строить модели,

которые точнее отражают свойства реальных объектов, и повысить качество принимаемых решений на основе использования технологий распределенного искусственного интеллекта.

Данное исследование частично поддержано грантами РФФИ 14-07-00811-а, 15-07-01565-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акофф Р. Планирование в больших экономических системах. М.: Мир, 1972. 228 с.
2. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. М.: Наука, 1965. 460 с.
3. Берталанфи фон Л. Общая теория систем: критический обзор. М.: Прогресс, 1969.
4. Виттих В.А., Моисеева Т.В., Скобелев П.О. Принятие решений на основе консенсуса с применением мультиагентных технологий // *Онтология проектирования*. 2013. №2(8). С. 20–25.
5. Городецкий В.И. Самоорганизация и многоагентные системы. Модели многоагентной самоорганизации // *Известия РАН. Теория и системы управления*. 2012. №2. С. 92–120.
6. ГОСТ Р 50.1.028. – 2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. Введ. 2002-07-01. М.: Госстандарт России, 2001. 49 с.
7. Гришанов Г.М., Павлов О.В. Исследование систем управления: учебное пособие. Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2005. 128 с.
8. Полтерович В.М. Теория оптимального распределения ресурсов Л. В. Канторовича в истории экономической мысли // *Журнал Новой экономической ассоциации*. 2012. № 1 (13). С. 176–180.
9. Ризванов Д.А. Алгоритмы управления ресурсами в сложных системах с применением многоагентных технологий // *Вестник УГАТУ*. 2013, Т. 17, № 5 (58). С. 117–123.
10. Ризванов Д.А. Программное обеспечение для управления ресурсами в сложных системах с использованием многоагентного подхода // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. Иркутск: ИрГУПС. 2013. №4(40). С. 80-84.
11. Ризванов Д.А., Чернышев Е.С. Управление ресурсами при календарном планировании производства и интеграция с информационными системами предприятия // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 12 (часть 11). С. 2315-2319.
12. Ризванов Д.А., Юсупова Н.И. Интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении ресурсами сложных систем на основе многоагентного подхода // *Онтология проектирования*. № 3 (17). 2015. С. 297-312.
13. Скобелев П.О. Интеллектуальные системы управления ресурсами в реальном времени: принципы разработки, опыт промышленных внедрений и перспективы развития // *Приложение к журналу «Информационные технологии»*. 2013. №1. С. 1–32.
14. Таха Х.А. Введение в исследование операций. М.: Вильямс, 2005. 912 с.

UDK 004.89

METHODOLOGICAL BASIS OF A DECISION SUPPORT IN THE MANAGEMENT OF RESOURCES IN COMPLEX SYSTEMS

UNDER A FAST CHANGING ENVIRONMENT

Dmitry A. Rizvanov

PhD, Associate Professor, Associate Professor at Dept. of Computational Mathematics and Cybernetics, Ufa State Aviation Technical University, 12, K. Marx Str., 450008, Ufa, Russia
e-mail: office@ugatu.su

Abstract. Resource management of a complex system is necessary to ensure its effective functioning. In a fast changing environment it is suggested to develop a methodology for information decision-making support in the management of resources of complex systems based on multi-agent approach. The system modeling and the basic principles of the system approach are used in the development of the methodology. The methodological basis for building decision support system is based on a set of principles and methods, and the use of intelligent technologies. A distinctive feature of the proposed methodology is the integration of multi-agent technology and ontological models that takes into account the weak formalized information about the subject area.

Keywords: decision support, resource management, complex system, multiagent approach.

References

1. Akoff R. Planirovanie v bol'shikh jekonomicheskikh sistemah [Planning in big economic systems]. Moscow, Mir, 1972. 228 p. (In Russian).
2. Bellman R., Dreyfus S. Prikladnye zadachi dinamicheskogo programmirovaniya [Practical applications of dynamic programming]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 460 p. (In Russian).
3. Bertalanfi fon L. Obshhaja teorija sistem: kriticheskij obzor [Basic theory of systems: critical review]. Moscow, Progress, 1969. (In Russian).
4. Vittikh V.A., Moisseeva T.V., Skobelev P.O. Prinjatie reshenij na osnove konsensusa s primeneniem mul'tiagentnykh tehnologij [Decision making on the basis of consensus using multi-agent technologies] / Ontologija proektirovaniya = Ontology of designing. №2(8). 2013. Pp. 20–25. (In Russian).
5. Gorodeckij V.I. Samoorganizacija i mnogoagentnye sistemy. Modeli mnogoagentnoj samoorganizacii [Selforganization and multi-agent systems. Models of multi-agent organization] / Izvestija RAN. Teorija i sistemy upravlenija = News of RAS. Theory and control systems. 2012. №2. Pp. 92–120. (In Russian).
6. GOST R 50.1.028. – 2001. Informacionnye tehnologii podderzhki zhiznennogo cikla produkcii. Metodologija funkcional'nogo modelirovaniya [Information technologies of product life cycle support. Methodology of functional modeling]. Accepted 2002-07-01. Moscow, Gosstandart Rossii, 2001. 49 p. (In Russian).
7. Grishanov G.M., Pavlov O.V. Issledovanie sistem upravlenija: uchebnoe posobie [Research of control systems]. Samara: Samara State Aerospace University, 2005. 128 p. (in Russian).
8. Polterovich V.M. Teorija optimal'nogo raspredelenija resursov L. V. Kantorovicha v istorii jekonomicheskij mysli [Theory of optimal resource distribution by L. V. Kantorovich in history of economic science] / Zhurnal Novoj jekonomicheskij asociacii = New Economic Association Journal. 2012. № 1 (13). Pp. 176–180. (in Russian).

9. Rizvanov D.A. Algoritmy upravlenija resursami v slozhnyh sistemah s primeneniem mnogoagentnyh tehnologij [Algorithms for resource management in complex systems using multi-agent technology] / Vestnik UGATU= Bulletin of the Ufa State Aviation University. 2013. Vol. 17, № 5 (58). Pp. 117-123. (In Russian).
10. Rizvanov D.A. Programmnoe obespechenie dlja upravlenija resursami v slozhnyh sistemah s ispol'zovaniem mnogoagentnogo podhoda [Software for resource management in complex systems with using multi-agent approach] / Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. = Modern technologies. System analysis. Modeling. Irkutsk: IrGUPS = Irkutsk State University of Railway Engineering. 2013. №4(40). Pp. 80-84. (In Russian).
11. Rizvanov D.A., Chernyshev E.S. Upravlenie resursami pri kalendarnom planirovanii proizvodstva i integracija s informacionnymi sistemami predprijatija [Resource management in scheduling production processes and integration with enterprise information systems] / Fundamental'nye issledovaniya = Basic research. 2014. № 12 (Vol. 11). Pp. 2315-2319. (In Russian).
12. Rizvanov D.A., Yusupova N.I. Intellektual'naja podderzhka prinjatija reshenij pri upravlenii resursami slozhnyh sistem na osnove mnogoagentnogo podhoda [Intelligent decision support for resource management of complex systems based on multi-agent approach] / Ontologija proektirovanija = Ontology of designing. № 3 (17). 2015. Pp. 297-312. (In Russian).
13. Skobelev P.O. Intellektual'nye sistemy upravlenija resursami v real'nom vremeni: principy razrabotki, opyt promyshlennyh vnedrenij i perspektivy razvitija [Intellectual systems of real-time resource management: enterprise integration experience and evolution perspective] / Prilozhenie k zhurnalu «Informacionnye tehnologii». 2013. №1. Pp. 1–32. (In Russian).
14. Taha, H.A. Vvedenie v issledovanie operacij [Introduction into operations analysis]. Moscow, Vil'jams, 2005. 912 p.

УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСАМИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ ПРЕДПРИЯТИЯ

Ризванов Дмитрий Анварович

К.э.н., доцент, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики,
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»,
450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12, e-mail: office@ugatu.su

Чернышев Евгений Сергеевич

Ассистент кафедры вычислительной математики и кибернетики,
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»,
450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12, e-mail: office@ugatu.su

Аннотация. Планирование развития производственных мощностей необходимо для обеспечения эффективного функционирования предприятия. Для обеспечения планомерного развития производств и создания новых производственных мощностей предлагается использовать основанное на многоагентном подходе разрабатываемое программное обеспечение информационной поддержки принятия решений при управлении ресурсами на производстве. Отличительной особенностью предлагаемого программного обеспечения является интеграция многоагентных технологий и собственной базы знаний, что позволяет учитывать неформальную информацию о предметной области.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, управление ресурсами, производственные мощности, многоагентный подход.

Введение. В условиях жесткой рыночной конкуренции любому предприятию сегодня необходимо ориентироваться на грамотное стратегическое управление, инновации, эффективность производства, освоение высокотехнологичных изделий. Поэтому главными задачами отечественного машиностроительного комплекса являются: повышение квалификации сотрудников, инвестиции в информационные технологии, модернизация оборудования и технологий.

Однако, в условиях ограниченности финансовых ресурсов, при модернизации/организации производства для определения необходимых производственных мощностей часто бывает недостаточно простого прямого расчета количества необходимого оборудования по технологической трудоемкости изготовления изделий. Обычно такой расчет предусматривает идеальное положение вещей и не учитывает такие важные аспекты производственной деятельности, как: профессионализм/квалификацию работника, отпуска сотрудников, отгулы, больничные листы, простои оборудования, связанные с ремонтом, техническим обслуживанием и др., а также другие аспекты, связанные с человеческим фактором.

Для более точного расчета проектируемых/модернизируемых производственных мощностей необходимо проводить моделирование выполнения производственного плана, построенного с учетом различных «неформальных» аспектов функционирования производства и накопленными базами знаний. Такой подход позволяет выявить «узкие»

места в планируемом производстве. Применение многоагентного подхода для решения таких задач показывает высокую эффективность метода. Наряду с высокой скоростью выполнения, расчеты показывают стабильность значений, а также высокую отказоустойчивость работы агентов.

1. Описание задачи планирования производственных мощностей нового производства. Представим ситуацию, в которой планируется создание производства по изготовлению какой-либо продукции (узлов).

Организация нового производства, как правило, состоит из нескольких основных этапов:

- Определение состава технологического оборудования;
- Определение численного состава персонала;
- Разработка проектно-сметной документации (проекта) на строительство (реконструкцию) объекта;
- Строительство/реконструкция объекта;
- Технологическая подготовка производства;
- Закупка оборудования;
- Прием персонала;
- Выход на серийное производство.

Каждый этап организации производства имеет свои особенности, но в части планирования производства интерес представляют последние три этапа.

Ситуация создания нового производства. Планируется создание нового производства с заданной номенклатурой и плановым годовым объемом производства 350 комплектов/изделий в год с выходом на серийное производство в следующих объемах:

- 1-й год: 10 комплектов (установочная партия) – для определения возможностей производства – что запроектированного оборудования достаточно для выполнения всей технологической цепочки по изготовлению всей номенклатуры деталей;
- 2-й год: 50 комплектов;
- 3-й год: 150 комплектов;
- 4-й и последующие года: 350 комплектов.

Тогда именно под эту программу (как минимум) нам нужно к соответствующему времени приобрести оборудование, набрать необходимый персонал.

2. Расчет необходимого оборудования для выполнения заданной программы изготовления деталей. Приведем обычный расчет необходимого оборудования для выполнения заданной программы изготовления деталей. В целях равномерного изготовления ДСЕ (детали и сборочные единицы), партия запуска принята по 10 деталей. В таблицах 1 и 2 приведены расчетные данные по применяемому оборудованию, а также трудоемкости изготовления заданной номенклатуры.

Например: для изготовления детали номер 0487 необходимы три операции «Токарная с ЧПУ». Согласно технологии для первых двух нужен Высокоточный токарный станок с ЧПУ модели ТС600 65, фирмы "Spinner", а для третьей – высокоточный токарный обрабатывающий центр модели ТС600 65 MC, также фирмы "Spinner" (таблица 1).

Таблица 1. Применяемое оборудование для изготовления номенклатуры

№ ДСЕ	№ п/п	Наименование операции	Тип применяемого оборудования	Производитель, модель применяемого оборудования
	№ оп.			
0487	1			
0487	1.1	Токарная с ЧПУ	Высокоточный токарный станок с ЧПУ	"Spinner" TC600 65
0487	1.2	Токарная с ЧПУ	Высокоточный токарный станок с ЧПУ	"Spinner" TC600 65
0487	1.3	Токарная с ЧПУ	Высокоточный токарный обрабатывающий центр	"Spinner" TC600 65MC
0114	2			
...				
9040	36			
9040	36.1	Токарная с ЧПУ	Высокоточный токарный станок с ЧПУ	"Spinner" TC800 110
9040	36.2	Сверлильная	Станок радиально-сверлильный	SRB 50
9040	36.3	Токарная с ЧПУ	Высокоточный токарный станок с ЧПУ	"Spinner" TC800 110

Трудоемкость выполнения для операции 1.1 следующая (таблица 2):

- Тшт = 29,2 мин. – «машинное время» – здесь учитывается только механическое время на обработку детали – «снятие стружки»;
- Тпз = 84 мин. – «время предварительно-заключительное» - это время настройки оборудования для изготовления данной детали;
- Тшк = 37,6 мин. – «время штучно-калькуляционное» здесь учитывается «машинное время» на каждую деталь, а также «предварительно-заключительное время» разделенное на партию запуска (приняту 10 деталей).

Т.е. для изготовления партии одинаковых деталей необходимо сначала подготовить оборудование: установить и настроить приспособление, настроить режущий инструмент, мерительный и т.д., а также убрать оснастку после выполнения операции, на это отведено 84 минуты. После настройки оборудования изготавливается партия деталей (10 шт.) – $29,2 \cdot 10 = 292$ мин. Таким образом, для изготовления 10 деталей необходимо $84 + 292 = 376$ минут. Следовательно, приведенное время на каждую деталь составляет 37,6 минут – «штучно-калькуляционное время».

Далее рассчитывается трудоемкость выполнения каждой операции для каждой детали на проектную годовую и годовые программы выхода на проектную мощность – «время штучно-калькуляционное» умножается на соответствующую программу; для 350: $37,60 \cdot 350 = 13\,160$ мин.

После расчета трудоемкости выполнения операций для заданных программ, объединенные таблицы 1 и 2 группируют по модели оборудования и суммируют трудоемкость, получаем Таблицу 3.

Таблица 2. Трудоемкость изготовления заданной номенклатуры

№ ДСЕ	№ п/п № оп.	Наименование операции	Трудоемкость выполнения операции, (мин)			Трудоемкость на годовую программу, (мин)			
			Тшт	Тшк	Тпз	10 к-в	50 к-в	150 к-в	350 к-в
0487	1								
0487	1.1	Токарная с ЧПУ	29,20	37,60	84,00	376,00	1 880,00	5 640,00	13 160,00
0487	1.2	Токарная с ЧПУ	48,70	59,10	104,00	591,00	2 955,00	8 865,00	20 685,00
0487	1.3	Токарная с ЧПУ	115,70	134,30	186,00	1 343,00	6 715,00	20 145,00	47 005,00
0114	2								
...									
9040	36								
9040	36.1	Токарная с ЧПУ	44,50	55,46	109,60	554,60	2 773,00	8 319,00	19 411,00
9040	36.2	Сверлильная	14,60	20,07	54,70	200,70	1 003,50	3 010,50	7 024,50
9040	36.3	Токарная с ЧПУ	104,70	119,22	145,20	1 192,20	5 961,00	17 883,00	41 727,00

Таблица 3. Сводная таблица загрузки оборудования для годовой программы

№ п/п	Производитель, модель оборудования	Годовая трудоемкость на заданную программу, (мин)			
		10 к-в	50 к-в	150 к-в	350 к-в
1.	"Hermle" C42U MT	25 964,00	129 820,00	389 460,00	908 740,00
2.	"Spinner" TC300 42	14 403,40	72 017,00	216 051,00	504 119,00
3.	"Spinner" TC600 65	26 463,70	132 318,50	396 955,50	926 229,50
4.	"Spinner" TC600 65 MC	2 742,00	13 710,00	41 130,00	95 970,00
5.	"Spinner" TC600 65 SMCY	13 685,00	68 425,00	205 275,00	478 975,00
6.	"Spinner" TC800 110	22 510,20	112 551,00	337 653,00	787 857,00
7.	"Spinner" TC800 110 LMC	600,00	3 000,00	9 000,00	21 000,00
8.	"Spinner" TC800 110MC	9 298,80	46 494,00	139 482,00	325 458,00
9.	"Spinner" TC800 77	15 167,20	75 836,00	227 508,00	530 852,00
10.	"Casta" CA600	2 413,70	12 068,50	36 205,50	84 479,50

Различное оборудование одного назначения и типа обладает схожими свойствами, и часто есть возможность заменить одно на другое.

На основе технических характеристик применяемого оборудования была составлена схема возможной замены токарного оборудования (рис. 1):

- токарный станок "Spinner" TC600 65 лучше станка "Casta" CA600 тем, что у него есть система управления ЧПУ и он более точный, в то же время он может заменить станок "Spinner" TC300 42, т.к. обладает большими габаритами и способен изготавливать детали большего размера (но при этом он дороже TC300 42 и значительно дороже CA600);
- токарный станок "Spinner" TC600 65 MC это "Spinner" TC600 65, но с возможностью установки приводного инструмента (фреза, сверло для фрезеровки и сверления различных элементов в детали);
- "Spinner" TC600 65 SMCY это "Spinner" TC600 65 MC, но с противошпинделем и дополнительной осью Y;

- "Spinner" TC800 77 – станок с большими размерами, чем "Spinner" TC600 65, но с теми же функциями;
- "Spinner" TC800 110 – станок с большим диаметром шпинделя TC800 77 и теми же функциями;
- "Spinner" TC800 110MC отличается от "Spinner" TC800 110 наличием возможности установки приводного инструмента, а от "Spinner" TC600 65 MC – габаритными размерами и возможностью обработки ДСЕ большего размера;
- "Spinner" TC800 110 LMC отличается от "Spinner" TC800 110 большей длиной – для обработки длинных деталей.

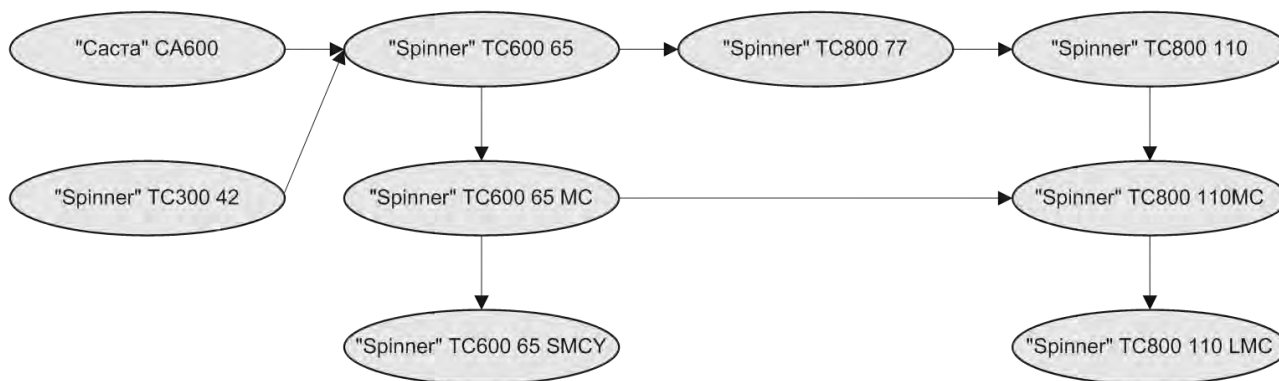


Рис. 1. Схема замены токарного оборудования
(оборудование улучшается по направлению стрелок)

Далее, необходимо определить количество приобретаемого оборудования, исходя из его загрузки.

Для расчета количества потребного оборудования принимаем:

- количество рабочих дней в году – 246;
- количество рабочих смен в сутки – 2;
- количество часов в смене – 8;
- коэффициент предельной загрузки 0,85.

Например, для "Hermle" C42U MT: суммарная трудоемкость на 350 комплектов для данного оборудования составила 908 740 минут. Данную величину переводим в часы и рабочие смены: $908\,740/60/8=1893,21$ рабочие смены должен отработать один станок для изготовления 350 комплектов ДСЕ. Применяем коэффициент предельной загрузки: $1893,21*0,85=2227,3$ рабочие смены. Делим на количество смен в сутках и количество рабочих дней в году: $2227,3/2/246=4,53$ станка необходимо для изготовления 350 комплектов ДСЕ в год.

Таблица 4. Результаты расчета количества оборудования для годовой программы 350 комплектов

№ п/п	Производитель, модель оборудования	Загрузка		Принятое кол-во оборуд-я	Прим.
		Расчетная	С дополнением от др. оборуд-я		
1.	"Hermle" C42U MT	4,53	4,53	5	
2.	"Spinner" TC300 42	2,51	2,00	2	0,51 в поз. 3
3.	"Spinner" TC600 65	4,61	5,00	5	0,12 в поз. 5
4.	"Spinner" TC600 65 MC	0,48	0,00	0	0,48 в поз. 5
5.	"Spinner" TC600 65 SMCY	2,39	2,99	3	
6.	"Spinner" TC800 110	3,92	3,92	4	
7.	"Spinner" TC800 110 LMC	0,10	0,72	1	
8.	"Spinner" TC800 110MC	1,62	1,00	1	0,62 в поз. 7
9.	"Spinner" TC800 77	2,64	2,76	3	
10.	"Casta" CA600	0,42	0,42	1	

Рассмотрим подробнее некоторые позиции табл. 4:

- Поз. 2: «собственная» загрузка станка "Spinner" TC300 42 составила 2,51, это означает, что для того, чтобы выполнить все операции, где предусмотрен этот станок, потребуется 2,51 ед. станка, следовательно, необходимо приобрести 3 ед. "Spinner" TC300 42 для выполнения годового плана. Однако, пользуясь рисунком 1, можно «лишнюю» нагрузку перенести на более лучший станок – в данном случае 0,51 переносится на "Spinner" TC600 65 (строка 3, который отличается от "Spinner" TC300 42 только габаритными размерами – в большую сторону), у которого «собственная» загрузка равна 4,61 (следовательно, необходимо приобрести 5 ед. оборудования), а излишняя нагрузка ($4,61+0,51=5,12=5+0,12$) 0,12 переносится на "Spinner" TC600 65 SMCY (строка 5, который отличается от "Spinner" TC600 65 наличием противопинделя и дополнительной управляемой осью Y), у которого «собственная» загрузка равна 2,39 (следовательно, необходимо приобрести 3 ед. оборудования) и дополнительно «подгружается» нагрузкой с поз. 4 – 0,48 и с поз. 3 – 0,12.
- Поз. 4: «собственная» загрузка станка "Spinner" TC600 65 MC составила 0,48 и необходимо приобрести 1 ед. данного оборудования, но, пользуясь рисунком 1, можно всю данную нагрузку перенести на лучший станок с низкой загрузкой. В данном случае это поз. 5 – "Spinner" TC600 65 SMCY с собственной загрузкой 2,39. После этого необходимость в приобретении весьма дорогого станка отпадает.
- Поз. 10 – токарный станок "Casta" CA600: несмотря на возможность замены, согласно рисунку 1, его загрузка не переносится в поз. 5 – TC600 65 SMCY, т.к. "Casta" CA600 это недорогой силовой токарный станок и его предназначение – выполнять «грубую» неточную обработку деталей, однако на ранних этапах данный перенос можно выполнить.
- Начальный расчет (столбец «Загрузка расчетная») для 10 комплектов происходит путем пересчета из загрузки на 350 комплектов ($X / 350 * 10$). Далее в тех строках столбца «Принятое количество оборудования», в которых для 350 комплектов было принято 0 ед. оборудования, устанавливается значение 0, а расчетная загрузка перераспределяется по другим станкам в соответствии с рис. 1.

Таблица 5. Результаты расчета количества оборудования для годовой программы 10 комплектов

№ п/п	Производитель, модель оборудования	Загрузка		Принятое кол-во оборуд-я	Прим.
		Расчетная	С дополнением от др. оборуд-я		
1.	"Hermle" C42U MT	0,13	0,13	1	
2.	"Spinner" TC300 42	0,07	0,07	0 (1)*	в поз. 5
3.	"Spinner" TC600 65	0,13	0,13	0 (1)	в поз. 5
4.	"Spinner" TC600 65 MC	0,01	0,01	0	в поз. 5
5.	"Spinner" TC600 65 SMCY	0,07	0,31	1	
6.	"Spinner" TC800 110	0,11	0,11	0 (1)	в поз. 7
7.	"Spinner" TC800 110 LMC	0,00	0,24	1	
8.	"Spinner" TC800 110MC	0,05	0,05	0 (1)	в поз. 7
9.	"Spinner" TC800 77	0,08	0,08	0 (1)	в поз. 7
10.	"Саста" СА600	0,01	0,01	0 (1)	в поз. 5

*На данном этапе приобретается 0 ед. оборудования, вместо 1 ед.

Рассмотрим подробнее некоторые позиции табл. 5:

- Поз. 2, 3 согласно произведенным расчетам загрузка у данных станков равна 0,07 и 0,13 соответственно и появляется необходимость их приобретения по 1 ед. уже на первом этапе. Однако может получиться так, что приобрести их не удастся по каким-либо причинам (недостаточность финансирования, высокая загрузка производителя оборудования, нецелесообразность приобретения оборудования при такой загрузке и прочее), поэтому их приобретение целесообразнее перенести на более поздний срок, а их загрузку перенести на другое оборудование, в данном случае – поз. 5 ("Spinner" TC600 65 SMCY), у которого суммарная загрузка при изготовлении 10 комплектов в год становится 0,31 и необходимо приобрести всего 1 ед. данного оборудования.
- Поз. 6, 8, 9 – высокоточное токарное оборудование с ЧПУ "Spinner" TC800 110, "Spinner" TC800 110MC и "Spinner" TC800 77: на данном этапе их загрузка 0,11, 0,05, и 0,08 переносится на токарный обрабатывающий центр "Spinner" TC800 110 LMC (поз. 7).
- Поз. 10 – токарный станок "Саста" СА600: на данном этапе его загрузка 0,01 переносится на высокоточный токарный обрабатывающий центр "Spinner" TC600 65 SMCY (поз. 5).

Аналогичным способом производятся расчеты оборудования для выполнения годовой программы 50, 150 комплектов.

Как видно из таблиц 4 и 5, при переносе загрузки между станками всегда будет возникать вопрос: «На каком станке ее сделать?», т.к., например, «лишнюю» загрузку от станка "Spinner" TC300 42 можно выполнить на шести других моделях оборудования: "Spinner" TC600 65, "Spinner" TC600 65 SMCY, "Spinner" TC800 110, "Spinner" TC800 110 LMC, "Spinner" TC800 110MC, "Spinner" TC800 77, которых суммарно 17 ед.

3. Обзор существующих систем планирования. В настоящее время на российском рынке имеется ряд систем для календарного цехового планирования. Одними из наиболее известных являются:

- мультиагентная система внутрицехового планирования «Smart Factory» (НПК "Разумные решения") – система для оперативного планирования в реальном времени ресурсов цеха, включая рабочих, станки, материалы и т.д. [2];
- MES-система для машиностроения PolyPlan (Загидуллин Р.Р.) – инструмент оперативно-календарного (цехового) планирования, предназначена для формирования оперативных план-графиков работы оборудования (расписаний) как для автоматизированных производственных систем, так и для производственных систем с невысоким уровнем автоматизации [1, 11];
- MES-система ФОБОС (МГТУ "Станкин", кафедра «Информационных технологий и вычислительных систем», д.т.н., профессор Фролов Е.Б.) – оперативное планирование и диспетчерский контроль (расчет оптимального производственного расписания и последующего мониторинга его выполнения, в основу расчета и управления производственным расписанием положен математический оптимизационный аппарат, позволяющий моделировать 100 сценариев по 3 выбранным значениям критериев из 14 возможных) [10, 6];
- система автоматизированного управления производством «ГОЛЬФСТРИМ» (генерация сводной аналитической информации для принятия управленческих решений на стратегическом, тактическом (цеховом) и оперативном (внутрицеховом) уровнях управления) [5].

Указанные системы направлены на сбор информации о выполнении плана, работы оборудования, управление заказами, «разузливание» продукции (построение дерева изделия), задание плана цехам, участкам, контроль его выполнения, оперативно-календарное планирование – распределение работ по исполнителям, построение сетевых графиков движения деталей и т.д. Однако эти системы, как отечественного, так и зарубежного производства, наряду с явными достоинствами (адаптивность, многокритериальное составление расписания, удобный ввод информации, вывод результатов), имеют и существенные недостатки, такие как:

- обезличенность персонала и оборудования (все работники одной профессии абсолютно одинаковы, взаимозаменяемы, имеют равную производительность, равно как одинаково и оборудование одной модели);
- отсутствие в предметной области персонала (изготовление деталей планируется на рабочие центра – РЦ - станки, а какой за этим станком стоит рабочий и есть ли он вообще – система не учитывает);
- задание плана участку/цеху указанием «сколько и когда необходимо сделать» без распределения ресурсов с указанием, «кто будет делать, на каком оборудовании и конкретно в какое время» (система «Гольфстрим»).

В предлагаемом подходе учитываются персональные особенности, как персонала, так и оборудования, персонал рассматривается отдельно от оборудования, а не как его неотъемлемая принадлежность и, следовательно, есть возможность «переставить» рабочего за другой станок. Такой подход является более гибким и более адаптированным к реальным условиям, позволяющий учитывать неформальные аспекты производства.

4. Моделирование развития производственных мощностей предприятия. С помощью предлагаемого подхода можно осуществить моделирование выполнения производственного плана промежуточной производственной программы. Моделирование

необходимо выполнить для того, чтобы можно было произвести оценку достаточности расчетного количества оборудования для выполнения такой промежуточной программы. Для осуществления планирования развития производственных мощностей предприятия в системе распределения ресурсов, создаваемой на основе многоагентных технологий [3, 9], агент «ресурс» [4] наделен функциями, связанными с расчетом производственных мощностей, а также некоторыми дополнительными свойствами, например, такими, как стоимость, необходимое расчетное количество данного оборудования, знания об иерархии производственных возможностей оборудования такого типа (рис. 1).

Этапы проведения моделирования.

- 1 В систему заносится информация об основной и промежуточных годовых программах выпуска ДСЕ, партии запуска деталей в производство, количестве рабочих дней в году, количестве рабочих смен в сутках, длительности рабочей смены, коэффициент предельной загрузки оборудования и прочая необходимая информация, включая технологию изготовления с указанием модели минимально необходимого оборудования (т.е. для выполнения простой фрезерной операции не закладывают станок с поворотным-наклонным столом и функцией точения, а закладывают простой недорогой фрезерный станок – табл. 1 и 2).
- 2 Инициализируются агенты «ресурс» в «режиме задачи расчета оборудования», в количестве по 1 единице для каждой указанной в технологиях модели оборудования (для данного примера – 10 экземпляров агентов - табл. 5).
- 3 Каждый агент производит расчет суммарной трудоемкости для каждой операции каждой детали, где заложена его модель, для выполнения годовой программы и с учетом партии запуска – получают сводные значения трудоемкости работ на каждую модель оборудования для производственной программы полной проектной мощности/промежуточных программ (табл. 3);
- 4 Каждый агент производит расчет загрузки для производственной программы полной проектной мощности с учетом количества смен, годовым фондом рабочего времени и коэффициентом предельной загрузки (табл. 4, столбец «Загрузка расчетная»);
- 5 Агенты проводят анализ расчетного количества оборудования по группам оборудования на основе иерархии (начиная с дорогого и функционального в сторону более простого и дешевого):
 - 5.1 Агент самого дорогого станка («А1») – последнего в иерархии для данной группы станков принимает количество оборудования = расчетное, округленное до целого в большую сторону (при загрузке 4,4 – принимается 5 единиц).
 - 5.2 Далее агент «А1» вычисляет «резерв» - разница между принятым количеством и расчетной загрузкой.
 - 5.3 Агент «А1» передает следующему агенту (с худшей моделью оборудования) «А2» информацию о резерве на своей модели.
 - 5.4 Агент «А2» из своей расчетной загрузки вычитает «резерв» агента «А1» и получает «остаток».
 - 5.5 Если «остаток» меньше, либо равен нулю, то для модели оборудования агента «А2» количество принимается 0, а остаток (с положительным знаком) в качестве «резерва» переходит к следующей модели оборудования – агенту «А3» (аналогично шагу 5.3, переход на шаг 5.4, текущий агент «А3»).

- 5.6 Если «остаток» больше нуля, то для агент «А2» принимает количество оборудования = «остаток» после шага 5.4 округляет до целого в большую сторону.
- 5.7 Агент «А2» рассчитывает «резерв».
- 5.8 Шаги 5.3 - 5.7 выполняют все агенты, кроме агента, представляющего последнюю – самую худшую модель оборудования. Данный агент шаг 5.7 не выполняет.
- 6 После шага 5 формируется список моделей станков с количеством, необходимым для выполнения производственной программы полной проектной мощности (табл. 4, столбец «Принятое кол-во оборудования»).
- 7 Для определения количества необходимого оборудования для выполнения промежуточных производственных программ выполняются шаги 2 - 5 для каждой программы (табл. 5). При этом, при расчете промежуточных производственных программ на шаге 2 к экземплярам агентов «ресурс» для годовой программы 350 к-в создаются аналогичные экземпляры агентов для 150, 50 и 10 комплектов. Количество оборудования в расчете промежуточной программы не должно превышать количество того же оборудования для производственной программы полной проектной мощности и промежуточной программы с большим объемом производства (пусть количество оборудования ресурса «А1» для 350 комплектов – КА1-350, а для 10 комплектов – КА1-10, тогда $КА1-350 \geq КА1-150 \geq КА1-50 \geq КА1-10$), для чего ресурс запрашивает информацию у более старшего аналога по годовой программе (А1-150 запрашивает у А1-350, а А1-10 – у А1-50, А1-150 и А1-350 и т.д.).
- 8 Далее в систему распределения ресурсов (создаваемую на основе многоагентных технологий) [3, 9] вносятся данные об имеющемся/планируемом персонале.
- 9 Производится моделирование выполнения производственного плана (система создает необходимое количество экземпляров агентов «ресурс» [4] – для оборудования и рабочих, на основе заданной номенклатуры формируется массив агентов «деталь» [4], а на основе технологий изготовления – массив агентов «операция» [4]. Созданные агенты, действуя по заложенным в них алгоритмам и путем переговоров [7, 8], формируют календарный план изготовления деталей с учетом задачи ускорения изготовления продукции [4].
- 10 Выдаются отчеты в виде сменно-суточного задания, графиков загрузки оборудования, персонала и т.д.
- 11 Проводится анализ результатов. Делаются соответствующие выводы.

Таким образом, если принять расчетное количество оборудования на программу 10, 20, 150 и 350 комплектов как имеющееся, заложить необходимое количество персонала, то с помощью системы распределения ресурсов можно произвести расчет выполнения плана заданной программы и определить возможность ее выполнения в целом, просмотреть «узкие места» (т.к. они так или иначе будут возникать в связи с переносом загрузки с одного оборудования на другое, а также в связи с одновременным запуском/подходом деталей в обработку на ту или иную операцию). При этом для проведения подобных расчетов вручную может потребоваться до нескольких дней – зависит от количества оборудования и номенклатуры, а при применении системы распределения ресурсов, затрачиваемое время ориентировочно составляет до 2 часов.

При наличии «узких мест» пользователь может определить, каким способом их можно «расшить» либо при помощи подбора более опытного персонала (т.е. принимается,

что на данном рабочем месте должен быть более опытный рабочий, возможно, достаточно только организовать работы в сверхурочное время), либо путем приобретения дополнительного оборудования, и вновь пересчитать возможность выполнения плана.

Заключение. Рассмотрена задача планирования производственных мощностей нового производства. Приведен пример расчета производственных мощностей для вновь организуемого производства. Предложен способ решения задачи посредством моделирования управления производственными ресурсами с помощью многоагентной системы распределения ресурсов.

Основное отличие предлагаемого подхода от общепринятых заключается в применении многоагентных технологий и учете неформальной информации при расчете производственных мощностей, что позволяет строить производственные календарные планы, которые точнее отражают реальную производственную ситуацию, повысить их качество, а также более точно планировать развитие производства.

Данное исследование частично поддержано грантами РФФИ №14-07-00811-а, №15-07-01565-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Загидуллин Р.Р. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 372 с.
2. Ржевский Г.А., Скобелев П.О. Как управлять сложными системами? Мультиагентные технологии для создания интеллектуальных систем управления предприятиями. – Самара: Офорт, 2015. – 290 с.
3. Ризванов Д.А., Чернышев Е.С. Управление ресурсами при календарном планировании производства и интеграция с информационными системами предприятия // Фундаментальные исследования. 2014. № 12 (часть 11). С. 2315-2319.
4. Ризванов Д.А., Чернышев Е.С. Многоагентный подход к календарному планированию производственных процессов //Материалы XV Байкальской Всероссийской с международным участием конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». – Иркутск, ИСЭМ СО РАН, 2010. Часть III. – С.7-14.
5. Система управления производством «Гольфстрим». В фокусе – производство. Производственное планирование. Режим доступа: <http://gulfstream-mrp.ru/functions/planning/> (дата обращения 10.05.2016).
6. Характеристика и функции MES-системы ФОБОС. Режим доступа: <http://www.fobomes.ru/fobos-system/MES-system-characteristic-and-functions.html> (дата обращения 10.05.2016).
7. Чернышев Е.С., Ризванов Д.А. Информационное и алгоритмическое обеспечение календарного планирования производственных процессов / Материалы XVI Байкальской Всероссийской с международным участием конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». – Иркутск, ИСЭМ СО РАН, 2011, Т.2, С.17-25.
8. Чернышев Е.С., Ризванов Д.А. Календарное планирование производственных процессов / Принятие решений в условиях неопределенности. Межвузовский научный сборник. – Уфа, УГАТУ, 2010. С.83-89.

9. Чернышев Е.С., Ризванов Д.А. Математическое и информационное обеспечение для управления ресурсами при календарном планировании производственных процессов / Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/113-11301> (дата обращения: 25.12.2013).
 10. MES система ФОБОС. Режим доступа: <http://www.fobos-mes.ru/fobos-system/fobos-MES-system.html> (дата обращения 10.05.2016).
 11. MES-система для машиностроения PolyPlan. Режим доступа: <http://www.fobos-mes.ru/sistema-polyplan/mes-sistema-dlya-mashinostroeniya-polyplan.html> (дата обращения 10.05.2016).
-

UDK 004.89

RESOURCE MANAGEMENT IN DEVELOPMENT PLANNING OF MANUFACTURING FACILITIES

Dmitry A. Rizvanov

PhD, Associate Professor, Associate Professor at Dept. of Computational Mathematics and Cybernetics, Ufa State Aviation Technical University, 12, K. Marx Str., 450008, Ufa, Russia

e-mail: office@ugatu.su

Evgeny S. Chernyshev

Assistant at Dept. of Computational Mathematics and Cybernetics, Ufa State Aviation Technical University, 12, K. Marx Str., 450008, Ufa, Russia

e-mail: office@ugatu.su

Abstract. Planning for the development of production capacity is necessary to ensure the effective functioning of the enterprise. It is suggested to use the developed decision-making information support system in resource management in production scheduling to ensure orderly development of industries and the creation of new production facilities. This system is based on multi-agent approach for simulating work situations in their development. A distinctive feature of the proposed software is the integration of multi-agent technology and its own knowledge base, which allows to take into account informal information about the subject area.

Keywords: decision support, resource management, manufacturing facilities, multi-agent approach.

References

1. Zagidullin R.R. Upravleniye mashinostroitel'nym proizvodstvom s pomoshch'yu sistem MES, APS, ERP [Management of engineering production systems MES, APS, ERP]: monografiya / R.R. Zagidullin. - Saryy Oskol: TNT, 2011. - 372 p. (in Russian)
2. Rzhavskiy G.A., Skobelev P.O. Kak upravlyat' slozhnyimi sistemami? Mul'tiagentnyye tekhnologii dlya sozdaniya itellektual'nykh sistem upravleniya predpriyatiyami [How to manage complex systems? Multiagent technology to create intelligent business management systems]. – Samara: Ofort, 2015. – 290 p. (in Russian)

3. Rizvanov D.A., Chernyshev E.S. Upravlenie resursami pri kalendarnom planirovanii proizvodstva i integracija s informacionnymi sistemami predpriyatija [Resource management in scheduling production processes and integration with enterprise information systems] // Fundamental'nye issledovaniya. 2014. № 12 (Vol. 11), pp. 2315-2319 (in Russian).
4. Rizvanov D.A., Chernyshev E.S. Mnogoagentnyy podkhod k kalendarnomu planirovaniyu proizvodstvennykh protsessov [Multiagent approach to the scheduling of production processes] // XV Materialy Baykal'skoy Vserossiyskoy s mezhdunarodnym uchastiyem konferentsii «Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii». - Irkutsk, ISEM SO RAN, 2010. Chast' III. - С.7-14 (in Russian).
5. Sistema upravleniya proizvodstvom «Gol'fstrim». V fokuse – proizvodstvo. Proizvodstvennoe planirovanie. [Production Management System «Gol'fstrim». Focus-production. Production planning]. Access mode: <http://gulfstream-mrp.ru/functions/planning/> (date of the application 10.05.2016) (in Russian).
6. Harakteristika i funkcii MES-sistemy FOBOS [Characteristics and functions of MES-systems FOBOS]. Access mode: <http://www.fobos-mes.ru/fobos-system/MES-system-characteristic-and-functions.html> (date of the application 10.05.2016) (in Russian).
7. Chernyshev E.S., Rizvanov D.A. Informatsionnoye i algoritmicheskoye obespecheniye kalendarnogo planirovaniya proizvodstvennykh protsessov [Informational and algorithmic support scheduling of production processes] // Materialy XVI Baykal'skoy Vserossiyskoy s mezhdunarodnym uchastiyem konferentsii «Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii». - Irkutsk, ISEM SO RAN, 2011, T.2. Pp.17-25 (in Russian).
8. Chernyshev E.S., Rizvanov D.A. Kalendarnoye planirovaniye proizvodstvennykh protsessov [Scheduling of production processes] // Prinyatiye resheniy v usloviyakh neopredelennosti. Mezhvuzovskiy nauchnyy sbornik. -Ufa, UGATU, 2010. Pp.83-89 (in Russian).
9. Chernyshev E.S., Rizvanov D.A. Matematicheskoe i informacionnoe obespechenie dlja upravleniya resursami pri kalendarnom planirovanii proizvodstvennykh processov [Mathematical and information support for resource management in scheduling of production processes] // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2013. №6. URL: <http://www.science-education.ru/113-11301> (Data obrashcheniya: 25.12.2013) (in Russian).
10. MES-sistema FOBOS [MES-system FOBOS]. Access mode: <http://www.fobos-mes.ru/fobos-system/fobos-MES-system.html> (date of the application 10.05.2016).
11. MES-sistema dlya mashinostroeniya PolyPlan [MES-system for mechanical engineering PolyPlan]. Access mode: <http://www.fobos-mes.ru/sistema-polyplan/mes-sistema-dlya-mashinostroeniya-polyplan.html> (date of the application 10.05.2016).

**ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СППР В СЛАБОФОРМАЛИЗОВАННЫХ
ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЯХ**

Загорулько Юрий Алексеевич

К.т.н., зав. лабораторией «Искусственного интеллекта»,
Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН,
630090, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева 6, e-mail: zagor@iis.nsk.su

Загорулько Галина Борисовна

Научный сотрудник, Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН,
630090, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева 6, e-mail: gal@iis.nsk.su

Аннотация. В статье обосновывается необходимость организации комплексной поддержки процесса разработки интеллектуальных систем поддержки принятия решений (СППР) в слабоформализованных предметных областях, описываются возникающие при этом проблемы, предлагаются подходы к их решению. Формулируются цель и задачи инициативного проекта, направленного на решение указанной проблемы, описывается современное состояние исследований в этой области и предлагаемые методы.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений; слабоформализованная предметная область, комплексная поддержка процесса разработки СППР, онтология

Введение. Обеспечение интеллектуальной поддержки принятия решений в слабоформализованных предметных областях является весьма актуальной проблемой. Для ее решения создаются интеллектуальные системы поддержки принятия решений (ИСППР). Однако разработка таких систем является очень трудной задачей, поскольку современные инструментальные средства разработки СППР либо неприменимы в слабоформализованных предметных областях, либо малодоступны из-за высокой стоимости.

Одним из путей решения указанной проблемы является обеспечение комплексной поддержки разработчиков ИСППР на всех этапах создания такого класса систем: от концептуального проектирования до реализации.

В статье рассматриваются проблемы, возникающие при организации комплексной поддержки процесса разработки интеллектуальных СППР (ИСППР) в слабоформализованных предметных областях, и описываются подходы к их решению, разрабатываемые в рамках инициативного проекта.

1. Цели и задачи проекта. Главной целью инициативного проекта, рассматриваемого в данной статье, является разработка методологии построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений для слабоформализованных предметных областей, объединяющей набор методов, средств и информационных ресурсов, обеспечивающих комплексную поддержку процесса разработки таких систем.

Для достижения цели проекта необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать концепцию комплексной поддержки процесса разработки ИСППР в слабоформализованных предметных областях.

2. Разработать концептуальный базис области знаний «Поддержка принятия решений».

3. Систематизировать знания, информационные ресурсы и методы, накопленные в области знаний «Поддержка принятия решений».

4. Разработать специализированный Интернет-ресурс, обеспечивающий содержательный доступ к систематизированным знаниям, информационным ресурсам и методам, относящимся к области знаний «Поддержка принятия решений».

5. Разработать доступную из разработанного интернет-ресурса экспертную советующую систему, которая на основе представленной разработчиком информации о предметной области ИСППР и решаемых ею задачах предложит ему наиболее подходящие методы поддержки принятия решений и их реализации.

6. Для компонентной поддержки процесса создания ИСППР разработать библиотеку (репозиторий) методов поддержки принятия решений, реализованных в виде сервисов.

7. На базе реализованных методов и средств поддержки процесса разработки ИСППР построить методологию разработки ИСППР в слабоформализованных предметных областях.

2. Современное состояние исследований в данной области науки. Теория поддержки принятия решений является хорошо развитой научной дисциплиной. Вопросами развития этой теории и ее практических приложений занимаются многие ученые и научные коллективы. В работах А.Б Петровского [17], О.А. Кулагина [13], А.И. Орлова [16] даются описания этапов принятия решений и классификация задач принятия решений, детально описывается ряд классических методов принятия решений. Вопросам построения, анализа и использования нечетких когнитивных карт в принятии решений посвящены работы О.П. Кузнецова [12] и А.А. Кулинича [14]. Вопросы информационной поддержки принятия решений поднимаются в работах С.В. Смирнова [2]. Вопросам применения рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных СППР посвящены работы Л.Р. Черняховской [20] и П.Р. Варшавского [1]. Вопросы создания компьютерных систем поддержки принятия управленческих решений обсуждаются в работах Э.А. Трахтенгерца [18]. Использованию ИСППР в нестандартных ситуациях посвящены работы В.А. Геловани [3] и Л.В. Массель [15].

К настоящему времени разработаны и описаны большое количество методов поддержки принятия решений (ППР). Однако до сих пор не созданы исчерпывающее описание и классификация существующих методов принятия решений. Описаны многие алгоритмы и методы, но найти готовые к исполнению модули или их подробные спецификации весьма трудно.

Наиболее полно методы ППР описаны для хорошо формализованных областей. Существует целый ряд учебников [11, 13, 16, 17], в которых описаны многие известные методы ППР. Для слабоформализованных областей таких методов разработано и описано гораздо меньше.

В последнее время в зарубежных публикациях обсуждаются проблемы и опыт использования онтологий при построении СППР в различных областях [6, 19, 24, 28], в том числе в слабоформализованных [23]. Однако в этих и близких к ним работах даже не ставился вопрос создания комплексной онтологии задач и методов поддержки принятия решений.

Что касается информационных ресурсов, обслуживающих разработчиков СППР, то их практически нет. Все известные нам системы в основном ориентированы на ЛПР (лиц, принимающих решение) или специалистов в конкретной предметной области, а не на разработчиков СППР. Например, в работе [26] описан онлайн-ресурс, предоставляющий доступ специалистам к медицинским знаниям и интернет-ресурсам для принятия решений при лечении различных заболеваний. В работе [25] представлена доступная через Интернет СППР для поддержки принятия решений при управлении водозабором.

Из отечественных разработок стоит отметить систему, разработанную под руководством А.Ю. Горнова [4], осуществляющую удаленную компьютерную поддержку разработчиков, использующих математические пакеты. Однако этот ресурс поддерживает разработку приложений в формализованных областях (вычислительная математика), а для слабоформализованных областей отсутствуют информационные интернет-ресурсы, предназначенные для разработчиков.

Что касается инструментария, необходимого для систематизации знаний, информационных ресурсов и методов, относящихся к моделируемой области знаний, и построения Интернет-ресурсов, обеспечивающих содержательный доступ к ним, то наиболее подходящим для нашего проекта подходом является разрабатываемая консорциумом W3C концепция Semantic Web [22], вместе с набором поддерживающих ее технологий (<http://www.w3.org/2001/sw/>). Эта концепция предполагает наличие у любого размещенного в сети документа связанного с ним набора метаданных (семантической аннотации). Для описания метаданных используются принятые W3C в качестве стандартов языки RDF (Resource Definition Framework) [10] и OWL (Web Ontology Language) [10, 21], которые позволяют не только описывать структурные свойства документов, но и представлять их смысл в терминах онтологий предметных областей (заданных на языке OWL). Наличие такого рода метаданных у документов облегчает их интеграцию, поддерживает содержательный доступ к ним и делает возможным их использование различными программными приложениями и сообществами.

3. Предлагаемые методы и подходы к решению проблемы. Авторами проекта предлагается подход к организации комплексной поддержки процесса разработки интеллектуальных СППР в слабоформализованных предметных областях, в соответствии с которым такая поддержка осуществляется на трех уровнях: *концептуальном, информационном и компонентном*. При этом концептуальный уровень такой поддержки представляет система онтологий. Информационная поддержка обеспечивается средствами специализированного Интернет-ресурса, в котором, в частности, систематизируются и описываются конкретные методы поддержки принятия решений и их доступные реализации. Компонентную поддержку предоставляет репозиторий методов поддержки принятия решений, реализованных в виде сервисов.

На начальном этапе разработчику ИСППР, прежде всего, необходим *концептуальный базис*. Область знаний «Поддержка принятия решений», равно как и слабоформализованная предметная область, для которой создается ИСППР, сложны и многогранны. Чтобы четко осознать, на какой класс задач будет ориентирована создаваемая ИСППР, и какие методы нужны для их решения, разработчику необходимо представлять общую структуру этих областей. В качестве концептуального базиса, решающего эту задачу, разрабатывается система взаимосвязанных онтологий, включающая в себя онтологию области знаний

«Поддержка принятия решений» и базовые онтологии, предназначенные для описания предметной области ИСППР. Онтология поддержки принятия решений, в свою очередь, должна содержать в качестве составной части онтологию задач и методов поддержки принятия решений.

Помимо общих представлений о предметной области ИСППР и поддержке принятия решений, обеспечиваемых онтологией, на начальном этапе разработчику необходима *информационная поддержка*. Ему важно иметь полное представление об имеющихся конкретных методах поддержки принятия решений, о классах решаемых ими задач, о возможностях и ограничениях каждого метода. Он должен знать об этапах принятия решений, об используемых на каждом этапе методах. Разработчик должен понимать, какие инструментальные средства реализуют возможности тех или иных методов. Средством такой поддержки будет созданный на основе онтологии информационно-аналитический Интернет-ресурс, который снабжен развитым пользовательским интерфейсом, предоставляющим содержательный доступ к указанной информации и средствам ее аналитической обработки.

На этапе реализации ИСППР большую роль играет *компонентная поддержка* разработчиков. Возможность выбрать готовые программные компоненты, реализующие необходимые методы поддержки принятия решений, может существенно облегчить и ускорить процесс создания ИСППР. Средством решения этой задачи будет библиотека методов принятия решений, снабженных унифицированными спецификациями, на основе которых может выполняться интеграция методов. Такая библиотека, помимо компонентной поддержки, предоставит непосредственный доступ к методам, позволит разработчикам предварительно опробовать их, чтобы лучше понять их возможности и выбрать наиболее подходящие для поставленных задач.

Разработанная во время выполнения проекта методология создания ИСППР в слабоформализованных областях обеспечит разработчика необходимым концептуальным базисом, предоставит ему требуемую для разработки информацию вместе со средствами содержательного доступа к ней и ее анализа, предоставит набор реализованных методов, а также их спецификации, позволяющие включать эти методы в разрабатываемые ИСППР и интегрировать их между собой.

Кроме того, будет создана доступная через Интернет-ресурс экспертная система, которая на основе представленной разработчиком информации о предметной области ИСППР и поставленных задачах предложит ему наиболее подходящие методы поддержки принятия решений.

При выполнении проекта используются методы онтологического моделирования, искусственного интеллекта, технологии Semantic Web, сервис-ориентированный подход, а также методы и подходы, которые создавались и развивались при участии авторов предлагаемого проекта в Институте систем информатики (ИСИ) СО РАН и Институте систем энергетики (ИСЭМ) СО РАН.

Для создания концептуального базиса разработки ИСППР предлагается использовать онтологический подход и технологии Semantic Web. Онтологии де-факто являются в настоящее время основой баз знаний в сложных, слабоформализованных областях, к которым можно отнести не только области, для которых будут разрабатываться ИСППР, но и такую область знаний, как поддержка принятия решений. Входящая в состав онтологии поддержки принятия решений онтология задач и методов позволит унифицировать описания

имеющихся методов, форматов используемых в них данных, спецификации реализующих эти методы программных компонентов.

4. Ожидаемые результаты. В рамках предлагаемого проекта разработанная ранее в коллективе ИСИ СО РАН онтология задач и методов поддержки принятия решений [5] будет переработана с использованием технологий Semantic Web и расширена описаниями методов принятия решений в слабоформализованных предметных областях. Использование возможностей Semantic Web упростит создание непротиворечивых и готовых к переиспользованию фрагментов знаний моделируемых областей.

На основе построенной онтологии поддержки принятия решений создается информационно-аналитический интернет-ресурс, в котором будут собраны описания конкретных интеллектуальных методов принятия решений, отображены их связи с этапами и задачами принятия решений. Здесь же будет представлена информация о доступных инструментариях, коллективах и исследователях, занимающихся данной проблематикой. Для разработки данного ресурса используются технология и методология разработки научных Интернет-ресурсов [8], созданные в ИСИ СО РАН в рамках проекта РФФИ № 13-07-00422а, которые будут дополнены и усовершенствованы в рамках предлагаемого проекта. В частности, для наполнения контента ресурса информацией о методах принятия решений будут использованы оригинальные средства автоматического сбора такого рода информации [7], разработанные авторами проекта из ИСИ СО РАН и базирующиеся на онтологии. Онтология здесь используется не только для представления семантики информационных ресурсов, но и для поддержки их интеллектуального анализа.

В соответствии с онтологией будет построена и библиотека методов принятия решений. Использование сервис-ориентированного подхода [27] упростит включение в библиотеку как оригинальных авторских, так и имеющихся в свободном доступе готовых реализаций методов. Спецификация методов в виде сервисов позволит снять ряд проблем, связанных с различием платформ, на которых разрабатывались методы, стандартов, форматов данных, удаленным размещением этих методов. Использование стандартизированных интерфейсов обеспечит интеграцию методов при решении нетривиальных задач. Сетевые протоколы, которые могут использоваться для взаимодействия между сервисами, позволят получить доступ к информации и функциональным компонентам, размещенным на удаленных серверах.

Разработка экспертной советующей системы будет выполняться с использованием как методов и средств, разработанных в ИСИ СО РАН [9, 30], так и средств технологии Semantic Web, в частности языка описания правил SWRL [29].

Таким образом, разработанные в ходе выполнения проекта методы и средства построения ИСППР возместят отсутствие готовых доступных инструментариев с требуемой функциональностью и окажут помощь в разработке широкого класса ИСППР в слабоформализованных предметных областях.

Заключение. В статье рассмотрены проблемы организации комплексной поддержки процесса разработки интеллектуальных СППР в слабоформализованных предметных областях и описаны подходы к их решению. Комплексная поддержка будет осуществляться на трех уровнях: концептуальном, информационном и компонентном. Концептуальный базис такой поддержки обеспечивается системой онтологий, ядро которой составляет онтология области знаний «Поддержка принятия решений». Информационную поддержку

осуществляет Интернет-ресурс, представляющий содержательный доступ к структурированным и систематизированным на основе онтологий знаниям, информационным ресурсам и методам, относящимся к области знаний «Поддержка принятия решений». Компонентную поддержку процесса разработки ИСППР обеспечивает репозитарий методов поддержки принятия решений, предоставляющий непосредственный доступ к реализациям этих методов и позволяющий разработчикам предварительно опробовать их, чтобы лучше понять их возможности и выбрать из них наиболее подходящие для решения поставленных задач.

Работа выполняется при частичной поддержке гранта РФФИ № 16-07-00569 «Методы и средства комплексной поддержки процесса разработки интеллектуальных СППР в слабоформализованных предметных областях на основе сервис-ориентированного подхода и технологий Semantic Web».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений, 2009. №2. – С. 45–57.
2. Витгих В.А., Ситников П.В., Смирнов С.В. Онтологический подход к построению информационно-логических моделей в процессах управления социальными системами // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2009. №5. – С. 45-53.
3. Геловани А.П., Башлыков А.А., Бритков В.Б., Вязилов Е.Д. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды // Эдиториал УРСС, 2001. – 304 с.
4. Горнов А.Ю. Разработка информационно-вычислительной системы для экспертной поддержки пользователей математических пакетов при численном решении задач оптимального управления / А.Ю. Горнов, Т.С. Зароднюк // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – ИрГУПС. – 2006. – №1. – С. 114–119.
5. Загорулько Г.Б., Загорулько Ю.А. Подход к разработке онтологии задач и методов поддержки принятия решений // Труды 13-й национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2012. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. Т. 2. -С.185-192.
6. Загорулько Ю.А., Загорулько Г.Б. Использование онтологий в экспертных системах и системах поддержки принятия решений // Труды Второго симпозиума «Онтологическое моделирование» (Казань, октябрь 2010 г.) – М.: ИПИ РАН, 2011. –С. 321-351.
7. Загорулько Ю. А., Ахмадеева И. Р., Серый А. С. Автоматизация сбора информации о научной деятельности для тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов // Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных: XVII Международная конференция DAMDID/RCDL'2015 (Обнинск, 13-16 октября 2015, Россия): Труды конференции / под ред. Л.А. Калиниченко, С.О. Старкова – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2015. –С. 105–111.
8. Загорулько Ю.А., Загорулько Г.Б., Боровикова О.И. Технология создания тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов, базирующаяся на онтологии // Программная инженерия, 2016. № 2. –С. 51-60.

9. Загоруйко Ю.А., Попов И.Г. Представление знаний в интегрированной технологической среде Semp-ТАО // Проблемы представления и обработки не полностью определенных знаний / под ред. И.Е. Швецова. – М.-Новосибирск: Российский научно-исследовательский институт искусственного интеллекта, 1996. – С. 59–74.
10. Лапшин В.А. Онтологии в компьютерных системах. М.: Научный мир, 2010. – 224 с.
11. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных Странах. М: «Логос», 2000. – 296 с.
12. Кузнецов О.П. Интеллектуализация поддержки управляющих решений и создание интеллектуальных систем // Теория и методы разработки программного обеспечения систем управления. Спецвыпуск журнала «Проблемы управления». №3.1, 2009. –С.64-72.
13. Кулагин О.А. Принятие решений в организациях. – СПб: Издательский дом «Сентябрь», 2001.– 148 с.
14. Кулинич, А. А. Компьютерные системы анализа ситуаций и поддержки принятия решений на основе когнитивных карт: подходы и методы // Проблемы управления, 2011. № 4. – С. 3145.
15. Массель Л.В., Массель А.Г. Технологии и инструментальные средства интеллектуальной поддержки принятия решений в экстремальных ситуациях в энергетике // Вычислительные технологии, 2013. Т. 18. – Специальный выпуск. – С. 37-44.
16. Орлов А.И. Эконометрика. Учебное пособие. - М.: Изд-во "Экзамен", 2002. – 576 с.
17. Петровский А.Б. Теория принятия решений. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 400 с.
18. Трахтенгерц Э.А. Компьютерные системы поддержки принятия управленческих решений // Проблемы управления, 2003. № 1. – С.13–28.
19. Черняховская Л.Р., Кружков В.Н., Дикова Ф.А. Онтологический подход к разработке системы поддержки принятия решений // Электронный журнал “Информационные ресурсы России”, 2009. №1. – С. 25-28.
20. Черняховская Л.Р., Старцева Е.Б., Муксимов П.В., Макаров К.А. Поддержка принятия решений при управлении сложными производственными системами на основе онтологической базы знаний // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета, 2007. Т. 9. № 7. –С. 41-45.
21. Antoniou G., Harmelen F. Web Ontology Language: OWL // Handbook on Ontologies. – Berlin: Springer Verlag, 2003. – Pp. 67-92.
22. Berners-Lee T., Hendler J., Lassila O. The Semantic Web. Scientific American, 2001. Vol. 284, № 5. – Pp.34–43.
23. Casanovas P., Casellas N., Vallbe J.-J. An Ontology-Based Decision Support System for Judges. In Proceeding of the 2009 conference on Law, Ontologies and the Semantic Web: Channelling the Legal Information Flood. Amsterdam: IOS Press, 2009. – Pp. 165–175.
24. Ceccaroni L., Cortés U., Sánchez-Marrè M. OntoWEDSS: augmenting environmental decision-support systems with ontologies. Environmental Modelling & Software. Vol. 19, Issue 9, September 2004. – Pp. 785–797.
25. Dejian Zhang, Xingwei Chen, Huaxia Yao. Development of a Prototype Web-Based Decision Support System for Watershed Management // Water, 2015, № 7. – Pp. 780-793.

26. Finkle-Perazzo D., Jetha N. Online resources to enhance decision-making in public health // Chronic diseases and injuries in Canada, 2011. Vol. 31. Is.4. – Pp. 172-175.
 27. Gudgin M., Hadley M., Mendelsohn N., Moreau J.-J., Nielsen H.F., Karmarkar A., Lafon Y. SOAP Version 1.2 Part 1: Messaging Framework (Second Edition). <http://www.w3.org/TR/soap12-part1/> (дата обращения: 14.03.2016).
 28. Sheng-Tun Li, Huang-Chih Hsieh, I-Wei Sun. An Ontology-based Knowledge Management System for the Metal Industry. In Proceedings of the Twelfth International World Wide Web Conference (WWW2003), Budapest, Hungary, 2003.
 29. SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML. W3C Member Submission 21 May 2004. <http://www.w3.org/Submission/SWRL/> (дата обращения: 14.03.2016).
 30. Zagorulko Yu.A., Popov I.G., Kostov Yu.V. Subdefinite Data Types and Constraints in Knowledge Representation Language. // Joint Bulletin of the Novosibirsk Computing Center and Institute of Informatics Systems. Series: Computer Science. 16 (2001), NCC Publisher. Novosibirsk, 2001. –Pp. 153-170.
-

UDK 519.816

**PROBLEMS OF THE COMPLEX SUPPORT OF THE INTELLIGENT
DECISION SUPPORT SYSTEM DEVELOPMENT
IN WEAKLY FORMALIZED DOMAINS**

Yury A. Zagorulko

Dr., Head of Laboratory "Artificial Intelligence" A.P. Ershov Institute of Informatics Systems
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
6, Acad. Lavrentjev pr., 630090, Novosibirsk, Russia, e-mail: zagor@iis.nsk.su

Galina B. Zagorulko

Researcher of Laboratory "Artificial Intelligence" A.P. Ershov Institute of Informatics Systems
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
6, Acad. Lavrentjev pr., 630090, Irkutsk, Russia, e-mail: gal@iis.nsk.su

Abstract. Necessity of complex support of process of development of the intelligent decision support systems in weakly formalized subject domains is justified; the problems of organization of such support are described and approaches to their decision are suggested. The purpose and tasks of the initiative project directed to the solution of the problem specified above are formulated, state of the art in this area and the suggested methods are described.

Keywords: decision support system, weakly formalized subject domain, complex support of process of DSS development, ontology

References

1. Varshavskij P.R., Ereemeev A.P. Modelirovanie rassuzhdenij na osnove precedentov v intellektual'nyh sistemah podderzhki prinjatija reshenij populiatsii [Case-based reasoning in the

- intelligent decision support systems] // *Iskusstvennyj intellekt i prinjatje reshenij = Artificial intelligence and decision making*, 2009. – №2. – Pp. 45–57 (in Russian).
2. Vittih V.A., Sitnikov P.V., Smirnov S.V. Ontologicheskij podhod k postroeniju informacionno-logicheskikh modelej v processah upravlenija social'nymi sistemami [Ontological approach to development of information-logical systems in the control processes of social systems] // *Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij = Herald of computer and information technologies*, 2009. – №5. – Pp. 45-53 (in Russian).
 3. Gelovani A.P., Bashlykov A.A., Britkov V.B., Vjazilov E.D. Intellektual'nye sistemy podderzhki prinjatija reshenij v neshtatnyh situacijah s ispol'zovaniem informacii o sostojanii prirodnoj sredy [Intelligent decision support systems in contingency situation with using information about state of natural environment] // *Jeditorial URSS*, 2001. – 304 p. (in Russian).
 4. Gornov A.Ju. Razrabotka informacionno-vychislitel'noj sistemy dlja jekspertnoj podderzhki pol'zovatelej matematicheskikh paketov pri chislennom reshenii zadach optimal'nogo upravlenija [Development of information system for expert user support of mathematical packages at the numerical solution of problems of optimal control] / A.Ju. Gornov, T.S. Zarodnjuk // *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie = Modern technologies. System analysis. Modeling. – IrGUPS. – 2006. – №1. – Pp. 114–119 (in Russian).*
 5. Zagorulko G.B., Zagorulko Yu.A. Podhod k razrabotke ontologii zadach i metodov podderzhki prinjatija reshenij [Approach to building the task and decision support methods ontology] // *Trudy 13-j nacional'noj konferencii po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiem KII-2012 = Proceeding of 13th Russian national conference on artificial intelligence with the international participation CAI-2012. – Belgorod: Izd-vo BGTU, 2012. Vol. 2. – Pp.185-192 (in Russian).*
 6. Zagorulko Yu.A., Zagorulko G.B. Ispol'zovanie ontologij v jekspertnyh sistemah i sistemah podderzhki prinjatija reshenij [Application of ontologies in expert systems and decision support systems] // *Trudy Vtorogo simpoziuma «Ontologicheskoe modelirovanie» (Kazan', oktjabr' 2010) = Proceeding of the Second symposium "Ontological modeling" (Kazan, October, 2010). – M.: IPI RAN, 2011. –Pp. 321-351 (in Russian).*
 7. Zagorulko Yu. A., Ahmadeeva I. R., Seryj A. S. Avtomatizacija sbora informacii o nauchnoj dejatel'nosti dlja tematiceskikh intellektual'nyh nauchnyh internet-resursov [An automatization of collection of information about scientific activity for subject intelligent scientific internet resources] // *Analitika i upravlenie dannymi v oblastjah s intensivnym ispol'zovaniem dannyh: XVII Mezhdunarodnaja konferencija DAMDID/RCDL'2015 (Obninsk, 13-16 oktjabrja 2015, Rossija): Trudy konferencii / pod .red. L.A. Kalinichenko, S.O. Starkova = Data Analytics and Management in Data Intensive Domains: XVII International Conference DAMDID/RCDL'2015 (October 13 – 16, 2015, Obninsk, Russia). Proceedings of the Conference / L.A. Kalinichenko, S.O. Starkov (eds).. – Obninsk: IATJe NIJaU MIFI, 2015. – Pp. 105–111 (in Russian).*
 8. Zagorulko Yu.A., Zagorulko G.B., Borovikova O.I. Tehnologija sozdanija tematiceskikh intellektual'nyh nauchnyh internet-resursov, bazirujushhajasja na ontologii [Technology for building subject-based intelligent scientific internet resources based on ontology] // *Programmaja inzhenerija = Software Engineering*, 2016, № 2. –Pp. 51-60 (in Russian).
 9. Zagorulko Yu.A., Popov I.G. Predstavlenie znanij v integrirovannoju tehnologicheskiju srede Semp-TAO [Knowledge representation in Semp-TAO integrated technological environment] //

- Problemy predstavlenija i obrabotki ne polnost'ju opredelennyh znaniy / pod red. I.E. Shvecova = Problems of representation and processing of not completely certain knowledge / I.E. Shvecov (ed.). – M.-Novosibirsk: Rossijskij nauchno-issledovatel'skij institut iskusstvennogo intellekta, 1996. – Pp. 59–74 (in Russian).
10. Lapshin V.A. Ontologii v komp'juternyh sistemah [Ontologies in computer systems]. M.: Nauchnyj mir, 2010. – 224 p. (in Russian).
 11. Larichev O.I. Teorija i metody prinjatija reshenij, a takzhe Hronika sobytij v Volshebnyh Stranah [Theory and methods of decision-making as well as the chronicle of events in a magical land]. M: «Logos», 2000. – 296 p. (in Russian).
 12. Kuznecov O.P. Intellektualizacija podderzhki upravljajushhijh reshenij i sozdanie intellektual'nyh system [Intellectualization of support of the control decisions and creation of intelligent systems intellectualization of control decisions support and creation of intellectual systems in the RAS Institute of Control Sciences] // Teorija i metody razrabotki programmnoho obespechenija sistem upravljenja. Specvypusk zhurnala «Problemy upravljenja» = Theory and methods of development of the software of control systems. Special Issue «Control Sciences». №3.1, 2009. –Pp.64-72 (in Russian)
 13. Kulagin O.A. Prinjatie reshenij v organizacijah [Decision-making in the organizations]. – SPb: Izdatel'skij dom «Sentjabr'», 2001.– 148 p. (in Russian).
 14. Kulinich, A. A. Komp'juternye sistemy analiza situacij i podderzhki prinjatija reshenij na osnove kognitivnyh kart: podhody i metody [Software for situation analysis and decision support on the basis of cognitive maps: approaches and methods] // Problemy upravljenja = Control Sciences, 2011. № 4. – Pp. 3145 (in Russian).
 15. Massel' L.V., Massel' A.G. Tehnologii i instrumental'nye sredstva intellektual'noj podderzhki prinjatija reshenij v jekstremal'nyh situacijah v jenergetike [Technologies and tools of intelligent decision-making support of in emergency situations in the energy sector] // Vychislitel'nye tehnologii = Computational technologies. 2013. Vol.18. – P. 37-44 (in Russian).
 16. Orlov A.I. Jekonometrika. Uchebnoe posobie [Econometrics. Tutorial]. - M.: Izd-vo "Jekzamen", 2002. – 576 p. (in Russian).
 17. Petrovskij A.B. Teorija prinjatija reshenij [Decision theory]. – M.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2009. – 400 p. (in Russian).
 18. Trahtengerc Je.A. Komp'juternye sistemy podderzhki prinjatija upravlencheskih reshenij [Computer-aided management decision-making support systems] // Problemy upravljenja = Control Sciences, 2003. № 1. – Pp.13–28 (in Russian).
 19. Chernjahovskaja L.R., Kruzhkov V.N., Dikova F.A. Ontologicheskij podhod k razrabotke sistemy podderzhki prinjatija reshenij [Ontological approach to development of decision support system] // Jelektronnyj zhurnal “Informacionnye resursy Rossii” = Electronic journal “Information resources of Russia”, 2009. №1. – Pp. 25-28 (in Russian).
 20. Chernjahovskaja L.R., Starceva E.B., Muksimov P.V., Makarov K.A. Podderzhka prinjatija reshenij pri upravljenii slozhnymi proizvodstvennymi sistemami na osnove ontologicheskoi bazy znaniy [The decision support in the management of complex production systems based on ontological knowledge base] // Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo tehničeskogo universiteta = Bulletin of Ufa State Aviation University, 2007. Vol. 9. № 7. –Pp. 41-45 (in Russian).

21. Antoniou G., Harmelen F. Web Ontology Language: OWL // Handbook on Ontologies. – Berlin: Springer Verlag, 2003. – Pp. 67-92.
22. Berners-Lee T., Hendler J., Lassila O. The Semantic Web. Scientific American, 2001. Vol. 284, № 5. – Pp.34–43.
23. Casanovas P., Casellas N., Vallbe J.-J. An Ontology-Based Decision Support System for Judges. In Proceeding of the 2009 conference on Law, Ontologies and the Semantic Web: Channelling the Legal Information Flood. Amsterdam: IOS Press, 2009. – Pp. 165–175.
24. Ceccaroni L., Cortés U., Sánchez-Marrè M. OntoWEDSS: augmenting environmental decision-support systems with ontologies. Environmental Modelling & Software. Vol. 19, Issue 9, September 2004. – P.785–797.
25. Dejian Zhang, Xingwei Chen, Huaxia Yao. Development of a Prototype Web-Based Decision Support System for Watershed Management // Water, 2015. № 7. – Pp. 780-793.
26. Finkle-Perazzo D., Jetha N. Online resources to enhance decision-making in public health // Chronic diseases and injuries in Canada, 2011. Vol. 31. Is.4. – Pp. 172-175.
27. Gudgin M., Hadley M., Mendelsohn N., Moreau J.-J., Nielsen H.F., Karmarkar A., Lafon Y. SOAP Version 1.2 Part 1: Messaging Framework (Second Edition). <http://www.w3.org/TR/soap12-part1/> (дата обращения: 14.03.2016).
28. Sheng-Tun Li, Huang-Chih Hsieh, I-Wei Sun. An Ontology-based Knowledge Management System for the Metal Industry. In Proceedings of the Twelfth International World Wide Web Conference (WWW2003), Budapest, Hungary, 2003.
29. SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML. W3C Member Submission 21 May 2004. <http://www.w3.org/Submission/SWRL/> (дата обращения: 14.03.2016).
30. Zagorulko Yu.A., Popov I.G., Kostov Yu.V. Subdefinite Data Types and Constraints in Knowledge Representation Language. // Joint Bulletin of the Novosibirsk Computing Center and Institute of Informatics Systems. Series: Computer Science. 16 (2001), NCC Publisher. Novosibirsk, 2001. –Pp. 153-170.

ПОДХОД К ИЗВЛЕЧЕНИЮ ИНФОРМАЦИИ О СОБЫТИЯХ В ЭНЕРГЕТИКЕ (НА МАТЕРИАЛЕ НОВОСТНЫХ СООБЩЕНИЙ ИНФОРМАГЕНТСТВ)¹

Кононенко Ирина Семеновна

Н.с., Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН,
630060 г. Новосибирск, пр. Лаврентьева 6, e-mail: irina_k@cn.ru

Сидорова Елена Анатольевна

С.н.с., Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН,
630060 г. Новосибирск, пр. Лаврентьева 6, e-mail: lsidorova@iis.nsk.su

Веремьянина Алиса Олеговна

Студент, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,
630060 г. Новосибирск, ул. Пирогова 2, e-mail: elkor_alisa@mail.ru

Аннотация. Предлагается подход к решению задачи извлечения информации о событиях в области энергетики из текста новостной заметки. Используемая база знаний включает онтологию предметной области и лингвистические ресурсы: словарь семантически размеченной предметной лексики, словарь моделей управления предикатных лексем, модель формальной и жанровой сегментации текста, и схемы извлечения фактов, которые связывают обнаруженные в тексте термины и конструкции с элементами онтологии.

Ключевые слова: извлечение информации, онтология энергетики, предметный словарь, жанр текста, модель управления, модель извлечения факта.

Введение. Отслеживание и анализ новостной информации о событиях в сфере топливо- и энергообеспечения актуально для жизнедеятельности субъектов экономики и общества. Свежая информация о событиях в энергетике поступает к читателю из различных источников, в том числе из интернет-СМИ, в виде неструктурированных и часто дублирующих друг друга текстов новостных сообщений. С этой точки зрения представляют интерес системы, которые, работая с множеством текстов, обеспечивают а) автоматический тематический отбор, оценку степени сходства и устранение дубликатов и б) анализ и структурирование новостной информации в виде фактов. В фокусе внимания данной работы находится вторая задача, которая предполагает структурирование извлекаемой целевой информации (сущности и ситуации) путем распознавания в текстах соответствующих языковых конструкций [6, 12, 13].

В большинстве современных систем извлечения информации используются определенные ограничения относительно типа (жанра) текстов (досье, объявления, описания медицинских исследований, новостные тексты) и целевой информации [3, 5, 15]. По типу извлекаемой информации система может быть нацелена на извлечение только именованных сущностей (персоны, организации, географические объекты, и т.п.), ситуаций определенного типа, нескольких типовых ситуаций в ограниченной предметной области. Известные системы различают полнота и роль синтаксического анализа в процессе извлечения

¹ Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-07-04144).

фактической информации из текстов. Так, технология [5] предполагает построение полного семантико-синтаксического дерева предложения, к которому применяются шаблоны (своего рода фильтры), описывающие искомые факты. В [4] синтаксический анализатор применяется локально (при обнаружении ключевых единиц и их конфигураций). Подходы к решению задачи разделяются на две группы: методы машинного обучения [15], требующие большого корпуса размеченных текстов, и лингвистические методы, основанные на правилах [3]. Как отмечается в [14], второй подход является более предпочтительным, как по мощности, так и с точки зрения возможностей объединения с элементами первого. Существенным недостатком системы, основанной на правилах, является трудоемкость настройки на конкретную предметную область и плохая адаптируемость к другим областям [1].

Отличительной чертой предлагаемого подхода к извлечению информации о событиях в области энергетики из новостных заметок является ориентация используемых лингвистических описаний на структуру конкретной онтологии: информация словарей, семантико-синтаксических моделей управления и схем извлечения фактов существенным образом опирается на структуру онтологии энергетической отрасли. При данном подходе преимущественное использование лексико-семантической информации не исключает применения частичного синтаксического анализа и синтаксических ограничений, накладываемых на семантический каркас концептуальных схем фактов.

1. Модель знаний. Все знания, используемые в предлагаемом подходе, в той или иной мере опираются на модель предметной области (ПО), которая фиксирует понятия и отношения в виде онтологии. Онтология энергетики включает иерархии классов *Энергетических объектов* и *Ресурсов*, классификацию *Организаций* с характеристиками, отражающими их деятельность, классы *Деятельность* и *Событие*, классы, представляющие локативные и временные характеристики, а также отношения между объектами [9]. Онтология определяет, какую именно информацию следует извлекать из доступных источников данных и способ (формат) ее представления.

Модель знаний о подязыке предметной области представлена семантическими словарями (словарь предметной лексики, словари лексических шаблонов и семантико-синтаксических моделей управления), моделями фактов, описывающими способы выражения информации, принятые в рассматриваемой области знаний [11], а также знаниями об особенностях жанра рассматриваемых текстовых источников.

2. Текстовая коллекция. В данной работе используются тексты новостного жанра, взятые с сетевого издания российского агентства международной информации «РИА Новости», посвященные разделу «Энергетика», а также новостные сообщения с сайтов крупных энергетических организаций. Тексты коллекции относятся к жанру новостной заметки, который характеризуется, прежде всего, краткостью и новизной. Это максимально короткое изложение фабулы событий (факта) с точным указанием того, что, где, когда и при каких обстоятельствах произошло. Изложение жестко выдерживает композиционное построение по принципу «перевернутой пирамиды» (от главного к второстепенному) [7].

Основное содержание сконцентрировано в *анонсе* новости, включающем два жанровых блока: *хэдли́н* (заголовок, представленный обычно простым коротким предложением, излагающим фокусную информацию новости) и *лид* (развернутый подзаголовок, представленный в виде абзаца, который дополняет хэдли́н как более полное изложение сути новости). Анонс помещается на главной странице сайта, образуя

информационную ленту новостей, из которой читатель может перейти на страницу заметки. После анонса в тексте заметки следуют *бэкграунд* (подоплека, справочная информация, контекст события и т.д.), цитаты от лиц, связанных с новостью, и другие содержательные блоки.

Таким образом, жанровую модель рассматриваемых текстов можно представить следующей упрощенной схемой.

```
PageGenre Новостная_заметка
Block genre_segment Анонс
Block genre_segment Хэдлайн
Block segment Мета (опционально)
Block genre_segment Лид
Block segment Бэкграунд
```

Исходный корпус веб-страниц был очищен от элементов веб-форматирования с сохранением «полезных» элементов разметки (выделение заголовков, гиперссылок и т.п.) [2] и на их основе построена разметка жанровой структуры текста.

Приведем пример анонса новостной заметки с жанровой разметкой.

```
<Хэдлайн>"Транснефть" возобновила прокачку нефти по нефтепроводу под Самарой </Хэдлайн >
<Мета><a>© РИА Новости. Светлана Майорова</a> МОСКВА, 13 июля - РИА Новости. </Мета>
<Лид>"Транснефть" с 11 июля возобновила в полном объеме прокачку нефти по магистральному
нефтепроводу "Альметьевск - Куйбышев 1" в Самарской области, где произошел разлив нефти в
результате криминальной врезки, сообщил РИА Новости советник президента "Транснефти" Игорь
Демин.</Лид >
```

Использование знаний о жанре текста позволяет значительно ограничить разнообразие способов передачи информации, учитываемых в моделях фактов. Так, показателями ситуаций, представляющих основную деятельность операторов энергетики, являются лексемы, описывающие конкретные виды деятельности. По форме это глаголы в личной форме, причастия (действительные и страдательные), деепричастия, отглагольные существительные. Однако в блоке *хэдлайн*, представленном обычно простым предложением, разнообразие форм сводится к конструкциям с личным глаголом и отглагольным существительным.

3. Словарь. Система семантических признаков в словаре основана на структуре конкретной онтологии, отражая иерархию ее объектов и отношений. Объектные термины представлены преимущественно существительными (нарицательными и собственными именами), именными группами, лексическими конструкциями (аббревиатурами и более сложными буквенно-символьными конструкциями). С помощью семантических признаков объектные термины распределены по основным классам:

- энергетические объекты “эо”: *месторождение, трубопровод, нефтепровод, газопровод, магистральный нефтепровод, шахта, скважина, пхг*;
- организации “орг”: *компания, завод, предприятие, акционерная компания, оао, оператор, Транснефть, Черноморнефтегаз*;
- ресурсы “ресурс”: *электроэнергия, теплоэнергия, тепловая энергия, газ, нефть, уголь, природный газ, голубое топливо*;
- персоны “перс”: *стикер госдумы, Сергей Нарышкин, советник президента, главный инженер, официальный представитель*;

- локативные объекты “лок”: *регион, район, город, поселок, каспийский регион, кош-агачский район;*
- темпоральные объекты “темп”: *июль, год.*

Более детальная классификация терминов в иерархии объектов обусловлена такими их онтологическими свойствами, которые проявляются на уровне репрезентации в языковых конструкциях. Так, в классе “эо”, выделяется подкласс “эо_трансп”, представляющий протяженные транспортные объекты. Это позволяет учесть специфику сочетаемости соответствующих терминов с конструкциями наименований (*нефтепровод "Альметьевск - Куйбышев I"*) и количественными конструкциями (*14 км трубопровода*).

Названия ресурсов дифференцируются признаками “эр” (*электроэнергия, теплоэнергия, тепловая энергия*) и “тэр” (*газ, нефть, уголь, природный газ, голубое топливо*).

Видам и характеристикам деятельности, связанной с ресурсами и энергообъектами, в словаре соответствует класс “деят”, представленный разнообразными языковыми средствами (преимущественно, глаголами, отглагольными существительными). Признаки дифференцируют лексику по видам деятельности:

- основная деятельность операторов энергетике по работе с ресурсами “деят_рес”: *добыча, транспортировка, переработка, производство, добывать, транзит, выпуск, выработка, прокачка, перерабатывать, производить, выпуск, сбыт, поставлять;*
- деятельность организаций, направленная на объекты энергетике “деят_эо”: *строительство, создание, строить, достройка, модернизация, ремонт, установка, реконструировать, бурение, испытания, пуско-наладочная работа, ремонтная работа, работа по реконструкции, эксплуатация, восстанавливает;*
- деятельность организаций, связанная с аварийными ситуациями “деят_ав”: *ликвидация, ликвидировать, устранить, прекратить;*
- несанкционированная деятельность сторонних лиц “деят_крим”: *криминальная врезка, криминальный отвод, несанкционированная врезка.*

В отдельный семантический класс выделена лексика, соответствующая нестандартным ситуациям на энергообъектах “ав_сит”: *авария, чп, порыв, прорвать, взрыв, пожар, возгорание, разлив <нефти>, выброс <газа>, утечка <нефти, газа>.*

Кроме того, выделены лексические группы, соответствующие отношениям сравнения, причины, включения и др. Дополнительные семантические признаки выделяют обозначения характеристик деятельности, таких, как “фаза”: *начать, возобновить, приостановка, приступить.*

Лексические признаки “тип”, “знач”, “имя”, “связ” фиксируют особенности сочетаемости терминов в языковых конструкциях. Так, признаком “тип” выделены существительные-классификаторы, называющие объекты того или иного класса в общем виде (*компания, магистральный нефтепровод, город*). Признак “имя” характеризует имена собственные (топонимы, названия организаций). Признак “связ” группирует фазовые и связочные (семантически пустые) глаголы, с помощью которых осуществляется связь основных компонентов описываемых в тексте ситуаций: *осуществлять <добычу>, заниматься <переработкой>, случиться <обледенение>, происходит <техногенная катастрофа>, проводить <наладку>, производить <модернизацию>.*

Для извлечения дат, наименований организаций, энергетических и географических объектов используется словарь лексических шаблонов. Шаблоны позволяют задать порядок следования элементов конструкций, описывающих наименования объектов, и учесть их написание с заглавной буквы, курсивом, латиницей, через дефис /тире или в кавычках. Так, типичная конструкция для имени транспортного энергетического объекта – указание имен начальной и конечной точек, разделенных дефисом или тире: <нефтепровод> *Восточная Сибирь – Тихий океан*.

4. Извлечение информации. Учитывая разнообразие ситуаций, представленных в коллекции текстов, для первого эксперимента было принято ограничение на типы извлекаемых ситуаций: это, во-первых, информация о ходе работ на крупных энергетических объектах (*строительство станции, разработка месторождения, добыча нефти*), во-вторых, информация о разного рода авариях и происшествиях (*разлив нефти, выход из строя электростанции*).

Извлечение фактографической информации осуществляется на базе словарей, снабженных системой семантических признаков, отражающих онтологические сущности предметной области, а также *моделях фактов*, позволяющих в терминах семантических признаков и классов предметной области описывать способы выражения требуемой онтологической информации.

Каждая модель факта описывается схемой (правилом), которая включает набор аргументов структуры факта ($arg1, arg2, \dots$), их семантические/грамматические признаки, условия на семантико-синтаксическую сочетаемость характеристик аргументов, и набор объектов, который фиксирует структуру фактов в онтологическом представлении. Рассмотрим набор необходимых моделей для извлечения информации из приведенного примера анонса новости.

4.1. Инициализация объектов. Как показано выше (п. 3), система семантических признаков словаря формируется на основе онтологических сущностей, что позволяет инициализировать начальное формирование объектов непосредственно на основании словарных признаков.

Объект класса ЭО может быть представлен в тексте аппозитивной именной группой, в которой опорным словом является родовое слово или словокомплекс (тип), а имя примыкает к нему в постпозиции. Например :

магистральный нефтепровод <эо трансп, Lex: тип> "*Альметьевск - Куйбышев I*" <эо, Lex: имя>²

извлекается с помощью двух моделей или схем:

Scheme ЭО_тип : segment *Клауза*, genre_segment *Анонс* (1)
arg1: Term::тип&эо()
⇒ Object :: ЭО(Class: arg1.Sem.ЭО)

В данной схеме термин должен обладать признаками *тип* и *эо* одновременно, с учетом иерархии наследования признаков в словаре. На основе термина создается объект – экземпляр понятия онтологии ЭО, класс объекта может уточниться в соответствии с семантическим признаком термина.

² В примерах в скобках указываются признаки терминов, заданные в словаре.

Следующая схема заполняет атрибут *Наименование* у объекта класса ЭО.

Scheme ЭО_имя : segment *Клауза*, genre_segment *Анонс* (2)
 arg1: ЭО (Имя: Ø)
 arg2: Term::имя&эо()
Condition preposition(arg1,arg2), Contact(arg1,arg2)
 ⇨ arg1: (Наименование: arg2.Name)

Аналогичным образом могут извлекаться объекты *Организаций*, если их названия присутствуют в словаре (например, *Транснефть* <орг, Лех: имя>). В противном случае, на основе лексического шаблона, выделяющего фрагмент текста в кавычках, формируется гипотеза, что это имя объекта, но уточнение его класса возможно только при наличии термина-классификатора, либо при последующей сборке ситуации.

4.2. Извлечение ситуаций. При поиске и выявлении характеристик объектов и их связей, как правило, требуется проверить сочетаемость семантических и/или грамматических признаков объектов. Для описания сочетаемости предикатных лексем был разработан словарь семантико-синтаксических конструкций (аналог моделей управления), который фиксирует семантические валентности предикатов, описывая их в терминах грамматических и семантических признаков актантов. Это позволяет проверять наличие управления в анализируемом фрагменте текста, т.е. согласованность семантических и синтаксических признаков предиката и актантов.

Рассмотрим поэтапное формирование с помощью моделей фактов фрагмента онтологии, описывающего деятельность организации на энергетических объектах.

4.2.1. Создание отношений в соответствии с моделью управления показателя ситуации.

Scheme Деят_Ресурс_1: genre_segment *Анонс* segment *Клауза* (3)
 arg1: Term::трансп()
 arg2: Object::Рес ()
 arg3: Object::ЭО_трансп()
Condition Упр(arg1, arg2), Упр(arg1, arg3), preposition(arg1, arg2),
 preposition_priority (arg1, arg3)
 ⇨ ob = Object::()
 Relation::Деят_Ресурс (first: ob, second: arg2)
 Relation::Деят_Средство (first: ob, second: arg3)

Предикат *прокачка* имеет валентности на существительные классов “эо_трансп” и “рес”. Эта информация позволяет одновременно создать объект класса *Деятельность* и связать его отношениями с аргументами, удовлетворяющие семантическим и грамматическим условиям модели управления. Данная схема покрывает фрагменты вида: *прокачку нефти по нефтепроводу, прокачка по трубопроводу авиакеросина, прокачка азербайджанской нефти по трубам* и т.п.

4.2.2. Извлечение субъекта деятельности

Scheme Субъект_Фаза_Деят: genre_segment *Анонс* segment *Клауза* (4)
 arg1: Term::Связ ()
 arg2: Object::Деятельность()
 arg3: Орг()
Condition preposition_priority(arg1, arg2), Упр(arg1, arg2)
 postposition_priority(arg2, arg3), Упр(arg1, arg3) ,
 Согл(arg1, arg3, {род, число})
 ⇒ arg2: (Фаза: arg1.Sem.Фаза)
 Relation::Деят_Субъект (first: arg2, second: arg3)

Особенностью рассматриваемого примера является наличие фазового глагола *возобновить* в личной форме, который реализует связь с субъектом деятельности “орг”. Схема (4) позволяет создать эту связь с одновременным извлечением фазовой характеристики деятельности.

Приведенный набор моделей фактов позволяет извлечь основную информацию о целевой ситуации из анонса текста. Дополнительная информация для данной ситуации – дата и географическое местоположение – извлекается из лида с помощью соответствующих схем.

5. Разрешение референции объектов. Важной проблемой анализа текста является установление кореферентности объектов при их повторном упоминании. В общем случае онтологический подход позволяет разрешить референцию после основного анализа текста в процессе сравнения и идентификации объектов (относительно онтологии). Эквивалентными с точки зрения онтологии считаются объекты с непротиворечивыми классами и наборами атрибутов [10]. Однако для новостных анонсов можно использовать их жанровую особенность, которая заключается в том, что в сегменте *Лид* описываются те же самые объекты, что и в *Хэдлине*, только более подробно. Поэтому можно ввести уточняющие схемы вида:

Scheme Ref1 genre_segment *Анонс* (5)
 arg1: Object::ЭО(), segment *Хэдлайн*
 arg2: Object::ЭО(), segment *Лид*
 ⇒ Reference (first: arg1, second: arg2)

Данная модель позволяет заранее задать референциальные связи, что упрощает процедуру поиска эквивалентных с точки зрения онтологии объектов.

Заключение. В статье описан подход к организации процесса извлечения информации под управлением онтологии. Рассмотрены отдельные компоненты системы и приведен пример извлечения конкретной ситуации, описывающей деятельность в области энергетики.

В дальнейшем предполагается создать тестовую коллекцию, в которой будут размечены все вхождения целевой ситуации с использованием системы семантической разметки [8]. Система разметки позволяет выделить и связать текстовые фрагменты, представляющие показатели ситуаций выбранного типа и фрагменты, соответствующие участникам ситуации. Размеченная таким образом коллекция позволит, с одной стороны, провести более детальный анализ представляющих эти ситуации контекстов, доработать

лингвистическую базу знаний (словари и модели), а с другой стороны, – оценить эффективность предложенного подхода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев А. М., Березкин Д. В., Симаков К. В. Модель извлечения знаний из естественно-языковых текстов // Информационные технологии. 2007. N 12. С. 57-63
2. Ахмадеева И.Р., Загоруйко Ю.А. и др. Подход к формированию тематических коллекций текстов на основе web-публикаций // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2013. Т.11. Вып. 4. С. 59–70.
3. Власова Н.А. Подход к автоматическому извлечению информации о назначениях и отставках лиц (на материале новостных сообщений) // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции. XIV Всероссийская научная конференция RCDL-2012. Труды конференции. Переславль-Залесский: Университет города Переславля, 2012. С. 374–378.
4. Гершензон Л.М., Ножов И.М., Панкратов Д.В. Система извлечения и поиска структурированной информации из больших текстовых массивов СМИ. Архитектурные и лингвистические особенности // Труды международной конференции Диалог'2005 «Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии». М.: Наука, 2005. С. 97-101.
5. Ермаков А. Е. Автоматическое извлечение фактов из текстов досье. Опыт установления анафорических связей // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: тр. междунар. конф. (Диалог'2007). Бекасово, 2007. С. 172-177.
6. Ермаков А.Е., Плешко В.В. Семантическая интерпретация в системах компьютерного анализа текста // Информационные технологии. 2009. №6. С. 2-7.
7. Жуков А. С. О соотношении понятий «лид» и «хэдлинь» в новостных материалах традиционных и интернет-СМИ // Молодой ученый. 2013. №4. С. 669-671.
8. Загоруйко М.Ю., Кононенко И.С., Сидорова Е.А. Система семантической разметки корпуса текстов в ограниченной предметной области // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: По материалам ежегодной Международной конференции «Диалог». Вып. 11 (18). М.: РГГУ, 2012. Т.1. С. 674-683.
9. Макагонова Н.Н. Энциклопедия знаний, основанная на онтологиях //Тр. XIX Байкальской Всероссийской конференции "Информационные и математические технологии в науке и управлении". – Иркутск: Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН. 2014. Т.3. С. 153-158.
10. Серый А.С., Сидорова Е.А. Поиск референциальных отношений между информационными объектами в процессе автоматического анализа документов // Труды XIV Всероссийской научной конференции RCDL-2012 Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции. Переславль-Залесский, 2012. С. 206-212.
11. Сидорова Е.А. Фактографический анализ текста в контексте интеллектуальных информационных систем // Тр. XVIII Байкальской Всероссийской конференции "Информационные и математические технологии в науке и управлении". – Иркутск: Институт систем энергетики им Л.А. Мелентьева СО РАН. 2013. Т.3. С. 79-85.

12. Сидорова Е.А., Кононенко И.С. Представление жанровой структуры документов и ее использование в задачах обработки текста // Труды Седьмой Международной конференции памяти академика А.П. Ершова "Перспективы систем информатики". Рабочий семинар «Научоемкое программное обеспечение». – Novosibirsk, Сибирское Научное Издательство, 2009 С. 248-254.
 13. Grishman R. Information Extraction // Mitkov R. (ed.) The Oxford Handbook of Computational Linguistics. Oxford University Press, 2003, pp.545-559.
 14. Grishman R., Sundheim B. Message Understanding Conference-6: A Brief History // Proceedings of the 16th International Conference on Computational Linguistics (COLING'96). Copenhagen, 1996, pp.466–471.
 15. Efimenko I.V., Khoroshevsky V.F., Klintsov V.P. OntosMiner Family: Multilingual IE Systems // The Proceedings of International Conference SPECOM-2004. St.-Petersburg, Russia, 2004, pp.716-720.
 16. Mikheev A., Grover C. LTG: description of the NE recognition system as used for MUC-7 // Proceedings of the 7th Message Understanding Conference (MUC-7). 1998. Режим доступа: http://www.itl.nist.gov/iaui/894.02/related_projects/muc (дата обращения 01.04.2016)
-

UDK 004.912, 004.82

APPROACH TO EXTRACTING INFORMATION ON ENERGETICS FROM NEWS AGENCY REPORTS

Irina S. Kononenko

Researcher, A.P. Ershov Institute of Informatics Systems SB RAS,
6, Acad. Lavrentjev pr., Novosibirsk 630090, e-mail: irina_k@cn.ru

Elena A. Sidorova

Senior researcher, A.P. Ershov Institute of Informatics Systems SB RAS,
6, Acad. Lavrentjev pr., Novosibirsk 630090, e-mail: lsidorova@iis.nsk.su

Alisa O. Veremianina

Student, Novosibirsk National Research University
2, Pirogova Str., Novosibirsk 630090, e-mail: elkor_alisa@mail.ru

Abstract. The paper describes an approach to automatic extraction of information about events in the fuel and energy sector from the web news reports. The knowledge base of the event extraction system consists of energetics ontology and linguistic resources. Domain vocabulary includes terms with semantic features that indicate to ontological concepts. Government patterns represent valences of predicate words and their possible fillers described in terms of semantic and syntactic features. Segmentation rules explicate formal and genre structure of the text. The process of analyses is based on event extraction schemes which relate terms and patterns to ontology elements.

Keywords: information extraction, ontology, domain vocabulary, text genre, government pattern, event extraction scheme.

References

1. Andreev A.M., Berezkin D.V., Simakov K.V. Model izvlecheniya znaniy iz estestvenno-yazykovykh tekstov [Model of knowledge extraction from natural language texts]. *Informacionnye tekhnologii = Information technologies*, 2007. № 12. Pp. 57-63 (in Russian).
2. Ahmadeeva I.R., Zagorulko Yu.A. et al. Podhod k formirovaniyu tematicheskikh kollekcij tekstov na osnove web-publikacij [Approach to forming thematic text collections on the basis of web-resources]. *Vestnik NGU Seriya Informacionnye tekhnologii = Novosibirsk State University Journal of Information Technologies*, 2013. Vol. 11. № 4. Pp. 59-70 (in Russian).
3. Vlasova N.A. Podhod k avtomaticheskomu izvlecheniyu informacii o naznacheniyah i otstavkah lic (na materiale novostnykh soobshchenij) [An approach to the automatic fact extraction from news texts on appointments and dismissals in texts]. *Elektronnye biblioteki: perspektivnye metody i tekhnologii, elektronnye kollekcii. XIV Vserossiyskaya nauchnaya konferenciya RCDL-2012. Trudy konferencii = Digital Libraries: Advanced Methods and Technologies, Digital Collections. XIV All-Russian Scientific Conference RCDL-2012. Pereslavl-Zalesskij*, 2012. Pp. 374-378 (in Russian).
4. Gershenzon L.M., Nozhov I.M., Pankratov D.V. Sistema izvlecheniya i poiska strukturirovannoj informacii iz bolshih tekstovykh massivov SMI. Arhitekturnye i lingvisticheskie osobennosti [System for extraction and search of structured data from large arrays of text media. Architectural and linguistic features]. *Trudy mezhdunarodnoj konferencii Dialog. Kompyuternaya lingvistika i intellektualnye tekhnologii = Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Proceedings of the International Conference "Dialog"*, Moscow, Nauka Publ., 2005. Pp. 97-101 (in Russian).
5. Ermakov A.E. Avtomaticheskoe izvlechenie faktov iz tekstov dose. Opyt ustanovleniya anaforicheskikh svyazey. [Automatic extraction of facts from the text dossier. Experience of establishing anaphoric relations] *Kompyuternaya lingvistika i intellektualnye tekhnologii. Mezhdunarodnoj konferencii Dialog = Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Proceedings of the International Conference "Dialog"*, 2007. Pp. 172-177 (in Russian).
6. Ermakov A.E. Pleshko V.V. Semanticheskaya interpretaciya v sistemah kompyuternogo analiza teksta [The semantic interpretation in computer text analysis systems] // *Informacionnye tekhnologii = Information technologies*, 2009. № 6. Pp. 2-7 (in Russian).
7. Zhukov A.S. O sootnoshenii ponyatij lid i hedlajn v novostnykh materialah tradicionnykh i internet-SMI [On the relation between the concepts of "led" and "headlining" in news materials of traditional and internet media]. *Molodoj uchenyj = Young scientist*, 2013. № 4. Pp. 669-671 (in Russian).
8. Zagorulko M.Yu., Kononenko I.S., Sidorova E.A. Sistema semanticheskoy razmetki korpusa tekstov v ogranichennoj predmetnoj oblasti [System for semantic annotation of domain-specific text corpora] // *Kompyuternaya lingvistika i intellektualnye tekhnologii: Trudy Mezhdunarodnoj konferencii Dialog [Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Proceedings of the International Conference "Dialog"]*, Moscow, RSUH Publ., 2012, Vol. 1, pp. 674-683 (in Russian).
9. Makagonova N.N. Enciklopediya znaniy osnovannaya na ontologiyah [Encyclopedia of knowledge, based on ontologies] // *Tr XIX Bajkalskoj Vserossiyskoj konferencii Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii = Proceedings of XIX*

- Baikal conference on information and mathematical technologies in science and management. Irkutsk, Melentiev Energy Systems Institute Publ., 2014. Vol. 3. Pp. 153-158 (in Russian).
10. Seryj A.S., Sidorova E.A. Poisk referencial'nyh odnoshenij mezhdru informacionnymi ob'ektami v processe avtomaticheskogo analiza dokumentov [Searching of referential relationships between the information objects during the automatic document processing]. Trudy XIV Vserossijskoj nauchnoj konferencii RCDL-2012 Elektronnye biblioteki: perspektivnye metody i tekhnologii, elektronnye kollekcii = Digital Libraries: Advanced Methods and Technologies, Digital Collections. XIV All-Russian Scientific Conference RCDL-2012, Pereslavl-Zalessky, 2012. Pp. 206-212 (in Russian).
 11. Sidorova E.A. Faktograficheskij analiz teksta v kontekste intellektual'nyh informacionnyh sistem [Factographic analysis of text in intellectual information systems]. Trudy XVIII Bajkal'skoj Vserossijskoj konferencii "Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii" = Proceedings of XVIII Baikal conference on information and mathematical technologies in science and management] Irkutsk, Melentiev Energy Systems Institute Publ., 2013. Vol. 3. Pp. 79-85 (in Russian).
 12. Sidorova E.A., Kononenko I.S. Predstavlenie zhanrovoj struktury dokumentov i ee ispol'zovanie v zadachah obrabotki teksta [Document genre structure representation and its application to text processing]. Trudy Sed'moj Mezhdunarodnoj konferencii pamyati akademika A.P. Ershova "Perspektivy sistem informatiki". Rabochij seminar «Naukoemkoe programmnoe obespechenie» = Proceedings of the 7th Andrej Ershov Informatics Conference. Workshop on science intensive applied software, Novosibirsk: Siberian Scientific Publ., 2009. Pp. 248-254 (in Russian).
 13. Grishman R. Information Extraction. Mitkov R. (ed.) The Oxford Handbook of Computational Linguistics, Oxford University Press, 2003, pp.545-559.
 14. Grishman R., Sundheim B. Message Understanding Conference-6: A Brief History. Proceedings of the 16th International Conference on Computational Linguistics (COLING'96), Copenhagen, 1996, pp.466-471.
 15. Efimenko I.V., Khoroshevsky V.F., Klintsov V.P. OntosMiner Family: Multilingual IE Systems. Proceedings of International Conference SPECOM-2004, St.-Petersburg, 2004, pp.716-720.
 16. Mikheev A., Grover C. LTG: description of the NE recognition system as used for MUC-7. Proceedings of the 7th Message Understanding Conference (MUC-7), 1998. Available at: http://www.itl.nist.gov/iaui/894.02/related_projects/muc, accessed 01.04.2016.

УДК 551.466.63

АНОМАЛЬНОЕ МОРСКОЕ ПОДТОПЛЕНИЕ 6-7 ФЕВРАЛЯ 2014 ГОДА В РАЙОНЕ ОХОТСКА: НАБЛЮДЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Золотухин Дмитрий Евгеньевич

К.г.н., научный сотрудник лаборатории цунами,
Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН,
693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 1 Б, e-mail: DimZol@rambler.ru

Аннотация. В статье рассматривается аномальное морское подтопление береговой полосы в северной части Охотского моря (поселок Охотск - лиман р. Иня) 6-7 февраля 2014 года, вызванное выходом глубокого циклона с Тихого океана. Анализ предоставленных Колымским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды данных наблюдений, а также выполненное автором численное моделирование взаимодействия атмосферы и океана 6-7 февраля 2014 года показали, что аномальное морское подтопление береговой полосы в районе поселка Охотск было вызвано метеоцунами, порождённым выходом глубокого циклона с Тихого океана. Результаты исследования говорят о том, что метеоцунами, вызванные движением циклонов, представляют серьёзную угрозу для побережья Дальнего Востока России.

Ключевые слова: Метеоцунами, циклон, аномальное морское подтопление, данные наблюдений, численное моделирование, Охотское море, береговая линия, лед, прилив.

Введение. Цунами – это длиннопериодные волны, возникающие в морях и океанах по ряду причин [6]. Согласно исторической базе данных [13], в Тихом океане основной вклад в образование цунами вносят землетрясения – 79 %, оползни - 6 %, извержения вулканов - 5 %, для 7 % источник неизвестен, и лишь 3 % цунами образовались по метеорологическим причинам (метеоцунами). Метеоцунами – это волновые движения моря, имеющие те же периоды, что и волны цунами сейсмического происхождения, и амплитуды порядка десятков сантиметров, редко метров. В мировой океанологической практике известно, что сильные метеоцунами могут приносить бедствия и разрушения в прибрежных городах и поселках. Эти длинные волны способны легко проходить под ледовым покровом, практически не теряя своей энергии [7, 11, 12]. Причинами метеоцунами могут быть скачки атмосферного давления, тайфуны, ураганы, шторма, холодные фронты и т.п. В работе [5] рассматриваются метеоцунами в Охотском море, вызванные движением циклонов.

Статья посвящена описанию и моделированию аномального морского подтопления береговой полосы в районе поселка Охотск, которое было вызвано метеоцунами, порождённым выходом глубокого циклона с Тихого океана.

1. Описание аномального явления. Ночью 6-7 февраля 2014 г. произошло аномальное морское подтопление береговой полосы в северной части Охотского моря (район поселка Охотск - лиман р. Иня). При этом имело место подтопление дворовых территорий 15 частных жилых домов в поселке Охотск. Жители 33 домов были временно отселены, без электроэнергии остались 120 частных домов с печным отоплением [2, 4]. В лимане р. Иня

ранним утром 7 февраля рыбаками зафиксирован плавный подъем уровня моря и подтопление берега, в закрытой бухте Аян произошел взлом припая. Необычность аномального явления 6-7 февраля 2014 г. заключается в подъеме уровня моря выше критического уровня волнового заплеска для Тунгусской косы в районе Охотска в зимнее время, когда нагонная составляющая не могла влиять на изменение уровня из-за ледового покрова, а высота наблюдаемого волнения (2-2,5 м) была намного ниже установленного критерия опасного явления (волнение составляет более 6 м, уровень моря - более 750 см над теоретическим нулем глубин (ТНГ)). Скорость порывов ветра ночью 6-7 февраля 2014 г. достигала (согласно оперативной информации) 20 м/с. Обследование района морского подтопления Тунгусской косы показало, что превышение уровня опасного явления с волновым заплеском составило 100-150 см. Таким образом, общее повышение суммарного уровня моря и волнового заплеска могло составить около 8,5-9 м над ТНГ. По мнению к.г.н. Вражкина А.В. (ДВНИГМИ), подтопление 7 февраля 2014 г. не вызвано зыбью. В феврале 2014 года ледовые поля распространились к югу до 55° с. ш. на расстояние около 360-500 км (200-250 миль) от берега и должны были гасить высокочастотные спектры штормового волнения уже вблизи кромки, исключая воздействие значительного нагона на северное побережье Охотского моря [12].

Начальником отдела гидрометеорологии моря Колымского УГМС В.Б. Тюрниным было высказано предположение, что причиной аномального морского подтопления береговой полосы в районе Охотска 6-7 февраля 2014 г. было метеоцунами, вызванное глубоким циклоном, прошедшим 5-6 февраля через Охотское море [12]. С целью анализа причин аномального явления автором было выполнено численное моделирование взаимодействия атмосферы и океана 6-7 февраля 2014 г.

2. Применяемая численная модель. При численном моделировании в данной работе был использован разработанный в 1997 году специальным конструкторским бюро систем автоматизации морских исследований ДВО РАН (СКБ САМИ ДВО РАН) комплекс вычислительных процедур (программный комплекс) "ANI" [8, 9, 10].

В данном программном комплексе в основе графической системы и математики для картографических преобразований заложена полная тензорная схема преобразования координат с сохранением прямой и обратной матрицы трансформации. Для моделирования кинематики волновых фронтов была разработана специальная четырехточечная расчетная схема, в которой используются производные по направлению. В данном алгоритме расчета волновых фронтов достигнута достаточно высокая гладкость линии фронта, что позволило реализовать быстрый расчет коэффициентов усиления волны цунами на основе модели «сверхдлинных» волн (не зависящих от периода волны). Здесь используются уравнения одномерного наката с учетом сходимости лучевых трубок (с учетом кривизны фронта). В качестве вычислительной модели динамики океанских волн был выбран метод "конечного объема" [1], позволяющий описывать физику явления непосредственно в компьютерной или вычислительной терминологии. В данном случае это модель длинных волн, заданная в потоках и определенная на сферической Земле с равномерной сеткой в меркаторской проекции. Вычислительная модель построена таким образом, чтобы все дополнительные физические характеристики, такие, как сферичность и вращение Земли, трение о морское дно и воздействие атмосферы, могли бы отделяться или добавляться к основным уравнениям в

любое время в процессе моделирования по команде исследователя [9]. Такие уравнения можно определить, как разделяющиеся по физическим процессам [3].

В действующей версии программы для моделирования метеоцунами и ветровых нагонов была реализована предложенная В. Н. Храмушиным модель «малого круга» циклона [8]. В данной модели реализовано моделирование воздействия на поверхность моря со стороны атмосферного циклона или тайфуна, который может двигаться по произвольной криволинейной траектории, заданной специальным расписанием движения во времени, где вдоль траектории плавно изменяются размеры атмосферного вихря, величина давления воздуха в его центре, скорость максимального ветра и коэффициент поверхностного напряжения на границе вода-воздух. Данная реализация выполнена таким образом, чтобы без специальной переработки структуры программы можно было бы подключить оперативные карты реального атмосферного давления и реального распределения векторных полей ветра [9]. В работе [5] показана возможность использования программного комплекса «АНГ» и модели «малого круга» циклона для оценки высоты метеоцунами.

3. Параметры вычислительного эксперимента. Параметры вычислительного эксперимента были получены автором на основе данных о гидросиноптической обстановке, взятых из гидрологическо-синоптических карт (ГСК) за 5-7 февраля, предоставленных Колымским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (рис. 1). На картах хорошо виден глубокий циклон, проходящий через северную часть Охотского моря. Радиус «малого круга» модельного циклона определялся в соответствии с реальными размерами циклона (в данном случае он составлял $\frac{1}{2}$ реального радиуса циклона). Другие параметры численного эксперимента (начальные и конечные координаты центра модельного циклона, перепад давления в центре циклона, максимальная скорость ветра на $\frac{1}{3}$ радиуса циклона) также были взяты автором из ГСК.

Метеоцунами в данном эксперименте моделировалось путем прохождения «малого круга» модельного циклона по гладкой траектории вдоль маршрута движения реального циклона. По завершении маршрута модельного циклона происходило его разрушение, вызывающее волны, сходные с волнами цунами. Приливные волны и влияние ледяного покрова не моделировались. Результатом численного моделирования являются модельные мореграммы для отдельных точек карты. Гидросиноптическая обстановка дана по всемирному времени (ВСВ), отличающемуся от местного на 12 часов.

Параметры численного эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры численного эксперимента

N/N	t	φ	λ	D	P	V
1.	6.02.2014, 00h	53°	150°	675	53	22.5
2.	6.02.2014, 06h	55°	147°	585	43	25

t - время в днях и часах (ВСВ), на которые задаются параметры циклона.

φ, λ – географические координаты (широта и долгота) центра циклона;

D - диаметр «малого круга» модельного циклона до выравнивания давления, км;

P - перепад давления в центре циклона, мб;

V - максимальная скорость ветра на $\frac{1}{3}$ радиуса циклона, м/с.

Значение коэффициента поверхностного напряжения принималось $\mu=0,002$.

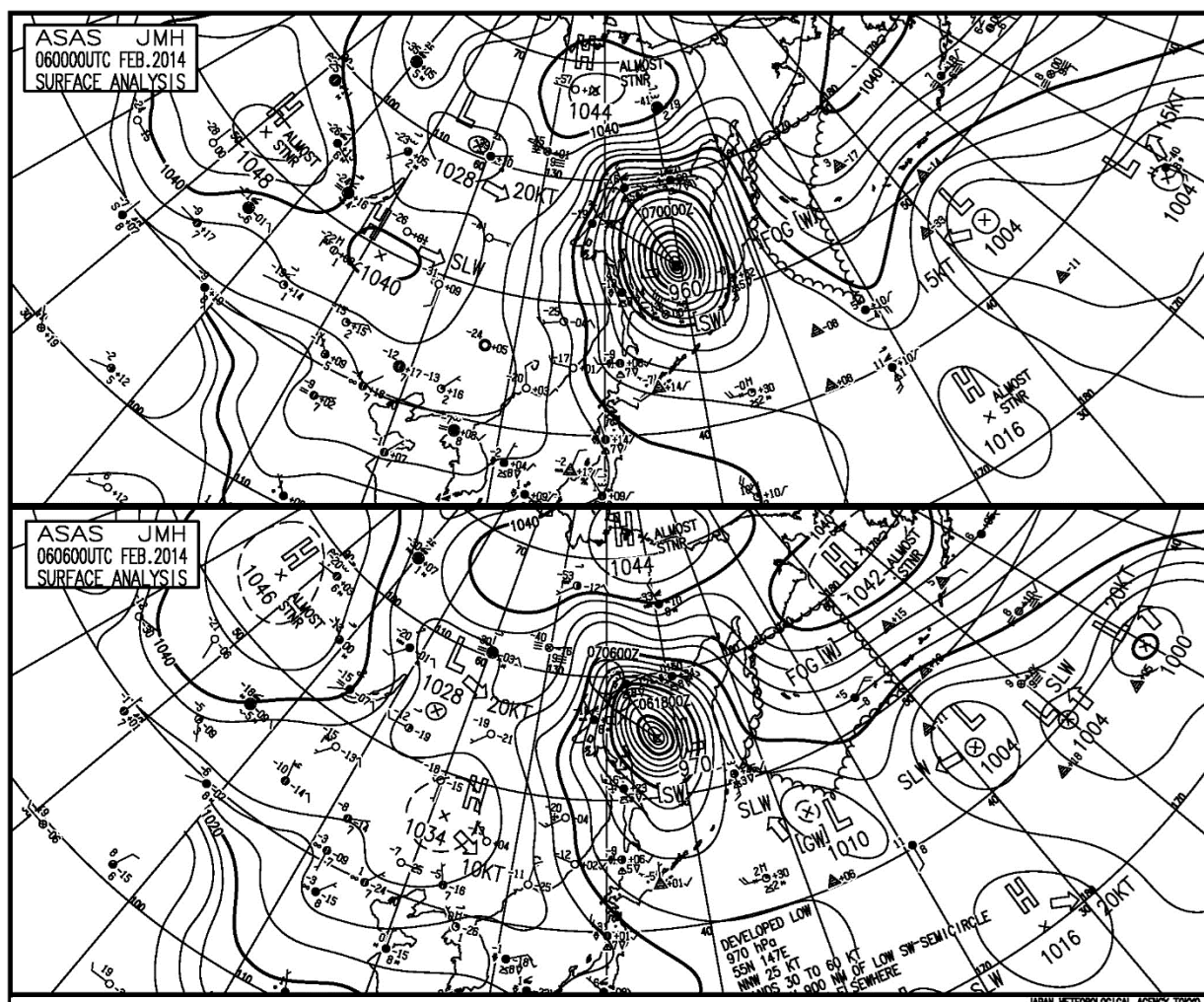


Рис. 1. Гидросиноптическая обстановка утром 6 февраля 2014 г. (BCB)

4. Результаты вычислительного эксперимента. В результате численного моделирования автором были получены модельные мореограммы для отдельных точек карты: для кромки льда (координаты мореографной точки $55^{\circ}34''$ с. ш., $147^{\circ}53''$ в. д.) и для близбереговой точки в районе Охотска (координаты мореографной точки $59^{\circ}18'59''$ с. ш., $143^{\circ}11'55''$ в. д., глубина 3 м., расстояние до берега 3,61 км). Береговая мореограмма для берега Охотского моря в районе Охотска получена путем пересчета мореограммы близбереговой точки на берег с использованием встроенного в программный комплекс “ANI” расчетного модуля [8]. Модельные мореограммы для кромки льда и для Охотска представлены на рис. 2.

Анализ модельных мореограмм дал следующие результаты:

Для кромки льда время первого вступления составило 1:06, 6.02 ВСВ; максимальная высота волны (от гребня до подошвы) - 0,53 м.

В районе Охотска время первого вступления метеоцунами - 5:22, 6.02 ВСВ. Кроме того, численное моделирование показало увеличение максимальной амплитуды длинной волны в районе Охотска почти в 3 раза и прохождения волнового пакета. С 6 февраля до полудня 7 февраля моделирование выявило на берегу Охотского моря в районе Охотска шесть волновых максимумов (рис. 2).

Вторая по счету максимальная волна, достигшая побережья в 15:52, 6.02 ВСВ, с расчетной амплитудой около 1,2 м, хорошо совпала по времени с утренним приливом 7

февраля (полная вода - 4:24, 7.02 по местному или 16:24, 6.02 по всемирному времени) высотой 2,9 м над ТНГ, что позволяет предположить вклад данного процесса в увеличение суммарного уровня волнового заплеска. При этом предполагаемая высота прилива составила $2,9 \text{ м} + 1,2 \text{ м} = 4,1 \text{ м}$.



Рис. 2. Модельные мореограммы для Охотска и для кромки льда. Также указано время полной воды утреннего прилива 7 февраля

Именно в это время очевидцы наблюдали поступление морских вод на улицы населенного пункта. В данном случае можно констатировать факт совпадения фазы полных вод с прохождением второго расчетного максимума метеоцунами. Ветровая составляющая волнения по данным метеостанции на утро 7 февраля составила 2-2,5 м, но уже начался отлив, что должно было снизить влияние волнения на берег [12].

Заключение. Анализ данных наблюдений и модельных расчетов свидетельствует о том, что аномальное морское подтопление 6-7 февраля 2014 года в районе Охотска было вызвано глубоким циклоном, сместившимся в северную часть Охотского моря с Тихого океана.

По закону обратного барометра в циклоне сформировалась длинная волна (метеоцунами) высотой около 0,5 м, которая со скоростью перемещения циклона сместилась к побережью. При совпадении метеоцунами с фазой полной воды амплитуда основного прилива увеличилась до максимальных значений (около 4,1 м.), что, в сочетании с ветровым волнением, привело к поступлению морских вод на улицы населенного пункта Охотск [12].

Таким образом, выполненное автором численное моделирование подтверждает, что аномальное морское подтопление береговой полосы в северной части Охотского моря в районе поселка Охотск 6-7 февраля 2014 года было спровоцировано метеоцунами, порождённым выходом глубокого циклона с Тихого океана. Данное исследование, а также работа [3] свидетельствуют о том, что метеоцунами, вызванные движением циклонов, представляют серьезную угрозу для побережья Дальнего Востока России.

Автор выражает благодарность начальнику Отдела гидрометеорологии моря Колымского УГМС Б. В. Тюрнину за предоставленные данные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андерсен Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. М., Мир. 1990. Т. 1 и 2. 726 с.
2. Афанасьев И. Морской прилив подтопил 15 жилых домов в Охотске. // Комсомольская правда. Электрон. газета. 7 февраля 2014 г. Режим доступа: <http://www.kp.ru/online/news/1651978/> (дата обращения 29.12.2015).
3. Белоцерковский О. М. Давыдов Ю. М. Метод крупных частиц в газовой динамике. М: Наука. 1982. 370 с.
4. Жителей 33 домов Охотска эвакуировали из-за подтопления дворовых территорий. AmurMedia.ru. Режим доступа: <http://amurmedia.ru/news/khabkrai/07.02.2014/334800/zhiteley-33-domov-ohotska-evakuirovali-iz-za-podtopleniya-dvorovih-territoriy.html> (дата обращения 25.02.2015).
5. Золотухин Д.Е. Моделирование метеоцунами в Сахалинско - Курильском регионе // Морские интеллектуальные технологии. № 3 (17), 2012. С. 17-21.
6. Левин Б. В., Носов М. А. Физика цунами и родственных явлений в океане. Научное издание. М.: «Янус-К», 2005. 360 с.
7. Макаренко Е. В., Ивельская Т. Н. Метеоцунами в портах Сахалинской области по данным наблюдений телеметрической сети Службы предупреждения о цунами // Мореходство и морские науки – 2011: избранные доклады Третьей Сахалинской региональной морской научно-технической конференции (15-16 февраля 2011 г.) / Под ред. В. Н. Храмушина. Южно-Сахалинск: СахГУ, 2011. С. 205-211.
8. Поплавский А. А., Храмушин В. Н. Непоп К. И., Королев Ю. П. Оперативный прогноз цунами на морских берегах Дальнего Востока России. Южно-Сахалинск, 1997. 273 с.
9. Поплавский А. А., Храмушин В. Н. Методы оперативного прогноза цунами и штормовых наводнений. Москва: Наука, 2006. 272 с.
10. Поплавский А. А., Храмушин В. Н. Методы оперативного прогноза цунами и штормовых наводнений. Владивосток: Дальнаука, 2008. 176 с.
11. Рабинович А.Б. Длинные гравитационные волны в океане: захват, резонанс, излучение. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 325 с.
12. Тюрнин В.Б. Техническая записка "Комплексный анализ гидрометеорологической обстановки в северной части Охотского моря 6-7 февраля 2014 года в связи с аномальным повышением уровня моря в районе Охотска". Магадан: Архив ФГБУ "Колымское УГМС", №566, 37 с.
13. Historical tsunami database for the Pacific, 47 B.C. to present. Version 2.4 of February 21, 2005. Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics of Siberian Division of Russian Academy of Sciences. Access mode: <http://tsun.sccc.ru/htdbpac/> (date of application 29.12.2015)

UDK 551.466.63

**ANOMALOUS SEA FLOODING 6-7 FEBRUARY 2014, IN THE OKHOTSK AREA:
OBSERVATIONS AND MODELING**

Dmitriy E. Zolotukhin

PhD (Geographic Sciences), Researcher of Laboratory of Tsunami, Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Branch, Russian Academy of Sciences (IMGG FEB RAS),
1B, Nauka Str., 693022 Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, e-mail: DimZol@rambler.ru

Abstract. The paper contains the anomalous sea flooding of coastal strip in the northern part of the Okhotsk Sea (Okhotsk settlement - estuary of river Yin) February 6-7, 2014, caused by the release of deep cyclones from the Pacific Ocean. Analysis of observations data provided by Kolyma Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring and numerical modeling of the interaction between the atmosphere and ocean 6-7 February 2014, performed by the author, showed that the anomalous sea flooding of coastal strip near Okhotsk was caused by meteotsunami, begotten deep cyclone exit from the Pacific Ocean. This study suggests that meteotsunami caused by motion of cyclones pose a serious threat to the coast of the Russian Far East.

Keywords: Meteotsunami, cyclone, abnormal sea flooding, observations, numerical modeling, Sea of Okhotsk, coastline, ice, tide.

References

1. Andersen D., Tannehill Dzh., Pletcher R. Vychislitel'naya gidromekhanika i teploobmen [Computational Fluid Dynamics and Heat Transfer]. Moscow, Mir Publ., 1990. Vol. 1, 2. 726 p. (in Russian).
2. Afanas'ev I. Morskoy priliv podtopil 15 zhilykh domov v Okhotske. [Sea tide is underflooding 15 houses in Okhotsk]. Komsomol'skaya pravda = TVNZ. Available at: <http://www.kp.ru/online/news/1651978/>, accessed 29.12.2015 (in Russian).
3. Belotserkovskiy O. M. Davydov Yu. M. Metod krupnykh chastits v gazovoy dinamike [Method of large particles in the gas dynamics]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 370 p. (in Russian).
4. Zhiteley 33 domov Okhotska evakuirovali iz-za podtopleniya dvorovykh territoriy. [Residents of 33 homes in Okhotsk evacuated because of flooding yards]. AmurMedia.ru. Available at: <http://amurmedia.ru/news/khabkrai/07.02.2014/334800/zhiteley-33-domov-ohotska-evakuirovali-iz-za-podtopleniya-dvorovih-territoriy.html>, accessed 25.02.2015 (in Russian).
5. Zolotukhin D.E. Modelirovanie meteotsunami v Sakhalinsko - Kuril'skom regione [Modeling of meteotsunami in Sakhalin - Kuril region]. Morskie intellektual'nye tekhnologii = Marine Intellectual Technologies, 2012. № 3 (17). Pp. 17-21 (in Russian).
6. Levin B. V., Nosov M. A. Fizika tsunami i rodstvennykh yavleniy v okeane [Physics of tsunami and related phenomena in the ocean]. Moscow, Yanus-K Publ., 2005. 360 p. (in Russian).

7. Makarenko E. V., Ivel'skaya T. N. Meteotsunami v portakh sakhalinskoy oblasti po dannym nablyudeniyy telemekhicheskoy seti Sluzhby preduprezhdeniya o tsunami [Meteotsunami in the ports of the Sakhalin Region according to telemetric network observations of Tsunami Warning Services]. // Morekhodstvo i morskije nauki – 2011: izbrannye doklady Tret'ey Sakhalinskoy regio-nal'noy morskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (15-16 fevralya 2011 g.) = Maritime and marine sciences - 2011: Selected papers presented at the Third Sakhalin Regional Marine Science and Technology Conference (15-16 February 2011). Yuzhno-Sakhalinsk, SakhGU., 2011. Pp. 17-21 (in Russian).
8. Poplavskiy A. A., Khramushin V. N., Nepop K. I., Korolev Yu. P. Operativnyy prognoz tsunami na morskikh beregakh Dal'nego Vostoka Rossii [Operational forecast of tsunami on the coast of the Russian Far East]. Yuzhno-Sakhalinsk, 1997. 273 p. (in Russian).
9. Poplavskiy A. A., Khramushin V. N. Metody operativnogo prognoza tsunami i shtormovykh navodneniy. [Methods of operational forecasting of tsunami and storm floods]. Moscow, Nauka Publ., 2006. 272 p. (in Russian).
10. Poplavskiy A. A., Khramushin V. N. Metody operativnogo prognoza tsunami i shtormovykh navodneniy. [Methods of operational forecasting tsunamis and storm floods]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2008. 176 p. (in Russian).
11. Rabinovich A.B. Dlinnye gravitatsionnye volny v okeane: zakhvat, rezonans, izluchenie [Long gravity waves in the ocean: the capture, resonance, radiation]. SPb. Gidrometeoizdat Publ., 1993. 325 p. (in Russian).
12. Tyurnin V.B. Tekhnicheskaya zapiska "Kompleksnyy analiz gidrometeorologicheskoy obstanovki v severnoy chasti Okhotskogo morya 6-7 fevralya 2014 goda v svyazi s anomal'nym povysheniem urovnya morya v rayone Okhotska" [Technical Note "Comprehensive analysis of hydro-meteorological conditions in the northern part of Okhotsk Sea at February 6-7, 2014 in connection with an abnormal rise of sea level in the region of Okhotsk"]. Magadan, Archive of Kolyma Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, № 566. 37 p. (in Russian).
13. Historical tsunami database for the Pacific, 47 B.C. to present. Version 2.4 of February 21, 2005. Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics of Siberian Division of Russian Academy of Sciences. Access mode: <http://tsun.sccc.ru/htdbpac/> (date of application 29.12.2015)

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА
ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ
С УЧЁТОМ УРОВНЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ЭНЕРГОРЕСУРСАМИ**

Блохин Арсений Андреевич

Аспирант, Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
664130 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130, e-mail: SenyaDiamond@gmail.com

Аннотация. В представленной статье описывается подход к организации информационной поддержки мультицентровых исследований качества жизни с помощью использования интеллектуальной информационной системы. Благодаря автоматизации ряда этапов организации и проведения исследования значительно сокращаются сроки проведения таких исследований, снижаются трудозатраты исследователей и повышается точность результатов. Кроме того, в статье рассмотрена интеллектуальная составляющая такой системы – построение когнитивных моделей индикаторов качества жизни, которые позволяют разрабатывать новые методы оценки качества жизни или оценивать существующие. Кроме того, благодаря когнитивным моделям возможно использование методов сценарного программирования применительно к индикаторам качества жизни.

Ключевые слова: качество жизни, связанное со здоровьем, информационная система, когнитивные карты, информационная поддержка

Введение. Сегодня во всем мире принято считать, что целью и результатом деятельности, осуществляемой обществом, является повышение качества жизни (КЖ), благодаря этому оно стало предметом изучения для многих научных дисциплин (например, экономика, медицина, психология, политология и т.п.) [1, 3, 8].

Существует много различных определений качества жизни, но наиболее полно это понятие раскрыто в здравоохранении. Согласно принятому Всемирной организацией здравоохранения определению, качество жизни – это восприятие индивидами их положения в жизни в контексте культуры и системе ценностей, в которых они живут, в соответствии с целями, ожиданиями, нормами и заботами. Качество жизни определяется физическими, социальными и эмоциональными факторами жизни человека, имеющими для него большое значение [1].

Структура качества жизни не является фиксированной, по мере надобности в нее добавляют необходимые индикаторы и критерии оценки. Благодаря этому оно нашло широкое применение во многих сферах научной и прикладной деятельности человека. В частности, показатель «КЖ» используют как диагностический и прогностический критерий в медицине, а так же, как индикатор эффективности новых методов терапии и медикаментозного лечения. В экономике и политике КЖ стало наиболее обобщённым и универсальным показателем для оценки степени развития регионов, динамика изменения

показателя «качество жизни» может отражать эффективность ведения экономической и социальной политики в регионе и стране [4].

Успех любого исследования данной области в значительной мере зависит от эффективного инструментария, который позволит адекватно оценить столь ёмкую категорию, как качество жизни. Отсутствие единой методики и большое количество подходов, обусловленных масштабностью и многоаспектностью этой категории, заставляет исследователей самих разрабатывать свои собственные, авторские методики оценки качества жизни. Сегодня уже существует большое их количество: от наиболее обобщённых, охватывающих самые существенные стороны жизни человека, до детальных многоуровневых систем с подробным перечнем компонентов; от очень широких, включающих практически все аспекты жизненных ценностей, до сравнительно узких, базирующихся исключительно на уровне материального благосостояния.

Субъективное измерение показателя «качество жизни» основано на результатах социологических опросов, которые в наибольшей степени отражают ценностное отношение респондентов к условиям в обществе. Анализ социологической составляющей позволяет получить глубокое представление об объекте исследования и выявить проблемы, обнаружить причинно-следственные связи. Обычно, для оценки объективных составляющих качества жизни используются данные государственных статистических служб, и сведения, предоставляемые респондентом, в то время как субъективные составляющие можно получить исключительно путём опроса респондентов.

Подсчёт значений показателей происходит по алгоритмам методик, в зависимости от их сложности используются либо прикладные программы, специально разработанные для измерения качества жизни по конкретной методике, либо электронные таблицы. Для анализа исследователи пользуются пакетами статистической и математической обработки данных.

Выбор методов оценки качества жизни очень важен, поскольку напрямую зависит от целей, которые ставят перед собой исследователи и разработчики метода.

При разработке метода оценки качества жизни исследователи следуют следующему алгоритму:

1. Декомпозиция качества жизни на составляющие: отдельные элементы, которые можно субъективно или объективно оценить.

2. Выбор важных характеристик качества жизни, которые следует выделить в индикаторы. В зависимости от целей одна или несколько составляющих КЖ могут быть охарактеризованы более подробно.

3. Поиск способов численной оценки индикаторов качества жизни. В зависимости от характера данных исследователи обрабатывают уже числовые, объективные данные, либо шифруют и дают взвешенную оценку ответам респондентов.

4. Разработка единого агрегированного показателя, который включает все имеющиеся индикаторы и, собственно, называется показателем «качество жизни».

Для разработки подобных методов оценки качества жизни, а также для выбора конкретного метода для использования в исследовании, исследователям следует не только иметь как можно более точное представление не только о целях исследования, но и понимать соответствие данного метода целям конкретного исследования.

Ранее предпринимались попытки строгой математической оценки показателя «качество жизни», однако, со временем пришло понимание, что подобный подход не

позволяет полноценно охарактеризовать столь широкое понятие как качество жизни, поэтому сегодня принято комбинировать объективный и субъективный подходы к оценке качества жизни.

Для более полного понимания структуры качества жизни в рамках определенного метода предлагается использовать когнитивное моделирование индикаторов качества жизни и когнитивные карты, как визуальное представление когнитивной модели [7].

Когнитивное моделирование при оценке качества жизни. Когнитивные карты как метод исследования были впервые предложены Робертом Аксельродом в 1976 г. [11]. Они были предназначены для моделирования, анализа ситуации и принятия решения в ситуациях с высокой степенью неопределенности. Дальнейшее развитие когнитивных карт наблюдается в направлении совершенствования аппарата анализа и моделирования, например, в работах Э.А. Трахтенгерца и Л.Н. Столярова [9, 10]. Когнитивное моделирование активно используется в исследованиях проблемы энергетической безопасности [5-6].

Когнитивная карта – это вид математической модели, представленной в виде графа и позволяющей описывать восприятие человеком или группой людей какого-либо сложного объекта или системы. Из теории графов в когнитивных картах используются три понятия: циклы, пути и компоненты. В частности, элементы изучаемой системы называются концептами, в графе они представляются вершинами, причинно-следственные связи – направленными дугами [10-11].

Существует ряд различных подходов, которые используют при когнитивном моделировании:

1. Исследователь, основываясь на своих знаниях и данных, строит когнитивную карту. Этот способ подходит для небольших и простых способов оценки качества жизни, но обладает низкой точностью в силу своей субъективности.

2. При разработке когнитивных карт привлекают сведения и данные из литературы и иных достоверных документальных источников.

3. В случае освоения новой области, либо при наличии неоднозначных моментов для разработки когнитивной карты привлекается коллектив исследователей, которые совместно принимают решение о структуре и составе когнитивной модели с помощью экспертного подхода.

4. Комбинированный подход.

Между концептами когнитивной карты могут существовать следующие отношения: положительное – изменения в связанных концептах происходят в одном направлении (оба в отрицательном или оба в положительном), отрицательное – изменения в зависимом концепте происходят в противоположном направлении (при увеличении первичного концепта зависимый будет уменьшаться и наоборот), нулевое (взаимосвязи нет). Учитывая сложность возможных зависимостей между концептами в сфере качества жизни, можно ввести дополнительные варианты отношений: не отрицательное $\{0,+\}$, не положительное $\{0,-\}$, не нулевое $\{+,-\}$, универсальное $\{+,-,0\}$, амбивалентное (а). Кроме того, допустимо задавать значение отношения (связи) численно, функцией либо алгоритмом, благодаря этому когнитивная модель обладает гибкостью и влияние концептов друг на друга достаточно вариабельно. В свете использования когнитивных карт для оценки качества жизни это играет большую роль, зачастую один из индикаторов качества жизни незначительно изменяется до тех пор, пока внешний фактор колеблется в допустимых (достаточно широких) интервалах,

однако при выходе за границы «комфортного» диапазона значений индикатор качества жизни меняется значительно. Также, использование численных весов отношений между концептами позволит охарактеризовать такие случаи, когда на один концепт оказывают различное по силе, либо направлению, влияние несколько других концептов.

После того, как исследователи определяют весь набор концептов и отношений между ними, будет построена когнитивная карта, можно опытным путем проверить её достоверность на наборе имеющихся данных о показателях качества жизни. При существовании сведений о значении индикаторов качества жизни на достаточно большой выборке можно математически проверить наличие статистически значимых корреляций между отдельными индикаторами, а также между индикаторами качества жизни и факторами внешней среды (экологическое состояние, степень обеспеченности ресурсами, качество услуг в сфере здравоохранения, и т.п.). Если корреляции будут обнаружены, можно определить ковариацию или коэффициент корреляции и на основе численных показателей еще более эффективно использовать когнитивную карту, присвоив дугам не только направление, но и весовые значения, отражающие, насколько сильно изменение одного показателя влияет на зависимые от него концепты.

Когнитивная карта становится инструментом, способным не только описать качественно структуру индикаторов качества жизни, но и количественно охарактеризовать взаимозависимости между индикаторами качества жизни и факторами внешней среды. Количественная оценка корреляций между концептами когнитивных карт позволяет использовать возможности моделирования и сценарного программирования применительно к качеству жизни, что значительно расширяет возможности данного метода, его практическую и научную значимость.

В качестве внешних факторов в когнитивной модели могут выступать различные показатели, имеющие значительное влияние на качество жизни, например, степень обеспеченности энергетическими ресурсами, для оценки которой автором предлагается использовать специальный опросник [2].

Опросник состоит из трех блоков:

1. В первом блоке респондент дает оценку своей потребности в энергетических ресурсах (район проживания, наличие централизованных систем тепло-электроснабжения, наличие личного автотранспорта, и др.)
2. Во втором блоке опросника респонденту предлагают оценить финансовую составляющую обеспеченности энергетическим ресурсами (уровень дохода, приблизительная доля доходов, которая затрачивается на оплату централизованного тепло-электроснабжения, либо на закупку КПП, темпы роста тарифов и др.)
3. В третьем блоке респондент субъективно оценивает уровень обеспеченности энергетическими ресурсами, дает оценку удовлетворенности качеством работы тепло-энергосбытовых компаний и характеризует степень влияния энергетики на качество жизни.

С целью демонстрации возможностей когнитивного моделирования индикаторов качества жизни автором разработана когнитивная модель качества жизни, связанного со здоровьем (рис. 1), с учетом внешних факторов, для жителей Иркутской области. Кроме того, была создана когнитивная модель уже существующей методики оценки качества жизни SF-36 (рис. 2).

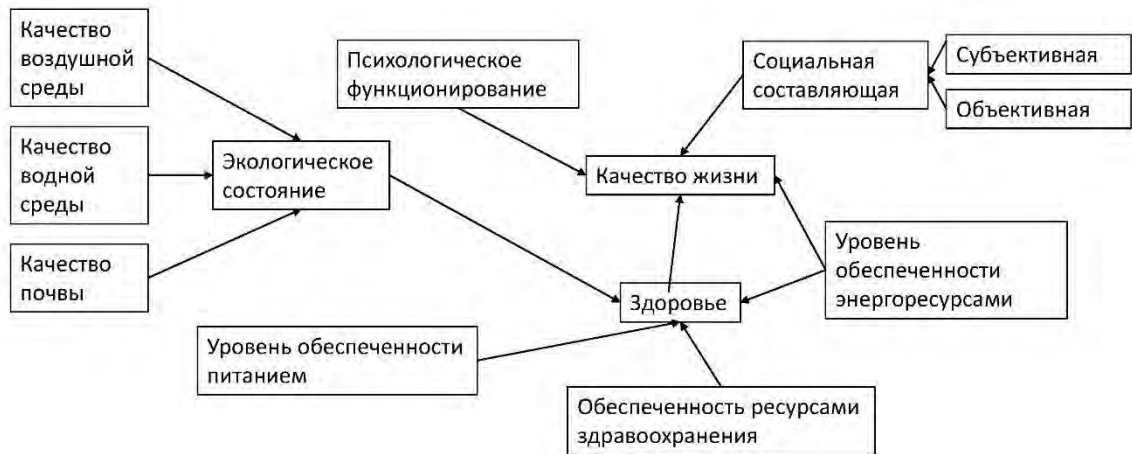


Рис. 1. Когнитивная модель качества жизни, связанного со здоровьем, с учетом внешних факторов, все дуги «+»

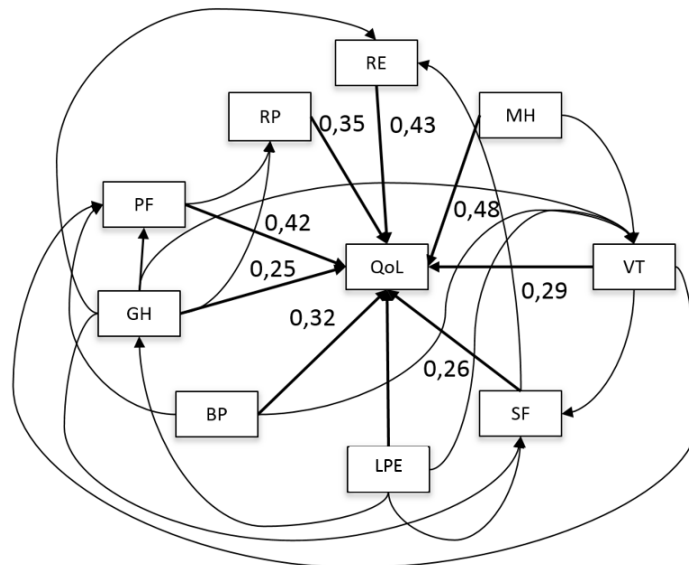


Рис. 2. Когнитивная модель качества жизни по методике SF-36, все дуги «+»

PF (Physical Functioning) - физическое функционирование.

RP (Role-Physical Functioning) - ролевое функционирование, обусловленное физическим состоянием.

BP (Bodily pain) – интенсивность боли.

GH (General Health) – общее состояние здоровья.

VT (Vitality) – жизненная активность.

SF (Social Functioning) – социальное функционирование.

RE (Role-Emotional) - ролевое функционирование, обусловленное эмоциональным состоянием.

MH (Mental Health) – психическое здоровье.

PHC (Physical health) – общий компонент физического здоровья.

MHC (Mental health) – общий компонент психического здоровья.

QoL (Quality of Life) – интегральный показатель качества жизни.

СОЭр – степень обеспеченности энергетическими ресурсами.

Схема информационных процессов при оценке качества жизни. Сегодня в России организация информационных потоков в большей части мультицентровых исследований включает длинную последовательность действий. Заполненные респондентами бумажные опросники вручную обрабатываются исследователями, результаты обработки размещаются в электронных таблицах. По окончании сбора данных в головном центре исследования объединяют все таблицы в одну. Передача таблиц в головной центр осуществляется посредством электронной почты. Такая схема организации информационных потоков обладает большим числом недостатков. Во-первых, во время сбора данных респонденты могут случайно либо намеренно пропустить вопрос, дать неправильный или неполный ответ. Такие ошибки достаточно тяжело исправить, обычно прибегают к подстановке среднего значения по показателю либо исключают респондента из выборки, что существенно сказывается на достоверности результатов исследования. Вторая проблема возникает в процессе ручной обработки опросников и переноса результатов в электронную таблицу, человеческий фактор играет здесь существенную роль. Так же возможны, хотя и маловероятны, ошибки при пересылке данных по электронной почте и на этапе объединения таблиц в головном центре исследования. Несмотря на то, что по отдельности эти недостатки не опасны, в совокупности они могут оказать негативное влияние на ход и результаты исследования.

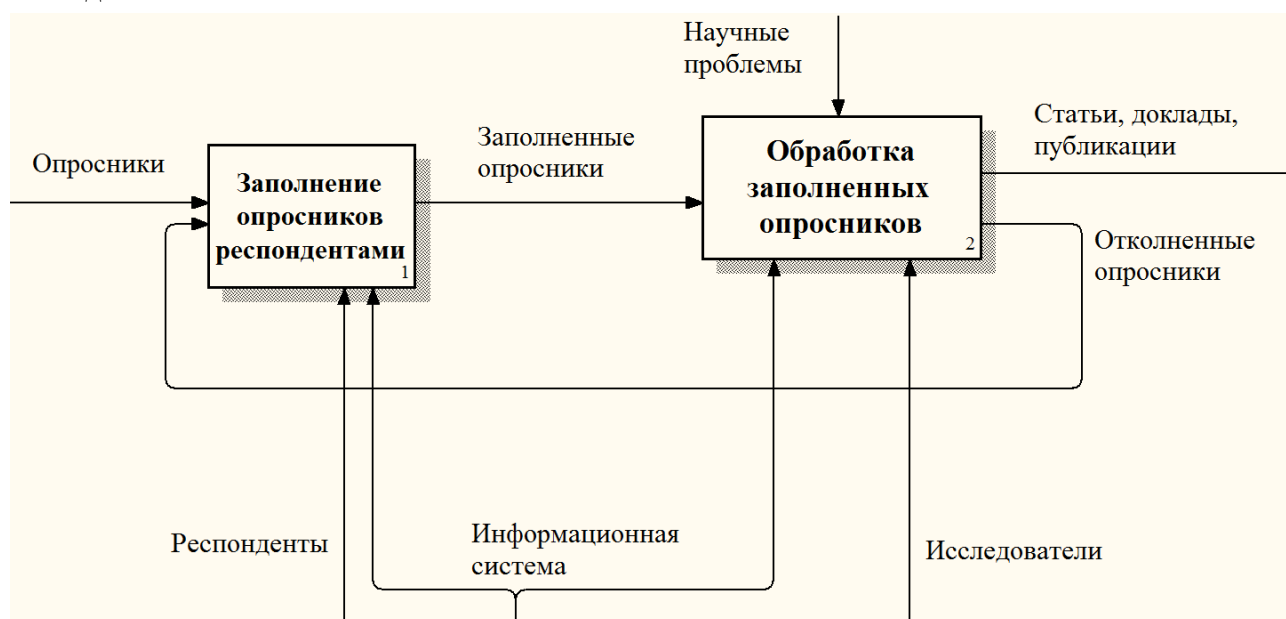


Рис. 3. Схема информационных процессов при использовании авторской информационной системы

Анализ существующей схемы организации информационной поддержки и возможностей современных информационных технологий позволил предложить существенные изменения в схеме организации информационной поддержки (рис. 3).

Интеллектуальная информационная система для оценки качества жизни. В качестве центрального звена, выполняющего основную работу по организации информационных потоков исследования, было предложено разработать и реализовать систему автоматизации сбора, проверки и обработки данных, получаемых системой непосредственно от респондентов (интеллектуальную информационную систему – ИИС EsQL (Estimation of Quality of Life)). Выделены основные функциональные блоки ИИС EsQL:

реляционная база данных для хранения ответов респондентов, результатов обработки и другой необходимой информации, подсистема расчета основных характеристик согласно методикам исследования и интерфейс пользователя для ввода данных и проверки их на корректность (рис. 4).

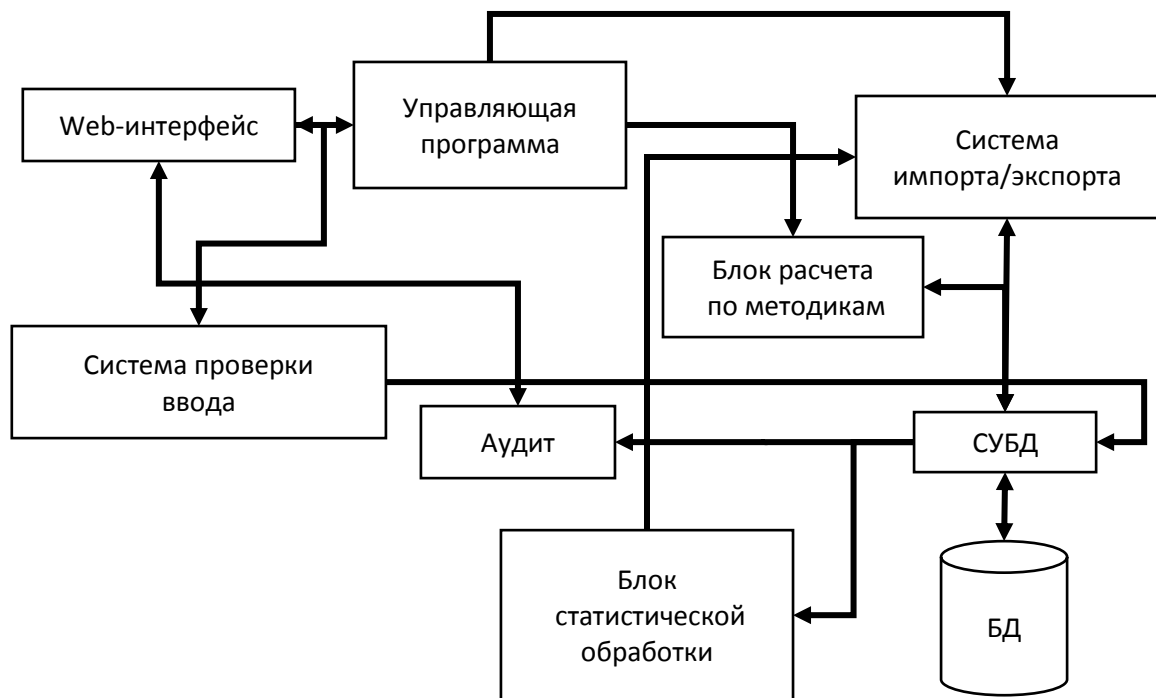


Рис. 4. Схема ИИС EsQL для интегральной оценки качества жизни

Предложенная схема позволяет избавиться от ошибок неправильного заполнения опросников, ошибок, допускаемых исследователями при ручной обработке опросников, а также существенно ускорить и упростить процесс взаимодействия центров исследования между собой. В результате использования ИИС EsQL в мультицентровых исследованиях появляется возможность оперативно информировать респондента о состоянии его индивидуальных показателей качества жизни, вести аудит работы конкретного исследователя или центра, подсчитывать основные статистические параметры по выборкам и другие преимущества, реализация которых возможна в рамках программы. Однако, подобная система обладает также и недостатками, например, потребуются дополнительные временные и финансовые затраты на реализацию и ввод в эксплуатацию такой системы. Тем не менее, если сделать ИИС EsQL расширяемой, реализовав возможность дорабатывать ее, внедряя новые методики и оптимизируя расчёты, интегрировать функциональные возможности проведения на её основе новых исследований, то недостатки системы становятся несущественными.

В связи с тем, что подобные исследования охватывают значительную территорию и обычно включают в себя большое число различных методик, а также помимо единичного, конкретного исследования в ИИС EsQL предполагается проводить и другие, было принято решение создавать расширяемое приложение с разработкой оптимальной модели данных и архитектуры системы в целом. Поскольку одним из основных требований к системе является наличие возможности автоматизированного сбора информации в единой базе данных, очевидна целесообразность выбора клиент-серверной архитектуры системы. Однако

предполагаемая расширяемость системы внесла бы дополнительные трудности в обновление и совместимость версий клиентской стороны приложения, дополнительно пришлось бы разрабатывать универсальный протокол обмена между клиентской и серверной частями системы. Решить данную проблему позволил выбор web-ориентированной серверной стороны системы. Действительно, в роли клиентского приложения в данной схеме выступает браузер, над обновлением и совместимостью которого работают сторонние разработчики. Благодаря универсальности данного подхода появляется возможность вносить изменения и расширять систему уже во время её эксплуатации, а также не требуется установка дополнительного программного обеспечения на клиентские компьютеры и отпадает необходимость обучения исследователей.

ИИС EsQL в силу требований, предъявляемых к ней, реализована в виде веб-портала. Это позволяет значительно ускорить процесс развертывания нового исследования и избавляет участников исследования от необходимости установки дополнительного ПО. Кроме того, такой вариант архитектуры информационной системы позволяет обновлять и модернизировать систему без необходимости обновлять клиентские приложения.

В связи с существенными преимуществами для разработки ИИС EsQL был выбран шаблон проектирования Модель-Контроллер-Отображение (MVC). В качестве фреймворка использовался Django 1.8, язык программирования Python 2.7.10, в качестве СУБД использовалась PostgreSQL 9, тем не менее, благодаря преимуществам объектно-реляционного отображения (ORM), возможно использовать любую СУБД, совместимую с Django. С целью минимизации финансовых затрат автором были использованы преимущественно свободно-распространяемые средства программирования, фреймворк и СУБД, что значительно повышает экономическую привлекательность предлагаемого подхода и ИИС EsQL.

Заключение. Предлагаемый автором подход к оценке качества жизни в мультицентровых исследованиях с использованием разработанной им интеллектуальной информационной системы EsQL показал свою эффективность при проведении нескольких таких исследований. Благодаря ИИС EsQL становится возможной грамотная организация бизнес-процессов в ходе исследования, упрощается как подготовка к исследованию, так и сам процесс сбора данных. Использование когнитивных карт позволяет исследовать и наглядно представить результаты, свидетельствующие о наличии и направлении зависимостей между индикаторами качества жизни и внешними факторами. Внедрение методики когнитивного моделирования в исследования качества жизни открывает перспективы для сценарного программирования и моделирования, что, в свою очередь, может расширить диапазон задач, которые можно решать при помощи методик оценки показателя «качество жизни».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С.А. Интегральные индикаторы качества жизни населения: их построение и использование в социально-экономическом управлении и межрегиональных сопоставлениях. М.: ЦЭМИ РАН, 2000. 117с.
2. Блохин А.А. Анализ подходов к оценке степени обеспеченности населения энергетическими ресурсами / А. Блохин // Материалы конференции молодых ученых «Системные исследования в энергетике». Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2014. С. 107-112.

3. Дьякович М.П. Комплексная оценка психологического статуса и качества жизни для разработки программы психологической помощи пациентам с хронической ртутной интоксикацией / М.П. Дьякович, П.В. Казакова // Бюлл. ВСНЦ. 2011. № 3. С. 84
4. Закиева Е.Ш., Герасимова И.Б., Ильясов Б.Г. Системный подход к построению когнитивной модели качества жизни / Сб. науч. тр. XII всероссийского совещания по проблемам управления.– Москва, 2013. С. 6197-6207.
5. Массель А.Г. Когнитивное моделирование угроз энергетической безопасности / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), отдельный выпуск №17. – М.: Изд-во «Горная книга», 2010. С. 194 - 199
6. Массель Л.В. Применение онтологического, когнитивного и событийного моделирования для анализа развития и последствий чрезвычайных ситуаций в энергетике / Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. №2. 2010. С. 34-43.
7. Массель Л. В., Блохин А. А. Метод когнитивного моделирования индикаторов качества жизни с учетом внешних факторов / Наука и образование. М.: МГТУ им. Баумана <http://technomag.bmstu.ru>. Эл. №ФС77-4211. ISSN 1994-0448. №4. 2016. С. 65-75. DOI: [10.7463/0416.0839061](https://doi.org/10.7463/0416.0839061)
8. Мурина С. Методологические подходы к исследованию и оценке качества жизни населения: региональный аспект / С. Мурина // Социальная инноватика в региональном развитии. Сборник материалов четвертой школы молодых ученых. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. С. 88-99.
9. Столяров Л.Н. Сценарное программирование риска: механизм коллективного принятия решений и его применение к проблеме оценки уровня энергетической безопасности региона. Труды Всероссийской конференции «Информационные и телекоммуникационные технологии в науке и образовании Восточной Сибири». – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2002. – 165 с.
10. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.: СИНТЕГ, 1998. 376 с.
11. Axelrod R. The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites. — Princeton. University Press, 1976. 422 p.

UDK 004.81:614.2

**INTELLIGENT INFORMATION SYSTEM FOR INTEGRATED ASSESSMENT
OF QUALITY OF LIFE IN VIEW OF LEVEL ENERGY SUPPLY**

Arseniy A. Blokhin

Graduate student, Melentiev Energy Systems Institute

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

130, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia, e-mail: SenyaDiamond@gmail.com

Abstract. The author considers an approach to assessing the quality of life through intelligent information system. Proposed automation will simplified or eliminated a number of routine tasks on the organization of research and data collection process. The article describes the possibility of cognitive modeling using for studies of quality of life,

as a way to implement new methodologies to assess and to test existing ones. In addition, cognitive modeling allows the use of scenario programming.

Keywords: Quality of life related to health, intelligent information system, information support organization, level of energy supply

References

1. Ayvazyan S.A. Integral'nye indikatory kachestva zhizni naselenija: ih po-stroenie i ispol'zovanie v social'no-jekonomicheskom upravlenii i mezhre-gional'nyh sopostavlenijah [Integral indicators of quality of life: in their structure and use of socio-economic governance and inter-regional co-delivered]. M.: CEMI, 2000. 117 p. (in Russian).
2. Blokhin A.A. Analiz podhodov k ocenke stepeni obespechennosti naselenija jenergeticheskimi resursami [The analysis of approaches to the assessment of the degree of availability of energy resources]. Materialy konferencii molodyh uchenyh «Sistemnye issledovanija v energetike»=Proceedings of the conference of young scientists "System studies in the energy sector." Irkutsk: ESI SB RAS, 2014. Pp. 107-112. (in Russian).
3. Dyakovich M.P. Kompleksnaja ocenka psihologicheskogo statusa i kachestva zhizni dlja razrabotki programmy psihologicheskoy pomoshhi pacientam s hronicheskoj rtutnoj intoksikaciej [Comprehensive assessment of psychological status and quality of life for the development of a program of psychological care to patients with chronic mercury intoxication-term] / Bulleten ESSC= Bull. ESSC. 2011. № 3. 84 p. (in Russian).
4. Ilyasov B.G., Zakieva E. Sh., Gerasimova I.B., Cistemnyj podhod k postroe-niju kognitivnoj modeli kachestva zhizni [System and network approach to building the cognitive model of quality of life]. Sbornik nauchnuch trudov XII vserossijskogo soveshhanija po problemam upravlenija=Coll. scientific. tr. XII All-Russia meeting on governance issues. Moscow, 2013. Pp. 6197-6207. (in Russian).
5. Massel L.V., Kognitivnoe modelirovanie ugroz jenergeticheskoy bezopasnosti / [Cognitive modeling of energy security threats]. Gornyj informa-cionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)= Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal), advice-release №17. – M.: Publishing house "Mountain Book", 2010. Pp. 194 – 199 (in Russian).
6. Massel L.V. Primenenie ontologicheskogo, kognitivnogo i sobytijnogo mo-delirovanija dlja analiza razvitija i posledstvij chrezvychajnyh situacij v jenergetike [The use of the ontological, cognitive and moevent simulation and analysis of consequences of emergency situations in the energy]. Problemu bezopasnosti i chrezvuchainuh situacii=safety issues and emergencies. №2.2010. Pp. 34-43. (in Russian).
7. Massel' L. V., Blohin A. A. Metod kognitivnogo modelirovanija indikatorov kachestva zhizni s uchetom vneshnih faktorov [Cognitive modeling method of quality of life indicators, taking into account external factors] / Nauka i obrazovanie = Science and education. M.: MGTU im. Baumana <http://technomag.bmstu.ru>. . Эл. №ФС77-4211. ISSN 1994-0448. №4. 2016. Pp. 65-75. DOI: [10.7463/0416.0839061](https://doi.org/10.7463/0416.0839061) (in Russian).
8. Murina C. Metodologicheskie podhody k issledovaniju i ocenke kachestva zhizni naselenija: regional'nyj aspect [Methodological approaches to the study and evaluation of the quality of life: a regional perspective]. Social'naja innovatika v regional'nom razvitii. Sbornik materialov chetvjortoj shkoly molodyh uchenyh =Social Innovation in regional

- development, Mr. The collection of materials of the fourth school of young scientists. Petrozavodsk: Karelian Research Centre of Russian Academy of Sciences, 2008. Pp. 88-99. (in Russian).
9. Stolyarov L.N. Scenarnoe programmirovaniye riska: mehanizm kollektivnogo prinjatija reshenij i ego primenenie k probleme ocenki urovnja jenergetiche-skoj bezopasnosti regiona [Risk scenario programming: collective decision-making mechanism and its application to the problem of assessing the level of energy security region]. Vserossiiskaya konferencia "Informacionnue I telekommunikacionnue tehnologii v nauke i upravlenii vostochnoi Sibiri=Proceedings of the All-Russian conference "Information and telecommunication technologies in science and education in Eastern Siberia." - Irkutsk: ESI SB RAS, 2002. 165 p. (in Russian).
 10. Trahtengerts E.A. Komp'juternaja podderzhka prinjatija reshenij [Computer support of decision-making]. -M.: INS-TAG, 1998. 376 p. (in Russian).
 11. Axelrod R. The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites. - Princeton. University Press, 1976. 422 p.

WEB-ОРИЕНТИРОВАННАЯ ОБОЛОЧКА ПРОДУКЦИОННОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

Коршунов Сергей Андреевич

Аспирант, e-mail: grey.for@gmail.com

Павлов Александр Иннокентьевич

К.т.н., с.н.с., e-mail: asd@icc.ru

Николайчук Ольга Анатольевна

Д.т.н., доцент, с.н.с., e-mail: nikoly@icc.ru

Федеральное государственное учреждение науки Институт динамики систем и теории управления Сибирского отделения Российской академии наук,
Россия, 664033, Иркутск, Лермонтова ул., 134

Аннотация: В работе рассматриваются вопросы реализации оболочки продукционной экспертной системы в виде web-приложения. Данная оболочка позволит специалисту в предметной области решать проблемы, используя сформированные им логические правила, описывающие динамику исследуемых процессов. Web-доступ к оболочке обеспечит возможность коллективного доступа, что особенно важно при междисциплинарных исследованиях, требующих работы коллектива специалистов из разных областей знаний. Более подробно рассмотрена реализация web-сервиса, который обеспечивает доступ к машине вывода JESS и генерацию кода базы знаний в формате JESS из обобщенного вида, хранящегося в базе данных.

Ключевые слова: продукционная экспертная система, оболочка, качественные решения, база знаний, автоматизация исследований.

Введение. Компьютерная поддержка исследователя в слабоформализованных предметных областях, связанных с процессами, представляющими опасность для человека (например, производство полиэтилена в нефтехимии) [1], является актуальной проблемой. Ее актуальность главным образом обусловлена необходимостью обеспечения безопасности людей и повышения надежности оборудования, задействованного в опасных процессах.

Одним из современных направлений решения данной проблемы является создание специализированного программного обеспечения, основанного на знаниях, в частности, экспертных систем [2]. Реализация специализированной оболочки, обеспечивающей возможность разработки, тестирования и интеграции продукционной экспертной системы в систему автоматизации исследований [6, 7], позволила бы специалисту в предметной области решать проблемы на основе логических правил, описывающих динамику опасных процессов, и получать обоснование решения, используя только предметные знания. Реализация web-доступа к оболочке дает пользователям возможность коллективной разработки и доступа к базе знаний.

Цель данной статьи – описание оболочки производственной экспертной системы как одного из компонентов системы автоматизации исследований динамики опасных процессов для специалистов в предметной области (непрограммирующих пользователей).

1. Общая архитектура оболочки. При создании систем автоматизации научных исследований имеет место проблема частого изменения программного кода компонентов, обусловленного совершенствованием моделей предметной области и алгоритмов решения задач. Чаще всего уточнению подвергаются модели предметной области, а алгоритмы решения задач остаются относительно постоянными. Таким образом, возникает задача надления разрабатываемой оболочки функциональностью, обеспечивающей восприятие изменений в структуре обрабатываемых объектов без изменения исходного кода. Данная функциональность оболочки обеспечивает гибкость программной системы, что, с одной стороны, снимает часть рутинной работы с программистов, с другой – позволяет специалисту в предметной области самостоятельно разрабатывать программу, в частности, экспертную систему.

Для решения этой задачи при разработке оболочки необходимо обеспечить разделение методов создания и хранения информации о структуре и содержании предметной области от методов ее обработки. Соблюдая данный принцип, предлагается обеспечить хранение баз знаний в базе данных, а методы создания баз знаний, управления базой данных и метод рассуждения по правилам реализовать в виде отдельных модулей.

Одним из основных модулей оболочки производственной экспертной системы является производственная машина вывода, осуществляющая процесс рассуждения (логического вывода) по правилам. Наиболее рациональным представляется реализация данной оболочки на основе уже существующей машины вывода. В настоящее время существуют как коммерческие, так и свободно распространяемые оболочки производственных экспертных систем (JESS [8], CLIPS [9], OPS5 [10], DROOLS [11]), с помощью которых можно реализовать механизм рассуждения на основе продукций. В данной работе для этой цели выбрана динамическая библиотека, реализующая систему JESS (Java Expert System). Данный выбор обосновывается возможностью использования системы в академических целях, а также реализацией системы на языке Java, позволяющей легко интегрировать машину вывода в оболочку производственной экспертной системы.

Опишем архитектуру разработанной программной системы (рис. 1). Оболочка содержит следующие компоненты: web-сервис; модуль взаимодействия с базой данных, реализующий программный интерфейс доступа к базе данных; модуль управления базами знаний, предназначенный для работы с правилами и фактами; графический редактор правил, основывающийся на RVML-нотации представления продукций; модуль связи с web-сервисом, реализующий пользовательский интерфейс доступа к web-сервису экспертной системы; база данных, где хранения базы знаний (фактов, правил и начальных условий).

Рассмотрим компоненты более подробно.

Модуль управления базами знаний. Данный модуль реализует пользовательский интерфейс доступа к базам знаний и предназначен для работы с шаблонами фактов, правилами и описанием начальных условий (выполнение операций создания, модификации и удаления), представленными в обобщенном виде. Шаблоны фактов и правила группируются согласно их предметной классификации, образуя базы знаний, характеризующиеся уникальным именем и сферой применения. Каждая база знаний может иметь несколько

описаний начальных условий, которые могут быть использованы при ее тестировании. При этом запуск процедуры вывода для выбранной базы знаний может быть осуществлен как с помощью пользовательского интерфейса оболочки, так и через интерфейс доступа к web-сервису экспертной системы. Перечень разработанных баз знаний может быть рассмотрен в качестве списка доступных оболочке методов решения предметных задач, поэтому функциональность оболочки может быть углублена и расширена в процессе работы. Модуль разработан с использованием языков HTML, CSS, JavaScript и PHP.

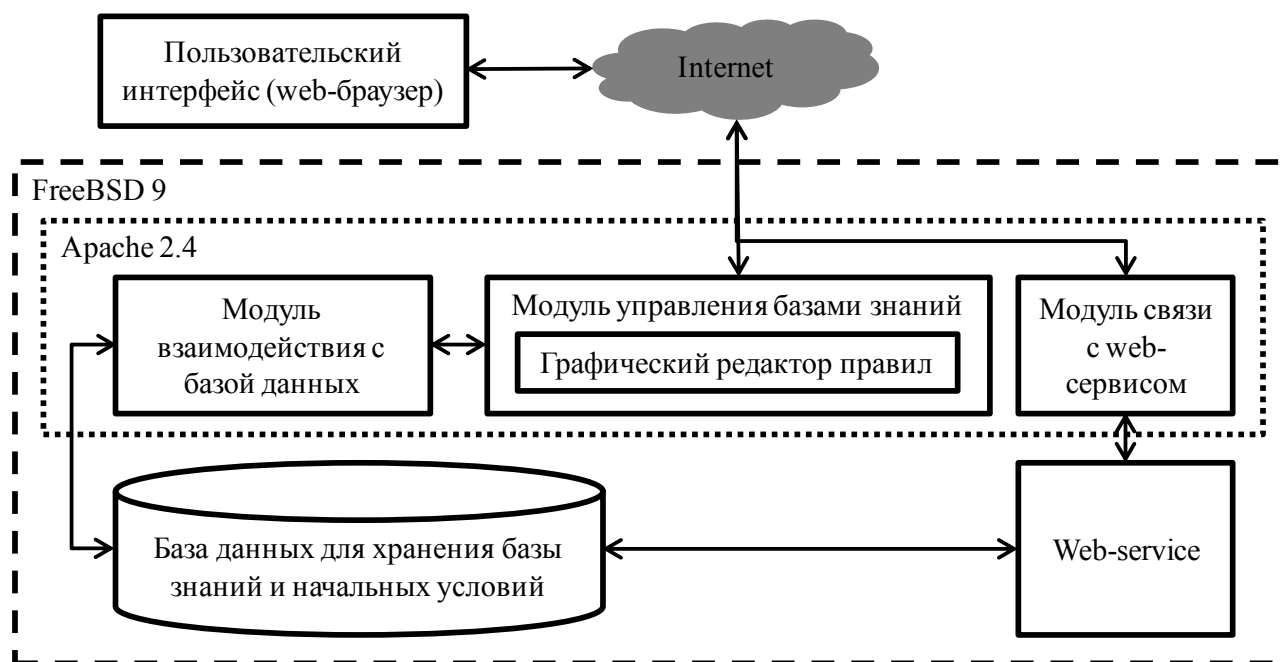


Рис. 1. Архитектура оболочки экспертной системы

Модуль связи с web-сервисом – реализует интерфейс доступа к web-сервису экспертной системы. Передает машине вывода идентификатор базы знаний, либо список правил и фактов в формате машины вывода. Модуль связи разработан на языке HTML с использованием PHP.

Графический редактор правил. Графический редактор правил основывается на нотации RVML (Rule Visual Modeling Language) для представления продукций [4]. Редактор позволяет:

- использовать отдельные графические примитивы для отображения всех элементов правил;
- присваивать отдельным фактам субъективные вероятности в виде коэффициентов уверенности;
- более наглядно отображать тип выполняемых действий;
- отображать логические операторы в условиях правил (ИЛИ и НЕ).

Редактор позволяет в простой и наглядной форме спроектировать продукционное правило, задать условие и действие. Он также дает возможность устанавливать коэффициенты уверенности, настраивать вывод сообщений, добавлять и удалять их. Графический редактор разработан с использованием языков HTML, CSS, PHP и JavaScript.

База данных для хранения базы знаний и начальных условий. Модель данных (рис. 2), реализуемая в предлагаемой базе данных, описывает структуру таблиц (СУБД

PostgreSQL), которые обеспечивают хранение следующей информации: шаблоны фактов; производственные правила, управляющие процессом формирования фактов; заранее заданный список вычислительных процедур, позволяющих преобразовывать численные значения переменных и описание начальных условий. Любой шаблон факта имеет название и обладает набором атрибутов, каждый из которых также имеет название, тип и значение по умолчанию. Каждое правило включает в себя условие и действие после срабатывания этого правила. Условие является набором ограничений на значение атрибута факта, каждое из которых имеет вид: [атрибут факта, оператор сравнения, значение]. Действием является создание нового факта на основе шаблонов или данных.

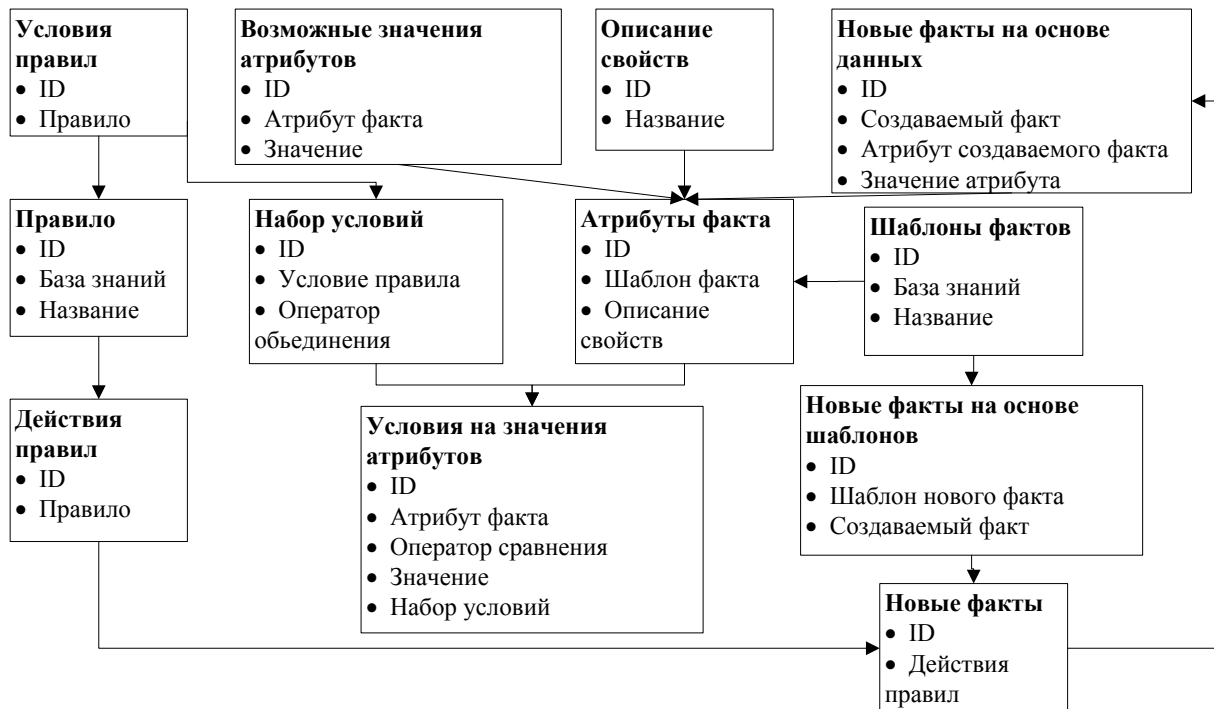


Рис. 2. Фрагмент логической модели данных

Модуль взаимодействия с базой данных – программный интерфейс доступа к базе данных PostgreSQL. Реализует функции соединения с базой данных, отображения всех таблиц, доступа к их содержимому, а также выполнения стандартных операций и запросов (добавления, модификации, удаления, поиска). Модуль реализован на языке SQL.

2. Web-сервис. Для обеспечения доступа к экспертной системе был разработан специализированный web-сервис. Взаимодействие с web-сервисом производится с использованием XML-сообщений по SOAP-протоколу (Simple Object Access Protocol) [3]. Все имеющиеся интерфейсы описаны в формате WSDL (Web Services Description Language) [12]. Такое описание интерфейса сервиса обеспечивает автоматическую генерацию кода на клиентской стороне, необходимого для связи с сервисом.

Описание WSDL web-сервиса может быть доступно клиенту с помощью реестра UDDI (Universal Description, Discovery and Integration) [13], в котором web-сервис предварительно зарегистрирован. SOAP-сообщения, участвующие в обмене между клиентом и web-сервисом, имеют строго определенную структуру для передачи имени вызываемой удаленной процедуры и ее параметров, а также результата ее вызова [5]. Сервис полностью

реализован на языке Java, с использованием языка SQL, необходимого для составления запросов к базе данных.

Основная задача web-сервиса – подготовить информацию (факты и правила) из базы данных для ее последующей обработки машиной вывода, т.е. преобразовать ее из обобщенного вида в формат Jess. Полученная информация будет использована машиной вывода для осуществления логического вывода на основе правил и фактов. Web-сервис обладает архитектурой, представленной на рис. 3.

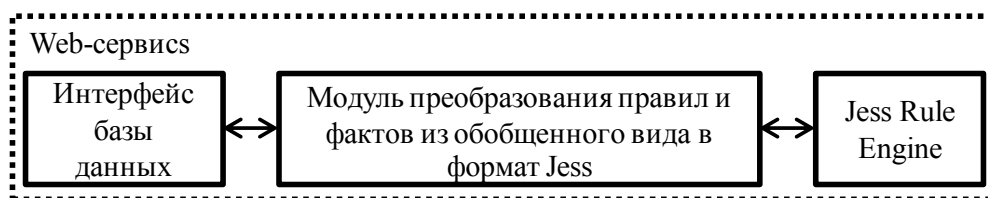


Рис. 3. Архитектура web-сервиса

Далее опишем модули web-сервиса.

Jess Rule Engine – производственная машина вывода, осуществляющая процесс рассуждения (логического вывода) по правилам. При реализации данного модуля используется динамическая библиотека, реализующая машину вывода JESS. В качестве результата машина вывода отображает список сработавших правил, представленных в понятном пользователю виде, благодаря информации из базы знаний.

Интерфейс базы данных – программный интерфейс доступа к базе данных PostgreSQL. Реализует функции соединения с базой данных, отображения всех таблиц базы, доступа к их содержимому, а также выполнения стандартных операций и запросов (добавления, модификации, удаления, поиска). Модуль реализован на языке SQL.

Модуль преобразования правил и фактов из обобщенного вида в формат Jess – данный модуль в качестве входных данных получает либо идентификатор базы знаний, на основе которого далее модуль берет списки правил и фактов из соответствующей базы знаний и преобразует их из обобщенного вида в операторы языка машины вывода JESS, либо передает уже сформированный список правил и фактов машине вывода. Реализация данного модуля зависит от специфики используемой машины вывода и нуждается в изменении в случае ее замены. Модуль преобразования разработан на языке Java, с использованием языка SQL.

Опишем классы, входящие в состав модуля преобразования правил и фактов из обобщенного вида в формат Jess и реализующие функции данного модуля.

Класс TKnowledgeBaseCreator предоставляет интерфейс доступа к базе знаний, а также объединяет факты и правила, представленные в формате машины вывода Jess.

Класс TDatabaseInterface служит для подключения к базе данных.

Класс TRuleRepresentation формирует SQL-запрос к базе данных, результатом выполнения которого является список всех правил базы знаний. Правила представляются в формате машины вывода и передаются в класс TKnowledgeBaseCreator.

Класс TFactRepresentation формирует запрос к базе данных, результатом выполнения которого является список всех новых фактов базы знаний. Шаблоны представляются в формате машины вывода и передаются в класс TKnowledgeBaseCreator.

Класс *TTemplateRepresentation* формирует запрос к базе данных, результатом выполнения которого является список всех шаблонов базы знаний. Шаблоны представляются в формате машины вывода и передаются в класс *TKnowledgeBaseCreator*.

Заключение. Эффективность решения исследовательских задач при помощи модульного программного обеспечения зависит от набора доступных методов, реализованных в виде отдельных модулей. В данной работе представлена реализация модуля – оболочки экспертной системы, приведено описание ее функций, архитектуры и функциональных блоков.

Разработанная программная оболочка позволяет специалисту в предметной области, используя только его собственные знания, сформировать производственную базу знаний, содержащую шаблоны, факты, созданные на основе шаблонов, и правила, описывающие динамику исследуемых процессов, а затем управлять созданной базой знаний. Полученная база знаний совместно с интегрированной машиной вывода образуют производственную экспертную систему, результатом работы которой являются новые факты о решаемой проблеме. Оболочка позволяет просматривать и сохранять результаты вывода, а также отслеживать последовательность сработавших правил (элемент объяснения). Применение оболочки производственной экспертной системы обеспечит возможность использования логического вывода в процессе решения задач планирования, диагностики и проектирования машин и конструкций, а также при интеллектуализации поведения других модулей системы исследования.

Дальнейшее развитие программной системы включает в себя расширение структуры базы данных для обеспечения новых типов условий правил (сравнение значений атрибутов фактов), новых действий правил (изменение значений атрибутов уже созданных фактов).

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 15-07-05641.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берман А.Ф. Информатика катастроф // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2012. №3. С. 17-37.
2. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний и интеллектуальные системы. СПб.: Питер, 2000.
3. Генри Бекет. Professional Java SOAP Programming. Москва: Лори, 2012. – 458 с.
4. Грищенко М.А. Разработка экспертных систем на основе трансформации информационных моделей предметной области // Программные продукты и системы. 2013. № 3. С.143-147.
5. Машнин Т. Web-сервисы Java. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 560 с.
6. Николайчук О.А., Павлов А.И. Применение компонентного подхода для создания системы автоматизации исследований // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2010. №4. С.23-32.
7. Николайчук О.А., Павлов А.И., Юрин А.Ю. Компонентный подход: модуль производственной экспертной системы // Программные продукты и системы. 2010. №3. С. 26-30
8. Сайт, посвященный работе с машиной вывода Jess [Электронный ресурс] URL: <http://jessrules.com> (дата обращения: 25.03.2016).

9. Сайт, посвященный работе с машиной вывода CLIPS [Электронный ресурс] URL: <http://clipsrules.sourceforge.net> (дата обращения: 25.03.2016).
 10. Сайт, посвященный работе с машиной вывода OPS5 [Электронный ресурс] URL: <http://free-compilers.sharnoff.org/TOOL/OPS5-1.html> (дата обращения: 25.03.2016).
 11. Сайт, посвященный работе Drools (Business Rules Management System) [Электронный ресурс] URL: www.drools.org (дата обращения: 25.03.2016).
 12. Сайт, посвященный стандарту WSDL [Электронный ресурс] URL: http://www.w3schools.com/webservices/ws_wsdl_intro.asp (дата обращения: 25.03.2016).
 13. Сайт, посвященный программному обеспечению UDDI [Электронный ресурс] URL: <http://uddi.xml.org/> (дата обращения: 25.03.2016).
-

UDK 004.89

WEB-ORIENTED SHELL OF RULE-BASED EXPERT SYSTEM

Sergey A. Korshunov

Postgraduate Student, e-mail: grey.for@gmail.com

Alexander I. Pavlov

PhD, e-mail: asd@icc.ru

Olga A. Nikolaychuk

PhD, e-mail: nikoly@icc.ru

Institute for System Dynamics and Control Theory Siberian Branch of RAS,
Lermontov St. 134, 664033, Irkutsk, Russia,

Abstract: The paper discusses problems of expert system's shell implementation in the form of a web application. This shell will allow the experts to solve the problem by using the formed logical rules describing the dynamics of the processes studied. Web-access to the component will enable public access, which is especially important in interdisciplinary studies requiring the work of a team of specialists from different fields of knowledge. The implementation of the web-service, which provides opportunity to generate of code of knowledge base from generalized type, that are stored in the database, to JESS format, and also to execute this code on Jess reasoning machine, was discussed in detail.

Keywords: expert system, component, quality solutions, knowledge base, automation of research.

References

1. Berman A.F. Informatika katastrof [Informatics of disasters] / Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy = Problems of Security and Emergencies, 2012, no. 3, pp. 17-37 (in Russian).
2. Gavrilova T.A., Horoshevskij V.F. Bazy znaniy i intellektual'nye sistemy [Knowledge Base and Intelligent Systems]. St. Petersburg: Piter, 2000 (in Russian).
3. Henry Becket. Professional Java SOAP Programming. Moscow: Lori, 2012. – 458 p. (in Russ.).

4. Grishchenko M.A. Razrabotka ehkspertnyh sistem na osnove transformacii informacionnyh modelej predmetnoj oblasti [Expert systems design based on the transformation of domain information models] // Programmnye produkty i sistemy = Software & Systems, 2013, no. 3, pp.143-147. (in Russian).
5. Mashnin T. Web-servisy Java [Java web-services]. St. Petersburg: BHV - St. Petersburg, 2012. – 560 p. (in Russian).
6. Nikolaychuk O.A., Pavlov A.I. Primenenie komponentnogo podhoda dlya sozdaniya sistemy avtomatizacii issledovanij [The use of the component approach for creating automation systems research] // Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologiy = Herald of computer and information technologies, 2010. № 4. Pp.23-32. (in Russian).
7. Nikolaychuk O.A., Pavlov A.I., Yurin A.Yu. Komponentnyj podhod: modul' produkcionnoj ehkspertnoj sistemy [Component-based approach: expert system module] // Programmnye produkty i sistemy = Software & Systems, 2010. № 3. Pp. 26-30. (in Russian).
8. JESS, the Rule Engine for the Java™ Platform, available at: <http://www.jessrules.com/> (accessed 25 March 2016).
9. CLIPS A Tool for Building Expert Systems, available at: <http://clipsrules.sourceforge.net> //(accessed 25 March 2016).
10. Public domain implementation of an OPS5 interpreter, available at: <http://clipsrules.sourceforge.net> // (accessed 25 March 2016).
11. Drools (Business Rules Management System), available at: www.drools.org (accessed 25 March 2016).
12. Introduction to WSDL, available at: http://www.w3schools.com/webservices/ws_wsdl_intro.asp // (accessed 25 March 2016).
13. Online community for the Universal Description, Discovery, and Integration OASIS Standard, available at: <http://uddi.xml.org/> (accessed 25 March 2016).

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОНЯТИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Носырева Елена Владимировна

Аспирант, Иркутский национальный исследовательский
технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

e-mail: nev-7@list.ru

Носырева Людмила Леонидовна

К.т.н., доцент, Иркутский национальный исследовательский
технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

e-mail: nll@list.ru

Аннотация. В статье анализируются существующие подходы к определению безопасности. На основе анализа структуры данного понятия авторами предлагается новый подход: безопасность рассматривается не как состояние или свойство, а как отношение между двумя системами, при котором одна из систем не может нанести другой недопустимый ущерб. Исходя из данного положения, предлагается формальное определение безопасности с использованием аппарата теории вероятностей и математической статистики.

Ключевые слова: безопасность, отношение безопасности, формализация, вероятностно-статистический подход.

Введение. В современном обществе безопасность является одной из важнейших характеристик нормального функционирования различных систем. Теории безопасности посвящено множество научных трудов, создаются новые методы анализа безопасности, совершенствуются старые подходы. Несмотря на то, что безопасность является основной характеристикой жизнеобеспечения человека, на данный момент для нее не существует единого определения. В разных отраслях знаний можно найти различные определения этого понятия. Почему так получилось, что до сих пор в теории безопасности не существует строгих формальных определений, как, например, в теории надежности? Что такое безопасность? Является ли безопасность состоянием или это свойство системы? Будет ли различаться понятие безопасности для разных систем, или все существующие определения можно обобщить в единое понятие безопасности, применимое для любого объекта независимо от его происхождения и назначения? В этой статье вниманию читателя предлагается авторский взгляд на эти вопросы.

1. Анализ понятия безопасности. В последнее годы на страницах журналов развернулась дискуссия относительно терминологии в теории безопасности [8, 14]. Многие авторы анализируют существующие подходы к определению понятий теории, и почти все из них едины во мнении о необходимости их формального математического описания. В федеральном законе «О безопасности» от 05.03.1992 г. дается следующее определение: «Безопасность – состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз» [10]. В статье [12] проводится семантический анализ данного определения и показывается, что оно является неконструктивным. Авторы также проводят семантический анализ других определений безопасности, и в итоге делают

вывод о необходимости формального, а точнее, математического описания понятия безопасности и других терминов теории. Критикует данное определение и А.Г. Атаманов. В своей статье "Диалектика безопасности" он пишет: "Анализ философских концепций безопасности, существующих на сегодня, выявляет несогласованность заложенных в них идей, механизмов их реализации и, как следствие, практическую непригодность" [3]. Стоит отметить, что в федеральном законе «О безопасности» от 28.12.2010 г. определение безопасности не дается. Формальное определение безопасности приводится только в одной работе [13]. В этой статье те же авторы, что и в работе [12], предлагают свой подход к формальному определению основных терминов. Ниже будет рассмотрено предложенное ими определение безопасности. Прежде всего, хотелось бы обсудить некоторые спорные моменты, касающиеся данного понятия.

Часто безопасность рассматривается вместе с надежностью. Действительно, данные понятия тесно связаны между собой, но четкого понимания относительно того, в чем заключается эта связь, нет. Например, в [5] говорится о том, что безопасность входит в понятие надежности, а в [13] эти понятия пересекаются, но ни одно из них не поглощается другим. В [2] связь между безопасностью и надежностью выводится через понятие эффективности. В теории надежности уже сложилась терминология, которая основывается на формальном математическом описании основных понятий с использованием аппарата теории вероятности и математической статистики. Поскольку понятия надежности и безопасности близки, очевидно, основным математическим подходом к исследованию безопасности должен стать вероятностно-статистический подход. Применение формальных методов к описанию безопасности также позволит более четко определить связь между понятиями безопасности и надежности.

Один из наиболее спорных моментов – является ли безопасность состоянием или свойством системы? Федеральный закон «О безопасности» определяет безопасность как состояние. В статье [12] при анализе данного определения отмечается, что состояние – это мгновенное отображение характеристик объекта в заданный момент времени. В реальности же мы имеем дело с процессом, так как состояния постоянно меняются. А.Г. Атаманов также указывает на то, что это процесс, и дает следующее определение безопасности: "Безопасность – процесс, при котором вероятность наступления дисфункции и деструкции объекта в результате его взаимодействия с внешней средой или элементов, входящих в структуру объекта, между собой, ниже некоторой пороговой величины" [3]. В [5] под безопасностью понимается надежность по отношению к жизни и здоровью людей, состоянию окружающей среды. Так как надежность – это свойство системы, то и безопасность также должна являться свойством, и в каждом конкретном состоянии система может обладать либо не обладать свойством безопасности. Почему же среди специалистов так и не сложилось единое мнение по этому вопросу? Далее попробуем разобраться в причинах такой ситуации.

Анализируя особенности использования слова «безопасность» в русском языке, можно прийти к выводу, что оно имеет двойственный смысл. Действительно, если мы говорим «безопасность человека», то понимаем под этим словосочетанием отсутствие опасности для человека. А если говорим «безопасность автомобиля», то подразумеваем отсутствие для человека опасности, исходящей от автомобиля. То есть существует два разных по смыслу варианта употребления одного и того же слова – в первом случае мы

говорим об отсутствии опасности для какого-то объекта, а во втором – об отсутствии опасности со стороны объекта для какой-то другой системы (как правило, человека).

Часто, говоря о безопасности, подразумевают безопасность человека. Многие технические системы анализируются исходя именно из этой позиции – насколько данная система безопасна для человека. Суть данного свойства некоторой технической системы в том, что она не должна наносить недопустимого ущерба человеку, то есть система в данном случае является источником опасности для человека. С другой стороны, человек сам может являться источником опасности. Кроме того, технические системы могут наносить ущерб не только человеку, но и другим системам.

Для того, чтобы разобраться, откуда возникают эти особенности, необходимо рассмотреть взаимосвязь понятия «безопасность» с понятием опасности. Так, А.Г. Атаманов отмечает: "С позиции диалектики понятие «безопасность» не может существовать без ее взаимоисключающей и одновременно взаимодополняющей противоположности - «опасности»" [3]. Понятие опасности является основным, первичным. Как правило, такие понятия не имеют определений и понимаются интуитивно. В работе [7] анализируется смысловая структура понятия «опасность». В этой структуре выделяются три составляющие (рис. 1):

- представление об *источнике* (носителе, *субъекте*) опасности; по отношению к субъекту опасность выступает как его свойство, проявляющееся в определенных состояниях и состоящее в способности нанесения ущерба в этих состояниях;
- представление об *объекте* опасности, на который направлено вредоносное воздействие субъекта опасности; объект в результате такого воздействия может претерпевать ущерб, реализация которого зависит от неблагоприятных обстоятельств, условий или ситуаций; по отношению к объекту опасность выступает как *угроза* (ожидание, возможность, вероятность) ущерба;
- понятие опасности всегда используется в таком контексте, из которого можно выделить целостную группу явлений, воздействий, процессов, ситуаций, благоприятствующих реализации ожидаемого ущерба объекту опасности со стороны субъекта опасности; эта группа формирует представление о взаимосвязи, взаимодействии, особом отношении, в котором находятся между собой субъект и объект опасности; это отношение уместно назвать *отношением опасности*.

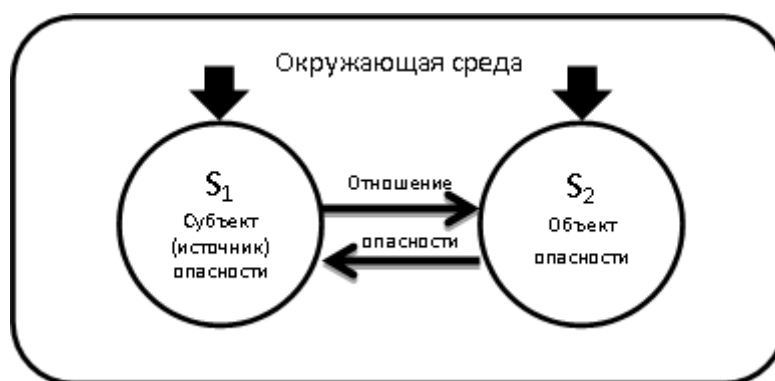


Рис.1. Смысловая структура понятия «опасность»

Так как слово «безопасность» является производным от слова «опасность», оно естественным образом наследует смысловую структуру этого понятия. Как отмечает А.Г. Атаманов, «не важно, как понимается «безопасность»: как «состояние», «способность» или еще как-то, – должно быть указание на объект, о котором идет речь. «Состояние» может быть только «кого-нибудь» или «чего-нибудь», но не «состояние» вообще» [3]. Далее он пишет: «Понятие «безопасность» приобретает смысл не только при указании на объект, который необходимо защитить, но и при наличии «опасности», исходящей от некоего «источника угроз»» [3]. То есть безопасность подразумевает наличие двух взаимодействующих систем S_1 и S_2 , между которыми существует отношение безопасности. Пусть система S_1 безопасна для системы S_2 . Приставка «без» имеет в данном случае смысл отрицания, то есть «без опасности» равно «нет опасности». Проанализируем, в каком случае между двумя системами может возникнуть отношение безопасности (рис. 2):

- во-первых, это возможно тогда, когда система S_1 не представляет угрозы для системы S_2 , т.е. не обладает свойством, проявляющимся в способности нанести недопустимый ущерб системе S_2 ;
- во-вторых, отношение безопасности возникает, если система S_1 является источником опасности для S_2 , но система S_2 обладает способностью защитить себя от вредного воздействия S_1 таким образом, что ущерб от этого воздействия окажется несущественным;
- в третьих, если отношение между системами может быть преобразовано таким образом, чтобы избежать нанесения ущерба, системы также будут находиться в отношении безопасности.

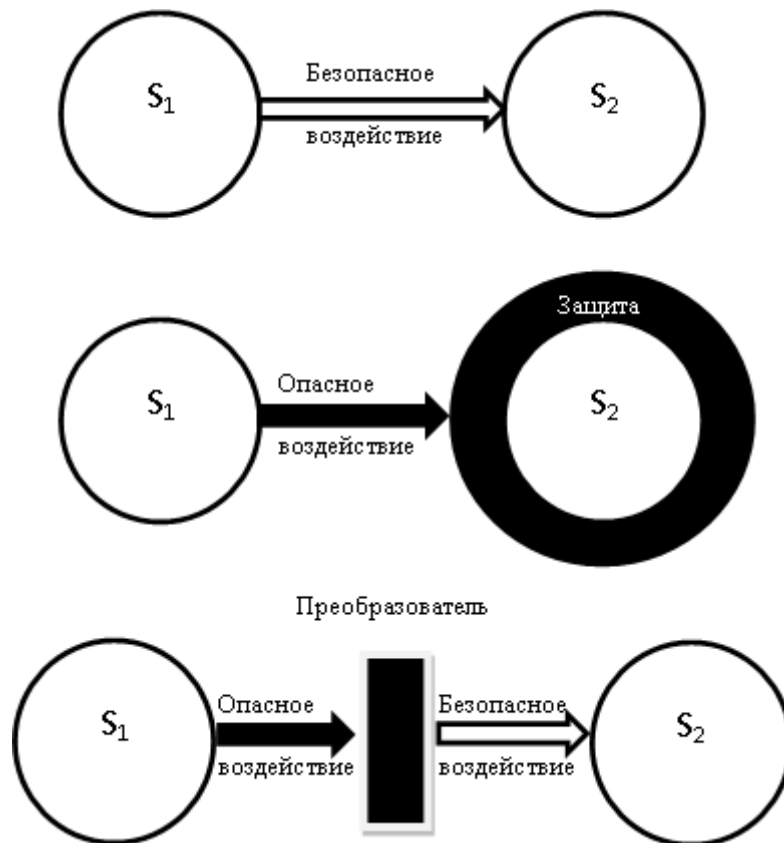


Рис. 2. Ситуации, в которых возникает отношение безопасности между системами S_1 и S_2 .

Отсюда хорошо видны возможные пути достижения безопасности:

- изменение свойств источника опасности таким образом, чтобы он не мог наносить ущерб объекту опасности;
- изменение объекта опасности таким образом, чтобы он мог защитить себя от источника опасности;
- изменение отношения опасности таким образом, чтобы источник опасности не мог нанести объекту опасности существенного ущерба.

В данном контексте становится понятным, почему безопасность с одной стороны является состоянием, а с другой стороны – свойством. Для системы S_1 ее безопасность для S_2 является свойством, для S_2 – состоянием защищенности (от источника опасности S_1). Таким образом, приходим к тому, что никакого противоречия между существующими определениями нет – все зависит от того, относительно какой из двух систем, участвующих в отношении безопасности, мы рассматриваем это понятие. При ограничении одной из сторон неизбежно теряется полнота описания. К сожалению, в литературе встречаются подходы, ограничивающиеся описанием только одной из этих сторон. На наш взгляд, правильнее было бы рассматривать безопасность системно, учитывая обе стороны взаимодействия. Таким образом, мы предлагаем рассматривать безопасность не как свойство или состояние, а как отношение между системами, проявляющее себя в возникновении у систем особых свойств или состояний. Подводя итог, можно сказать, что безопасность – это такое отношение между двумя системами, при котором одна из систем не может нанести другой недопустимый ущерб.

Иногда в качестве источника опасности может рассматриваться сложная система, состоящая из объединения других систем, например, окружающая среда. Можно даже рассматривать безопасность системы для себя самой. Например, в [9] приводится такое определение: «Под безопасностью сложной системы будем понимать такое её состояние, при котором воздействие внешних и внутренних факторов не приводит к ухудшению или невозможности её функционирования и развития». В данном определении в качестве источника опасности рассматривается объединение окружающей среды и самой системы, т.е. тотальная безопасность «от всего на свете».

Хотелось бы заметить, что отношения опасности и безопасности – это составляющие другого, более общего отношения между системами, состоящего в том, что одна из них может воздействовать на другую. То есть любые две системы, находящиеся во взаимодействии, находятся между собой либо в отношении опасности, либо в отношении безопасности.

2. Математическая формализация понятия безопасности. Как правило, формальное определение понятий дается через определенные характеристики (показатели) данного понятия. Рассмотрим некоторые характеристики безопасности, наиболее пригодные для использования в формальном определении. Наиболее широко используемой количественной характеристикой опасности (уровня, степени опасности) является риск. Под риском нежелательных последствий понимают вероятность наступления заранее оговоренных нежелательных последствий, например аварии с четко оговоренным ущербом [2]. В общем случае риск вычисляется по формуле:

$$R = P(\text{ущерб} > \text{допустимый ущерб}).$$

Риск является важнейшим показателем безопасности, так как характеризует объект с точки зрения его способности препятствовать образованию ущерба [2]. Однако данный показатель никак не характеризует другую сторону отношения безопасности – источник опасности.

В статье [4] говорится о том, что при разработке средств защиты от возможной совокупности угроз целесообразно использовать в качестве показателей безопасности технической системы вероятностные характеристики опасного события, например, вероятность того, что в течение некоторого времени t техническая система будет находиться в безопасном состоянии $P_B(t)$, т.е. вероятность отсутствия опасного события. Эта вероятность определяется из выражения

$$P_B(t) = \prod_{i=1}^n \left(1 - (1 - P_{3_i}(t)) P_{y_i}(t) \right)$$

где $P_{3_i}(t)$ - вероятность защиты от i -ой угрозы в течение времени t (уровень защищённости); $P_{y_i}(t)$ - вероятность появления i -ой угрозы в течение времени t ; n - количество угроз безопасному состоянию технической системы.

Проанализируем данный показатель. Рассмотрим выражение $(1 - P_{3_i}(t)) P_{y_i}(t)$ – вероятность опасного события для i -ой угрозы, которое представляет собой произведение двух вероятностей: $(1 - P_{3_i}(t))$ – вероятности того, что защита не сработает и система получит недопустимый ущерб и вероятности появления i -ой угрозы в течение времени t $P_{y_i}(t)$. Однако события, для которых рассматриваются данные вероятности, являются зависимыми. Очевидно, что возможность получить недопустимый ущерб системе зависит от того, появилась или нет i -ая угроза. Следовательно, вероятность совместного наступления таких событий не может быть найдена как произведение их вероятностей. Кроме того, данный показатель не может быть обобщен на произвольные системы, так как не всегда объект опасности имеет средства защиты от угрозы. В общем случае целесообразно говорить не о защите от угрозы, а о возможности получения недопустимого ущерба.

Формальное аналитическое определение безопасности предлагается в работе [13]. В ней рассматривается природно-промышленная система $S_{ППС}$, которая, в зависимости от уровня внутренних и внешних воздействий (опасностей, угроз), может находиться в трех различных состояниях: $S_{ППС, i}$, $i = 1, 2, 3$. Каждое такое состояние соответствует одному из трех альтернативных режимов: 1 – нормального функционирования; 2 – развития нештатной ситуации; 3 – реализации аварии. $S_{ППС, i}$ однозначно характеризуется конечномерным вектором фазовых переменных $\bar{x}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik})^T$, где T – знак транспонирования. В качестве x_i используются переменные с интенсивными свойствами (не зависящими от размеров системы) – концентрации, давления, энтальпии и т.д. Символами x_i^{KOH} и x_i^{KOB} обозначены критически опасные нижняя и верхняя границы перехода $S_{ППС}$ из нештатной ситуации в аварийную.

В аналитическом виде понятие безопасности формализуется следующим образом

$$|x_i^{KOH} - x_i(t)| \geq \delta_i; |x_i^{KOB} - x_i(t)| \geq \delta_i, i = \overline{1, k},$$

где δ_i – превентивный запас на удаленность $x_i(t)$ от критически опасных нижних x_i^{KOH} и верхних x_i^{KOB} значений. Неопределенность в $S_{ППС}$, связанная с составом и уровнем

действующих опасностей, угроз, позволяет дать и вероятностную интерпретацию термина «безопасность»:

$$\Pr\{|x_i^{\text{KOH}} - M[x_i(t)]| \geq \delta_i\} \geq 1 - \varepsilon_i; \Pr\{|x_i^{\text{KOB}} - M[x_i(t)]| \geq \delta_i\} \geq 1 - \varepsilon_i, i = \overline{1, k}$$

где \Pr – символ вероятности; δ_i – запас на предупреждение сближения математического ожидания случайной реализации $x_i(t)$ с критически опасными значениями; ε_i – заранее заданное достаточно малое положительное число.

Недостатком данного определения является то, что оно не отражает структуру понятия безопасность. Выход фазовых переменных за границы критически опасных значений зависит как от реализации опасного воздействия со стороны источника опасности, так и от способности системы защитить себя от этого воздействия. В данном определении это никак не отражено.

Исходя из положений, представленных выше, нами предлагается следующий формальный подход к определению безопасности.

Рассмотрим две системы S_1 и S_2 . Пусть S_1 – источник опасности, S_2 – объект опасности. Введем показатель u , количественно характеризующий степень воздействия системы S_1 на систему S_2 . Воздействие назовем опасным, если значение u превышает некоторое критическое значение $u_{\text{кр}}$. Событие, состоящее в том, что произошло опасное воздействие системы S_1 на систему S_2 , обозначим символом A . Пусть v – ущерб, получаемый системой S_2 в результате воздействия системы S_1 , $v_{\text{кр}}$ – величина допустимого ущерба. Событие B состоит в том, что ущерб, полученный системой S_2 , превысил величину допустимого ущерба. Так как возможность получить недопустимый ущерб зависит от того, произошло или нет опасное воздействие, события A и B являются зависимыми. Следовательно, вероятность их совместного наступления равна:

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B|A) = P(u > u_{\text{кр}}) \cdot P(v > v_{\text{кр}} | u > u_{\text{кр}}),$$

где $P(A)$ – вероятность события A , $P(A \cap B)$ – вероятность совместного наступления событий A и B , $P(B|A)$ – условная вероятность события B при условии, что произошло событие A .

Разумно предположить, что для того, чтобы системы находились в отношении безопасности, эта вероятность должна быть достаточно мала. Кроме того, разумным было бы ограничить время наступления событий некоторым интервалом t , что позволит анализировать отношение безопасности в разных временных интервалах. Будем рассматривать условную вероятность событий при условии, что время их наступления ограничено интервалом t . Пусть ε – некоторое малое значение вероятности, которое назовем критическим уровнем. Таким образом, можно сформулировать следующее определение безопасности: системы S_1 и S_2 находятся в отношении безопасности (система S_1 безопасна для системы S_2), если вероятность совместного наступления событий A и B в течение времени t меньше критического уровня ε :

$$P_t(A \cap B) = P_t(A) \cdot P_t(B|A) = P_t(u > u_{\text{кр}}) \cdot P_t(v > v_{\text{кр}} | u > u_{\text{кр}}) < \varepsilon.$$

где $P_t(A)$ – вероятность события A в течение времени t , $P_t(A \cap B)$ – вероятность совместного наступления событий A и B за время t , $P_t(B|A)$ – условная вероятность события B при условии, что за время t произошло событие A .

Заключение. Так как понятие безопасности тесно связано с понятием опасности, авторы предлагают при определении безопасности исходить из смысловой структуры

понятия "опасность", которая включает три элемента: источник опасности (система S_1), объект опасности (система S_2) и отношение опасности между S_1 и S_2 . По аналогии структура понятия безопасности также должна включать в себя эти три элемента. Таким образом, безопасность можно рассматривать как отношение между двумя системами, при котором одна из них не может нанести другой недопустимый ущерб. При формальном описании безопасности в качестве основного рассматривается вероятностно-статистический подход. Предложенное на основе этого подхода математическое определение безопасности учитывает обе стороны отношения безопасности, то есть включает вероятности событий, относящихся как к источнику опасности, так и к её объекту. Очевидно, что такой подход является более полным по сравнению с подходами, учитывающими только одну из сторон взаимодействия. Кроме того, данный подход может быть применен к любым системам независимо от их природы и свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александровская Л.Н., Аронов И.З., Елизарова А.И. и др. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем: Учебник / Под ред. В.П. Соколова. М.: Логос, 2001. 232 с.
2. Александровская Л.Н., Аронов И.З., Круглов В.И., Кузнецов А.Г., Патраков Н.Н., Шолом А.М. Безопасность и надежность технических систем: учебное пособие. М.: Логос, 2004. 380 с.
3. Атаманов Г. А. Диалектика безопасности //Национальная безопасность России в перспективах современного развития: Межвузовский научный сборник. Саратов: ООО Изд-во «Научная книга», 2005. С. 21-27.
4. Белов В.П., Голяков А.Д., Старков С.Я. О понятиях «надёжность» и «безопасность» технических систем с позиций разработчиков // Методы менеджмента качества. 2003. №10. С.46 – 49.
5. Ветошкин А.Г., Марунин В.И.. Надежность и безопасность технических систем. /Под ред. доктора технических наук, профессора, академика МАНЭБ А.Г.Ветошкина. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2002. 129 с.
6. Гордон Б. Безопасность – это защищенность человека или свойство объекта. // Пром. ведомости. 2007. № 8–9.
7. Горопашная А.В. Методы анализа безопасности сложных технических систем: дис.... физ.-мат. наук. СПб, 2009. 109 с.
8. Девисилов В.А. Понятийно-терминологический аппарат в области безопасности // Безопасность в техносфере. 2007. № 4. – С. 3.
9. Заплатинский В. М. Терминология науки о безопасности. // Zbornik prispevkov z medzinarodnej vedeckej konferencie «Bezpečnostna veda a bezpečnostne vzdelanie». — Liptovsky Mikulas: AOS v Liptovskom Mikulasi, 2006.
10. О безопасности : федер. закон от 05.03.1992 г. № 2446-1 // Рос. газ. 1992. 6 мая.
11. Ожегов С.И. Словарь русского языка. М. : Рус. яз., 1990. 921 с.
12. Попов Н.С., Лузгачева Н.В., Лузгачев В.А. О некоторых результатах семантического анализа терминов теории безопасности // Вопросы современной науки и практики.. Ун-т им. В.И. Вернадского. 2010. № 4–6 (29). С. 30–38.

13. Попов Н.С., Лузгачева Н.В. Формализация базовых понятий теории безопасности. // Вопросы современной науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. 2010. №10-12 (31). С. 29-37.
 14. Русак О.Н. Давно пора // Безопасность в техносфере. 2007. № 5. С. 64.
 15. Словарь иностранных слов и выражений. М.: КРПА «Олимп»; АСТ, 2002. 778 с.
 16. Чернова Н.И. Теория вероятностей: Учеб. Пособие. Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2007. 160 с.
-

UDK 006.88 : 004.056

FORMALIZATION OF THE CONCEPTS OF SECURITY

Elena V. Nosyreva

Graduate student, Irkutsk National Research Technical University
83, Lermontov Str., 664074, Irkutsk, Russia, e-mail: nev-7@list.ru

Ludmila L. Nosyreva

PhD in Engineering sciences, Assoc. Prof.,
Irkutsk National Research Technical University
83, Lermontov Str., 664074, Irkutsk, Russia, e-mail: nll@list.ru

Abstract. This article analyzes the existing approaches to definition of security. We propose a new approach based on the analysis of the structure of the concept. Security is defined as the relation between the two systems, in which one of the systems may not cause unacceptable damage to the other. The formal definition of security based on the probabilistic approach is considered.

Keywords: security, security relation, formalization, probabilistic and statistical approach.

References

1. Aleksandrovskaya L.N., Aronov I.Z., Elizarova A.I. and other. Statisticheskiye metody analiza bezopasnosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Statistical methods for analyzing the safety of complex technical systems] Uchebnik / Pod red. V.P. Sokolova. = Textbook / Ed. V.P. Sokolova. Moscow, Logos Publ., 2001. 232 p. (in Russian).
2. Aleksandrovskaya L.N., Aronov I.Z., Kruglov V.I., Kuznetsov A.G., Patrakov N.N., Sholom A.M. Bezopasnost' i nadezhnost' tekhnicheskikh sistem: uchebnoye posobiye [Safety and reliability of technical systems: a tutorial]. Uchebnoye posobiye = Tutorial. Moscow, Logos Publ., 2004. 380 p. (in Russian).
3. Atamanov G. A. Dialektika bezopasnosti [Security dialectic]. Natsionalnaya bezopasnost Rossii v perspektivah sovremennogo razvitiya: Mezhvuzovskiy nauchnyiy sbornik. Saratov: OOO Izd-vo «Nauchnaya kniga» = Russia's national security in the prospects of modern development: Interuniversity scientific collection. Saratov: Scientific book Publ., 2005. pp. 21-27. (in Russian).
4. Belov V.P., Golyakov A.D., Starkov S.Y. O ponyatiyakh «nadezhnost'» i «bezopasnost'» tekhnicheskikh sistem s pozitsiy razrabotchikov [The concepts of "reliability" and "security" of technical systems from the position of developers].

- of technical systems development positions]. *Metody menedzhmenta kachestva = Methods of Quality Management*, 2003. №10. pp. 46 - 49. (in Russian).
5. Vetoshkin A.G., Marunin V.I. *Nadezhnost' i bezopasnost' tekhnicheskikh sistem* [The reliability and safety of technical systems]. /Pod red. doktora tekhnicheskikh nauk, professora, akademika MAN·EB A.G.Vetoshkina. = Ed. doctor of technical sciences, professor, academician MANEB A.G.Vetoshkina. Penza: Penz. state. university Publ., 2002. 129 p. (in Russian).
 6. Gordon B. *Bezopasnost' – eto zashchishchennost' cheloveka ili svoystvo ob'yekta* [Security - a security person or property of an object]. *Prom. vedomosti = Industrial statements*, 2007. № 8-9. (in Russian).
 7. Goropashnaya A.V. *Metody analiza bezopasnosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem: dis.... fiz.-mat. nauk* [Safety Analysis Methods of complex technical systems]. St. Petersburg, 2009. 109 p. (in Russian).
 8. Devisilov V.A. *Ponyatiyno-terminologicheskii apparat v oblasti bezopasnosti* [Conceptually-terminological apparatus of the security]/ *Bezopasnost' v tekhnosfere = Safety in Technosphere*, 2007. № 4. p. 3. (in Russian).
 9. Zaplatinskiy V.M. *Terminologiya nauki o bezopasnosti* [Terminology Safety Science]. *Zbornik prispevkov z medzinarodnej vedeckej konferencie «Bezhecnostna veda a bezpecnostne vzdelanie»*. Liptovsky Mikulas: AOS v Liptovskom Mikulasi, 2006.
 10. *O bezopasnosti : feder. zakon ot 05.03.1992 g. № 2446-1* [Safety: fader. law of 05.03.1992 № 2446-1]. *Ros. gaz.= Russian newspaper*, 1992. 6 May. (in Russian).
 11. Ozhegov S.I. *Slovar' russkogo yazyka* [Dictionary of Russian language]. Moscow, Rus. yaz., 1990. 921 p. (in Russian).
 12. Popov N.S., Luzgacheva N.V., Luzgachev V.A. *O nekotorykh rezul'tatakh semanticheskogo analiza terminov teorii bezopasnosti* [Some results of the semantic analysis of the terms of the theory]. *Vopr. sovrem. nauki i praktiki. Un-t im. V.I.Vernadskogo = Problems of modern science and practice. Vernadsky Univ.*, 2010. № 4-6 (29). pp. 30-38. (in Russian).
 13. Popov N.S., Luzgacheva N.V. *Formalizatsiya bazovykh ponyatiy teorii bezopasnosti*. [The formalization of the basic concepts of the theory of security]. *Vopr. sovrem. nauki i praktiki. Un-t im. V.I.Vernadskogo = Problems of modern science and practice. Vernadsky Univ.*, 2010. №10-12 (31). pp. 29-37. (in Russian).
 14. Rusak O.N. *Davno pora* [It is high time]. *Bezopasnost' v tekhnosfere = Safety in Technosphere*, 2007. № 5. p. 64. (in Russian).
 15. *Slovar' inostrannykh slov i vyrazheniy* [Dictionary of foreign words and expressions]. Moscow: KRPA "Olympus"; AST, 2002. 778 p. (in Russian).
 16. Chernova N.I. *Teoriya veroyatnostey* [Probability theory]. *Ucheb. Posobiye. Novosib. gos. un-t. Novosibirsk = Tutorial. Novosib. state univ. Novosibirsk*, 2007. 160 p. (in Russian).

УЯЗВИМОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Зубарев Игорь Витальевич

К.т.н., доцент, заместитель начальника института по научной работе,
Федеральное государственное бюджетное учреждение «3 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации,
107564, г. Москва, Погонный проезд, 10, e-mail: 3cni_i_zubarev@mail.ru

Жидков Игорь Васильевич

К.т.н., доцент, заместитель начальника управления - начальник отдела,
Федеральное государственное бюджетное учреждение «3 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации,
107564, г. Москва, Погонный проезд, 10, e-mail: igorzh@bk.ru

Кадушкин Иван Викторович

Начальник отдела, Федеральное государственное бюджетное учреждение
«3 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации, 107564, г. Москва, Погонный проезд, 10, e-mail: ivanvk79@mail.ru

Медовщикова Светлана Алексеевна

Заместитель начальника отдела, Акционерное общество
«Научно-производственное предприятие «Рубин», 440000, г. Пенза, ул. Байдукова, 2,
e-mail: bob12121@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены уязвимости информационных систем (ИС), их классификация и правила описания в контексте стандартов Российской Федерации ГОСТ Р 56545-2015 [4], ГОСТ Р 56546-2015 [5] и ГОСТ РВ 51987-2002 [3]. Содержание статьи посвящено описанию классификации уязвимостей, учитывающей этапность жизненного цикла ИС и функциональные компоненты ИС, в которых содержатся уязвимости, а также структуре описания уязвимости, использование которой позволит обеспечить достаточность информации для идентификации уязвимости ИС и выполнения работ по их анализу.

Ключевые слова: информационная система, уязвимость, жизненный цикл, угроза безопасности информации, паспорт уязвимости.

Введение. Любая современная система может быть истолкована как устройство переработки информации с обратной связью [2], а достигаемые этой системой эффекты – лишь следствие рационального прагматического использования качественной выходной информации. Во многом это фундаментальное суждение предопределило выбор информационных систем как наиболее критичных объектов компьютеризированных систем, де-факто ставших их главным компонентом [8].

В современном мире информационные системы (ИС) являются либо самостоятельной системой, либо составной частью других систем (например, систем государственного управления), именуемых далее в тексте – система. В то же время различные ИС характеризуются общей функциональной целью их создания и применения:

удовлетворением потребностей пользователей в обеспечении надежного и своевременного представления полной, достоверной и конфиденциальной информации в реальных условиях функционирования системы, в том числе потенциально опасных.

Безопасность информации является одним из необходимых условий достижения требуемого качества функционирования ИС. Она определяется состоянием защищенности ИС от различных угроз, и в итоге – способностью ИС обеспечить конкретному пользователю доступность, целостность и конфиденциальность требуемой информации в системе [1, 3, 11].

1. Информационные системы. Под информационной системой, согласно Федеральному закону Российской Федерации от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» [12], понимается совокупность содержащейся в базах данных информации и обеспечивающих ее обработку информационных технологий и технических средств.

Виды информационных систем приведены на рис.1.



Рис. 1. Виды информационных систем

В соответствии с указанным законом обладатель информации и/или оператор информационной системы в случаях, установленных законодательством Российской Федерации, обязаны обеспечить:

- 1) предотвращение несанкционированного доступа к информации и (или) передачи ее лицам, не имеющим права на доступ к информации;
- 2) своевременное обнаружение фактов несанкционированного доступа к информации;
- 3) предупреждение возможности неблагоприятных последствий нарушения порядка доступа к информации;
- 4) недопущение воздействия на технические средства обработки информации, в результате которого нарушается их функционирование;
- 5) возможность незамедлительного восстановления информации, модифицированной или уничтоженной вследствие несанкционированного доступа к ней;
- 6) постоянный контроль за обеспечением уровня защищенности информации.

2. Уязвимости информационных систем и их классификация. Методическим документом ФСТЭК России «Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» [10], а также ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001, ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408, ГОСТ Р ИСО/МЭК 17799 установлено, что каждая угроза безопасности информации в общем виде описывается через возможности

нарушителя, используемые нарушителем уязвимости, а также предполагаемый результат реализации угрозы, выраженный в нарушении конфиденциальности, целостности или доступности информации.

При этом угроза безопасности информации признается актуальной при наличии возможностей у нарушителя реализации этой угрозы с использованием слабых мест, то есть уязвимостей, в системе защиты информации ИС. Такие угрозы подлежат дальнейшему рассмотрению при разработке системы защиты информации.

Таким образом, качество и полнота выявления угроз безопасности информации зависят от качества оценки возможностей нарушителя по реализации этой угрозы и полноты оценки и анализа уязвимостей в системе защиты информации ИС.

Оценка возможностей нарушителя осуществляется в соответствии с базовыми моделями угроз безопасности информации, утвержденными ФСТЭК России. При этом в указанных методических документах приведена достаточно подробная характеристика типов возможных нарушителей и уровней их возможностей.

В части уязвимостей в методических документах до настоящего времени были приведены только общие классы уязвимостей. При этом понятие уязвимости ИС, признаки классификации и характеристики уязвимостей, подходы к оценке, анализу и правилам описания уязвимостей, а также виды и содержание работ по выявлению уязвимостей применительно к стадиям создания и эксплуатации ИС и средств защиты информации не были определены.

Для исправления ситуации и повышения эффективности работ по стандартизации в области защиты информации в 2013-2015 гг. организациями, входящими в состав технического комитета по стандартизации ТК 362 «Защита информации», в соответствии с Программой разработки национальных стандартов на 2013 год была проведена работа по разработке национальных стандартов «Защита информации. Уязвимости информационных систем. Правила описания уязвимостей» и «Защита информации. Уязвимости информационных систем. Классификация уязвимостей информационных систем».

В соответствии с указанными стандартами под *уязвимостью* понимается недостаток (слабость) программного (программно-технического) средства или информационной системы в целом, который (которая) может быть использована для реализации угроз безопасности информации.

В основе классификации уязвимостей ИС используются следующие классификационные признаки [5]:

- область происхождения уязвимости;
- типы недостатков ИС;
- место возникновения (проявления) уязвимости ИС.

Уязвимости ИС по области происхождения приведены на рис. 2.



Рис. 2. Уязвимости ИС по области происхождения

Среди уязвимостей ИС по типам недостатков ИС можно выделить уязвимости, связанные:

- с неправильной настройкой параметров ПО;
- с неполной проверкой вводимых (входных) данных;
- с возможностью внедрения команд операционных систем;
- с внедрением произвольного кода;
- с переполнением буфера памяти и др.

Следует отметить, что основу классификации уязвимостей ИС составляют уязвимости программного обеспечения ИС, т.к. в большинстве случаев именно программное обеспечение имеет различные ошибки и дефекты.

Так, например, ряд программных средств (например, BIOS) поставляются без исходных текстов и соответствующей документации, позволяющей провести их полноценную сертификацию по требованиям безопасности. В свою очередь, сертификация, хотя и выявляет дефекты ПО, идентифицируемые как критические уязвимости, а также дефекты безопасности [6, 9], но не дает 100%-ной гарантии отсутствия закладок и выявления недеklarированных возможностей (см. рис. 3).

Уязвимости ИС по месту возникновения (проявления) подразделяются на следующие типы:

- в общем (общесистемном) программном обеспечении;
- в прикладном программном обеспечении;
- в специальном программном обеспечении;
- в технических средствах;
- в сетевом (коммуникационном, телекоммуникационном) оборудовании;
- в средствах защиты.

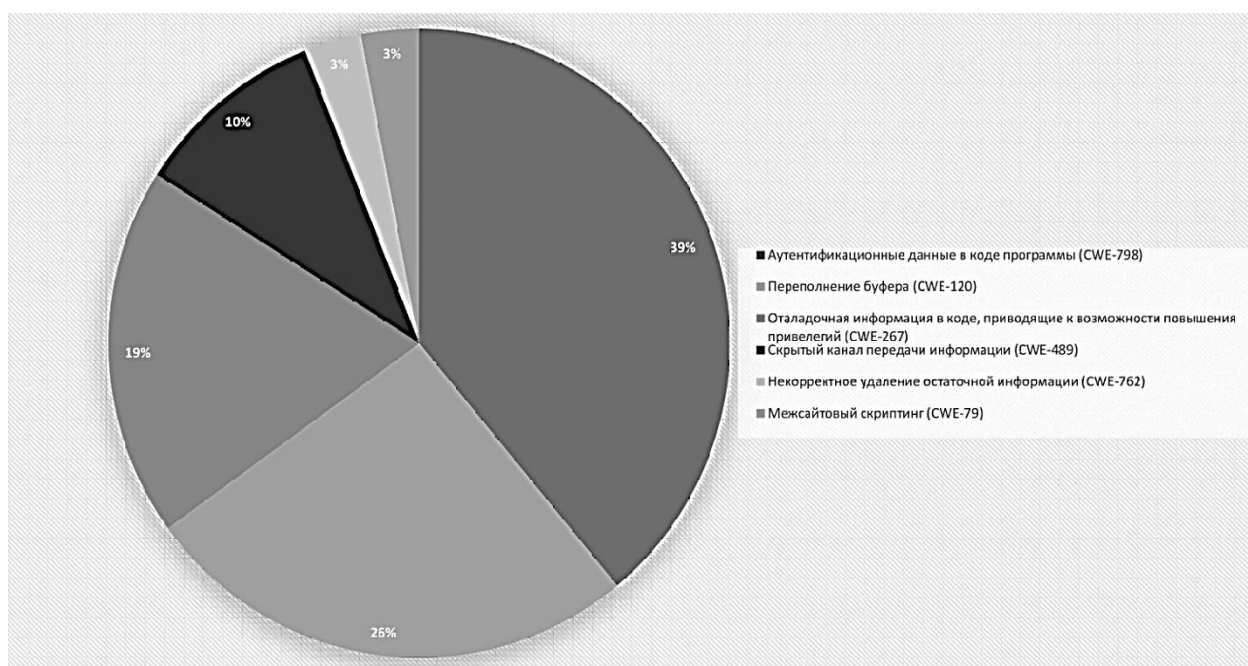


Рис. 3. Статистика по типам уязвимостей

Принятая классификация направлена на совершенствование методического обеспечения определения и описания угроз безопасности информации при проведении работ по защите информации в ИС и должна применяться при разработке баз данных (БД) уязвимостей.

Анализ и описание уязвимостей. Анализ уязвимостей ИС связан с методами их выявления. Начальным этапом выявления уязвимости и описания уязвимости является определение структурно-функциональных характеристик информационной системы, включающих структуру и состав информационной системы, физические, логические, функциональные и технологические взаимосвязи между сегментами информационной системы, с иными информационными системами и информационно-телекоммуникационными сетями, режимов обработки информации в информационной системе и в ее отдельных сегментах.

Описание уязвимости ИС должно характеризовать причину и следствие использования уязвимости. Уязвимости ИС являются следствием наличия ошибок в её различных компонентах (сегментах) и некорректных настроек компонентов ИС.

Описание уязвимости необходимо выполнять в соответствии с правилами его описания, т.е. совокупностью положений, регламентирующих структуру и содержание описания уязвимости. При этом структура описания должна обеспечивать достаточность информации для идентификации уязвимости ИС и выполнения работ по анализу уязвимостей ИС [4].

Описание уязвимости ИС оформляется в виде паспорта уязвимости, форма которого и содержание элементов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Форма паспорта уязвимости

Элемент описания уязвимости	Содержание
Наименование уязвимости	Текстовая информация об уязвимости, на основе которой возможно установить причину и (или) последствия

	уязвимости. Наименование уязвимости должно быть представлено на русском языке (в скобках на английском языке – при необходимости).
Идентификатор уязвимости	Алфавитно-цифровой код, включающий код базы данных уязвимостей, год выявления уязвимости и порядковый номер уязвимости, выявленной в текущем году. При определении идентификатора уязвимости код базы данных уязвимостей, год выявления уязвимости и порядковый номер уязвимости должны быть отделены друг от друга знаком "-", при этом знак пробела не ставится.
Идентификаторы других систем описаний уязвимостей	Идентификаторы уязвимости в других системах описаний. Данный элемент включает идентификаторы уязвимости из общедоступных источников и содержит, как правило, цифровой или алфавитно-цифровой код. Описание может быть выполнено в виде гиперссылок в формате адресов URL.
Краткое описание уязвимости	Текстовая информация об уязвимости и возможностях ее использования.
Класс уязвимости	Текстовая информация, которую определяют в соответствии с ГОСТ Р 56546-2015.
Наименование ПО и его версия	Текстовая информация о наименовании ПО и его версии.
Служба (порт), которая (который) используется для функционирования ПО	Комбинированная информация о службе (системной или сетевой), о сетевом порте, который используют для функционирования ПО, и о наименовании сетевого протокола передачи данных. Номер сетевого порта и наименование сетевого протокола передачи данных отделяют друг от друга знаком «/».
Язык программирования ПО	Наименование языка программирования, используемого при разработке (представлении) ПО, с информацией о технологии (среде) программирования.
Тип недостатка	Текстовая информация, которую определяют в соответствии с ГОСТ Р 56546-2015.
Идентификатор типа недостатка	Уникальный идентификатор типа недостатка содержит алфавитно-цифровой код. Может быть взят (и при необходимости дополнен) из общедоступных источников.
Место возникновения (переполнения) уязвимости	Текстовая информация о компонентах ИС, которые содержат рассматриваемую уязвимость.
Наименование операционной системы и тип аппаратной платформы	Информация об операционной системе и типе аппаратной платформы (типами аппаратной платформы являются: IA-32, IA-64, X86, ARM, PA-RISC, SPARC, System z и другие).
Дата выявления уязвимости	Информация о дате выявления уязвимости в формате ДД/ММ/ГГ. В случае фактической невозможности ее установления считается совпадающей с датой регистрации сообщения об уязвимости в базе данных уязвимостей.
Автор, опубликовавший информацию о выявленной уязвимости	Информация об авторе, который обнаружил и опубликовал уязвимость
Способ (правило) обнаружения уязвимости	Формализованное правило определения уязвимости. Способ (правило) обнаружения уязвимости позволяет при помощи специальной процедуры провести проверку наличия уязвимости.

<p>Критерии опасности уязвимости</p>	<p>Совокупность информации о критериях, используемых при оценке степени опасности уязвимости, и об их значениях. Каждый критерий может принимать значения, согласно следующей номенклатуре:</p> <ul style="list-style-type: none"> – критерий «тип доступа» (локальный, удаленный, другой тип доступа); – критерий «условия доступа» (управление доступом, другие условия, управление доступом не применяется); – критерий «требования аутентификации» (однократная аутентификация, использование (многократный ввод) различной аутентификационной информации, аутентификация не требуется); – критерий «влияние на конфиденциальность» (не оказывает влияния, нарушение конфиденциальности); – критерий «влияние на целостность» (не оказывает влияния, нарушение целостности); – критерий «влияние на доступность» (не оказывает влияния, нарушение доступности).
<p>Степень опасности уязвимости</p>	<p>Текстовая информация, которая может принимать одно из четырех значений: критический, высокий, средний и низкий уровень опасности. Степень опасности определяется в соответствии с отдельной методикой.</p>
<p>Возможные меры по устранению уязвимости</p>	<p>Предложения и рекомендации по устранению выявленных уязвимостей или исключению возможности использованию нарушителем выявленных уязвимостей. Предложения и рекомендации должны содержать ссылки на необходимое ПО и (или) описание конфигураций ПО, для которых угрозы безопасности информации, использующие данную уязвимость, не являются актуальными.</p>
<p>Прочая информация</p>	<p>Текстовая информация, которая позволяет дополнить общую информацию об уязвимости:</p> <ul style="list-style-type: none"> – описание реализуемой технологии обработки (передачи) информации; – описание конфигурации ПО, определяемой параметрами установки; – описание настроек ПО, при которых выявлена уязвимость; – описание полномочий (прав доступа) к ИС, необходимых нарушителю для эксплуатации уязвимости; – описание возможных угроз безопасности информации, реализация которых возможна при эксплуатации уязвимости; – описание возможных последствий от эксплуатации уязвимости ИС; – наименование организации, которая опубликовала информацию о выявленной уязвимости; – дата опубликования уведомления о выявленной уязвимости, а также дата устранения уязвимости разработчиком ПО; – другие сведения.

Интересен тот факт, что степень опасности уязвимости определяется в соответствии с отдельной методикой, и в этом процессе может быть применен математический и методический аппарат, рекомендуемый ГОСТ РВ 51987-2002. Положения стандарта

подлежат применению при формировании требований технического задания, при сравнительном анализе, оценке и обосновании технических решений, при проведении испытаний (в том числе сертификационных) и настройке технологических параметров ИС, при контроле качества функционирования создаваемых, модернизируемых и эксплуатируемых ИС, то есть практически на всех этапах жизненного цикла современных систем.

Математические модели, рекомендованные стандартом и реализованные в рамках «Инструментально-моделирующего комплекса для оценки качества функционирования ИС», предварительно прошли многолетнюю апробацию в десятках организаций промышленности и научно-исследовательских организациях Минобороны России применительно к системам самого широкого спектра приложений, как военных, так и гражданских – от систем разведки и управления оружием до систем государственного управления. Накопленный опыт показывает, что реализованные в стандарте концептуальные положения являются вполне приемлемыми также для ИС невоенного назначения. Расширение области приложения положений стандарта на критичные автоматизированные системы (в первую очередь государственного и финансового управления, нефте- и газодобывающей отраслей, энергетической, атомной промышленности и др.) и ИС иного функционального бизнес-применения было бы весьма естественным для заказчиков и разработчиков этих систем [7].

Заключение. Принятие национальных стандартов ГОСТ Р 56546-2015 и ГОСТ Р 56545-2015 позволяет повысить эффективность работ по стандартизации в области защиты информации:

Классификация уязвимостей будет применяться при разработке БД уязвимостей, а их использование средствами анализа защищенности (средствами поиска уязвимостей) значительно повысит эффективность работы специалистов, занимающихся аудитом информационной безопасности.

Описание выявленной уязвимости в структурированном виде предназначено для использования специалистами по информационной безопасности при формировании отчетов по результатам проведения анализа уязвимостей ИС, уточнения модели угроз безопасности информации, при создании и ведении базы данных уязвимостей и при проектировании средств анализа (контроля) защищенности информации (сканеров безопасности).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безкоровайный М.М., Костогрызов А.И., Львов В.М. Инструментально-моделирующий комплекс для оценки качества функционирования информационных систем. Руководство системного аналитика. 2-е изд., доп.: М.: Вооружение. Политика. Конверсия, 2002. 305 с.
2. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. Изд.2-е: М.: Наука, 1983. 344 с.
3. ГОСТ РВ 51987 – 2002. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Типовые требования и показатели качества функционирования информационных систем. Общие положения. Введ. 2003-07-01. М.: Изд-во стандартов, 2002. 57 с.
4. ГОСТ Р 56545 – 2015. Защита информации. Уязвимости информационных систем. Правила описания уязвимостей. Введ. 2016-04-01. М.: Стандартинформ, 2015. 22 с.

5. ГОСТ Р 56546 – 2015. Защита информации. Уязвимости информационных систем. Классификация уязвимостей информационных систем. Введ. 2015-08-19. М.: Стандартинформ, 2015. 17 с.
6. Жидков И.В., Шубенин А.А., Поздняков С.Ю., Кочегаров П.Ю. Проблемы создания доверенной программно-аппаратной среды для автоматизированных систем управления // XIX Байкальская Всероссийская конференция «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Часть II: труды. Иркутск.: ИСЭМ СО РАН, 2014. С. 142-149.
7. Костогрызов А.И. Опыт применения и развитие научно-практических положений стандарта ГОСТ РВ 51987-2002. Режим доступа: http://www.fostas.ru/library/show_article.php?id=105 (дата обращения 15.02.2016).
8. Костогрызов А.И., Степанов П.В. Инновационное управление качеством и рисками в жизненном цикле систем: М.: Изд-во ВПК, 2008. 404 с.
9. Марков А.С., Цирлов В.Л. Опыт выявления уязвимостей в зарубежных программных продуктах // Вопросы кибербезопасности. 2013. №1(1). С. 44-48.
10. Методический документ ФСТЭК России «Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» (выписка). Режим доступа: <http://fstec.ru/component/attachments/download/289> (дата обращения 20.01.2016).
11. Методическое руководство по оценке качества функционирования информационных систем (в контексте стандарта ГОСТ РВ 51987). М.: Изд-во 3 ЦНИИ МО РФ, 2003. 352 с.
12. Федеральный закон Российской Федерации «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» от 27.07.2006 № 149-ФЗ. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901990051> (дата обращения 03.02.2016).

VULNERABILITIES IN INFORMATION SYSTEMS

Igor V. Zubarev

PhD (eng), Associate Professor, Deputy director on scientific work
«3 Central Research Institute» of the Ministry of defense of the Russian Federation
10, Pogonnij tr., 107564, Moscow, Russia, e-mail: 3cnii_zubarev@mail.ru

Igor V. Zhidkov

PhD (eng), Associate Professor, Head of department
«3 Central Research Institute» of the Ministry of defense of the Russian Federation
10, Pogonnij tr., 107564, Moscow, Russia, e-mail: igorzh@bk.ru

Ivan V. Kadushkin

Head of department
«3 Central Research Institute» of the Ministry of defense of the Russian Federation
10, Pogonnij tr., 107564, Moscow, Russia, e-mail: ivanvk79@mail.ru

Svetlana A. Medovshchikova

Deputy head of department
Joint stock Company "Scientific-production enterprise "Rubin"
2, Baidukov str., 2, 440000, Penza, Russia, e-mail: bob12121@mail.ru

Abstract. The report considered the vulnerability of IP, their classification and the rules of the description in the context of standards of the Russian Federation GOST R 56545-2015, 56546-2015 GOST R and GOST RV 51987-2002. The content of the report is devoted to the description of the classification of vulnerabilities, taking into account the stages of the life cycle of IP and functional component IP, which contain the vulnerability, as well as the structure of the description of the vulnerability, which will provide sufficient information to identify the vulnerabilities of IP, and performance analysis.

Keywords: information system, vulnerability, life cycle, security threat information, passport vulnerability.

References

1. Bezkorovajnyj M.M., Kostogryzov A.I., L'vov V.M. Instrumental'no-modelirujushhij kompleks dlja ocenki kachestva funkcionirovanija informacionnyh system. Rukovodstvo sistemnogo analitika [Instrumental-modeling system for assessing the quality of functioning of information systems. Manual of system analyst]. Moscow, Weapons. Policy. Conversion Publ., 1985. 305 p. (in Russian).
2. Viner N. Kibernetika ili upravlenie i svjaz' v zhivotnom i mashine [Cybernetics or control and communication in the animal and the machine]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 344 p. (in Russian).
3. GOST RV 51987 – 2002. Informacionnaja tehnologija. Kompleks standartov na avtomatizirovannye sistemy. Tipovye trebovanija i pokazateli kachestva funkcionirovanija informacionnyh sistem. Obshhie polozhenija [Information technology. A set of standards for automated systems. Standard requirements and indicators of quality of functioning of information systems. General provisions]. Moscow, Standartinform, 2002. 344 p. (in Russian).

- Russian).
4. GOST R 56545 – 2015. Zashhita informacii. Ujazvimosti informacionnyh sistem. Pravila opisanija ujazvimostej [Information protection. Vulnerabilities in information systems. Rules of vulnerabilities description]. Moscow, Standartinform, 2015. 22 p. (in Russian).
 5. 5 GOST R 56546 – 2015. Zashhita informacii. Ujazvimosti informacionnyh sistem. Klassifikacija ujazvimostej informacionnyh sistem [Information protection. Vulnerabilities in information systems. The classification of vulnerabilities in information systems]. Moscow, Standartinform, 2015. 17 p. (in Russian).
 6. Zhidkov I.V., Shubenin A.A., Pozdnjakov S.Ju., Kochegarov P.Ju. Problemy sozdaniya doverennoj programmno-apparatnoj sredy dlja avtomatizirovannyh sistem upravlenija [The problem of creating a trusted hardware-software environment for automated control systems] // XIX Bajkal'skaja Vserossijskaja konferencija «Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii». Chast' II: trudy. Irkutsk: ISJeM SO RAN, 2014, pp. 142-149. (in Russian).
 7. Kostogryzov A.I. Opyt primenenija i razvitie nauchno-prakticheskikh polozhenij standarta GOST RV 51987-2002 [Experience in the application and development of scientific and practical provisions of the standard GOST RV 51987-2002]. Available at: http://www.fostas.ru/library/show_article.php?id=105, accessed 15.02.2016. (in Russian).
 8. Kostogryzov A.I., Stepanov P.V. Innovacionnoe upravlenie kachestvom i riskami v zhiznennom cikle system [Innovative management of quality and risks in systems life cycle]: Moscow, Weapons. Policy. Conversion Publ., 2008. 404 p. (in Russian).
 9. Markov A.S., Cirlov V.L. Opyt vyjavlenija ujazvimostej v zarubezhnyh programmnyh produktah [Experience of identifying vulnerabilities in software products]. Voprosy kiberbezopasnosti = Cybersecurity, 2013, № 1(1), pp. 44-48. (in Russian).
 10. Metodicheskij dokument FSTJeK Rossii “Bazovaja model' ugroz bezopasnosti personal'nyh dannyh pri ih obrabotke v informacionnyh sistemah personal'nyh dannyh” [Methodological document of the FSTEC of Russia “The basic model of security threats of personal data at their processing in information systems of personal data”]. Available at: <http://fstec.ru/component/attachments/download/289>, accessed 20.01.2016. (in Russian).
 11. Metodicheskoye rukovodstvo po otsenke kachestva funkcionirovaniya informatsionnykh sistem (v kontekste standarta GOST 51987) [Methodical guidance on evaluation of quality of functioning of information systems (in the context of the standard GOST RV 51987)]. Moscow, 3 CNII Publ., 2003. 352 p. (in Russian).
 12. Federal'nyj zakon Rossijskoj Federacii «Ob informacii, informacionnyh tehnologijah i o zashhite informacii» ot 27.07.2006 № 149-FZ [Federal law of the Russian Federation "On information, information technologies and protection of information" of 27.07.2006 № 149-FZ]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/901990051>, accessed 03.02.2016. (in Russian).

**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЦИИ
ОРГАНИЗАЦИОННО-РАСПОРЯДИТЕЛЬНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО ЗАЩИТЕ
ИНФОРМАЦИИ В КРИТИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУРАХ**

Горбылев Александр Леонидович

Ведущий специалист ООО по защите информации «Секрет-Сервис»

664075 Иркутск, ул. Байкальская, 234-в/2, e-mail: gal@irksecret.ru

Аннотация. В статье представлен новый подход к решению задачи построения системы защиты информации в части организационно-распорядительной документации, а также поддержки специалистов в принятии ключевых решений по вопросам построения системы защиты информации в критических инфраструктурах.

Ключевые слова: критические инфраструктуры, программный комплекс, организационно-распорядительная документация.

Введение. Критической инфраструктурой называют часть гражданской инфраструктуры, представляющую собой совокупность физических или виртуальных систем и средств, важных для государства в такой мере, что их выход из строя либо уничтожение может привести к губительным последствиям в области обороны, экономики, здравоохранения и безопасности нации [1]. Среди исследований критических инфраструктур выделяют защиту национальной критической инфраструктуры, одной из важных составляющих которой является энергетическая инфраструктура. Тема данной статьи актуальна, особенно в связи с интенсивным развитием информационных технологий, в условиях пока не сформировавшейся системы защиты информации в сфере энергетики [14-15] и быстроменяющейся системы защиты информации в России в принципе. Например, для защиты персональных данных специалисты по защите информации вынуждены приблизительно раз в полгода обновлять комплект организационно-распорядительных документов, а также вводить в эксплуатацию новые средства защиты информации, такие как: антивирусы, межсетевые экраны, системы обнаружения вторжений, другие средства защиты информации (СЗИ). Средства защиты информации на территории Российской Федерации подвержены изменениям в требованиях к ним, как следствие сертификации СЗИ [2, 3]. Правильная разработка таких документов, как акты классификации, модели угроз и технические задания на конкретные защищаемые информационные системы, требует не только специфических знаний по безопасности информации, но и знаний периодически меняющихся ГОСТов, Федеральных законов, Постановлений Правительства, Приказов ФСТЭК России, Приказов ФСБ России и других. Разработка документов по защите информации относится к технической защите информации, и, как следствие, является лицензируемым видом деятельности [4]. Данную услугу оказывают лицензиаты ФСТЭК России или лицензиаты ФСБ России, стоимость данной услуги «под ключ» в зависимости от региона России и предприятия лицензиата варьируется от 45 до 150 тыс. рублей за одну информационную систему (без учета стоимости на поставку средств защиты информации). Менять что-либо через относительно непродолжительный промежуток времени хочет (или может) не каждый заказчик. Ситуация усугубляется тем, что специалисты по защите

информации, как правило, имеются в штате только крупных организаций. В совокупности факторы, изложенные выше, приводят к тому, что информационные системы не защищаются в принципе или это делается с критическими в данной области ошибками. Ниже рассматривается подход к разработке программного комплекса для автоматизированной генерации организационно-распорядительных документов по защите информации в критических инфраструктурах.

Требования к разработке программного комплекса. Рассмотрев данную проблему, можно прийти к выводу, что для повышения качества разработки организационно-распорядительной документации, внедрения и эксплуатации средств защиты информации (что в целом улучшит подход к защите информации в критических инфраструктурах) необходимо выработать такой подход, который был бы доступен многим, в частности, тем, кому он сейчас не доступен по финансовым затратам, а также не требовал бы для его реализации специальных и углубленных знаний в защите информации (например, мог быть реализован системным администратором). Предлагаемый подход можно реализовать на основе следующих принципов и технологий:

- принцип разделения труда;
- автоматизация работ за счет применения ПЭВМ;
- использование Интернет.

Синтезируя данные технологии и принципы, можно сформулировать новый подход к решению поставленной задачи в критических инфраструктурах. Частично такой подход реализован в других областях, например – в юриспруденции (системы «Гарант» [5], «Консультант [6]), а также в области защиты информации, а точнее, в защите персональных данных [7], но в последнем случае при реализации программного комплекса отсутствует клиентский модуль.

В настоящем проекте предлагается разработать программный комплекс (ПК) для автоматизированной генерации организационно-распорядительных документов по защите информации в критических инфраструктурах. Предлагаемый подход основывается на разработке и использовании программного продукта, который поддерживает технологический процесс, проиллюстрированный на рис. 1.

Разрабатываемый ПК должен обеспечивать:

- кроссплатформенность;
- работу в сети с использованием протокола TCP/IP;
- работу как серверного и клиентского модулей, так и новых подключаемых;
- работу клиентской части в режимах «online» и «offline»;
- генерацию документов в электронном виде;
- удобную и простую работу пользователя в контексте принятия решений по специфическим вопросам защиты информации;
- работу с неограниченным (программно) количеством клиентских модулей;
- обновления в «реальном режиме времени».

Более подробно техническое задание на создание такого программного комплекса будет рассмотрено в последующих статьях на данную тему.

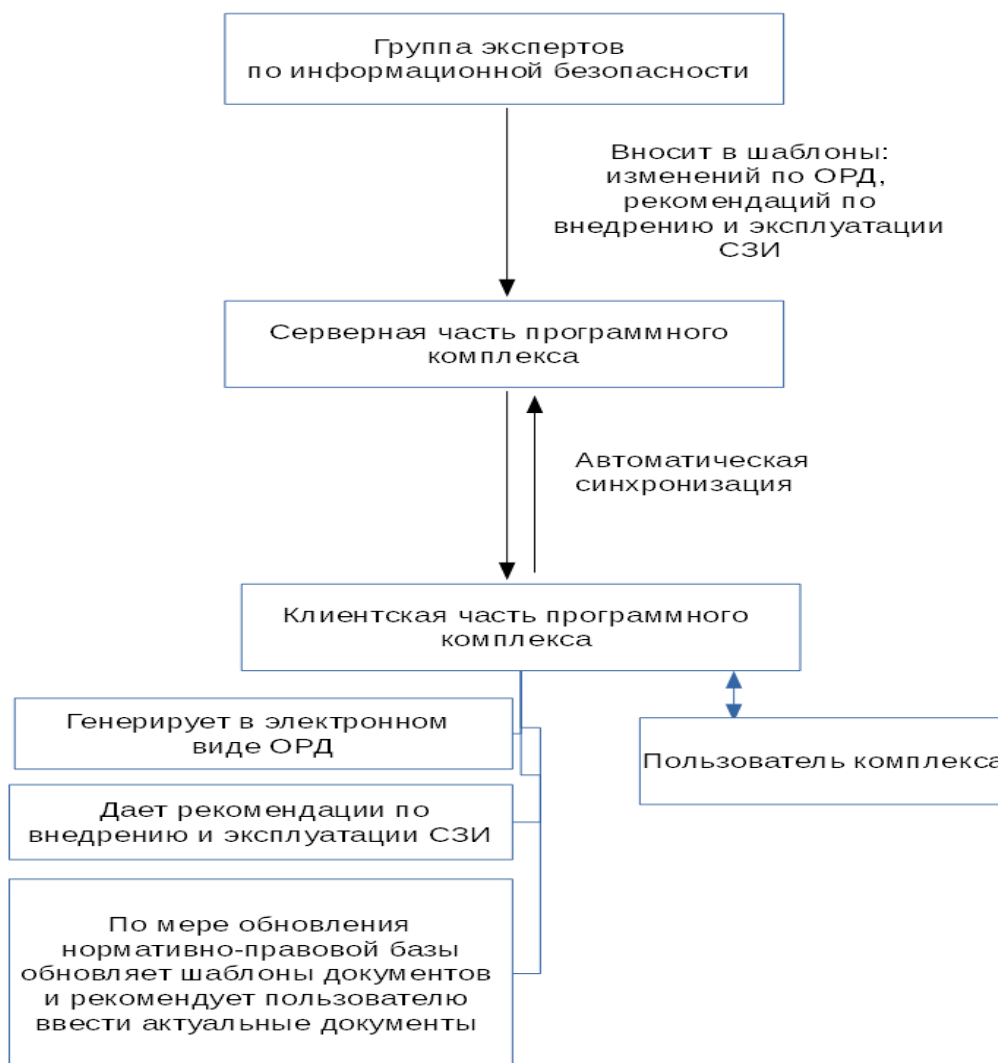


Рис. 1. Описание технологического процесса, поддерживаемого программным комплексом

Технология применения программного комплекса. Рассмотрим более детально процесс работы специалиста по безопасности информации при создании организационно-распорядительной документации по защите информации в критической инфраструктуре без использования ПК. Он включает следующие виды деятельности:

- изучить нормативно-правовую базу (примерно 2-3 недели);
- подготовить шаблоны документов (1 неделя);
- заполнить содержимое (1 -2 дня);
- распечатать (1 день);
- ввести в действие(1 – 10 дней);
- произвести закупку и ввод в эксплуатацию средств защиты информации (до нескольких месяцев);
- периодически обновлять организационно-распорядительную документацию (изменение нормативно-правовой базы, изменение штата сотрудников, изменение средств защиты) (вести постоянный мониторинг изменений).

Необходимо учесть, что действия пп. 1-3 должен выполнять квалифицированный специалист по защите информации.

Рассмотрим этот процесс в случае использования программного комплекса. Сначала организуется группа экспертов по информационной безопасности, в которую должны входить квалифицированные специалисты (действующие специалисты по безопасности информации). Созданная группа экспертов по защите информации проводит анализ текущей нормативно-правовой базы по защите информации в критических инфраструктурах и анализ существующих подходов к проектированию системы защиты информации с учетом имеющихся технических решений. Далее создаются шаблоны под конкретные классы систем, без заполнения таких реквизитов документа, как: ФИО и должности пользователей, адреса, наименования средств защиты информации, ФИО и должности лиц, утверждающих данный документ, а также другая служебная информация; вносятся рекомендации по подбору технических решений.

После этого переходим к использованию ПК. Шаблоны загружаются в базу данных ПК и выкладываются для доступа в клиентской части. В перспективе возможна синхронизация серверного компонента ПК в части создания модели угроз, реализуемой в банке данных угроз и уязвимостей Федеральной службы по техническому и экспортному контролю [8]. Клиентская часть автоматически информирует пользователя об обновлении шаблонов. Далее пользователь заходит в специальный интерфейс ПК, который предлагает ему заполнить реквизиты. Пользователь заполняет их, при необходимости распечатывает. Клиентская часть ПК сама вставляет реквизиты в необходимые места документации.

Рассмотрим подробнее документацию по защите информации. Независимо от типа защищаемой информации, как правило, необходимый перечень составляет от 16 до 30 документов для одной защищаемой информационной системы. По сложившейся практике, для защиты информации необходимы такие типы организационно-распорядительной документации, как: приказы; инструкции; положения; концепции; политики; регламенты; журналы; планы; акты; перечни; модели угроз; технические задания.

У пользователя предлагаемого ПК нет необходимости думать, какие у него должны быть организационно-распорядительные документы конкретно в его случае, а также следить за текущим положением нормативно-правовой базы, ее анализом и проектированием системы защиты с учетом всех новых требований, включая подбор средств защиты, так как программный комплекс будет давать рекомендации к вводу в эксплуатацию того или иного продукта, опираясь на конкретные сведения (количество АРМ в информационной системе, операционные системы, прикладное программное обеспечение, сетевая топология информационной системы и др.). Также преимуществом предлагаемого подхода является то, что составление шаблонов и размещение реквизитов в документах перекладывается с пользователя на ПК, что сведет к минимуму количество орфографических и синтаксических ошибок в составленной документации. Кроме того, рассматриваемый ПК предполагается использовать в качестве информационного ресурса, который будет включать такие новости, как цитаты из ключевых ресурсов по безопасности информации – сайтов ФСТЭК России [9], ФСБ России [10] и ведущих производителей средств защиты информации: “Код безопасности” [11], “ИнфоТекс” [12], “Центр безопасности информации” [13] и др. ПК будет иметь весь набор необходимых шаблонов, охватывающий специфические области защиты информации, например, такие, как криптография.

С учетом вышесказанного, процесс работы специалиста по безопасности информации при создании организационно-распорядительной документации по защите информации с использованием предлагаемого ПК будет включать следующие этапы:

- заполнить минимально необходимую информацию в специальном интерфейсе (1 день);
- распечатать сгенерированную документацию(1 день);
- ввести документацию в действие (от 1 до 10 дней);
- выполнить закупку и ввод в эксплуатацию средств защиты информации (до нескольких месяцев).

Предполагается работу данного ПК организовать на основе подписки. Во время периода подписки пользователи, эксплуатирующие комплекс, будут иметь доступ ко всем его функциям. Это упростит задачу создания, ввода в эксплуатацию и поддержки в актуальном состоянии действующей системы защиты информации в критической инфраструктуре в части организационно-распорядительной документации. Кроме того, будет поддерживаться оптимальное соотношение между существующими и реализованными методами защиты информации.

Сравнение процессов создания и поддержки в актуальном состоянии системы защиты информации в критических инфраструктурах без ПК и с его использованием позволяет предположить, что время, усилия и затраты специалиста, ответственного за защиту информации, могут сократиться на порядок при использовании ПК. Благодаря применению принципа разделения труда (над ключевыми вопросами по безопасности информации в критической инфраструктуре работает только одна группа экспертов), процесса автоматизации, сети Интернет в целом, можно предположить, что в системах защиты информации в критических инфраструктурах возможен существенный сдвиг в сторону повышения качества защиты. Есть основания полагать, что предлагаемый подход будет иметь экономический эффект, который достигается за счет уменьшения издержек на создание системы защиты информации в каждой критической инфраструктуре. Он может быть оценен в 50-100 тысяч рублей при вводе в эксплуатацию каждой системы защиты информации, а также в 10-20 тысяч рублей в год на поддержание в актуальном состоянии организационно-распорядительной документации системы защиты информации в критической инфраструктуре.

Заключение. В статье предложен подход к решению задачи разработки организационно-распорядительной документации в системах защиты информации критических инфраструктур, а также задачи поддержки принятия ключевых решений специалистами и по вопросам построения систем защиты информации в критических инфраструктурах. Реализация данного подхода предполагается путем создания и применения специального программного комплекса, принципы построения которого описаны в данной статье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондратьев А. Современные тенденции в исследовании критической инфраструктуры в зарубежных странах http://pentagonus.ru/publ/sovremennye_tendencii_v_issledovanii_

kriticheskoy_infrastruktury_v_zarubezhnyh_stranakh_2012/19-1-0-2082 (дата обращения 7.09.2015)

2. Марков А.С., Рауткин Ю.В. Сертификация средств защиты информации по требованиям безопасности информации. Новая парадигма / Информационные и математические технологии в науке и управлении. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2016. №1. С. 94-102.
3. Постановление Правительства РФ от 26 июня 1995 г. N 608 "О сертификации средств защиты информации".
4. Федеральный закон от 04.05.2011 N 99-ФЗ "О лицензировании отдельных видов деятельности"
5. <http://www.garant.ru>
6. <http://www.consultant.ru>
7. <https://152online.ru>
8. <http://www.bdu.fstec.ru>
9. <http://www.fstec.ru>
10. <http://www.fsb.ru>
11. <http://www.securitycode.ru>
12. <http://www.infotecs.ru>
13. <http://www.cbi-info.ru>
14. Massel L., Massel A. Cyber security of Russia's energy infrastructure as a component of national security. / Proceeding of the International Conference on Problems of Critical Infrastructures, 6th International Conference on Liberalization and Modernization of Power Systems. Edited by Z.A. Styczynski and N.I. Voropai. 2015. Saint Petersburg. С. 66-72.
15. Massel L.V., Massel A.G. Cyber security of Russia's energy infrastructure, its current state and proposed activities for situation improving/ Proceeding of the Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2015), Rome, Italy. Vol. 1, 2015. UFA: USATU. Pp. 99-106.

UDK 006.88 :004.056

**SOFTWARE FOR AUTOMATED GENERATION OF ORGANIZATIONAL AND
ADMINISTRATIVE DOCUMENTS TO INFORMATION PROTECTION
IN THE CRITICAL INFRASTRUCTURES**

Alexander L.Gorbylev

The leading expert of Ltd Company on information security of "Secret-Service"
664075 Irkutsk, Baykalskaya St. 234-v/2, e-mail: <mailto:gal@irksecret.ru>

Abstract. In this article new approach to the solution of a problem of creation of system of information security in critical infrastructures regarding organizational and administrative documentation, and also support of experts in adoption of key decisions on creation of system of information security in critical infrastructures is presented.

Keywords: critical infrastructures, program complex, organizational and administrative documentation

References

1. Kondrat'ev A. Sovremennye tendencii v issledovanii kriticheskoj infrastruktury v zarubezhnyh stranah [Current trends in the study of critical infrastructure in foreign countries] http://pentagonus.ru/publ/sovremennye_tendencii_v_issledovanii_kriticheskoj_infrastruktury_v_zarubezhnoj_stranakh_2012/19-1-0-2082 (data obrashhenija 7.09.2015) (in Russian).
2. Markov A.S., Rautkin Yu.V. Sertifikaciya sredstv zashchity informacii po trebovaniyam bezopasnosti informacii. Novaya paradigma [Certification of means of information protection on information safety requirements. A new paradigm] / Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management. Vol. 1, 2016. – Pp. 94-102 (in Russian).
3. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 26 ijunja 1995 g. N 608 "O sertifikacii sredstv zashchity informacii"[The resolution of the Government of the Russian Federation of June 26, 1995 N 608 "About certification of means of information protection"].
4. Federal'nyj zakon ot 04.05.2011 N 99-FZ "O licenzirovanii otdel'nyh vidov dejatel'nosti" [The federal law from 5/4/2011 N 99-FZ "About licensing of separate kinds of activity"].
5. <http://www.garant.ru>
6. <http://www.consultant.ru>
7. <https://152online.ru>
8. <http://www.bdu.fstec.ru>
9. <http://www.fstec.ru>
10. <http://www.fsb.ru>
11. <http://www.securitycode.ru>
12. <http://www.infotecs.ru>
13. <http://www.cbi-info.ru>
14. Massel L., Massel A. Cyber security of Russia's energy infrastructure as a component of national security / Proceeding of the International Conference on Problems of Critical Infrastructures, 6th International Conference on Liberalization and Modernization of Power Systems. Edited by Z.A. Styczynski and N.I. Voropai. 2015. Saint Petersburg. C. 66-72.
15. Massel L.V., Massel A.G. Cyber security of Russia's energy infrastructure, its current state and proposed activities for situation improving/ Proceeding of the Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2015), Rome, Italy. Vol. 1, 2015. UFA: USATU. Pp. 99-106.

Правила приема статей в журнал

Начиная с 2016 г., труды конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении» издаются как одноименное периодическое издание (научный журнал, которому присвоен международный индекс ISSN), 4 раза в год (январь, март, июль, октябрь). Оргкомитетом конференции заключен лицензионный договор с E-library. Начиная с 2016 г., с авторами заключаются авторские соглашения, полные тексты статей помещаются в E-library с индексацией в РИНЦ.

Тематика журнала совпадает с тематикой конференции:

1. Теоретические и методологические аспекты информационных и математических технологий.
2. Математическое моделирование в научных исследованиях, вычислительная математика, оптимизация.
3. Методы, технологии и инструментальные средства создания интеллектуальных энергетических систем.
4. Методы и системы искусственного интеллекта, интеллектуальные вычисления.
5. Ситуационное управление, системы интеллектуальной поддержки принятия решений в управлении, ситуационные центры.
6. Информационное и семантическое моделирование, семантические вычисления.
7. Корпоративные информационные, геоинформационные, интеллектуальные системы.
8. Параллельные, распределенные, агентные и облачные вычисления.
9. Кибербезопасность (защита информационных систем критически важных инфраструктур).

Статьи участников, приславших свои статьи к 20 февраля и/или 25 марта, публикуются до начала конференции. Статьи участников конференции, присланные к 25 июня (или привезенные с собой на конференцию), публикуются после конференции (в текущем году). Статьи, присланные к 25 сентября, публикуются в следующем (2017) году. Предусматриваются как очное, так и заочное участие в конференции (только публикация, с частичной оплатой оргвзноса), но при большом количестве статей предпочтение будет отдаваться очным участникам (статьи заочных участников могут быть перенесены в следующий выпуск).

Для публикации статьи необходимо подписать авторское соглашение во время регистрации на сайте (подтвердить согласие на публикацию статьи в журнале и размещение полного текста статьи в E-Library). Статьи заочных участников, не зарегистрированных на сайте, могут быть приняты при наличии авторского соглашения (твердая копия или скан-копия).

С 2016 г. вводится более строгое рецензирование статей. При рецензировании статей обращается внимание на соответствие тематике журнала, научный уровень работы, ссылки на предшествующие работы (желательно не менее 11-15 ссылок), соответствие требованиям к оформлению статей. Для оценки научного уровня работы рекомендуется в заключении статьи выделять новизну и оригинальность методов и/или результатов. Для аспирантов, студентов, магистрантов требуется рекомендация (или соавторство) руководителя.

Требования к оформлению статей по сравнению с предыдущими годами изменены и приводятся в отдельных файлах (требования и шаблон статьи) на сайте конференции <http://imt.isem.irk.ru>. По возникающим вопросам можно обращаться в Оргкомитет конференции e-mail: imt@isem.irk.ru