



CONTROL SCIENCES

**Научно-технический
журнал**

6 номеров в год
ISSN 1819-3161

УЧРЕДИТЕЛЬ

**Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН**

Главный редактор

Д.А. Новиков

**Заместители главного
редактора**

Л.П. Боровских, Ф.Ф. Пащенко

Редактор

Т.А. Гладкова

Выпускающий редактор

Л.В. Петракова

Издатель

ООО «СенСиДат-Контрол»

Адрес редакции
117997, ГСП-7, Москва,
ул. Профсоюзная, д. 65, к. 410.
Тел./факс (495) 334-92-00

E-mail: pu@ipu.ru
www.ipu.ru/period/pu

Оригинал-макет
и электронная версия
подготовлены
ООО «Адвансед Солюшнз»

Отпечатано с готовых диапозитивов
в типографии ГКС

Фото на четвертой странице обложки
В. М. Бабилова

Подписано в печать
18.12.2008 г.

Заказ № РВ109

Журнал зарегистрирован
в Министерстве
Российской Федерации
по делам печати,
телерадиовещания
и средств массовых
коммуникаций

Свидетельство о регистрации
ПИ №77-11963
от 06 марта 2002 г.

Журнал входит в Перечень ведущих
рецензируемых журналов и изданий,
в которых должны быть опубликованы
основные научные результаты
диссертаций на соискание ученой
степени доктора и кандидата наук

Подписные индексы:
80508 и **81708** в каталоге Роспечати
38006 в объединенном каталоге
«Пресса России»

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

1.2009

СОДЕРЖАНИЕ

Обзоры

Бурков В.Н., Новиков Д.А., Щепкин А.В. Модели и механизмы управления
эколого-экономическими системами. 2

Анализ и синтез систем управления

Курдюков А.П., Тимин В.Н. H_∞ -управление энергетической системой в аварий-
ном режиме. Ч. 1. Теоретические основы синтеза робастных H_∞ -регуляторов 8

Гусев С.С., Чадеев В.М. Алгоритм идентификации с переходом в пространство
параметров 18

Афанасьева К.Е., Ширяев В.И. Адаптивное гарантированное оценивание с уче-
том информации по множеству «родственных» объектов. 22

Системный анализ

Пронина В.А., Шипилина Л.Б. Использование отношений между атрибутами
для построения онтологии предметной области 27

Управление в социально-экономических системах

Вишневский В.М., Железов Р.В. Принципы построения и реализации автома-
тизированной информационно-справочной системы поиска оптимальных
путей проезда на пассажирском транспорте 33

Никитин В.В. Применение экспертно-классификационных методов при проек-
тировании профессиональных и образовательных стандартов 38

Информационные технологии в управлении

Гилязов Р.Л., Столбов В.Ю. Об одном подходе к учёту иерархической структуры
критериев оптимальности мультисервисной сети передачи данных 44

Завгородний В.И. Системное управление информационными рисками: выбор
механизмов защиты 53

Федорец О.В. Использование обучающей выборки для определения приоритета
критериев в рейтинговой системе оценивания научных журналов. 59

Управление подвижными объектами

Андрюенко А.Я., Иванов В.П. Совершенствование энергетических характеристик
жидкостных ракет средствами автоматического управления. Ч. I. Физико-техни-
ческие основы управления расходом жидкого топлива ракет 66

Краткие сообщения

Дурнев Р.А. Система информирования и оповещения населения: обоснование
рациональных объемов реализации функций 72

Кононов О.А., Кононова О.В. Социальные и этические аспекты обеспечения
информационной безопасности 76

Хроника

XXII Европейская конференция по моделированию и имитации — ECMS 2008 . 80

* * *

Contents and abstracts. 83

МОДЕЛИ И МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

В.Н. Бурков, Д.А. Новиков, А.В. Щепкин

Предложена базовая модель эколого-экономической системы. Перечислены основные направления исследований ее расширений, дан краткий обзор моделей и механизмов управления такими системами.

Ключевые слова: эколого-экономическая система, теория игр, механизмы принятия решений.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа посвящена краткому обзору математических моделей и классификации механизмов управления *эколого-экономическими системами* (ЭкЭС), под которыми будем понимать «совокупность взаимосвязанных экономических, технических, социальных и природных факторов в окружающем человека мире» [1], «интеграцию экономики и природы, представляющую собой взаимосвязанное и взаимообусловленное функционирование производства и протекание естественных процессов в природе¹» [2].

Экологические системы [3, 4] являются предметом исследований различных отраслей науки: биологии, медицины, физики, химии, математики, экономики, социологии. В последнее время, в качестве самостоятельного раздела менеджмента стал выделяться *экологический менеджмент* [5–7].

Как и к любой сложной системе, к ЭкЭС применимы множество методов исследования. В данной работе анализируется такой метод, как математическое моделирование, причем объектом моделирования являются механизмы управления ЭкЭС.

Совокупность процедур и правил, регламентирующих взаимодействие участников некоторой (организационной, социально-экономической, эколого-экономической) системы называется *механизмом её функционирования* — см. [8] (механизм —

«система, устройство, определяющее порядок какого-либо вида деятельности» [9]). Более узким является понятие *механизма управления* — совокупности процедур принятия управленческих решений [8]. Таким образом, механизмы функционирования и механизмы управления определяют, как ведут себя участники² и как они принимают решения. Отметим, что в соответствии с Постановлением [10], одна из функций органов государственной власти — «разработка и внедрение экономических механизмов охраны окружающей природной среды в целях стимулирования рационального природопользования».

1. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ: БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ

Базовая модель эколого-экономической системы [11] — включает в себя участников трех типов (рис. 1):

- управляющие органы (называемые в дальнейшем «*центр*»);
- экономические агенты (называемые в дальнейшем «*предприятия*»);
- *окружающая среда*.

«Границы» системы определяются выбранным масштабом рассмотрения — объектовым, территориальным, региональным и т. д.

Управляющие органы заинтересованы как в экономических достижениях управляемых пред-

¹ На сегодня нет общепринятого определения «эколого-экономической системы», тем не менее, все известные определения достаточно близки по своей сути.

² С этой точки зрения механизм управления можно рассматривать как синоним метода управления, так как и тот, и другой определяют, как осуществляется управление.

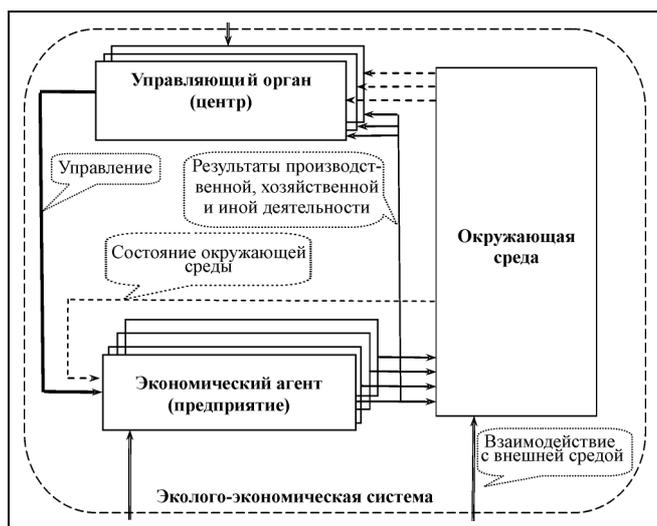


Рис. 1. Структура базовой модели ЭкЭС

приятый, так и в обеспечении требуемого уровня безопасности (или минимизации уровня риска до требуемых границ) и т. д. Их возможности заключаются в установлении условий деятельности предприятий (назначении штрафов, предоставлении льгот и пр.).

На качественном уровне задача управляющих органов состоит в выборе таких условий деятельности предприятий, которые побуждали бы последних выбирать действия, приводящие к наиболее выгодным для управляющих органов результатам.

В смысле задач управления, специфика ЭкЭС заключается в следующем:

— результаты деятельности управляемых субъектов многоаспектны (имеются, как минимум, две составляющих результатов — «экономическая» и «экологическая») и подвержены воздействию множества неконтролируемых, неопределенных и случайных факторов;

— интересы различных управляющих органов могут не только не совпадать с интересами предприятий, но и противоречить друг другу;

— затраты на регулярное получение достоверной и полной информации достаточно велики;

— подобные системы не могут самостоятельно отстаивать свои интересы, их реакция носит инерционный характер и происходит с задержкой [12];

— существенными, а во многом и решающими, выступают институциональные ограничения (нормативно-правовая база) деятельности предприятий и их взаимодействия с управляющими органами.

Перечисленные особенности ЭкЭС требуют отдельного учета при разработке соответствующих

механизмов управления (см. комплекс моделей в работе [11]).

Перечислим ключевые отличия принятых в теории управления подходов от подходов, развитых в:

- экологии, где считается известной зависимость состояния окружающей среды от воздействующих на нее результатов производственно-хозяйственной деятельности;
- менеджменте, где рассматриваются формальные модели;
- экологическом мониторинге, где система мониторинга и обработки его результатов считается фиксированной и достаточной для принятия управленческих решений (за исключением аспектов достоверности информации, исследуемых при разработке неманипулируемых механизмов);
- теории управления социально-экономическими и организационными системами, где учитываются не только результаты производственно-хозяйственной деятельности, но и состояние окружающей среды, обусловленное этими результатами (если на рис. 1 «отбросить» окружающую среду и не учитывать ее состояние, то получим структуру системы управления, традиционную для теории управления организационными системами [8]).

2. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В теории управления при исследовании ЭкЭС строятся и анализируются и оптимизационные, и теоретико-игровые, и имитационные модели. При изучении именно механизмов управления основным инструментом исследований служит теория игр [13], рассматриваются в основном иерархические игры [14].

В настоящее время широко известны несколько российских научных школ, развивающих теоретико-игровые модели механизмов управления ЭкЭС и сосредоточенных в Вычислительном центре РАН [15, 16], Вычислительном центре и Институте динамики систем и теории управления Сибирского отделения РАН [17–24], Институте проблем управления РАН [11, 25–34], Карельском научном центре РАН [35, 36], Южном федеральном университете [12, 37–41] и Санкт-Петербургском государственном университете [42, 43].

Первоначальное впечатление об этом направлении заинтересованный читатель может получить, ознакомившись с монографиями [11, 12, 15, 21, 25, 42], в которых рассмотрены теоретико-игровые и динамические оптимизационные модели стимулирования природоохранной деятельности, стимулирования снижения вредных выбросов

предприятий, частичной компенсации природоохранных затрат, планирования производства, нормирования выбросов, распределения ущерба от загрязнений, объединения усилий при проведении природоохранных мероприятий и др.

С моделями механизмов управления ЭкЭС тесно связаны следующие классы моделей:

- модели региональных ЭкЭС, которые, как правило, включают в себя блоки, описывающие (как по отдельности, так и во взаимодействии) водные, воздушные, земельные и биологические ресурсы [12, 21, 37, 44];
- модели мониторинга [21, 39, 45, 46], включая как его нормативную базу, так и соответствующие механизмы, которые должны учитывать и затраты на получение информации [31], и возможность ее сознательного искажения заинтересованными субъектами [47];
- имитационные модели, в том числе и использующие аппарат эволюционных игр [48, 49];
- динамические, оптимизационные и имитационные модели экологических систем [19, 22, 50–58], в том числе модели распространения загрязнений (переноса и диффузии) [35, 42, 54];
- модели влияния окружающей среды на здоровье человека и, в более общем случае, модели, отражающие ее влияние на социальные аспекты природоохранной деятельности [19, 20, 53, 59, 60];
- математические модели биологических систем и их элементов [22, 50, 51, 53, 56, 59, 61].

Интеграция перечисленных классов моделей представляет собой, несомненно, перспективную и актуальную задачу.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Анализ отечественного и зарубежного опыта в области разработки и применения организационных и экономических механизмов управления риском (безопасностью)³ показывает, что существует достаточно большое число механизмов, направленных на снижение уровня риска (возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС), неблагоприятного воздействия на природную среду и др.) [25]. Все эти механизмы можно разделить на несколько

³ Термины «риск» и «безопасность» во многом «двойственные» или даже функционально связанные (например, рост уровня риска приводит к снижению уровня безопасности и наоборот). Поэтому большинство исследуемых в теории управления механизмов управления могут интерпретироваться и как механизмы управления риском, и как механизмы управления безопасностью.

групп. Каждая из них включает в себя механизмы, имеющие общие принципиальные особенности и отличающиеся друг от друга лишь некоторыми модификациями.

При исследовании механизмов управления уровнем риска (безопасности) будем считать, как это принято в теории активных систем [62], что структура ЭкЭС, в которой действует механизм, двухуровневая (см. рис. 1). Верхний уровень занимает орган управления (как производственной, хозяйственной и иной деятельностью управляемых субъектов, так и уровнем безопасности (риска)) — природоохранный орган, орган муниципальной, региональной или федеральной власти. Кроме того, на верхнем уровне могут находиться одна или несколько страховых организаций. Нижний уровень этой системы занимают объекты, деятельность которых несет в себе потенциальную угрозу возникновения ЧС. Эти объекты, несмотря на их потенциально разнообразную экономическую и организационно-правовую природу, мы условно называем предприятиями.

Перечислим основные организационные и экономические механизмы управления уровнем природно-техногенного риска (обеспечения безопасности) в ЭкЭС [25]. Структура системы этих механизмов приведена на рис. 2.

Как видно из рис. 2, особую роль играют **механизмы комплексного оценивания уровня риска (безопасности)**. Это связано с тем, что параметры всех



Рис. 2. Структура системы организационных и экономических механизмов управления риском (безопасностью) в ЭкЭС



механизмов управления должны настраиваться в зависимости от наблюдаемого или измеряемого уровня риска (уровня безопасности) [28, 63—65]. Оценка уровня безопасности (уровня риска) играет центральную роль при определении норм, квот, штрафов в механизмах экономической ответственности, при определении страховых взносов в механизмах страхования, при разработке планов формирования централизованных фондов и распределении бюджетных средств, наконец, при определении налоговой политики и политики льготного кредитования.

Дадим краткую характеристику основных классов механизмов.

Механизмы экономической ответственности. Эта группа механизмов включает в себя систему стандартов (норм, нормативов, квот), отклонение от которых ведет к определенным экономическим санкциям (от штрафов до остановки производства, запрещения строительства и др.). Соответствующие стандарты касаются, в первую очередь, применяемых технологий производства (или строительства), организационно-технических мер по обеспечению безопасности производства, ограничений на предельно допустимые концентрации, выбросы или сбросы.

К этой же группе механизмов целесообразно отнести *механизмы экспертизы* (проектов, предприятий), в которых уровень безопасности (риска) оценивается экспертной комиссией, и экономическая ответственность определяется в зависимости от результатов экспертизы.

Важный класс составляют механизмы возмещения ущерба, в которых экономическая ответственность прямо связана с размером ущерба от возникновения ЧС.

К механизмам экономической ответственности относятся рассматриваемые в работе [11] *механизмы штрафов, механизмы платы за риск и механизмы аудита*.

Механизмы стимулирования снижения уровня риска. Сюда относятся механизмы льготного налогообложения, а также льготного кредитования мероприятий по повышению уровня безопасности (снижения риска) [66—68]. В эту группу входят и рассматриваемые в работе [11] *механизмы финансирования снижения уровня риска, механизмы компенсации затрат на снижение уровня риска, механизмы снижения ожидаемого ущерба, механизмы экономической мотивации* и отчасти *механизмы согласования интересов органов управления*.

Механизмы перераспределения риска. В основном, это механизмы страхования (государственного, независимого и взаимного). Одна из важнейших проблем, возникающих при разработке механизмов страхования, состоит в разработке про-

цедур определения страховых тарифов [47]. В эту группу входят также *механизмы страхования* и отчасти — *механизмы экономической мотивации* и *механизмы оптимизации региональных программ* [11].

Механизмы резервирования на случай ЧС. Сюда относятся механизмы образования резервов трудовых ресурсов (пожарные, спасатели и др.), материальных ресурсов (запасы продовольствия, сырья, медикаментов, транспорт и др.), мощностей для быстрой организации производства продукции, необходимой для ликвидации или уменьшения потерь от ЧС.

В отличие от предыдущих классов механизмов, направленных в основном на повышение уровня безопасности или снижение риска, механизмы резервирования направлены на создание условий для скорейшей ликвидации ЧС и уменьшения потерь от нее. К механизмам резервирования можно условно отнести рассматриваемые в книге [13] *механизмы страхования* [11].

Механизмы формирования и использования централизованных фондов. Здесь зачастую на первый план выходит проблема не формирования фонда, а его эффективного распределения [25, 68]. К этой группе относятся *механизмы финансирования снижения уровня риска* и *механизмы экономической мотивации* [11].

И, наконец, в **механизмах управления региональными программами** могут быть задействованы все механизмы, в первую очередь, *механизмы оптимизации региональных программ* снижения уровня риска и *механизмы согласования интересов органов управления* [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многие модели механизмов управления, созданные в рамках теории управления организационными и социально-экономическими системами, могут (с соответствующей адаптацией) эффективно использоваться при разработке и исследовании моделей механизмов управления ЭкЭС. Поэтому в «переносе» и развитии соответствующих результатов (в первую очередь, наверное, моделей информационного управления [8, 30, 69] и динамических моделей адаптации экономических субъектов [30]) заключается одно из перспективных направлений дальнейших исследований, к числу которых относятся:

— разработка и идентификация новых механизмов, адекватно учитывающих специфику ЭкЭС различного масштаба;

— интеграция результатов моделирования механизмов управления ЭкЭС и подходов различных

научных направлений, в рамках которых исследуются ЭкЭС;

— массовое внедрение (при наличии соответствующих институциональных условий) и проверка эффективности организационных и экономических механизмов управления ЭкЭС, их настройка к конкретным условиям функционирования регионов и предприятий.

ЛИТЕРАТУРА⁴

1. Багриновский К.А., Лемешев М.Я. О планировании экономического развития с учетом требований экологии // Экономика и математические методы. — 1976. — № 4. — С. 681—691.
2. Лапко А.В., Цугленок Н.В., Цугленок Г.И. Имитационные модели пространственно распределенных экологических систем. — Новосибирск: Наука, 1999. — 190 с.
3. Потапов А.Д. Экология. — М.: Высшая школа, 2004. — 528 с.
4. Степановских А.С. Прикладная экология. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2005. — 751 с.
5. Экология и экономика природопользования / Э.В. Гирусов и др. — М.: Единство, 2002. — 519 с.
6. Рюмина Е.В. Анализ эколого-экономических взаимодействий. — М.: Наука, 2000. — 158 с.
7. Тимофеева С.С. Экологический менеджмент. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. — 352 с.
8. *Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. — М.: Физматлит, 2007. — 584 с.
9. Словарь иностранных слов. — М.: Русский язык, 1982. — С. 283.
10. Постановление Правительства Москвы от 19 ноября 2002 г. № 939-ПП «Положение о Департаменте природопользования и охраны окружающей среды города Москвы».
11. Бурков В.Н., Новиков Д.А., Щепкин А.В. Механизмы управления эколого-экономическими системами. — М.: Физматлит, 2008. — 244 с.
12. Угольницкий Г.А. Управление эколого-экономическими системами. — М.: Вузовская книга, 2004. — 132 с.
13. *Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. — М.: СИНТЕГ, 2002. — 148 с.
14. *Гермейер Ю.Б. Игры с противоположными интересами. — М.: Наука, 1976. — 327 с.
15. Горелик В.А., Кононенко А.Ф. Теоретико-игровые модели принятия решений в эколого-экономических системах. — М.: Радио и связь, 1982. — 144 с.
16. Моисеев Н.Н., Александров В.В., Тарко А.М. Человек и биосфера. Опыт системного анализа и эксперименты с моделями. — М.: Наука, 1985. — 272 с.
17. Васильев С.Н., Лакеев А.В. Некоторые постановки задачи гармонизации интересов сторон // Тр. всерос. школы «Проблемы анализа устойчивости развития и стратегической стабильности». — Иркутск, 1995. — Т. 3. — С. 36—44.
18. Устойчивое развитие цивилизации и место в ней России: проблемы формирования национальной стратегии / В.А. Коптюг и др. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1996.
19. Лапко А.В., Цугленок Н.В., Цугленок Г.И. Имитационные модели пространственно распределенных экологических систем. — Новосибирск: Наука, 1999. — 190 с.
20. Модели экосистем и методы определения их параметров / Сб. тр. — Новосибирск: ВЦ СО РАН, 1981. — 146 с.
21. Моделирование и управление процессами регионального развития / Под ред. С.Н. Васильева. — М.: Физматлит, 2001. — 432 с.
22. Моделирование процессов в природно-экологических системах / Под ред. В.И. Гурмана, А.И. Москаленко. — Новосибирск: Наука, 1982. — 178 с.
23. Эколого-экономические системы: модели, информация, эксперимент / Под ред. В.И. Гурмана, Л.Ю. Дамешек. — Новосибирск: Наука, 1987. — 216 с.
24. Vassilyev S.N., Baturin V.A., Lakeyev A.V. Ecologo-economic model and solvability of harmonization problem / Proc. of IEEE Intern. Conf. on Systems. — Lille: Man and Cybernetics, 1993. — Vol. 5. — P. 339—343.
25. *Бурков В.Н., Грацианский Е.В., Дзюбо С.И., Щепкин А.В. Модели и механизмы управления безопасностью. — М.: СИНТЕГ, 2001. — 160 с.
26. *Бурков В.Н., Щепкин А.В. Экологическая безопасность. — М.: ИПУ РАН, 2003. — 92 с.
27. *Калинина Н.А., Новиков Д.А., Петренко Ю.А. Механизмы согласования интересов органов управления в эколого-экономических системах // Системы управления и информационные технологии. — 2008. — № 2.1 (32). — С. 177—180.
28. Оценка уровня риска функционирования потенциально опасных объектов / В.Д. Кондратьев и др. // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. — 2004. — № 2. — С. 57—65
29. *Кондратьев В.Д., Щепкин А.В. Комплексное оценивание в области безопасности дорожного движения. — М.: ИПУ РАН, 2002. — 54 с.
30. *Новиков Д.А. Математические модели формирования и функционирования команд. — М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2008. — 184 с.
31. Новиков Д.А. Экономические механизмы экологического мониторинга // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. — 1996. — № 12. — С. 23—29.
32. *Щепкин А.В. Внутрифирменное управление (модели и механизмы). — М.: ИПУ РАН, 2001. — 80 с.
33. *Щепкин А.В. Моделирование механизма снижения уровня риска на предприятии // Управление большими системами. — 2004. — № 9. — С. 214—219.
34. *Щепкин Д.А. Штрафы при управлении уровнем риска на предприятии // Там же. — 2004. — № 9. — С. 220—231.
35. Мазалов В.В., Реттеева А.Н. Равновесие по Нэшу в задачах охраны окружающей среды // Математическое моделирование. — 2006. — Т. 18, — № 5. — С. 73—90.
36. Mazalov V.V., Rettieva A.N. Reserved territory approach in a fishery game model // Proc. of 11-th Int. Symp. on Dynamic Games and Applications. Univ. of Arizona, Tucson, 2004. — Vol. 1. — P. 603—614.
37. Горстко А.Б., Домбровский Ю.А., Сурков Ф.А. Модели управления эколого-экономическими системами. — М.: Наука, 1984. — 120 с.
38. *Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Иерархические системы ромбовидной структуры для управления качеством речных вод // Управление большими системами. — 2007. — Вып. 19. — С. 187—203.
39. *Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Информационно-аналитическая система управления эколого-экономическими объектами // Изв. РАН. Теория и системы управления. — 2007. — № 6. — С. 230—237.
40. Угольницкий Г.А. Теоретико-игровые принципы оптимальности иерархического управления устойчивым развитием // Там же. — 2005. — № 4. — С. 72—78.
41. Усов А.Б. Методы управления эколого-экономическими системами // Экономика и управление. — 2007. — № 2. — С. 88—90.
42. *Петросян Л.А., Захаров В.В. Введение в математическую экологию. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1986. — 224 с.
43. Петросян Л.А., Захаров В.В. Математические модели в экологии. — СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. — 254 с.

⁴ Работы, отмеченные звездочкой, можно найти в свободном доступе в электронной библиотеке на сайте теории управления организационными системами www.mtas.ru.



44. *Моделирование* социо-эколого-экономической системы региона / Под ред. В.И. Гурмана, Е.В. Рюминой. — М.: Наука, 2003. — 175 с.
45. *Израэль Ю.А.* Экология и контроль состояния природной среды. — М.: Гидрометеоздат, 1984. — 560 с.
46. *Постановление* Правительства РФ от 30.12.2003 № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций».
47. **Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А.* Механизмы страхования в социально-экономических системах. — М.: ИПУ РАН, 2001. — 109 с.
48. *Васин А.А.* Некооперативные игры в природе и обществе. — М.: МАКС Пресс, 2005. — 412 с.
49. *Hofbauer J., Sigmund K.* Evolutionary Games and Population Dynamics. — Cambridge: Cambridge University Press, 1998. — 351 p.
50. *Математические модели* в экологии / Сб. тр. — Горький: ГГУ, 1980. — 167 с.
51. *Математическое моделирование* в экологии / Там же. — М.: Наука, 1978. — 180 с.
52. *Новик И.Б.* Проблемы оптимизации в экологии. — М.: Природа, 1978. — 328 с.
53. *Оптимальное управление* природно-экономическими системами / Под ред. В.И. Гурмана, А.И. Москаленко. — М.: Наука, 1980. — 296 с.
54. *Полуэтов Р.А., Пых Ю.А., Швытов И.А.* Динамические модели экологических систем. — Л.: Наука, 1980. — 289 с.
55. *Самарский А.А., Моисеев Н.Н., Петров А.А.* Математическое моделирование. Процессы в сложных экономических и экологических системах. — М.: МГУ, 1986. — 296 с.
56. *Свирижев Ю.М., Логофет Д.О.* Устойчивость биологических сообществ. — М.: Наука, 1978. — 352 с.
57. *Марчук Г.И.* Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. — Там же, 1982. — 320 с.
58. *Новая парадигма* развития России в XXI веке. Комплексные исследования проблем устойчивого развития: идеи и результаты / Под ред. В.А. Коптюга, В.М. Матросова, В.К. Левашова. — М.: Academia, 2000. — 397 с.
59. *Плотинский Ю.М.* Теоретические и эмпирические модели социальных процессов. — М.: Логос, 1998. — 280 с.
60. *Робертс Ф.С.* Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. — М.: Наука, 1986. — 496 с.
61. *Математическое моделирование* экологических свойств популяций / Сб. тр. — Владивосток: ИАПУ ДНЦ РАН, 1980. — 144 с.
62. **Бурков В.Н.* Основы математической теории активных систем. — М.: Наука, 1977. — 255 с.
63. **Губко Г.В.* Модели и механизмы управления особо охраняемыми природными территориями. — Миасс: Геотур, 2002. — 88 с.
64. *Блачев Р.Н., Семенов И.Б.* Оценка социально-экономических последствий чрезвычайных событий // Вопросы экономики. — 1991. — № 1. — С. 59–63.
65. *Построение* комплексной оценки уровня экологической безопасности региона / В.П. Зинченко, М.Л. Павлов, А.И. Хлычиев, А.В. Щепкин // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. — 2003. — № 3. — С. 88–97.
66. **Механизмы* финансирования программ регионального развития / В.Н. Бурков и др. — М.: ИПУ РАН, 2002. — 54 с.
67. **Гилев С.Е., Леонтьев С.В., Новиков Д.А.* Распределенные системы принятия решений в управлении региональным развитием. — М.: ИПУ РАН, 2002. — 52 с.
68. *Толстых А.В., Уандыков Б.К., Щепкин А.В.* Моделирование экономических механизмов обеспечения безопасности при техногенных и природных катастрофах // Автоматика и телемеханика. — 2004. — № 5. — С. 142–153.
69. **Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г.* Рефлексивные игры. — М.: СИНТЕГ, 2003. — 160 с.

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.В. Кульбой.

Бурков Владимир Николаевич — д-р техн. наук, зав. лабораторией, ☎ (495) 334-79-00, e-mail: vlab17@bk.ru,

Новиков Дмитрий Александрович — д-р техн. наук, чл.-корр. РАН, зам. директора, ☎ (495) 334-75-69, e-mail: novikov@ipu.ru,

Щепкин Александр Васильевич — д-р техн. наук, гл. науч. сотрудник, ☎ (495) 334-90-51, e-mail: shch@ipu.ru,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва.

Новая книга

Ицкович Э. Л. Методы рациональной автоматизации производства. — М.: Инфра-Инженерия, 2008. — 240 с.

Обобщены консалтинговые работы автора и разработанные им методы автоматизации, прошедшие успешную апробацию на промышленных предприятиях. Рассмотрен широкий круг задач и вопросов, связанных с реализацией эффективной автоматизации промышленных объектов, в частности:

- направления развития средств и систем автоматизации;
- анализ существующего рынка программных и технических средств автоматизации и позиционирование на нем российских участников;
- положения по конкретизации и полноте технических заданий (требований) на различные средства и системы автоматизации;
- прогноз эффективности предлагаемых систем автоматизации;
- метод организации и проведения конкурсов (тендеров) для выбора средств и систем автоматизации;
- аудит эффективности эксплуатируемых систем автоматизации;
- методика достижения рационального уровня автоматизации производства;
- методика распределения выделенных финансовых ресурсов на отдельные проекты автоматизации.

Расчитана на сотрудников служб автоматизации предприятий, специалистов по автоматизации в инженеринговых фирмах, проектных институтах, НИИ и ОКБ, на разработчиков и производителей средств и систем автоматизации, персонал консалтинговых организаций и системных интеграторов в области автоматизации.

Книга может быть полезна преподавателям вузов в качестве учебного пособия по курсам автоматизации, а также аспирантам и научным работникам в области автоматизации и информатизации предприятий, поскольку дает срез современного состояния автоматизации производства и предлагает методы ее развития с учетом возможностей современных программных и технических средств и имеющихся у предприятий финансовых ресурсов.

Заявки на приобретение следует направлять по e-mail: infra-e@yandex.ru или по телефону 8-911-512-48-48.

H_∞ -УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ В АВАРИЙНОМ РЕЖИМЕ.

Ч. 1. Теоретические основы синтеза робастных H_∞ -регуляторов

А.П. Курдюков, В.Н. Тимин

На основе метода размещения полюсов замкнутой системы в заданной области на комплексной плоскости и H_∞ -метода формирования контура с помощью аппарата линейных матричных неравенств решена задача подавления внешних возмущений в энергетической системе.

Ключевые слова: управление энергетической системой, H_∞ -теория управления, линейные матричные неравенства, подавление возмущений, H_∞ -метод формирования контура, расположение полюсов замкнутой системы в заданной области на комплексной плоскости.

ВВЕДЕНИЕ

Современная энергетическая система (ЭС) представляет собой сложную многоуровневую и многосвязную динамическую систему. Задачи управления и защиты в нештатных ситуациях решаются с помощью элементов силовой электроники и микропроцессорной техники. Создание управляемых гибких линий электропередачи переменного тока (Flexible AC Transmission Systems—FACTS) [1—4] на основе элементов силовой электроники позволило существенно улучшить управление потоками мощности в электрических сетях в установившихся и переходных режимах работы. Устройства FACTS позволяют увеличить пропускную способность линии электропередачи и управлять параметрами, определяющими функционирование ЭС, включая реактивное сопротивление, ток, напряжение, углы фазовых сдвигов в узлах сети, затухание колебаний на различных частотах и др. В процессе функционирования ЭС при коммутациях в сети и изменении нагрузки возникают электромеханические колебания, компенсация которых обычно осуществляется автоматическими регуляторами возбуждения и системными стабилизаторами. Применение устройств FACTS совместно с системными стабилизаторами позволяет дополни-

тельными управляющими воздействиями улучшить качество функционирования ЭС. Синтез законов управления в ЭС с целью повышения робастной устойчивости и качества переходных процессов, демпфирования колебаний перетоков мощности и улучшения других характеристик, представляет собой достаточно сложную и актуальную задачу. В целях ее решения в данной работе исследуется возможность применения H_∞ -робастных регуляторов для управления ЭС в аварийном режиме.

В первой части статьи кратко изложены теоретические основы синтеза H_∞ -робастных регуляторов с помощью метода размещения полюсов замкнутой системы в заданной области на комплексной плоскости и H_∞ -метода формирования контура. Во второй части будет дана постановка и предложен метод решения задачи синтеза H_∞ -регулятора для подавления возмущений, возникающих в энергетической системе.

1. СОВРЕМЕННЫЕ КОРНЕВОЙ И ЧАСТОТНЫЙ МЕТОДЫ СИНТЕЗА СИСТЕМ

С инженерной точки зрения под синтезом системы управления можно понимать построение системы управления, обеспечивающей выполнение



всех предъявляемых к ней технических требований. Проектируемая система управления должна обеспечивать приемлемое качество переходных процессов, необходимую точность и грубость (робастность) к неопределенности в модели объекта.

Требования к проектируемой системе могут формулироваться как во временной, так и в частотной областях [5]. Качество переходных процессов в смысле запаса устойчивости (удаленности от границы устойчивости) и быстродействия (быстроты реагирования на управляющие и возмущающие воздействия) может характеризоваться во времени видом переходного процесса на типовое воздействие, расположением полюсов и нулей передаточной функции замкнутой системы и др.

Во временной области требования к запасу устойчивости по виду кривой переходного процесса при единичном воздействии могут задаваться в виде, например, максимального значения регулируемой величины, значения перерегулирования, допустимого числа колебаний и др. Быстродействие системы может определяться по длительности переходного процесса.

Расположение и вид корней характеристического полинома (полюсов передаточной функции замкнутой системы) также определяют характер переходного процесса, так как они однозначно определяют решение однородного дифференциального уравнения, описывающего модель объекта. Поэтому требования к запасу устойчивости и быстродействию, не рассматривая кривые переходного процесса, можно сформулировать, накладывая ограничения на корни характеристического полинома.

Следовательно, задавая ограничения на расположение и вид корней характеристического полинома, мы задаем ограничения во временной области на вид переходного процесса и, очевидно, на максимальные значения регулируемой величины, значения перерегулирования и времени переходного процесса и др. Поэтому *корневой метод* размещения полюсов передаточной функции замкнутой системы в заданной области на комплексной плоскости достаточно удобен для задания требований к качеству переходных процессов.

Таким образом, требования к расположению полюсов передаточной функции замкнутой системы в некоторой заданной области позволяет задавать ограничения на:

- быстродействие, которое может быть оценено по степени устойчивости (абсолютной величине действительной части ближайшего к мнимой оси корня);
- запас устойчивости, который может быть оценен по колебательности (максимальному отношению мнимой части корня к его действитель-

ной части) или параметру затухания (коэффициенту демпфирования);

- максимальную угловую частоту собственных колебаний системы (максимальную абсолютную величину мнимой части корня).

В теории управления широко используется аппарат линейных матричных неравенств (ЛМН) [6—10]. Он хорошо подходит для синтеза регулятора в обратной связи, когда различные требования к замкнутой системе можно задавать в виде линейных матричных неравенств.

Концепция расположения полюсов в выпуклой области, которая может быть описана линейными матричными неравенствами, предложена в работе [6]. Класс областей, описываемый ЛМН (см. п. 2.2), представляет собой достаточно широкое множество областей для размещения полюсов, включая полуплоскости, круги, секторы, вертикальные и горизонтальные полосы, а также любые пересечения этих областей. В соответствии с данной концепцией процедура синтеза регулятора сводится к минимизации какого-либо критерия оптимальности на данной ЛМН-области. Так, в работах [6, 7] задача синтеза H_∞ -оптимального регулятора с расположением полюсов передаточной функции замкнутой системы в ограниченной выпуклой области на комплексной плоскости сводится к решению ЛМН.

Вопросы чувствительности к возмущениям и шумам, а также точностные характеристики при таком подходе считаются менее сложными и не рассматриваются, однако они требуют дополнительного решения.

Альтернативный путь дает синтез системы управления *в частотной области*. Он основан на частотных свойствах объекта, частотных критериях устойчивости и качества переходных процессов, частотных методах анализа и синтеза систем [5].

Одним из широко распространенных современных методов синтеза многомерных систем в частотной области является H_∞ -метод формирования контура, предложенный в работе [17]. Под методом формирования контура замкнутой системы в частотной области понимают метод синтеза, при котором разработчик непосредственно определяет форму амплитудно-частотной характеристики разомкнутой или замкнутой систем. В общем случае передаточная функция многомерной системы матричная. Элементы матрицы представляют собой передаточные функции от каждого входа к каждому выходу системы. Началом построения более строгой классической теории управления в частотной области, распространенной на многомерные системы, послужила статья [11], посвященная роли сингулярных чисел в анализе и синтезе многомерных систем управления. Зависимость сингулярных чисел матричной передаточной функции

от частоты представляет собой обобщение амплитудной частотной характеристики. В системах с одним входом и одним выходом эти понятия тождественны.

Сингулярные числа комплекснозначной матрицы A определяются как квадратные корни из собственных чисел матрицы A^*A , где A^* — эрмитово сопряженная матрица. Они характеризуют по соответствующему выходу многомерной системы коэффициент усиления на заданной частоте [11]. Для квадратной матрицы передаточных функций число сингулярных чисел равно числу выходов системы. На заданной частоте минимальный (максимальный) коэффициент усиления многомерной системы характеризуется соответственно минимальным (максимальным) сингулярным числом.

Для многомерных систем требования к форме амплитудно-частотных характеристик замкнутой системы формулируются в терминах ограничений типа неравенств на сингулярные числа многомерных передаточных функций замкнутой [11–15] или разомкнутой [16, 17] систем.

Требования к замкнутой системе могут быть сформулированы в частотной области в виде требований к максимальным и минимальным значениям сингулярных чисел многомерной передаточной функции разомкнутой системы [16]. Принципиальная идея H_∞ -метода формирования контура в данном случае в многомерных системах заключается в том, что максимальные сингулярные числа матричных передаточных функций *замкнутой* системы, характеризующие коэффициент усиления по соответствующему выходу, могут быть непосредственно *аппроксимированы в соответствующих частотных диапазонах* максимальными или минимальными сингулярными числами соответствующих матричных передаточных функций *разомкнутой* системы.

Таким образом, основные требования состоят в:

- высоком коэффициенте усиления (ограничение снизу на минимальные значения сингулярных чисел (обозначение $\underline{\sigma}(\cdot)$) на низких частотах, позволяющем уменьшить ошибку слежения и влияние возмущений на входе и выходе объекта;
- малом коэффициенте усиления (ограничение сверху на максимальные значения сингулярных чисел (обозначение $\bar{\sigma}(\cdot)$) на высоких частотах для парирования шума и повышения робастности (грубости) к неопределенности в модели объекта;
- плавном переходе в области частоты среза контура.

В области частоты среза коэффициент усиления контура не должен убывать быстрее, чем -20 дБ на декаду, чтобы были желаемые робастная устой-

чивость, запасы по амплитуде и фазе, перерегулирование и параметр затухания [18, 19].

Рассмотрим замкнутую систему управления с объектом управления G и регулятором K , изображенную на рис. 1, где r — командный сигнал, e — ошибка слежения, u — управление, y — выход объекта, d — возмущение, n — шум измерения. Передаточная функция разомкнутой системы $L = GK$. Передаточная функция замкнутой системы с *отрицательной* обратной связью от командного сигнала r к ошибке слежения e называется функцией чувствительности $S = (I + GK)^{-1}$, а передаточная функция от командного сигнала r к выходу y объекта называется функцией дополнительной чувствительности $T = GK(I + GK)^{-1}$, где I — единичная матрица соответствующей размерности. В принятых обозначениях на рис. 2 приведена графическая иллюстрация основных требований к формированию контура разомкнутой системы. Под желаемой формой контура понимается желаемое поведение графиков сингулярных чисел от частоты для многомерной передаточной функции разомкнутой системы. На рисунке по оси абсцисс отложена угловая частота ω в логарифмическом масштабе, а по оси ординат A — значения сингулярных чисел передаточных функций в децибелах.

Желаемая форма контура передаточной функции разомкнутой системы определяется тем, что на графики минимального $\underline{\sigma}(GK)$ и максимального $\bar{\sigma}(GK)$ сингулярных чисел передаточной функции разомкнутой системы накладываются частотные ограничения (рис. 2). В области низких частот $\omega < \omega_L$ график минимального сингулярного числа расположен выше заданного проектировщиком ограничения $A_L(\omega)$. В области высоких $\omega > \omega_U$ график максимального сингулярного числа расположен ниже заданного проектировщиком ограничения $A_U(\omega)$. Ограничения в области средних частот не налагаются, в чем состоит недостаток метода.

При выполнении частотных ограничений на сингулярные числа передаточной функции *разомкнутой* системы гарантируется, что графики сингулярных чисел передаточной функции *замкнутой* системы также удовлетворяют некоторым ограничениям. В области низких частот $\omega < \omega_L$

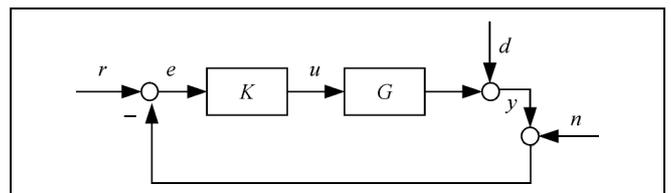


Рис. 1. Замкнутая система управления

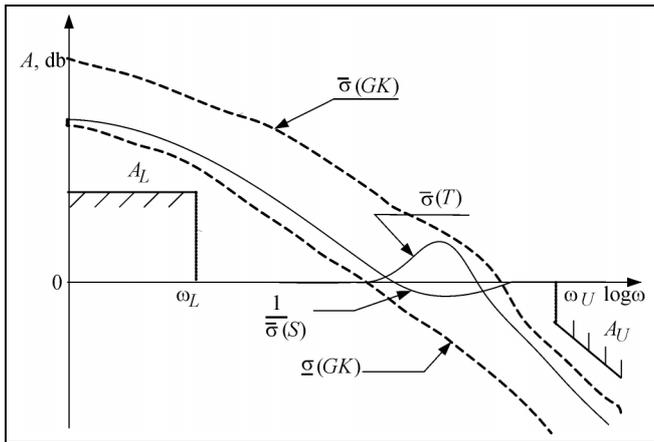


Рис. 2. Требования к сингулярным числам разомкнутой системы

график обратного значения максимального сингулярного числа $1/\bar{\sigma}(S)$ функции чувствительности $S = (I - GK)^{-1}$ расположен выше графика минимального сингулярного числа передаточной функции разомкнутой системы $\underline{\sigma}(GK)$. В области высоких частот $\omega > \omega_U$ график максимального сингулярного числа $\bar{\sigma}(T)$ функции дополнительной чувствительности $T = GK(I - GK)^{-1}$ расположен ниже графика максимального сингулярного числа $\bar{\sigma}(GK)$ передаточной функции разомкнутой системы. Более подробно указанные свойства передаточных функций рассматриваются в п. 2.6.

В работе [17] предложен оригинальный H_∞ -метод формирования контура для многомерных систем (см. п. 2.6). В ней впервые выдвинута идея применения нормализованной взаимно простой факторизации [20] модели объекта для обеспечения робастной устойчивости на основе решения задачи H_∞ -оптимизации (см. п. 2.4). Центральный элемент в предложенном методе заключается в решении задачи робастной стабилизации [21].

Задача робастной стабилизации состоит в нахождении максимальной неопределенности (робастного запаса устойчивости), при которой единственный регулятор K обеспечит устойчивость замкнутой системы для семейства возмущенных объектов с ограниченными по H_∞ -норме возмущениями (см. п. 2.5).

В методе H_∞ -формирования контура задача робастной стабилизации решается не для исходного, а для нового обобщенного объекта, образованного с помощью формирующих функций (префильтра и постфильтра) — более подробно см. п. 2.6. Требуемые характеристики качества и робастности замкнутой системы обеспечиваются благодаря выбору соответствующих формирующих функций, а

решение задачи робастной стабилизации *гарантирует* устойчивость замкнутой системы. Отметим, что в данном методе не требуется информации о фазовой характеристике номинального объекта G . Кроме того, значение запаса робастной устойчивости является единственным индикатором, характеризующим степень достижения задаваемых требований к замкнутой системе.

Каждый из кратко описанных методов (корневой и частотный) синтеза регулятора обладает своими достоинствами и недостатками. Корневой метод по расположению полюсов передаточной функции замкнутой системы в заданной области на комплексной плоскости очень удобен для задания требований к качеству переходных процессов (к быстродействию и запасу устойчивости). Кроме того, он позволяет в явном виде задавать требования к замкнутой системе в виде ограничения на параметр затухания (коэффициент демпфирования). Однако вопросы чувствительности к возмущениям и шумам, а также точностные характеристики требуют дополнительного решения.

H_∞ -метод формирования контура позволяет в частотной области задавать требования к быстродействию, точности слежения, уровню подавления шумов и возмущений. Требование к качеству переходных процессов в виде ограничения на колебательность (параметр затухания) в явном виде не задается. В частотной области аperiodичность переходного процесса определяется наклоном в -20 дБ на декаду графиков сингулярных чисел (в логарифмическом масштабе) в области частоты среза. В H_∞ -методе формирования контура удовлетворение ограничения на колебательность (близость к наклону в -20 дБ на декаду) может быть обеспечено *только* с помощью формирующих функций (см. п. 2.6), выбор которых представляет собой достаточно сложную задачу (особенно в классе формирующих функций низкого порядка).

Комбинированный подход, объединяющий H_∞ -метод формирования контура [17] и расположение полюсов замкнутой системы в заданной ЛМН-области [6], предложен в работе [22] для решения энергетической задачи. В ней с помощью аппарата ЛМН решается классическая задача робастной стабилизации для объекта, представленного в виде нормализованной левой взаимно простой факторизации.

2. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РАБОТЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И МЕТОДЫ

2.1. Стандартный объект

Произвольная многомерная замкнутая система с объектом управления $G(s)$ и регулятором $K(s)$ в *положительной* обратной связи (см. рис. 1) может

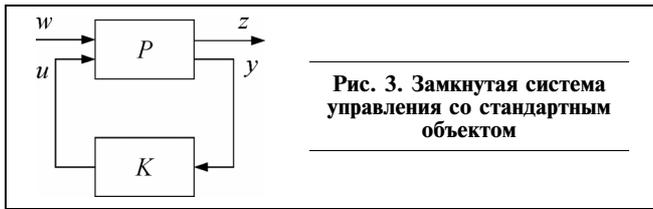


Рис. 3. Замкнутая система управления со стандартным объектом

быть представлена в виде структурной схемы, изображенной на рис. 3. Объект управления $G(s)$ называется номинальным, а объект $P(s)$ — стандартным объектом.

Стандартный объект имеет два входа, а именно: обобщенный вектор всех входов w , включающий в себя командный сигнал, внешние возмущения и шумы, и вектор управления u .

Выходами стандартного объекта является обобщенный вектор управляемых выходов z , обычно включающий в себя сигнал ошибки, и вектор измеряемых выходов y .

Стандартный объект задается уравнениями вида

$$\begin{bmatrix} Z(s) \\ Y(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11}(s) & P_{12}(s) \\ P_{21}(s) & P_{22}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W(s) \\ U(s) \end{bmatrix}, \quad (2.1)$$

где $Z(s)$, $Y(s)$, $W(s)$ и $U(s)$ — преобразования Лапласа сигналов соответственно z , y , w и u , s — переменная оператора Лапласа.

Стандартный объект $P(s)$ обязательно включает в себя номинальный объект $G(s)$ и всевозможные связи, а также, при необходимости, произвольные передаточные функции (см., например, работу [12]). Произвольные передаточные функции (например, префильтр и постфильтр) используются для формирования требований к замкнутой системе в частотной области. Обычно блок $P_{22}(s)$ является номинальным объектом $G(s)$.

Замкнутая система управления определяется уравнениями вида

$$\begin{aligned} Z(s) &= P_{11}(s)W(s) + P_{12}(s)U(s), \\ Y(s) &= P_{21}(s)W(s) + P_{22}(s)U(s), \\ U(s) &= K(s)Y(s). \end{aligned}$$

Передаточная функция замкнутой системы $T_{wz}(P, K)$ от обобщенного вектора входов w к обобщенному вектору контролируемых выходов z определяется выражением

$$T_{wz}(P, K) = P_{11} + P_{12}K(I + P_{22}K)^{-1}P_{21}. \quad (2.2)$$

Стандартный объект управления $P(s)$ описывается в пространстве состояний системой линейных обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + B_{1w}w + B_{2u}u, \\ z &= C_1x + D_{11}w + D_{12}u, \\ y &= C_2x + D_{21}w + D_{22}u, \end{aligned} \quad (2.3)$$

где x — вектор внутреннего состояния системы.

Связь между матричными передаточными функциями $P_{ij}(s)$ стандартного объекта и представлением в пространстве состояний стандартного объекта определяется уравнениями вида

$$P_{ij} = C_i(sI - A)^{-1}B_j + D_{ij}, \quad i, j = 1, 2.$$

2.2. ЛМН-область

Описание выпуклой области на комплексной плоскости линейными матричными неравенствами приведено в работе [6].

Рассмотрим область D левой комплексной полуплоскости C^- , которую можно определить следующим образом:

$$D = \{z \in C^- : L + zM + \bar{z}M^T\},$$

где $L = L^T$ и M — действительные матрицы, z — комплексная переменная, а \bar{z} — комплексно сопряженная. Область D , описываемая линейными матричными неравенствами, называется ЛМН-областью.

Матричнозначная функция $f_D(z) = L + zM + \bar{z}M^T$ называется характеристической функцией множества D [6]. Значения матриц L и M определяют конкретный вид выпуклой области на комплексной плоскости.

В теории управления в аспекте расположения полюсов передаточной функции замкнутой системы интересны следующие виды элементарных ЛМН-областей.

- $D_1(z)$ — полуплоскость $\text{Re}(z) < -\eta$:

$$f_{D_1}(z) = z + \bar{z} + 2\eta < 0.$$

Матрицы, задающие вид области, имеют вид $L = 2\eta$, $M = 1$. Характеристическая функция множества $f_{D_1}(z)$ определяет все точки z на комплексной плоскости, расположенные левее прямой $\text{Re}(z) < -\eta$.

- $D_2(z)$ — сектор, образованный двумя лучами, выходящими из начала координат и симметрично расположенными относительно вещественной оси под некоторым углом φ :

$$f_{D_2}(z) = \begin{bmatrix} \sin \varphi (z + \bar{z}) & \cos \varphi (z - \bar{z}) \\ -\cos \varphi (z - \bar{z}) & \sin \varphi (z + \bar{z}) \end{bmatrix} < 0.$$

Матрицы, задающие вид области, имеют вид:

$$L = 0, \quad M = \begin{bmatrix} \sin \varphi & \cos \varphi \\ -\cos \varphi & \sin \varphi \end{bmatrix}.$$



Характеристическая функция множества $f_{D_2}(z)$ определяет все точки z множества на комплексной плоскости, расположенные между двумя лучами.

- $D_3(z)$ — круг с центром в точке $(-q, 0)$ и радиусом r :

$$f_{D_3}(z) = \begin{bmatrix} -r & q+z \\ q+\bar{z} & -r \end{bmatrix} < 0.$$

Матрицы, задающие вид области, имеют вид:

$$L = \begin{bmatrix} -r & q \\ q & -r \end{bmatrix}, \quad M = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Характеристическая функция множества $f_{D_3}(z)$ определяет все точки z множества на комплексной плоскости, расположенные внутри окружности с центром в точке $(-q, 0)$ и радиусом r .

Основные свойства ЛМН-областей [6, 7]:

- пересечение ЛМН-областей также может быть описано линейными матричными неравенствами, т. е. является ЛМН-областью;
- любая выпуклая область на комплексной плоскости, симметричная относительно действительной оси, может быть аппроксимирована ЛМН-областью с любой заданной точностью.

Важной с точки зрения разработчика систем управления представляет изображенная на рис. 4 ЛМН-область, образованная пересечением элементарных областей $D_4 = D_1 \cap D_2 \cap D_3$, с характеристической функцией вида

$$f_{D_3} = \begin{bmatrix} f_{D_1} & 0 & 0 \\ 0 & f_{D_2} & 0 \\ 0 & 0 & f_{D_3} \end{bmatrix}. \quad (2.4)$$

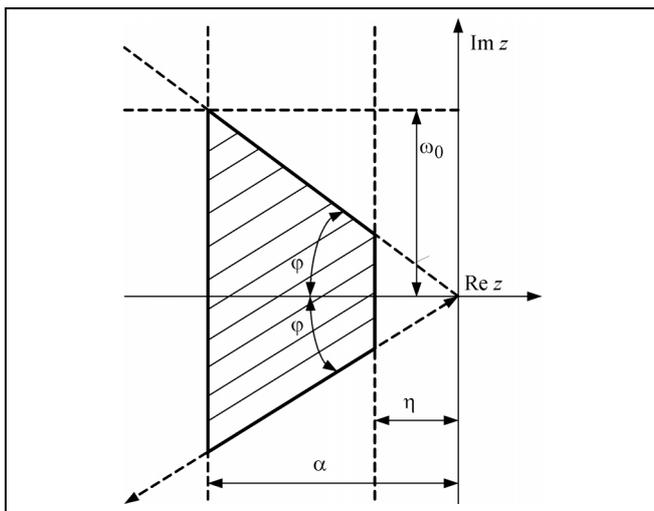


Рис. 4. Заданная ЛМН-область

Размещение полюсов замкнутой системы в указанной области гарантирует:

- затухание колебаний переходных процессов не менее η ;
- колебательность не более $\mu = \text{tg}\varphi$ или параметр затухания (коэффициент демпфирования) не менее $\zeta = \cos\varphi$;
- максимальную угловую частоту собственных незатухающих колебаний не более $\omega_0 = \alpha \text{tg}\varphi$.

Напомним, что задача размещения полюсов в заданной области может рассматриваться в совокупности с другими целями управления, такими как минимизация нормы передаточной функции замкнутой системы [6, 7].

2.3. H_∞ -норма передаточной функции

Для устойчивой (не имеющей полюсов при $\text{Re}(s) \geq 0$) и правильной (порядок полинома числителя не более порядка полинома знаменателя) передаточной функции $F(s)$ H_∞ -норма определяется как [23]

$$\|F(j\omega)\|_\infty = \sup_{\omega} \{\bar{\sigma}(F(j\omega)), \omega \in [0, \infty)\},$$

где

$$\bar{\sigma}(\omega) \equiv \sigma_{\max}(\omega) = \max_i \{\lambda_i^{\frac{1}{2}}(F^*(j\omega)F(j\omega))\} —$$

максимальное сингулярное значение матрицы $F(j\omega)$, λ_i — собственные числа произведения матриц, «звездочка» означает комплексное сопряжение.

Для скалярной функции H_∞ -норма равна максимальному значению амплитудной частотной характеристики. Класс функций с конечной H_∞ -нормой состоит из устойчивых физически реализуемых передаточных функций. Использование H_∞ -нормы в качестве критерия оптимальности при синтезе многомерных систем основано на том факте, что она может служить мерой усиления системы. Иначе, H_∞ -норма передаточной функции есть энергия выхода системы при подаче на вход сигнала с единичной энергией. Если выходом является ошибка, а входом — возмущение, то минимизируя H_∞ -норму передаточной функции, мы минимизируем энергию ошибки для наихудшего случая входного возмущения.

2.4. Задача H_∞ -оптимизации

Задача нахождения H_∞ -оптимального регулятора формулируется следующим образом [23]:

для объекта управления G найти регулятор K такой, чтобы:

- замкнутая система была внутренне устойчива (все состояния системы асимптотически стремятся к нулевому из произвольного начального состояния при нулевых внешних входах w);
- для H_∞ -нормы передаточной функции замкнутой системы (2.2) выполнялось равенство

$$\|T_{wz}(P, K)\|_\infty = \gamma_{\min}, \quad (2.5)$$

где γ_{\min} — минимально возможное значение нормы для заданного объекта P .

В работе [23] был предложен метод решения задачи H_∞ -оптимизации, так называемый «2-Риккати подход». Его основная идея состоит в том, что задача нахождения регулятора, минимизирующего H_∞ -норму передаточной функции замкнутой системы T_{wz} от внешнего входа w к контролируемому выходу z , сводится к задаче поиска регулятора, который обеспечивает заданное значение γ ее H_∞ -нормы, т. е. решается следующая субоптимальная задача:

найти регулятор K такой, чтобы выполнялось неравенство

$$\|T_{wz}(P, K)\|_\infty < \gamma, \quad (2.6)$$

где $\gamma > \gamma_{\min}$ и K — допустимый регулятор.

Эта задача решается в пространстве состояний. Вычисление H_∞ -субоптимального регулятора основывается на решении двух обобщенных алгебраических уравнений Риккати. Для решения задачи минимизации (2.5) применяется итерационная процедура по γ . На каждом шаге решается субоптимальная задача (2.6). На первом шаге γ задается заведомо больше γ_{\min} . Затем значение γ уменьшается, и субоптимальная задача решается до тех пор, пока существуют неотрицательно определенные решения алгебраических уравнений Риккати—Лурье. Полученное в результате итерационной процедуры минимальное значение γ , «близкое» к γ_{\min} с заданной степенью точности, а также решения обобщенных алгебраических уравнений Риккати—Лурье однозначно определяют робастный H_∞ -субоптимальный регулятор.

В работе [6] представлен алгоритм построения H_∞ -субоптимальных регуляторов, альтернативный «2-Риккати подходу». Обобщенные алгебраические уравнения Риккати—Лурье по управлению и фильтрации [23] заменяются неравенствами Риккати—Лурье, и множество решений данных неравенств используется для параметризации всех H_∞ -субоптимальных регуляторов, включая регуляторы пониженного порядка. Синтез регулятора производится при минимизации значения γ на ос-

нове множества пар симметричных матриц R и S , удовлетворяющих системе матричных неравенств

$$\begin{bmatrix} N_R & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} AR + RA^T & RC_1^T & B_1 \\ C_1 R & -\gamma I & D_{11} \\ B_1^T & D_{11}^T & -\gamma I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_R & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} < 0, \quad (2.7)$$

$$\begin{bmatrix} N_S & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} A^T S + SA & SB_1 & C_1^T \\ B_1^T S & -\gamma I & D_{11}^T \\ C_1 & D_{11} & -\gamma I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_S & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} < 0, \quad (2.8)$$

$$\begin{bmatrix} R & I \\ I & S \end{bmatrix} \geq 0, \quad (2.9)$$

где 0 и I соответственно нулевая и единичная матрицы соответствующей размерности, а матрицы N_R и N_S определяют базис нуль-пространств (ядро) соответственно $(B_2^T \ D_{12}^T)$ и $(C_2 \ B_{21})$.

Матрицы $A, B_1, B_2, C_1, C_2, D_{11}, D_{12}, D_{21}$ и D_{22} определяются (см. п. 2.1) стандартным объектом (2.3).

2.5. Задача робастной стабилизации

Более общим описанием неопределенности, которое позволяет как нулям, так и полюсам передаточной функции находиться в правой полуплоскости, является взаимно простое описание неопределенности [20]. Нормализованная левая взаимно простая факторизация [21] передаточной функции $G(s)$ модели объекта означает представление в виде $G(s) = M(s)^{-1}N(s)$, если матричные передаточные функции (факторы) $M(s)$ и $N(s)$ принадлежат множеству устойчивых действительных рациональных матричных передаточных функций и $M(s)M^*(s) + N(s)N^*(s) = I$ для всех s , находящихся на мнимой оси.

Задача робастного проектирования состоит в том, чтобы одним регулятором стабилизировать, т. е. обеспечить устойчивость замкнутой системы, не только номинальный объект $G(s)$, но и все семейство возмущенных объектов с ограниченными по H_∞ -норме возмущениями.

Множество возмущенных объектов с ограниченным по H_∞ -норме возмущениями $\Delta M(s)$ и $\Delta N(s)$ задается следующим образом:

$$\Omega_\varepsilon = \{(M + \Delta M)^{-1}(N + \Delta N) : \|[\Delta M, \Delta N]\|_\infty \leq \varepsilon\}.$$

Таким образом, задача робастной стабилизации состоит в том, чтобы найти регулятор K в обратной связи, который стабилизирует для заданного значения неопределенности ε все возмущенные объекты из множества возмущенных объектов Ω_ε .



Следовательно, задача состоит в нахождении максимальной неопределенности, определяемой значением ε_{\max} , при которой регулятор K обеспечит устойчивость замкнутой системы для всех возмущенных объектов. В рамках H_∞ -оптимизации данная задача формулируется следующим образом:

Найти стабилизирующий регулятор K такой, что

$$\left\| \begin{matrix} (I - GK)^{-1} M^{-1} \\ K(I - GK)^{-1} M^{-1} \end{matrix} \right\|_\infty \leq \gamma \leq \varepsilon^{-1}, \quad (2.10)$$

где K выбирается из множества регуляторов, стабилизирующих объект управления G .

В работе [21] показано, что для случая нормализованной левой взаимно простой факторизации модели объекта выполняется равенство H_∞ -норм двух передаточных функций, а именно:

$$\begin{aligned} & \left\| \begin{matrix} (I - GK)^{-1} M^{-1} \\ K(I - GK)^{-1} M^{-1} \end{matrix} \right\|_\infty = \\ & = \left\| \begin{matrix} (I - GK)^{-1} & (I - GK)^{-1} G \\ K(I - GK)^{-1} & K(I - GK)^{-1} G \end{matrix} \right\|_\infty. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Из равенства норм вытекает *принципиально важный вывод*: H_∞ -оптимальный регулятор, полученный при решении задачи робастной стабилизации (2.10), также является H_∞ -оптимальным при минимизации H_∞ -нормы передаточной функции замкнутой системы вида

$$T_{wz}(G, K) = \begin{bmatrix} (I - GK)^{-1} & (I - GK)^{-1} G \\ K(I - GK)^{-1} & K(I - GK)^{-1} G \end{bmatrix}. \quad (2.12)$$

Данное свойство используется в H_∞ -методе формирования контура, предложенном в работе [17].

2.6. H_∞ -метод формирования контура

Метод формирования контура позволяет достичь компромисса между качеством переходных процессов и робастной устойчивостью замкнутой системы.

Кратко поясним его основные идеи. Рассмотрим многомерную замкнутую систему управления с объектом G и регулятором $K = K_\infty$, изображенную на рис. 5. Пусть передаточные функции $W_1 = I_1$ и $W_2 = I_2$, где I_1 и I_2 — единичные матрицы соответствующих размерностей. Тогда на замкнутую систему действуют два внешних входа: d_1 на входе объекта G и d_2 на его выходе. Матричная передаточная функция замкнутой системы T_{wz} от вектора

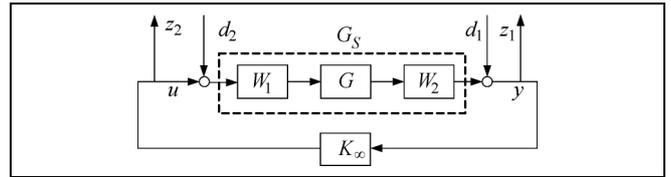


Рис. 5. Замкнутая система управления с формирующими функциями

внешних входов $w = [d_1, d_2]^T$ к вектору выходов $z = [z_1, z_2]^T$ имеет вид (2.12).

Рассмотрим матричную передаточную функцию T_{wz} . Малые значения максимальных сингулярных чисел передаточных функций $(I - GK)^{-1}$ и $(I - GK)^{-1} G$ обеспечивают требуемое качество функционирования замкнутой системы (подавление возмущений, уменьшение ошибки слежения). Для обеспечения робастности системы необходимо обеспечивать малые значения максимальных сингулярных чисел передаточных функций $K(I - GK)^{-1}$ и $GK(I - GK)^{-1} G$ (см. работу [17]). Как уже отмечалось, принципиальный момент H_∞ -метода формирования контура заключается в том, что максимальные сингулярные числа матричных передаточных функций замкнутой системы могут быть аппроксимированы в соответствующих частотных диапазонах максимальными или минимальными сингулярными числами соответствующих матричных передаточных функций разомкнутой системы и регулятора (см. рис. 2).

На низких частотах $\omega < \omega_L$, при которых $\underline{\sigma}(GK) \gg 1$ имеем следующие аппроксимации

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}((I - GK)^{-1}) &\approx 1/\underline{\sigma}(GK), \\ \bar{\sigma}((I - GK)^{-1} G) &\approx 1/\underline{\sigma}(K). \end{aligned} \quad (2.13)$$

Для случая высоких частот $\omega > \omega_U$, при которых $\bar{\sigma}(GK) \ll 1$, имеем аппроксимации вида

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}(K(I - GK)^{-1}) &\approx \bar{\sigma}(GK), \\ \bar{\sigma}(K(I - GK)^{-1} G) &\approx \bar{\sigma}(K). \end{aligned} \quad (2.14)$$

Обеспечение требований к качеству переходных процессов ($\underline{\sigma}(GK)$ и $\underline{\sigma}(K)$ большие) на низких частотах вступает в конфликт с требованием робастной устойчивости ($\bar{\sigma}(K)$ и $\bar{\sigma}(GK)$ малые) на высоких частотах. Компромисс достигается благодаря тому, что требования к качеству переходных процессов ($\underline{\sigma}(GK)$ и $\underline{\sigma}(K)$ большие) существенны на низких частотах, а требования робастной устой-

чивости ($\bar{\sigma}(K)$ и $\bar{\sigma}(GK)$ малые) важны на высоких частотах.

Далее рассмотрим замкнутую систему (см. рис. 5) при произвольных передаточных функциях W_1 и W_2 . Аппроксимации максимальных сингулярных чисел передаточных функций (2.13) и (2.14) будут соответственно иметь вид

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}((I - W_2GW_1K_\infty)^{-1}) &\approx 1/\underline{\sigma}(W_2GW_1K_\infty), \\ \bar{\sigma}((I - W_2GW_1K_\infty)^{-1}W_2GW_1) &\approx 1/\underline{\sigma}(K_\infty), \\ \bar{\sigma}(K_\infty(I - W_2GW_1K_\infty)^{-1}) &\approx \bar{\sigma}(W_2GW_1K_\infty), \\ \bar{\sigma}(K_\infty(I - W_2GW_1K_\infty)^{-1}W_2GW_1) &\approx \bar{\sigma}(K_\infty). \quad (2.15)\end{aligned}$$

Таким образом, требования к максимальным сингулярным числам замкнутой системы могут быть сформулированы в терминах сингулярных чисел разомкнутой системы.

В соответствии с этим методом разработчик формирует новый обобщенный объект с префильтром $W_1(s)$ и постфильтром $W_2(s)$, как показано на рис. 5. Это позволяет задать желаемое поведение сингулярных чисел разомкнутой системы в соответствии с основными требованиями формирования разомкнутой системы (высокий коэффициент усиления на низких частотах, малый коэффициент усиления на высоких частотах и плавный переход в области частоты среза контура). Требования к сингулярным числам разомкнутой системы задаются в виде минимальных и максимальных сингулярных чисел обобщенного объекта на всем диапазоне частот. Таким образом, графики сингулярных чисел обобщенного объекта задают желаемую форму разомкнутой системы.

Заданная желаемая форма контура достигается, если H_∞ -норма матрицы передаточных функций замкнутой системы от внешних входов d_1 и d_2 к выходам z_1 и z_2 минимизируется по всем стабилизирующим регуляторам K_∞ так, чтобы получить минимальное значение γ :

$$\begin{aligned}\gamma &= \left\| T \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} \right\|_\infty = \\ &= \left\| \begin{array}{cc} (I - G_s K_\infty)^{-1} & (I - G_s K_\infty)^{-1} G_s \\ K_\infty (I - G_s K_\infty)^{-1} & K_\infty (I - G_s K_\infty)^{-1} G_s \end{array} \right\|_\infty \geq \gamma_{\text{opt}},\end{aligned}$$

где $G_s = W_2GW_1$ — обобщенный («взвешенный») объект, K_∞ — регулятор. Величина, обратная γ , называемая запасом робастной устойчивости ε , принимает значения между 0 и 1. Чем больше ε , тем больше запас робастной устойчивости. В работе

[17] показано, что величина ε_{max} также является индикатором совместимости требований к замкнутой системе.

Если значение ε_{max} мало, то это значит, что требование к качеству переходных процессов и требование робастной устойчивости не могут выполняться одновременно. В этом случае разработчик должен выбрать новые префильтр $W_1(s)$ и постфильтр $W_2(s)$ для задания новой формы обобщенного объекта.

Процедура формирования контура состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Формирование контура. Выбираются префильтр $W_1(s)$ и (или) постфильтр $W_2(s)$ номинального объекта G для формирования требований к сингулярным значениям желаемой разомкнутой системы. Новый обобщенный («формирующий») объект представляется в виде $G_s = W_2GW_1$. Предполагается, что W_1 и W_2 такие, что G_s не содержит скрытых неустойчивых мод.

Шаг 2. Оценка совместимости требований к формированию контура. Решается задача робастной стабилизации для объекта G_s и вычисляется максимальный запас робастной устойчивости ε_{max} . Для этого минимизируется H_∞ -норма передаточной функции замкнутой системы T_{wz} по всем стабилизирующим регуляторам K_∞ для получения оптимального значения γ_{opt} в виде

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{opt}} &= \varepsilon_{\text{max}}^{-1} = \\ &= \left\| \begin{array}{cc} (I - G_s K_\infty)^{-1} & (I - G_s K_\infty)^{-1} G_s \\ K_\infty (I - G_s K_\infty)^{-1} & K_\infty (I - G_s K_\infty)^{-1} G_s \end{array} \right\|_\infty.\end{aligned}$$

Далее:

— если $\varepsilon_{\text{max}} \ll 1$ (обычно $\varepsilon_{\text{max}} < 0,25$), то возвращаемся к шагу 1 и выбираем новые $W_1(s)$ и $W_2(s)$;

— иначе выбираем $\varepsilon \leq \varepsilon_{\text{max}}$; при выбранном ε синтезируем регулятор K_∞ , который робастно стабилизирует объект G_s с областью робастной устойчивости ε , применяя подход, описанный в работе [21].

Шаг 3. Синтез искомого регулятора. Окончательный регулятор K представляется комбинацией регулятора K_∞ с префильтром $W_1(s)$ и постфильтром $W_2(s)$ в виде $K = W_1K_\infty W_2$.

Теоретический базис H_∞ -метода формирования контура состоит в том, что регулятор K_∞ не модифицирует желаемую форму контура существенным образом на низких и высоких частотах, если достигнутое значение ε_{max} слишком мало [24].



Решающую роль в синтезе играет процедура нахождения формирующих функций (префильтра $W_1(s)$ и постфильтра $W_2(s)$). Обобщенный объект $G_s = W_2GW_1$ задает желаемое поведение сингулярных чисел (требуемое разработчиком) разомкнутой системы во всем диапазоне частот. Значение γ_{opt} характеризует меру близости (точность приближения) между сингулярным числом желаемой разомкнутой системы $G_s = W_2GW_1$ (в виде обобщенного объекта) и полученной в результате синтеза K_∞ регулятора передаточной функции разомкнутой системы $L = W_2GW_1K_\infty$. Соотношение между ними имеет вид

$$\sigma(G_sK_\infty) = \sigma(W_2GW_1K_\infty) = \sigma(W_2GW_1) \pm \gamma_{\text{opt}} \text{ (дБ)}.$$

Таким образом, на графиках соответствующие сингулярные значения синтезированной разомкнутой системы находятся в некоторой трубке диаметром $2\gamma_{\text{opt}}$ относительно соответствующих сингулярных значений желаемого обобщенного объекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой части статьи приведены основные теоретические сведения по синтезу робастного H_∞ -регулятора с применением H_∞ -метода формирования контура и метода расположения полюсов замкнутой системы в заданной выпуклой области на комплексной плоскости. Оба метода основаны на аппарате линейных матричных неравенств. Во второй части будет приведена постановка и предложен алгоритм решения задачи синтеза регулятора для подавления возмущений в энергетической системе в аварийном режиме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочкин В.И., Нечаев О.П. Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000.
2. FACTS: Modelling and Simulation in Power Networks / Tacha E., et al. — N.-Y.: John Wiley and Sons, 2004.
3. Flexible AC Transmission Systems (FACTS) / Ed. Yong Hua Song and Allan T. Johns. — London, IEE, 1999.
4. Hingorani N.G., Gyugyi L. Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems. — N.-Y.: IEEE Press, 2000.
5. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. — М.: Наука, 1972.

6. Chilali M., and Gahinet P. H_∞ Design with Pole Placement Constraints: An LMI Approach // IEEE Trans. AC. — 1996. — Vol. 41, N 3. — P. 358–367.
7. Chilali M., Gahinet P., Apkarian P. Robust Pole Placement in LMI Regions // IEEE Trans. AC. — 1999. — Vol. 44, N 12. — P. 2257–2270.
8. Linear Matrix Inequalities in Systems and Control Theory / Boyd, S., et al. — Philadelphia: SIAM books, 1994.
9. Баландин Д.В., Коган М.М. Синтез законов управления на основе линейных матричных неравенств. — М.: Физматлит, 2007.
10. Scherer C., Gahinet P., Chilali M. Multiobjective Output-Feedback Control via LMI Optimization // IEEE Trans. AC. — 1997. — Vol. 42, N 7. — P. 896–911.
11. Zames G. Feedback and optimal sensitivity: model reference transformations, multiplicative seminorms, and approximate inverses // IEEE Trans. AC. — 1981. — Vol. AC-26, N 2. — P. 301–320.
12. Francis B.A., A Course in H_∞ Control Theory, Lecture Notes in Control and Information Sciences. — N.-Y.: Springer-Verlag, 1987.
13. Essays on Control: Perspectives in the Theory and its Applications. Progress in System and Control Theory / Ed. H.L. Trentelman, J.C. Willems. — Birkhauser, 1993. — Vol. 14.
14. Postlethwait L, Tsai M., Gu D. Weighting function selecting in H_∞ design // 11th IFAC World congress, Tallinn, Estonia, August 13–17. — 1990. — Vol. 5. — P. 104–109.
15. Gjerrit Meinsma. H_∞ control with Unstable and Nonproper Weights // Proc/ of 3rd European Control Conference, Roma, Italy, September 1995.
16. Doyle J.C., Stein G., Multivariable Feedback Design: Concepts for a Classical / Modern Synthesis // IEEE Trans. AC. — 1981. — Vol. AC-26, N 1. — P. 4–16
17. McFarlane and Glover K. A Loop Shaping Design Procedure Using H_∞ Synthesis // IEEE Trans. AC. — 37(6). — P. 759–769.
18. Papageorgiou G. Robust Control System Design: H_∞ Loop Shaping and Aerospace Applications // PhD thesis, University of Cambridge, Department of Engineering, July 1998.
19. Skogestad S. and Postlethwaite I. Multivariable Feedback Control. — London: John Wiley and Sons, 2001.
20. Vidyasagar M. Control System Synthesis: A Coprime Factorization Approach. — USA, Cambridge: MIT Press, 1985.
21. McFarlane D.C. and Glover K. Robust Controller Design Using Normalized Coprime Factorization Description. — N.-Y.: Springer-Verlag, 1990.
22. Bikash Pal, Balarko Chaudhuri, Robust Control in Power Systems. — N.-Y.: Springer Science + Business Media, Inc., 2005. — P. 140–150.
23. State-space solutions to standard H_2 and H_∞ control problems / J.C. Doyle et al. // IEEE Trans. AC. — Vol. 34, N 8. — 1989. — P. 831–847.
24. Zhou K., Doyle J.C., Glover K. Robust and Optimal Control. — New Jersey: Prentice-Hall, 1996.

Статья представлена к публикации членом редколлегии С.Д. Земляковым.

Курдюков Александр Петрович — д-р техн. наук, зав. лабораторией, ☎ (495) 334-92-61, e-mail: akurd@ipu.ru,

Тимин Виктор Николаевич — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, ☎ (495) 334-92-41, e-mail: timin.victor@rambler.ru,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова, г. Москва.

АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ С ПЕРЕХОДОМ В ПРОСТРАНСТВО ПАРАМЕТРОВ

С.С. Гусев, В.М. Чадеев

Рассмотрен алгоритм идентификации статического объекта в случае, когда ошибка измерения выхода объекта приводит к выходу оценок параметров за допустимую область с некоторой вероятностью p , и в случае больших ошибок, когда эта вероятность равна нулю. Дан анализ связи ошибок измерения и вероятного распределения ошибки определения параметров.

Ключевые слова: идентификация, ограничения, статический объект, оценки параметров, ошибка измерения выхода.

ВВЕДЕНИЕ

Качество идентификации объекта управления в большой степени определяет и качество управления сложным объектом. Значительную роль играет учет априорной информации о структуре и параметрах объекта. В статье исследуется работа специального алгоритма идентификации, учитывающего априорную информацию о параметрах объекта и требующего большого объема вычислительных ресурсов. Однако в наше время такие объемы вполне доступны большинству пользователей. Исследуется работа алгоритма при наличии ошибки измерения выхода. Анализируется связь точности идентификации и ошибки измерения.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим алгоритм идентификации, учитывающий априорную информацию о параметрах объекта. Будем рассматривать объект вида

$$y = xh^T, \quad (1)$$

где y — скалярный выход объекта, x — вектор-строка входных переменных размерности n , h — вектор-строка неизвестных параметров объекта тоже размерности n . Дополнительно об объекте (1) известно, что параметры h принадлежат априорно известной области H , т. е.

$$h \in H. \quad (2)$$

Задача состоит в том, чтобы по экспериментальным данным, заданным в виде матрицы

$$A = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} & y_1 \\ 2 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} & y_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ i & x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{in} & y_i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ s & x_{s1} & x_{s2} & \dots & x_{sn} & y_s \end{pmatrix} \quad (3)$$

определить оценки параметров h с учетом условия (2).

2. АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Из матрицы исходных экспериментальных данных (3) выделим матрицу входов размером $n \times s$

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{s1} & x_{s2} & \dots & x_{sn} \end{pmatrix}$$

и матрицу выхода $Y^T = (y_1, y_2, \dots, y_s)$ размером $1 \times s$.

Предполагается, что строки матрицы X линейно независимы. Если в исходных данных есть линейно зависимые строки, то их необходимо удалить до применения алгоритма, сократив число данных. Это условие означает, что определитель матрицы, составленный из любых n строк матрицы X , не равен нулю.



Алгоритм идентификации, подробно описанный в работе [1], состоит в следующем. Из матрицы исходных данных (3) выбираются блоки из произвольных n строк (по размерности объекта). Для каждого блока составляется своя система уравнений. Соответствующая первому из таких блоков система уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned} k_1 x_{11} + k_2 x_{12} + \dots + k_n x_{1n} &= y_1 \\ k_1 x_{21} + k_2 x_{22} + \dots + k_n x_{2n} &= y_2 \\ &\dots \\ k_1 x_{n1} + k_2 x_{n2} + \dots + k_n x_{nn} &= y_n \end{aligned}$$

где k — оценки параметров объекта h , или в матричном виде $Xk^T = Y$.

Умножая левую и правую части этого равенства слева на X^T , получим систему нормальных уравнений

$$X^T X k^T = X^T Y, \tag{4}$$

из которой методом наименьших квадратов вычисляются оценки параметров объекта (1).

Из матрицы (3) можно получить C_s^n таких n -мерных блоков, для каждого из которых строится свой вектор оценок параметров объекта (1). Все эти оценки параметров собраны в матрицу B , содержащую C_s^n строк и $2n$ столбцов и имеющую вид

$$B = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} & k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} & k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots \\ a_{L1} & a_{L2} & \dots & a_{Ln} & k_{L1} & k_{L2} & \dots & k_{Ln} \end{pmatrix}, \tag{5}$$

где $L = C_s^n$.

В любой строке матрицы B в первых n позициях перечислены номера строк a_{ij} матрицы A (i — номер строки матрицы B , $i = 1, 2, \dots, L$), j — номер строки матрицы A , $j = 1, 2, \dots, s$), использованных для вычисления n оценок k_{ij} , вычисленных по этим строкам и расположенных в матрице (5) на последних n позициях. Априорное условие (2) учитывается путем вычеркивания из матрицы (5) всех строк, в которых оценки k не удовлетворяют условию $k_i \in H$, где $k_i = (k_{i1}, k_{i2}, \dots, k_{in})$, $i = 1, 2, \dots, L$.

В результате вычеркивания получается матрица

$$B_0 = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} & k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} & k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots \\ a_{N1} & a_{N2} & \dots & a_{Nn} & k_{N1} & k_{N2} & \dots & k_{Nn} \end{pmatrix}, k_i \in H,$$

где $N \leq L$.

Введем вектор $w^T = (w(1), w(2), \dots, w(s))$, размерности s , где $w(j)$ — частота использования j -й строки матрицы A в матрице B_0 .

Введем матрицу F , отличающуюся от матрицы A тем, что в нее добавлен вектор-столбец w

$$F = \begin{pmatrix} w(1) & 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} & y_1 \\ w(2) & 2 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} & y_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w(s) & s & x_{s1} & x_{s2} & \dots & x_{sn} & y_s \end{pmatrix}.$$

Последний шаг алгоритма состоит в том, что строки матрицы F сортируются по первому столбцу так, чтобы значения $w(j)$ возрастали снизу вверх. Обозначим полученную таким образом матрицу через F_0 .

Оператор, реализующий описанный алгоритм, обозначим через Ψ . Он преобразует матрицу исходных данных A в матрицу данных, отсортированную по частоте использования строк в матрице B_0 , учитывающей априорные условия $k_i \in H$. Это можно записать как $F_0 = \Psi\{A\}$, $k_i \in H$.

Рассмотрим некоторые свойства оператора Ψ , позволяющие существенно повысить точность идентификации.

3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Докажем, что оператор Ψ преобразует матрицу исходных данных (3) таким образом, что данные с большими ошибками измерения с большой вероятностью оказываются внизу блока данных. Это позволяет отбросить часть данных с большими ошибками и использовать для идентификации только отфильтрованные данные.

Предположим, что входные переменные x измеряются без ошибок, а выход y — с ошибкой ε . Рассмотрим несколько основных случаев.

3.1. Большие ошибки

Предварительно введем некоторые определения.

Будем называть ошибку измерения конкретного выхода y_i большой, если при использовании этого выхода в любом n -мерном блоке оценки $k \notin H$.

Теорема 1. Если в матрице исходных данных (3) точно в t произвольных строках выход y измеряется с большой ошибкой, а в остальных без ошибки, и выполняется условие $s > n + t$, то в результате применения оператора Ψ все строки с ошибкой окажутся внизу матрицы F_0 , по верхним $s - t - n$ строкам этой матрицы могут быть получены точные оценки параметров объекта (1). ♦

Доказательство.

Заметим, что из общего числа C_s^n строк матрицы (5) только C_{s-m}^n строк не будут содержать ошибочных выходов. Только эти строки войдут в матрицу B_0 . Каждая строка в этой матрице будет встречаться C_{s-m-1}^{n-1} раз. Строки с ошибками (по определению большой ошибки) в матрицу B_0 не войдут и, следовательно, значение w для этих строк будет равно нулю. Поскольку оператор Ψ сортирует строки по частоте w , то это и доказывает утверждение. ♦

3.2. Общий случай

Рассмотрим теперь случай, когда ошибка измерения выхода y приводит к выходу оценок за область H только с некоторой вероятностью p для всех n -мерных блоков, в который вошел этот выход y . Ранее, при больших ошибках, эта вероятность была равна единице.

Пусть среди всех s строк матрицы исходных данных (3) только два произвольных измерения выхода сделаны с ошибкой. Для краткости будем называть n -мерный блок, не содержащий строки с ошибочными измерениями, чистым, а содержащий — ошибочным. Ссылки на n -мерный блок и однозначно ему соответствующую строку в матрице B будем использовать одновременно.

Теорема 2. Если среди исходных данных (3) есть только два измерения выхода y_i и y_j , сделанных с ошибками, которые приводят к выходу оценок за область H с вероятностью p_i и p_j (для определенности $p_i > p_j$) соответственно, то в результате применения оператора Ψ в среднем будут выполняться неравенства $w(k) > w(j) > w(i)$, $k \neq i$, $k \neq j$. ♦

Доказательство приведено в работе [2].

Подчеркнем, что последовательность строк, задаваемая условиями теоремы 2, выполняется только в среднем, а не в каждом конкретном случае.

3.3. Редкие ошибки

Если в объекте типа (1) входные x и выходные y переменные редко измеряются с ошибками, то рассмотренный алгоритм идентификации при соблюдении некоторых условий дает возможность по экспериментальным данным (3) точно определить неизвестные параметры h .

Теорема 3. Если матрица исходных данных A содержит точно t переменных (входных или выходных), измеренных с ошибкой, то параметры объекта (1) могут быть определены точно при условии $s > n + t + l$, где $l \geq 1$. ♦

Доказательство. В наихудшем случае все t ошибок будут распределены по разным строкам матрицы исходных данных (3). Соответственно ос-

тавшиеся, по крайней мере, $(n + l)$ строк не будут содержать ошибок. Следовательно, построенные по этим строкам оценки будут точными. В каких именно строках не было ошибок, заранее не известно. Но матрица (5) будет содержать C_{n+l}^n строк, в которых векторы оценок k будут совпадать. Совпадающие оценки и будут точными параметрами объекта. ♦

4. СВЯЗЬ ОШИБКИ И ВЕРОЯТНОСТЕЙ

При реализации описанного алгоритма промежуточные оценки вычисляются по методу наименьших квадратов с помощью формулы Крамера $k_i = |U_i|/|U|$, $i = 1, 2, \dots, n$, где $|U| = |X^T X|$ — определитель системы нормальных уравнений (4), $|U_i|$ — определитель, который получается из определителя матрицы U заменой i -го столбца столбцом свободных членов системы нормальных уравнений (4).

При наличии ошибок измерения выхода оценки можно представить в виде [3] $k_j = |U_j|/|U| = h_j + |U_\varepsilon|/|U|$, где U_ε — матрица, содержащая ошибку ε в j -м столбце, или

$$k_j = h_j + \varepsilon |B_{ij}|/|U|, \quad (6)$$

где $|B_{ij}|$ — минор матриц U_j , не содержащий ошибок измерения выхода.

Ошибка оценки параметров $\Delta h_j = h_j - k_j$ и ошибка измерения выхода ε связаны, как следует из формулы (6), следующим образом:

$$\Delta h = -\varepsilon |B_{ij}|/|U|.$$

Вероятностное распределение ошибки определения параметра Δh будет таким же, как и распределение ошибки ε измерения выхода с точностью до не зависящего от помехи коэффициента $|B_{ij}|/|U|$.

Если $f(\varepsilon)$ — плотность вероятности распределения центрированной ошибки измерения выхода ($M\{\varepsilon\} = 0$), то среднее значение ошибки определения параметра объекта будет определяться формулой

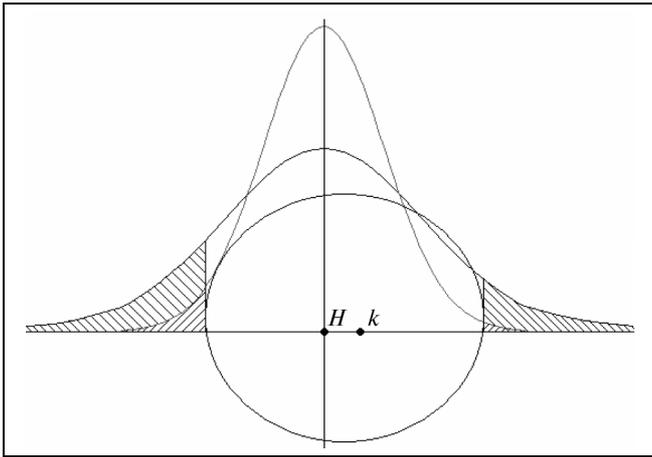
$$M\{\Delta h\} = - \int_{\varepsilon \in Q} f(\varepsilon) \varepsilon \frac{|B_{ij}|}{|U|} d\varepsilon$$

и, очевидно, равно нулю.

Дисперсия ошибки определения параметра

$$D\{\Delta h\} = - \int_{\varepsilon \in Q} f(\varepsilon) \varepsilon^2 \frac{|B_{ij}|^2}{|U|^2} d\varepsilon.$$

Рассмотрим случай, когда априорно известная область существования параметров H представляет собой параллелепипед с ребрами, параллельными осям координат в пространстве параметров. Ошиб-



Распределение ошибки оценки

ка измерения выхода имеет центрированное нормальное распределение $N(0, \sigma)$. Для оценок параметров используются блоки по n произвольных строк исходных данных, в которых только один выход измеряется с ошибкой. Рассмотрим два блока данных, отличающихся тем и только тем, что в одном случае ошибка измерения выхода имеет распределение $N(0, \sigma_1)$, а в другом $N(0, \sigma_2)$. Для определенности $\sigma_1 > \sigma_2$. Тогда имеет место следующее утверждение.

При прочих равных условиях, вероятность p_1 выхода оценки k_j за границы области H в первом случае будет больше вероятности p_2 выхода оценки k_j за границы области H во втором. Доказательство непосредственно следует из рисунка.

Дисперсии ошибки измерения выхода ε и ошибки оценки Δh параметров связаны (в соответствии с формулой (6)) коэффициентом $a = -|B_{ij}|/|U|$, т. е. дисперсии оценок σ_{1h} и σ_{2h} вычисляются через дисперсии ошибки измерения выхода по формулам $\sigma_{1h} = a\sigma_1$ и $\sigma_{2h} = a\sigma_2$.

Плотность вероятности ошибки определения параметров при ошибке измерения выхода с параметрами $N(0, \sigma_1)$ и $N(0, \sigma_2)$ и определяется формулами

$$f_1(k_1) = \frac{1}{\sigma_{1h}\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(h-k_1)^2}{2\sigma_{1h}^2}},$$

$$f_2(k_2) = \frac{1}{\sigma_{2h}\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(h-k_2)^2}{2\sigma_{2h}^2}}.$$

Поскольку априорная область существования оценок в обоих случаях одна и та же, $h_{\min} < h_i < h_{\max}$,

то для вычисления вероятностей необходимо выполнять интегрирование тоже в одинаковых пределах.

Вероятности выхода оценок за область H задаются формулами

$$p_1 = 1 - \int_{h_{\min}}^{h_{\max}} f_1(k_1) dh,$$

$$p_2 = 1 - \int_{h_{\min}}^{h_{\max}} f_2(k_2) dh.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрен алгоритм идентификации статического объекта, учитывающий априорную информацию о его параметрах. Алгоритм преобразует блок исходных данных в множество блоков меньшей размерности. Для каждого из этих блоков вычисляются оценки параметров объекта и запоминаются номера строк, использованных для вычисления этих оценок. Оператор, реализующий описанный алгоритм, преобразует матрицу исходных данных в специальную матрицу, учитывающую частоту попадания оценок в область H . Рассмотрен объект, в котором входные переменные измерялись без ошибки, а выходные — с ошибкой.

Дан анализ связи ошибки измерения выхода с вероятностью выхода оценок параметров за априорно известную область существования параметров объекта. Найдены условия, при которых возможна точная идентификация объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чадеев В.М., Илюшин В.Б. Метод идентификации, учитывающий априорную информацию о параметрах объекта // Тр. V междунар. конф. «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'06. Москва, 30 января — 2 февраля 2006 г. / ИПУ РАН. — М. — 2006. — С. 1091—1105.
2. Чадеев В.М., Гусев С.С. Идентификация с ограничениями. Определение оценок параметров статического объекта // Тр. VII междунар. конф. «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'08. Москва, 28 — 31 января 2008 г. / ИПУ РАН. — М. — 2006. — С. 261—269.
3. Райбман Н.С., Чадеев В.М. Построение моделей процессов производства. — М.: Энергия, 1975.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Ф.Ф. Пашенко.

Чадеев Валентин Маркович — д-р техн. наук, ведущий науч. сотрудник, e-mail: chavama@yandex.ru,

Гусев Сергей Сергеевич — аспирант, e-mail: gs-serg@mail.ru,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, ☎ (495) 334-87-59.

АДАПТИВНОЕ ГАРАНТИРОВАННОЕ ОЦЕНИВАНИЕ С УЧЕТОМ ИНФОРМАЦИИ ПО МНОЖЕСТВУ «РОДСТВЕННЫХ» ОБЪЕКТОВ

К.Е. Афанасьева, В.И. Ширяев

Предложены алгоритмы оценивания состояния объекта с использованием информации о «родственных» объектах при наличии действующих на объект возмущений и помех (ошибок) в измерениях при неполных и неточных измерениях вектора объекта. Информация о возмущениях и ошибках измерений известна с точностью до некоторых заданных множеств. В случае изменения траектории движения объекта предложено использовать информацию о группе аналогичных объектов с целью определения модели дальнейшего движения рассматриваемого объекта.

Ключевые слова: адаптивное гарантированное оценивание, информационное множество, «родственные» объекты, разладка.

ВВЕДЕНИЕ

Во многих прикладных задачах движение объекта по одной траектории сменяется движением по другой траектории из рассматриваемого множества типов траекторий. В задачах навигации и сопровождения летательных аппаратов [1–3] изменение типа траектории может классифицироваться как «маневр». В терминах социально-экономических объектов изменение внешних или внутренних условий может повлечь за собой изменение развития объекта, которое проявится в виде изменения типа траектории объекта. Когда имеется множество аналогичных объектов, движение которых происходит сходным образом, представляется возможным в момент изменения характера движения объекта (разладки) выделить объект (объекты), траектория движения которого близка к рассматриваемой. Далее определить модели, опираясь на известную траекторию движения схожего («родственного») объекта. Оценка дальнейшего состояния объекта вычисляется как взвешенная оценка на основе параллельной работы фильтров, соответствующих одной из моделей «родственников» на основе применения, например, калмановской фильтрации [4, 5].

В данной работе оценка состояния объекта вычисляется также на основе параллельной работы фильтров, но в предположении либо отсутствия информации о законах распределения ошибок в

измерениях и возмущениях, действующих на объект, либо при условии, что ошибки не подчиняются аксиоматике вероятностного подхода [6, 7]. Применяется гарантированный подход с использованием минимаксных фильтров [8, 9], где оценка состояния объекта вычисляется как пересечение множеств, полученных от нескольких фильтров. Работа продолжает исследования [4] и развивает подход [8 – 10].

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассматривается объект, описываемый уравнениями вида

$$x_{k+1} = A_k x_k + c_k + w_k; \quad y_{k+1} = G x_{k+1} + v_{k+1}, \\ k = 0, 1, \dots, n-1. \quad (1)$$

Информация о векторах w_k , v_{k+1} и x_0 ограничивается заданием включений

$$x_0 \in X_0, \quad w_k \in W, \quad v_{k+1} \in V, \quad (2)$$

где V , W и X_0 — известные выпуклые компакты. Матрица A_k считается неизвестной, c_k — неизвестная функция, матрица G известна.

Существует множество других аналогичных объектов $I = \{1, 2, \dots, m\}$, описываемых известными уравнениями движения и измерений

$$x_{ik+1} = A_{ik} x_{ik} + c_{ik} + w_{ik}, \quad y_{ik+1} = G x_{ik+1} + v_{ik+1}, \\ k = 0, 1, \dots, n-1, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (3)$$



Векторы

$$x_{j0} \in X_0, \quad w_{ik} \in W_i, \quad v_{ik+1} \in V_i, \quad (4)$$

где V_i и W_i — известные выпуклые компакты.

Необходимо из множества I выбрать объект (группу объектов), наиболее похожий на объект, описываемый системой (1), (2); такие объекты будем называть «родственными». Схожесть объектов или «родственность» в момент времени p устанавливается согласно следующему критерию:

$$J_i = \sum_{j=p-\Delta}^p (y_j - y_{ij-\tau^i})^T Q_j (y_j - y_{ij-\tau^i}) \rightarrow \min_{\tau^i, i \in I}, \quad (5)$$

где $I = \{1, 2, \dots, m\}$ — множество аналогичных объектов, τ^i — сдвиг по оси времени для наложения траектории i -го объекта на траекторию объекта, для которого ищутся «родственники», Δ — временной интервал минимизации, т. е. наилучшего совпадения траекторий (задается изначально), $y_{ij-\tau^i}$ —

вектор измерений в момент времени $j - \tau^i$ для i -го аналогичного объекта, y_j — вектор измерений интересующего объекта в момент времени j , Q_j — известные положительно определенные и симметричные матрицы. Полагается, что на момент времени p известна информация для $\forall i \in I$ о векторе y_{ij} как минимум для всех $j = \overline{1, p}$. При поиске сдвига τ^i перебор ведется для всех моментов времени от 1 до $p - \Delta$, т. е. $\tau^i \in [1, p - \Delta]$. Очевидно, что для определения «родственников» должна быть накоплена некоторая информация о них, т. е. как минимум должно выполняться неравенство $p > \Delta$.

Первый «родственный» объект определяется согласно критерию

$$J^* = \min_{i \in I} J_i, \quad (6)$$

где индекс i^* , соответствующий значению J^* , есть индекс объекта, являющегося первым «родственником», и τ^{i^*} — сдвиг траектории первого «родственника». Для определения второго «родственного» объекта и его сдвига положим $I = I \setminus \{i^*\}$ и вновь применив критерий (6) к множеству объектов, из которого исключен номер объекта первого «родственника», получим минимальное значение критерия (5) и соответственно индекс для второго «родственника» и т. д. Условие остановки определения «родственников» может быть записано в виде $J^* > \varepsilon$, где ε — заданная скалярная величина.

Если $J^* > \varepsilon$ для первого значения J^* , то следует: а) либо увеличить значение ε ; б) либо «пропустить» этот момент времени, т. е. не вычислять оценку вектора состояния объекта, и вновь повторить процедуру поиска «родственных» объектов на

следующем шаге. Если же действия а) и б) не приводят к желаемому результату, то «родственники» отсутствуют и необходимо либо пополнять множество объектов, среди которых производится поиск «родственников», либо воспользоваться другими способами оценивания.

Определив q ($q < m$) «родственных» объектов, получим соответственно q моделей вида (3), (4). Полагаем, что истинная модель движения объекта (1), (2) совпадает с одной из q моделей движения (2) «родственных» объектов.

2. АДАПТИВНОЕ ГАРАНТИРОВАННОЕ ОЦЕНИВАНИЕ

Для вычисления оценки вектора состояния объекта (1), (2) работают параллельно q фильтров, для которых уравнение движения и измерений имеют вид (3), (4), где в качестве измерений y_{ik+1} используются значения y_{k+1} . Применяя минимаксный подход [8—10], можно получить оценку вектора состояния объекта согласно алгоритму адаптивного оценивания.

Предположим, известна одна модель вида (3), т. е. $i = 1$, совпадающая с моделью (1), тогда для нахождения информационного множества на $k + 1$ -м шаге используются известные уравнения минимаксного фильтра [8—10]

$$X_{1k+1} = X_{1k+1/k} \cap X[y_{k+1}], \quad k = 0, 1, \dots, \quad (7)$$

где X_{k+1} — информационное множество и $x_{k+1} \in X_{k+1}$,

$$X_{1k+1/k} = A_{1k} X_{1k} + c_{1k} + W_1 \quad (8)$$

— априорное множество прогнозов,

$$X[y_{k+1}] = \{x | Gx + v = y_{k+1}, v \in V\} \quad (9)$$

— множество, совместимое с результатами измерения.

Допустим, что в результате работы алгоритма минимаксного фильтра (7) в момент времени $k + 1 = k^*$ имеем $X_{1k^*} = \emptyset$, что можно классифицировать как разладку или, другими словами, модель перестала корректно описывать движение объекта и требуется корректировка параметров модели. Пусть теперь к моменту времени k^* имеется множество I моделей вида (3), каждой из которых может принадлежать движение объекта.

Для определения q моделей вида (3) привлекается информация о развитии схожих на данном этапе объектов путем выбора q «родственных» объектов из множества I по критериям (5) и (6). Далее с момента времени k^* создается банк из q минимаксных фильтров вида (7) — (9). Информационное множество, которому должна принадлежать оценка вектора состояния объекта на $k^* + 1$ -м и

последующих шагах, вычисляется согласно выражениям:

$$\begin{aligned}
 X_{ik+1} &= X_{ik+1/k} \cap X[y_{k+1}], \\
 k &= k^* + 1, \dots, \quad i = 1, \dots, q, \\
 X[y_{k+1}] &= \{x | Gx + v = y_{k+1}, v \in V\} \\
 X_{ik+1/k} &= A_{ik}X_{1k} + c_{ik} + W_i. \quad (10)
 \end{aligned}$$

Здесь $X_{ik+1/k}$ — априорное множество прогнозов i -й модели, $X[y_{k+1}]$ — множество, совместимое с результатами измерений. Обозначим через $L_{k+1} = \{1, 2, \dots, q\}$ множество моделей вида (3) на шаге $k+1$. Если при $l_1 \in L_{k+1}$ $X_{l_1 k+1} = \emptyset$, тогда $L_{k+1} = L_{k+1} \setminus \{l_1\}$. Если при $l_1, l_2 \in L_{k+1}$ $X_{l_1 k+1} = \emptyset$ и $X_{l_2 k+1} = \emptyset$, то $L_{k+1} = L_{k+1} \setminus \{l_1, l_2\}$ и т. д. Тогда результирующее информационное множество получим как пересечение

$$X_{k+1} = \bigcap_{i \in L_{k+1}} X_{ik+1}. \quad (11)$$

Таким образом, множества X_{k+1} для всех $k+1 \geq 1$ удовлетворяют рекуррентным соотношениям (10) и (11). Например, для $q=1$ X_{k+1} совпадает с оценкой информационного множества для минимаксного фильтра [9]. В двумерном случае, для $q=2$, может быть приведена следующая иллюстрация (рис. 1).

В случае, если в результате выполнения операции пересечения (11) $X_{k+1} = \emptyset$ или операции (10)

$X_{ik+1} = \emptyset$ для $\forall i = \overline{1, q}$, то делается вывод о разладке (рис. 2, а). Для определения новых q моделей вида (3) вновь привлекается информация о развитии схожих на данном этапе объектов путем выбора «родственных» объектов по критериям (5) и (6).

Если в результате операции пересечения (10) $X_{ik+1} = \emptyset$ для $i = i_1, \dots, i_p$, где $l < q$ (рис. 2, б), то

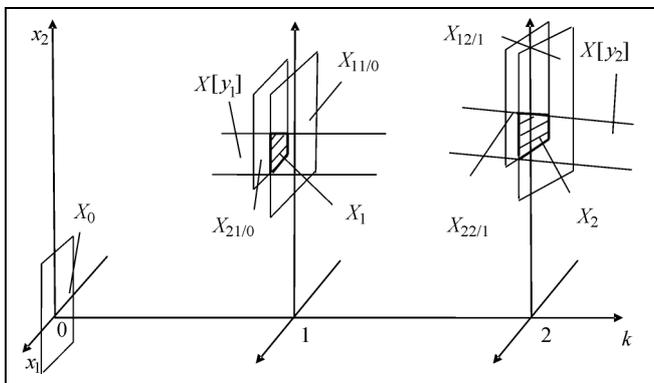


Рис. 1. Операция (11) для $q=2$ (двумерный случай)

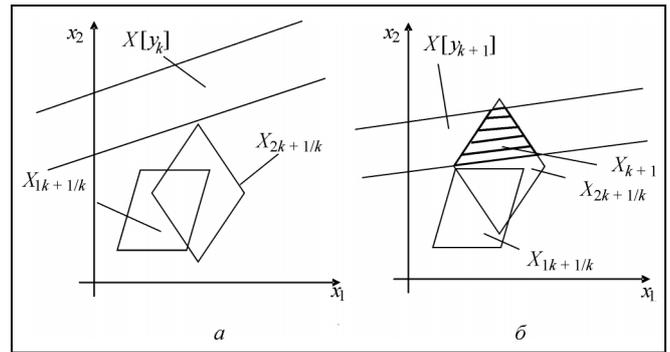


Рис. 2. Пример:

а — разладки $X_{ik+1} = \emptyset, i = 1, 2$; б — возникновение на шаге $k+1$ пустого пересечения по одной модели $X_{l_1 k+1} = \emptyset$

каждая из l -х моделей заменяется на новую модель вида (3), путем определения l новых «родственников». Если не удастся найти все l новых «родственников» или часть из них, то число моделей уменьшается, вплоть до $q=1$.

Последовательность действий алгоритма адаптивного оценивания состоит в следующем.

Шаг 1. Вычислить информационное множество в соответствии с уравнениями (7)–(9). Если $X_{l_1 k+1} = \emptyset$, то переход к шагу 2. Если $X_{l_1 k+1} = \emptyset$, то положить $k = k+1$ и повторить шаг 1.

Шаг 2. Определить «родственные» объекты согласно критериям (5) и (6), взять их модели вида (3) для дальнейшей оценки вектора состояния объекта. Переход к шагу 3.

Шаг 3. Вычислить X_{ik+1} в соответствии с операцией (10). Если для $\forall i = \overline{1, q}$ $X_{ik+1} = \emptyset$, то вывод — разладка в момент времени $k+1$ и переход к шагу 6, иначе шаг 4.

Шаг 4. Если для l множеств $X_{l_1 k+1} = \emptyset$, где $l < q$, то соответствующие l моделей заменить путем определения «родственников», множества $X_{l_1 k+1}$ скорректировать. Переход к шагу 5. Если не удастся найти часть l' или все l «родственников», тогда положить $q = q - l'$ или $q = q - l$ и переход к шагу 5.

Шаг 5. Вычислить информационное множество X_{k+1} согласно операции (11), положить $k = k+1$, переход к шагу 3. Если $X_{k+1} = \emptyset$, то положить $X_{k+1} = X[y_{k+1}]$, $k = k+1$, переход к шагу 3.

Шаг 6. Заменить все q моделей, выбрав «родственные» объекты из множества I согласно критериям (5) и (6) и взяв их модели вида (3) за новые. Положить $X_{k+1} = X[y_{k+1}]$, $k = k+1$, переход к шагу 3. Если не удастся найти часть l' «родственников», тогда положить $q = q - l'$ и перейти к шагу 3.

На каждом k -м временном такте в памяти алгоритма хранится информация о векторе y_{ij} для $\forall i$



и $j = \overline{1, k}$, т. е. на следующем шаге $k + 1$ весь массив информации пополняется данными о векторе y_{ik+1} для всех объектов и т. д. В алгоритме предполагается, что на шаге b можно найти как минимум один «родственный» объект, если нет возможности его определить, тогда это алгоритм без использования информации о «родственных» объектах.

Таким образом, алгоритм обладает адаптивными свойствами: смена и поиск новых «родственных» объектов с целью использования их моделей движения происходит при изменении движения объекта (изменении ситуации) либо когда модели «родственных» объектов перестают быть «родственными».

Если система (объект) описывается нелинейным уравнением движения вида

$$x_{k+1} = f(x_k) + w_k, \quad k = 0, 1, \dots, n - 1, \quad (12)$$

то возможна кусочно-линейная аппроксимация уравнения (12) в виде (3) при требовании определенных свойств функции $f(\cdot)$ [11]. Таким образом, алгоритм адаптивного оценивания может применяться и для нелинейных моделей. Обзор по идентификации различных систем в практике решения задач управления приведен в работе [12].

3. ПРИМЕНЕНИЕ К ЗАДАЧЕ О РЫНКАХ

Рассматривается задача о росте числа абонентов сотовой связи в регионах и показывается, что предложенный алгоритм адаптивного гарантированного оценивания в случае нелинейной модели вида (12) и при $x_k \in R^1$ может быть применен без линейной аппроксимации.

Рассматривается множество регионов $I = \{1, 2, \dots, 12\}$, где для каждого региона известны неточные данные о числе абонентов сотовой связи. Под процентом проникновения понимается число абонентов, деленное на численность населения в регионе (рис. 3). Очевидно, что процент проникновения не может превышать 100 %, но как следует из рис. 3, например, в Москве и Московской области процент проникновения превысил эту отметку в начале 2005 г. Это связано с учетной политикой операторов, поэтому с середины 2004 — начала 2005 г. под числом абонентов понимается число SIM-карт. Анализируется совокупность всего рынка в регионе без детализации по компаниям-операторам. Изменение числа абонентов описывается логистической кривой [13], но в результате выходов новых конкурентов в регион, рекламных акций операторов и других событий происходит искажение «гладкой» кривой. Эти особенности будут в модели учитываться как возму-

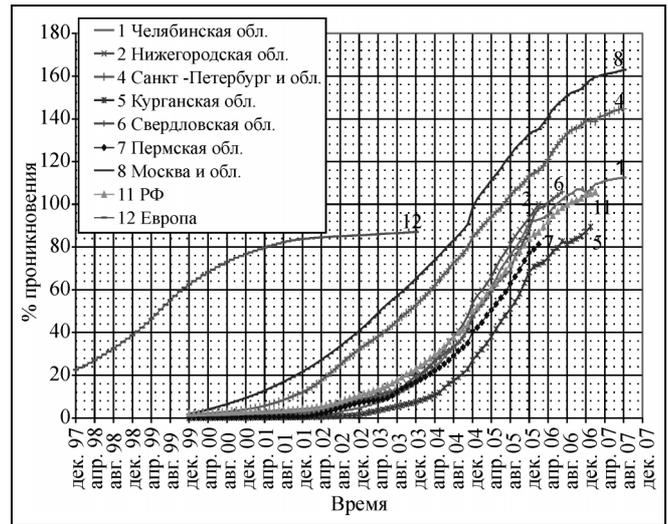


Рис. 3. Траектории изменения числа абонентов в некоторых регионах

щения неопределенного характера w_k , известные с точностью до некоторого множества W .

Поведение абонентов в регионе описывается в виде

$$x_{k+1} = \varphi(x_k) + w_k, \quad y_{k+1} = x_{k+1} + v_{k+1}, \quad k = 0, 1, \dots, n - 1, \quad (13)$$

где $x_k \in R^1$, $w_k \in [-\mu, \mu] = W$, $v_{k+1} \in [-v, v] = V$, $x_0 \in [-l_0, l_0] = X_0$, здесь $\varphi(x_k) = x_k + (\alpha + \beta x_k)(N - x_k)$, числа $\mu \geq 0$, $v \geq 0$ и $l_0 \geq 0$ также заданы. Параметры α и β характеризуют информационное воздействие на потенциальных абонентов (влияние рекламы и степень общения покупателей между собой соответственно), N — потенциальная емкость рынка. Оценка числа абонентов (13) вычисляется по соотношениям (7)–(9), где априорное множество прогнозов $X_{k+1/k} = \tilde{X}_k + W$, $\tilde{X}_k = \{\varphi(x_k) | x_k \in X_k\}$ и множество, совместимое с результатами измерений, $X[y_{k+1}] = \{x | x + v = y_{k+1}, v \in V\}$. Точечная оценка x_k^* — чебышевский центр множества X_{k+1} [8] представляет собой в одномерном случае центр отрезка. Параметры α , β и N неизвестны.

В случае обнаружения изменений привлекается информация об изменении числа абонентов в других регионах путем нахождения ближайших («родственных») регионов в данный момент времени [2]. Следовательно, получаем множество моделей «родственников» вида (13) для описания развития рынка. Далее применяется алгоритм адаптивного оценивания с использованием двух «родственников», описанный выше, для которого операция (11) не изменится, а (10) будет иметь вид

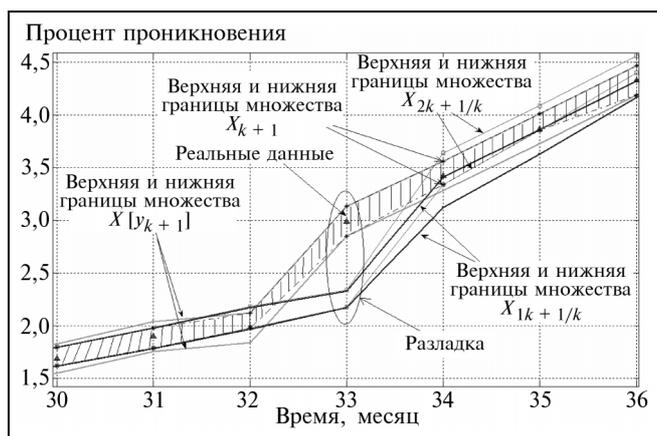


Рис. 4. Гарантированная оценка числа абонентов на примере Челябинской области

$X_{ik+1} = (\bar{X}_{ik} + W_i) \cap X[y_{k+1}]$ — информационные множества, полученные в результате оценивания по двум моделям вида (13).

Результаты работы алгоритма на примере Челябинской области представлены на рис. 4. Гарантированная оценка рассчитывалась в течение 54-х мес., разладка была обнаружена в моменты времени $k = 33$, $k = 45$ и $k = 48$. До момента времени $k = 25$ работал один фильтр, оценки параметров $\hat{\alpha}$, $\hat{\beta}$ и \hat{N} для первоначальной модели были определены по 10-ти известным точкам методом наименьших квадратов. Далее «родственниками» для определения параметров являлись: республика Татарстан, Нижегородская, Новосибирская и Самарская области, г. Москва и Московская область, Свердловская область. Таким образом, на протяжении 4,5 лет «родственниками» были 6 регионов из 12. При подборе параметров накладывались ограничения $0 \leq \alpha \leq \bar{\alpha}$, $0 \leq \beta \leq \bar{\beta}$ и $\hat{N}_i \leq N_i \leq \bar{N}$, где \hat{N}_i — оценка емкости рынка на предыдущем периоде.

Поскольку в реальной задаче о числе абонентов истинное его значение неизвестно, то приведем ошибку $\tilde{e}_k = (\bar{x}_k^* - x_k^*) \cdot 100\% / \bar{x}_k^*$, где \bar{x}_k^* — центр отрезка множества $X[y_k]$, совместимого с результатами измерений, и x_k^* — центр отрезка результирующего множества X_k . Ошибка \tilde{e}_k на интервале с 1 по 25 мес, когда работает один фильтр на начальных этапах, может составлять и 20—23 %, с 25 мес, когда начинает работать алгоритм адаптивного оценивания ошибка, \tilde{e}_k не превосходит 5 %. В среднем ошибка \tilde{e}_k составляет не более 8 % на всем интервале оценивания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан алгоритм адаптивного оценивания с использованием информации о группе объектов на основе гарантированного подхода. Показана эффективность предложенного подхода на данных о числе абонентов сотовой связи в регионах. По результатам моделирования было установлено, что ошибка \tilde{e}_k в среднем составляет не более 8 % за 5 лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фарина А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей. — М.: Радио и связь, 1993. — 320 с.
2. Алгоритмы оценивания и управления беспилотным летательным аппаратом на этапе посадки / М.О. Антонов, К.Е. Афанасьева, А.И. Коблов, В.И. Ширяев // Изв. РАН. Теория и системы управления. — 2005. — № 2. — С. 166—173.
3. Bar-Sholom Y. Tracking methods in a multitarget environment // IEEE Trans. on Automatic Control. — 1978. — Vol. 23, № 4. — P. 618—626.
4. Афанасьева К.Е., Ширяев В.И. Идентификация состояния и прогнозирование регионального рынка // Проблемы управления. — 2007. — № 3. — С. 63—65.
5. Обнаружение изменения свойств сигналов и динамических систем / Под. ред. М. Бассвиль, А. Банвениста. — М.: Мир, 1989. — 278 с.
6. Калман Р.Е. Идентификация систем с шумами // Успехи мат. наук. — 1985. — Т. 40, Вып. 4 (244). — С. 27—41.
7. Гольц Г.А. Опыт высокоточного моделирования социально-экономических процессов на массивных статистических материалах // Экономика и математические методы. — 2008. — Т. 41, № 1. — С. 24—25.
8. Куржанский А.Б. Управление и наблюдение в условиях неопределенности. — М.: Наука, 1977. — 392 с.
9. Кац И.Я., Куржанский А.Б. Минимаксная многошаговая фильтрация в статистически неопределенных ситуациях // Автоматика и телемеханика. — 1978. — № 11. — С. 79—87.
10. Ширяев В.И. Синтез управления линейными системами при неполной информации // Изв. РАН. Техн. кибернетика. — 1994. — № 3. — С. 229—237.
11. Бек В.В., Вишняков Ю.С., Махлин А.Р. Интегрированные системы терминального управления — М.: Наука, 1989. — 224 с.
12. Идентификация систем и задачи управления: на пути к современным системным методологиям / И.В. Прангишвили и др. // Проблемы управления. — 2004. — № 4. — С. 2—15.
13. Bass F. A new product growth model for consumer durables // Management Sci. — 1969. — N 15. — P. 215—227.

Статья представлена к публикации членом редколлегии С.Д. Земляковым.

Афанасьева Ксения Евгеньевна — аспирантка, ☎ (351) 267-90-43, e-mail: afanasyeva@prima.susu.ac.ru,

Ширяев Владимир Иванович — д-р техн. наук, профессор, ☎ (351) 267-91-74, e-mail: vis@prima.susu.ac.ru,

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТНОШЕНИЙ МЕЖДУ АТТРИБУТАМИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ОНТОЛОГИИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

В.А. Пронина, Л.Б. Шипилина

Предложен метод построения таксономии онтологии предметной области, ориентированный на автоматизацию процесса с использованием знаний эксперта об атрибутах предметной области. Метод основан на бинарных отношениях «ограничений существования» на множестве атрибутов и анализе формальных понятий. Приведен пример таксономии фрагмента теории графов, построенной по предложенному методу.

Ключевые слова: онтология, таксономия, анализ формальных понятий, отношение ограничения существования, теория графов.

ВВЕДЕНИЕ

Существуют разнообразные подходы к формированию онтологий. Предлагаемый подход ориентирован на автоматизацию процесса построения таксономии онтологии с максимальным использованием знаний эксперта об атрибутах предметной области.

Для формализации выбора понятий предметной области (ПО) и построения их таксономии применяется метод анализа формальных понятий [1], поддержанный инструментарием — системой анализа данных «Concept Explorer» [2]. Для построения таксономии требуется задать формальный контекст — множество объектов и их атрибутов, значимых для рассматриваемой ПО, и связи между ними. В данной работе предлагается формализация процесса задания контекста с помощью бинарных отношений на множестве атрибутов. Атрибуты, по мнению авторов, «точнее» по сравнению с названиями объектов (понятий и экземпляров) характеризуют связи в предметной области.

1. ФОРМАЛЬНЫЙ КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Метод анализа формальных понятий заключается в следующем. На множестве объектов U и атрибутов V определено отношение $I \subseteq U \times V$, такое, что pIa , где $p \in U$, $a \in V$, тогда и только тогда, когда a есть атрибут объекта p . Тройка $K = (U, V, I)$ на-

зывается *формальным контекстом*. Формальный контекст может быть представлен в виде бинарной матрицы, строки которой помечены именами объектов, а столбцы — значениями атрибутов. Определяется соответствие Галуа (оператор замыкания):

$$P' := \{y \in V \mid xIy \text{ для всех } x \in P\}, \text{ где } P \subseteq U,$$

$$G' := \{x \in U \mid xIy \text{ для всех } y \in G\}, \text{ где } G \subseteq V.$$

Тогда пара (P, G) , удовлетворяющая условиям $P \subseteq U$, $G \subseteq V$, $P' = G$ и $G' = P$, называется *формальным понятием* (концептом) контекста $K = (U, V, I)$. Множество всех объектов P составляет *объем* понятия, а множество всех атрибутов G , которыми они обладают, — *содержание* понятия. Каждый объект $p \in P$ обладает всеми атрибутами из множества G . Каждым атрибутом $g \in G$ обладают все объекты из множества P . Таким образом, формальное понятие — это множество всех объектов из данной предметной области, каждый из которых обладает всеми атрибутами из некоторого подмножества атрибутов, присущих этим объектам.

Множество формальных понятий (P, G) , где $P \subseteq U$, $G \subseteq V$, частично упорядочено отношением T (можно назвать его, например, «менее общий чем или равен»): $(P_1, G_1) \leq (P_2, G_2)$, если $P_1 \subseteq P_2$ или $G_2 \subseteq G_1$ (что эквивалентно) — и образует *концептуальную решетку* контекста K [3].

Для визуализации используется не само отношение T , а его *транзитивная редукция* $T' : A \leq B$

(A и B — концепты), если не существует концепта Q , такого что $Q \neq A$, $Q \neq B$, $A \leq Q \leq B$. При этом A называется ближайшим надконцептом концепта B , B — ближайшим подконцептом концепта A . Транзитивная редукция решетки концептов представляет таксономию концептов. Для визуализации транзитивной редукции решетки концептов (таксономии концептов) используются так называемые линейные диаграммы (диаграммы Хассе) с сокращенной пометкой — каждый объект и атрибут изображаются на диаграмме всего один раз. Имя объекта приписывается пересечению всех понятий, в объемах которых содержится этот объект, а имя атрибута приписывается объединению всех понятий, содержания которых включают это свойство. Таким образом, имя объекта приписывается наименьшему из понятий, в которых встречается данный объект, а имя атрибута приписывается наибольшему из понятий, в которых присутствует этот атрибут. Кроме того, в линейной диаграмме каждая вершина концепта расположена выше всех его подконцептов, поэтому можно обойтись без стрелок.

2. ОТНОШЕНИЯ НА МНОЖЕСТВЕ АТТРИБУТОВ. НОРМАЛЬНОЕ МНОЖЕСТВО АТТРИБУТОВ

Пусть U — выбранное множество объектов рассматриваемой ПО, V — выбранное множество атрибутов, значимых для рассматриваемой ПО, $P^x(a)$, где $x \in V$, $a \in U$ — одноместный предикат «обладает атрибутом x ».

На множестве атрибутов V вводятся бинарные отношения «ограничений существования» [4]:

- *несовместимости*: $E(x, y) \leftrightarrow \forall a (P^x(a) \rightarrow \neg P^y(a))$ (если a обладает атрибутом x , то a не обладает атрибутом y , и наоборот);
- *обусловленности*: $C(x, y) \leftrightarrow \forall a (P^x(a) \rightarrow P^y(a))$ (если a обладает атрибутом x , то a обладает атрибутом y , или x *требует* y , или y *требуется* x -м, но обратное может быть неверно);
- *взаимобусловленности*: $M(x, y) \leftrightarrow \forall a (P^x(a) \rightarrow P^y(a) \& P^y(a) \rightarrow P^x(a))$ (если a обладает атрибутом x , то a обладает атрибутом y , и наоборот) или $M(x, y) \leftrightarrow C(x, y) \& C(y, x)$.

Отношение E антирефлексивно, симметрично, нетранзитивно, и верна импликация $C(x, y) \& E(y, z) \rightarrow E(x, z)$ (назовем это *относительной транзитивностью* — E относительно C). Отношение C рефлексивно, несимметрично и транзитивно. Отношение M рефлексивно, симметрично и транзитивно.

Пусть $R \subseteq V$, $x \in R$, $y \in V$. Назовем множество R *замкнутым*, если $\forall x (\exists y C(x, y) \rightarrow y \in R)$ (содержит все атрибуты, которые обусловлены любым атрибутом множества R). Назовем множество R

совместимым, если $\forall x (\exists y E(x, y) \rightarrow (y \notin R))$ (любые два атрибута из R не должны быть связаны отношением несовместимости). Будем называть R *нормальным* множеством атрибутов, если и только если оно *замкнутое* и *совместимое*.

Отношение взаимобусловленности M разбивает множество атрибутов V на классы эквивалентности \bar{V} . Определим отношение обусловленности \bar{C} на множестве \bar{V} классов эквивалентности атрибутов (как расширение отношения обусловленности на множестве атрибутов) следующим образом:

$$\bar{C}(X, Y) \leftrightarrow \exists (x \in X, y \in Y) | C(x, y), \text{ где } X, Y \in \bar{V}.$$

Так как верны импликации:

$$C(x, y) \& M(x, x_1) \rightarrow C(x_1, y) \text{ и} \\ C(x, y) \& M(y, y_1) \rightarrow C(x, y_1),$$

то из $\bar{C}(X, Y) \leftrightarrow \exists (x \in X, y \in Y) | C(x, y)$, где $X, Y \in \bar{V}$, следует:

$$\bar{C}(X, Y) \leftrightarrow \forall (x \in X, y \in Y) | C(x, y), \text{ где } X, Y \in \bar{V}.$$

Отношение \bar{C} антисимметрично и является отношением частичного порядка. Транзитивная редукция \bar{C}' отношения \bar{C} связывает «ближайшие» классы эквивалентности атрибутов.

Для визуализации транзитивной редукции отношения \bar{C}' может быть использована диаграмма Хассе. Пути вверх от вершины X (включая саму вершину) «собирают» все атрибуты, связанные отношением обусловленности с атрибутами вершины.

3. МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ТАКСОНОМИИ

Для построения скелета онтологии ПО — системы концептов и их таксономии — предлагается технология, основанная на методе анализа формальных понятий, поддержанная проверкой выбранного множества атрибутов для каждого концепта на нормальность (с учетом отношений, заданных на множестве атрибутов). Разумеется, такая онтология в общем случае не будет полной — таксономию следует дополнить другими, нетаксономическими, семантическими связями между понятиями, что обогатит онтологию и позволит получать по ней более разнообразные запросы.

Будем называть формальный контекст с нормальными множествами атрибутов объектов *нормализованным*. Предлагаемая технология автоматизирует процесс построения нормализованной матрицы формального контекста и, следовательно, построение «правильной» решетки концептов. Метод сочетает неформализованные процессы, выполняемые экспертом (задание объектов, атри-



бутов, «базовых» отношений на множестве атрибутов — определение места нового атрибута в линейной диаграмме), и формализованные процессы, выполняемые компьютером (доопределение отношений на множестве атрибутов, проверка множества атрибутов объекта на нормальность, построение концептуальной решетки, которая легко преобразуется в таксономию онтологии).

Общая схема предлагаемой технологии:

- выбирается (экспертом) множество объектов (понятий и/или экземпляров) и множество атрибутов, значимых для рассматриваемой подобласти знаний;
- на множестве атрибутов определяются отношения «ограничений существования»;
- строится матрица формального контекста с учетом введенных отношений, при этом контролируется нормальность множества атрибутов каждого объекта (совокупность отметок в одной строке матрицы);
- по формальному контексту строится концептуальная решетка, транзитивная редукция которой представляет собой таксономию концептов.

Процесс построения носит итерационный характер. Сначала можно выполнить построение решетки для части формального контекста ПО, например для части одного уровня дерева таксономии или для части одной ветви дерева. Для атрибутов этой части формального контекста определяются отношения «ограничений существования»: эксперту рекомендуется задать отношения между «семантически близкими» атрибутами, остальные выводятся по транзитивности. Матрица формального контекста заполняется полуавтоматически: эксперт заносит «свежий» атрибут, автоматически вводятся атрибуты, связанные с вновь введенным атрибутом отношениями обусловленности, и выявляются атрибуты, связанные с вновь введенным атрибутом отношением несовместимости, т. е. происходит проверка нормальности множества атрибутов объектов. Если все множества атрибутов введенных объектов нормальные, то построение контекста сопровождается визуализацией линейной диаграммы концептов (дерево таксономии).

4. МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ОТНОШЕНИЙ МЕЖДУ АТТРИБУТАМИ

Пусть определены отношения M , C и E между ранее заданными атрибутами и построена линейная диаграмма L (диаграмма Хассе) транзитивной редукции отношения обусловленности \bar{C} на множестве \bar{V} классов эквивалентности атрибутов. Каждой вершине диаграммы соответствует класс эквивалентности атрибутов, т. е. множество атри-

бутов, связанных отношением взаимообусловленности. Покажем методику введения нового атрибута w — «встраивания» нового атрибута в систему отношений между существующими атрибутами, состоящего из двух этапов: определение места нового атрибута в линейной диаграмме и определение (точнее, доопределение) отношений между вводимым атрибутом w и множеством V существующих атрибутов.

4.1. Определение места нового атрибута в линейной диаграмме

Пусть X — вершина в диаграмме L , выбранная экспертом как «наиболее близкая семантически». Рассмотрим разные варианты «соображений» эксперта при определении отношений ограничений существования с существующими атрибутами в выбранном пути диаграммы.

- Пусть $\exists x \in X$, такой что $M(x, w)$. Тогда $X := X \cup \{w\}$, т. е. атрибут w включается в класс эквивалентности X .
- Пусть $\exists x \in X$, такой что $C(w, x)$. Тогда вершина, соответствующая атрибуту w (далее для краткости будем говорить просто «атрибут w ») лежит ниже вершины X . Определяется отношение вводимого атрибута w с ближайшим нижним соседом Y по выбранному пути диаграммы вершины X , в результате чего возможны варианты, когда атрибут w :
 - спускается ещё ниже ($\exists y \in Y$, такой что $C(w, y)$), и т. д. по выбранному пути диаграммы;
 - разрывает ребро, встраиваясь между вершинами пути ($\exists y \in Y$, такой что $C(y, w)$);
 - встраивается в вершину Y ($\exists y \in Y$, такой что $M(y, w)$);
 - становится ближайшим нижним соседом вершины X и ближайшим верхним соседом *bottom*-вершины ($\neg \exists y \in Y$, такой что $M(y, w) \vee C(w, y) \vee C(y, w)$ или $\exists y \in Y$, такой что $E(y, w)$).
- Пусть $\exists x \in X$, такой что $C(x, w)$. Тогда атрибут w лежит выше вершины X . Определяется отношение вводимого атрибута w с ближайшим верхним соседом Z по выбранному пути диаграммы, в результате чего возможны варианты, когда атрибут w :
 - поднимается ещё выше ($\exists z \in Z$, такой что $C(z, w)$), и т. д. по выбранному пути диаграммы;
 - разрывает ребро, встраиваясь между вершинами пути ($\exists z \in Z$, такой что $C(w, z)$);
 - встраивается в Y ($\exists z \in Z$, такой что $M(z, w)$);
 - становится ближайшим верхним соседом вершины X и ближайшим нижним соседом *top*-вершины ($\neg \exists z \in Z$, такой что $M(z, w) \vee C(w, y) \vee C(z, w)$).

- Пусть $\exists x \in X$, такой что $E(x, w)$. Тогда по данному пути диаграммы от вершины X вверх находится вершина Z , для атрибута z которой $C(w, z)$ (это может быть *top*-вершина).

4.2. Определение отношений между вводимым атрибутом w и множеством V существующих атрибутов

Доопределение отношений между вводимым атрибутом w и множеством V существующих атрибутов производится следующим образом:

1. Если при введении атрибута w не образуется новой вершины, т. е. $\exists x \in V \mid M(x, w)$, то отношения между атрибутом w и другими атрибутами такие же, как между x и соответствующими атрибутами.

2. Если при введении атрибута w образуется новая вершина, разрывающая ребро, то все пути от атрибута w «собирают» все атрибуты, связанные отношением обусловленности с атрибутом w : пути вверх — отношение $C(w, \dots)$, пути вниз — отношение $C(\dots, w)$.

3. Если при введении атрибута w образуется новая вершина — ближайший верхний сосед *bottom*-вершины, т. е. «висячая» вершина, то все пути вверх от атрибута w «собирают» все атрибуты, связанные отношением обусловленности с атрибутом w ($C(w, \dots)$).

Кроме того, если $\exists x \in V \mid E(x, w)$ (или $\exists x, y \mid C(w, y) \& E(y, x)$), то все пути вниз от вершины X , $x \in X$, «собирают» все атрибуты, связанные отношением несовместимости с атрибутом w .

4.3. Об оценке сложности вычислений

Из пп. 4.1 и 4.2. видно, что для введения одного нового атрибута в линейную диаграмму — определения его места в линейной диаграмме и доопределения его отношений ограничений существования с существующими атрибутами — требуется в худшем случае порядка $O(|V|)$ действий, где $|V|$ — мощность множества всех атрибутов. Верхняя оценка сложности вычислений построения полной линейной диаграммы отношения обусловленности (для всех атрибутов) имеет вид $O(|V|^2)$.

Оценки сложности различных алгоритмов построения матрицы формального контекста и построения по ней концептуальной решетки исследовались в работе [5], где было отмечено, что все они также носят полиномиальный характер.

5. ПРИМЕР ИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ «ТЕОРИЯ ГРАФОВ»

Покажем применение предложенного метода на примере фрагмента онтологии теории графов (по работе [6]). Выберем множество атрибутов (рис. 1, далее атрибуты обозначаются порядковы-

ми номерами) и множество понятий, представленные в матрице контекста. На рис. 2 изображена линейная диаграмма отношения обусловленности атрибутов для фрагмента онтологии теории графов. На рис. 3 показаны матрицы отношений обусловленности (а) и несовместимости (б) выбранных атрибутов.

На рис. 4 показана матрица ненормализованного контекста: множества атрибутов для объектов *Одностороннесвязный ОГ* и *Сильносвязный ОГ* не являются нормальными, так как не выполнено условие замкнутости: множество атрибутов для объекта *Одностороннесвязный ОГ* должно содержать атрибут 4, что следует из существования отношения обусловленности $C(5, 4)$, а множество атрибутов для объекта *Сильносвязный ОГ* должно содержать атрибуты 4 и 5, что следует из существования отношений обусловленности $C(6, 5)$ и $C(6, 4)$. Клетки, которые должны быть заполнены, чтобы контекст был нормализованным, выделены на рис. 4 серым цветом. На рис. 5 приведена линей-

1	Имеет вершины и ребра
2	Все ребра неориентированные
3	Все ребра ориентированные
4	Для любой пары вершин есть полупуть
5	Для любой пары вершин есть путь в одну сторону
6	Любые две вершины достижимы друг из друга
7	Есть пара вершин, не связанных полупутем

Рис. 1. Выбранное множество атрибутов для фрагмента теории графов

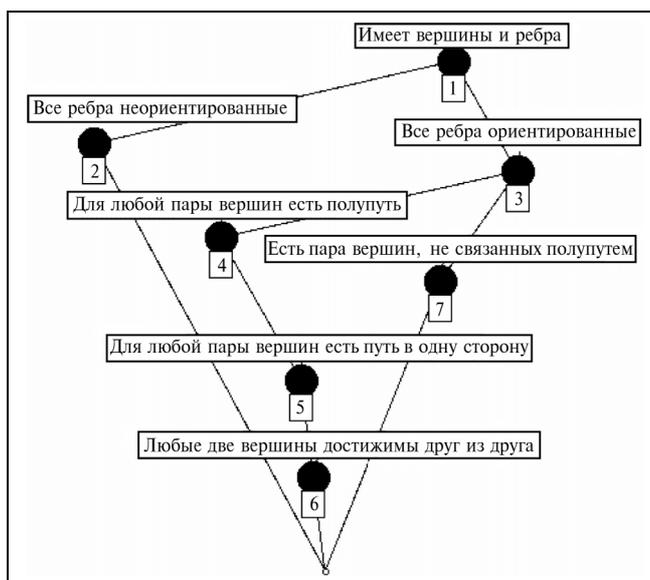


Рис. 2. Линейная диаграмма отношения обусловленности атрибутов для фрагмента теории графов



	1	2	3	4	5	6	7
1	#						
2	#	#					
3	#		#				
4	#		#	#			
5	#		#	#	#		
6	#		#	#	#	#	
7	#		#				#

a

	1	2	3	4	5	6	7
1							
2			#	#	#	#	#
3		#					
4		#					#
5		#					#
6		#					#
7		#		#	#	#	

б

Рис. 3. Матрицы отношений между атрибутами для фрагмента теории графов:
a — *C*-матрица; *б* — *E*-матрица

ная диаграмма концептов для ненормализованного контекста, соответствующая «неправильной» таксономии, так как концепты *Сильносвязный ОГ*, *Одностороннесвязный ОГ* и *Слабосвязный ОГ* не упорядочены по включению согласно работе [6], т. е. родовидовые отношения показаны неправильно.

На рис. 6 приведена матрица нормализованного контекста, на рис. 7 — линейная диаграмма

концептов для нормализованного контекста, соответствующая «правильной» таксономии.

Продемонстрируем методику встраивания нового атрибута на примере данного фрагмента онтологии теории графов. Пусть построена диаграмма отношения обусловленности ранее введенных атрибутов (рис. 8, представляющий собой рис. 2 после изъятия вершины 5). Требуется ввести но-

	1	2	3	4	5	6	7
Граф	X						
ОГ	X		X				
НГ	X	X					
Несвязный ОГ	X		X				X
Слабосвязный ОГ	X		X	X			
Одностороннесвязный ОГ	X		X	X	X		
Сильносвязный ОГ	X		X	X	X	X	

Рис. 4. Матрица ненормализованного контекста для фрагмента теории графов: ОГ — ориентированный граф, НГ — неориентированный граф

	1	2	3	4	5	6	7
Граф	X						
ОГ	X		X				
НГ	X	X					
Несвязный ОГ	X		X				X
Слабосвязный ОГ	X		X	X			
Одностороннесвязный ОГ	X		X	X	X		
Сильносвязный ОГ	X		X	X	X	X	

Рис. 6. Матрица нормализованного контекста для фрагмента теории графов

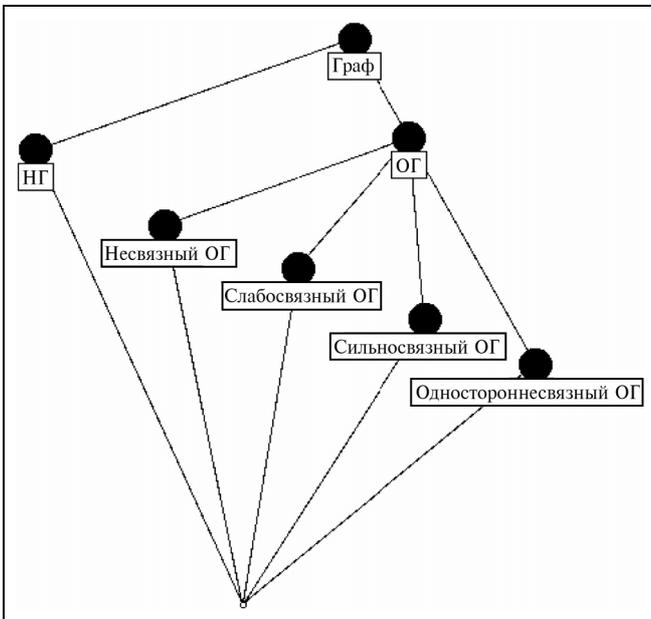


Рис. 5. Линейная диаграмма концептов фрагмента теории графов для ненормализованного контекста

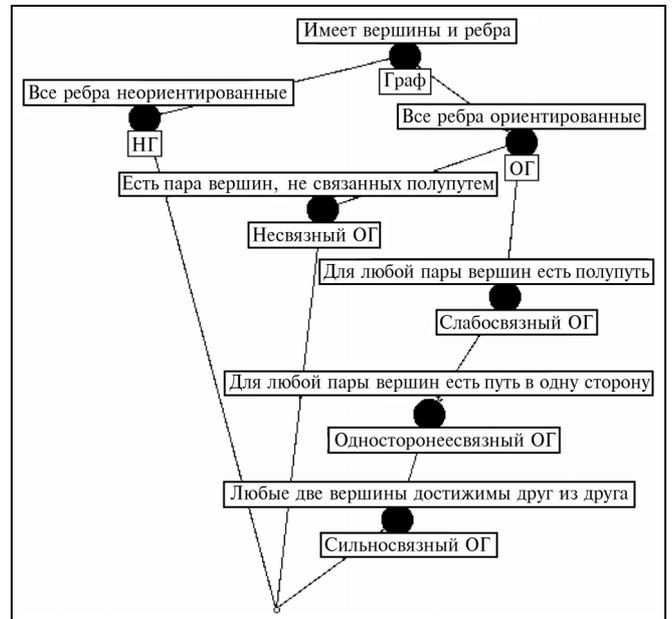


Рис. 7. Линейная диаграмма концептов фрагмента теории графов для нормализованного контекста

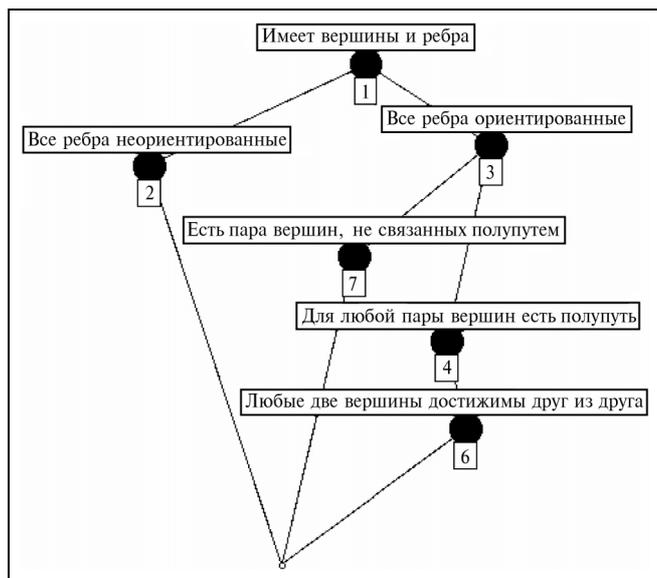


Рис. 8. Линейная диаграмма отношения обусловленности ранее введенных атрибутов

вый атрибут w = Для любой пары вершин есть путь в одну сторону. В качестве наиболее близкой семантически выбираем вершину 4, соответствующую атрибуту x = Для любой пары вершин есть полупуть. Если выполняется w , то выполняется x , т. е. $S(w, x)$. Следовательно, вершина, соответствующая атрибуту w , лежит ниже вершины 4. Определяется отношение вводимого атрибута w с ближайшим нижним соседом этой вершины по выбранному пути диаграммы — с вершиной 6, соответствующей атрибуту y = Любые две вершины достижимы друг из друга. Но если любые две вершины достижимы друг из друга, т. е. между ними существуют пути в обе стороны, то для любой пары вершин есть путь в одну сторону, но обратное неверно, следовательно, $S(y, w)$, а значит, «разрывается» ребро и между вершинами 4 и 6 вставляется вершина, соответствующая новому атрибуту w = Для любой пары вершин есть путь в одну сторону (см. рис. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая методология ориентирована на повышение эффективности извлечения знаний из эксперта и их структуризации, чтобы в большей степени формализовать процесс построения таксономии онтологии. Подход отличается от традиционного, где ориентация на понятия и объекты, здесь — ориентация на атрибуты. Речь идет о понятиях как совокупностях атрибутов (содержание, интенционал понятия). Атрибуты (обобщенный интенционал), по мнению авторов, точнее, по сравнению с названиями понятий и объектов, харак-

теризуют предметную область. При этом с точки зрения психологии, как нам представляется, у экспертов изменяются паттерны активации, эффект привязки, увеличивается когнитивный ресурс.

В основе методологии — один из наиболее мощных методов интеллектуального анализа данных — метод анализа формальных понятий (Formal Concept Analysis — FCA), предложенный немецким математиком Рудольфом Вилле (Rudolf Wille) [1]. Метод требует от эксперта задания формального контекста — множества объектов и их атрибутов, значимых для рассматриваемой предметной области, и связей между ними. По контексту выделяются понятия и строится таксономия понятий.

В настоящей работе предложена формализация процесса задания контекста с помощью бинарных отношений на множестве атрибутов, предложенных французским математиком Надирой Ламмари (Nadira Lammari) [4]. Эксперт сначала работает с атрибутами предметной области, определяя связи между ними на основании отношений ограничения существования, что дает возможность автоматизировать задание контекста (проверка множеств атрибутов для понятий на нормальность) для построения правильной таксономии с помощью FCA.

На основе предложенной методологии были построены таксономии математической теории графов и формализованного анализа влияний (когнитивного анализа).

Авторы выражают благодарность профессору О.П. Кузнецову за консультации при работе над статьей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wille R. Concept lattices and conceptual knowledge systems // Computers and Mathematics with Applications. — 1992. — N 23.
2. Евтушенко С.А. Система анализа данных «CONCEPT EXPLORER» // Тр. конф. по искусственному интеллекту КИИ-2000 — М.: Физматлит, 2000.
3. Биркгоф Г. Теория решеток — М.: Наука, 1984. — 568 с.
4. Lammari N., Metais E. Building and maintaining ontologies: a set of algorithms // Data Knowledge Engineering. — 2004. — N 48 (2).
5. Kuznetsov S.O., Obiedkov S.A. Algorithms for the Construction of Concept Lattices and Their Diagram Graphs // Proc. of the 5th Conf. on Principles of Data Mining and Knowledge Discovery (PKDD'2001), Lecture Notes in Artificial Intelligence. — 2001. — Vol. 2168. — P. 289–300.
6. Кузнецов О.П. Дискретная математика для инженера. — СПб: Лань, 2004. — 400 с.

Статья представлена к публикации членом редколлегии О.П. Кузнецовым.

Пронина Валерия Александровна — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, ☎ (495) 334-92-49, e-mail: pron@ipu.ru,

Шипилина Любовь Борисовна — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, ☎ (495) 334-76-39, e-mail: lubship@ipu.ru,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНОЙ СИСТЕМЫ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ ПУТЕЙ ПРОЕЗДА НА ПАССАЖИРСКОМ ТРАНСПОРТЕ

В.М. Вишнеvский, Р.В. Железов

Рассмотрена архитектура разработанной информационно-справочной системы поиска оптимальных путей проезда на пассажирском транспорте. Представлен оригинальный алгоритм поиска оптимальных путей с учетом расписаний пассажирского транспорта.

Ключевые слова: информационная система, оптимальный путь, пассажирский транспорт, расписание, Интернет.

ВВЕДЕНИЕ

Уровень справочно-информационного обслуживания пассажиров в Российской Федерации далек от совершенства. Даже в рамках отдельных видов транспорта (за исключением воздушного) отсутствует возможность поиска маршрута проезда с пересадкой. Например, на запрос пассажира о возможности проезда из Калининграда во Владивосток, действующая автоматизированная система «Экспресс-3» выдает ответ: «Прямое сообщение отсутствует. Подготовьте ответ вручную». Подобная задача на железнодорожном транспорте гораздо сложнее, чем на воздушном, так как число железнодорожных станций превосходит число аэропортов в сотни раз.

Еще более сложная задача — поиск интермодального маршрута (пути проезда с несколькими видами транспорта) [1–3]. Отметим, что транспортная сеть в Российской Федерации весьма неоднородна. Есть населенные пункты, куда можно попасть только по воздуху. Имеются регионы, лишенные железнодорожного транспорта; есть населенные пункты, до которых можно добраться только поездом. Поэтому разработка информационной системы, которая позволит объединить информацию из действующих автоматизированных систем на различных видах транспорта в целях получения наиболее полной справочной информации о возможности проезда с учетом пересадок и наличия мест на разных видах транспорта, весьма актуальна.

В Европе наибольшее распространение получила система HAFAS [4], которая используется на железнодорожном транспорте в нескольких странах. Она выдает удовлетворительные результаты поиска, хотя они не всегда оказываются оптимальными, поскольку алгоритм поиска реализован на базе эвристических методов с целью уменьшения пространства поиска. Применяется статический алгоритм без учета информации о времени проезда, что может приводить к потере оптимального пути.

Разработанная отечественная автоматизированная система лишена недостатков известных систем, в ней реализован оригинальный поисковый алгоритм и используется актуальная, динамически обновляемая информация о расписаниях разных видов пассажирского транспорта.

1. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНАЯ СИСТЕМА НА ПАССАЖИРСКОМ ТРАНСПОРТЕ

Разработанная информационно-справочная система осуществляет выдачу справочной информации через Интернет об оптимальном пути проезда на пассажирском транспорте между любыми пунктами России. В справке учитывается возможность пересадки между разными видами транспорта, расписания его движения и наличие свободных мест. Система представляет собой комплекс программ и программных модулей, которые обеспечивают ее функционирование [2]. Программный комплекс включает в себя:

- специализированную базу данных геоинформации и расписаний;
- средства подготовки данных для информационно-справочной системы;
- средства импорта данных из промежуточного формата XML;
- средства администрирования системы;
- модуль ядра с реализацией алгоритмов поиска пути проезда;
- службы интеграции с другими информационными системами:
 - интеграционный сервис, функционирующий в режиме on-line;
 - эмулятор терминала системы «Экспресс»;
- справочный Интернет-портал для доступа к информационной системе.

Специализированная база данных хранит геоинформацию, регулярно обновляемые расписания движения пассажирского транспорта и реализацию некоторых алгоритмов работы с данными, которые запрограммированы в виде хранимых процедур на языке T-SQL. Особенности информационно-справочной системы потребовали разработки специальных средств подготовки данных — программы визуального описания транспортного графа. Программа представляет собой Windows-приложение, с помощью которого описываются фрагменты транспортного графа. Программа сохраняет результат работы в файлы формата XML. Для каждого региона или транспортной организации может быть создан отдельный XML-файл, где указано расположение транспортных узлов. Таким способом по частям описываются фрагменты железнодорожной, автобусной или другой транспортной сети.

После того, как географические данные подготовлены в промежуточном XML-формате, они загружаются в систему с помощью программы импорта данных. Программа обрабатывает данные XML-формата, подключается к базе данных системы и добавляет информацию об узлах транспортного графа. Более подробно, процесс загрузки состоит из следующих шагов: считывание данных из файла, анализ данных, устранение неоднозначностей, формирование объектной структуры, сохранение данных. Программа импорта состоит из двух функциональных модулей: загрузчика географических данных и загрузчика расписаний.

Алгоритм импорта географических объектов запрограммирован следующим образом:

- 1) распознавание названия и типа объекта;
- 2) поиск объектов в базе данных со схожим названием;
- 3) добавление объекта в базу данных;
- 4) обновление топологических связей.

Алгоритм импорта расписаний отличается от импорта объектов:

- 1) определение структуры данных;
- 2) считывание данных в промежуточную таблицу;
- 3) объектное структурирование данных;
- 4) сохранение структур в базу данных;

- 5) корректировка вспомогательных данных.

Если в маршрут следования поезда входит станция, принадлежащая гиперузлу, то в базу данных добавляются дополнительные записи о расписании. В процессе импорта расписания маршрута специальным образом обновляется пересадочный подграф.

С помощью программы создания графов в базу данных загружено множество фрагментов транспортного графа с общей численностью более двадцати тысяч узлов. Сюда вошло большинство железнодорожных станций, вокзалов, остановочных пунктов на территории Российской Федерации, ближнего и дальнего зарубежья, а также основные автобусные станции нескольких регионов России.

Осуществление справочного запроса начинается с указания параметров (пункты отправления и назначения, виды транспорта, дата поездки и др.). После того, как пользователь указал параметры запроса и нажал кнопку «Поиск», параметры передаются в модуль поиска пути. Используя идентификаторы пунктов назначения и отправления, модуль получает необходимую информацию о географических объектах. Сначала алгоритм пытается отыскать беспересадочный маршрут между заданными пунктами. Если прямой маршрут не найден, то применяется оригинальный алгоритм поиска пути с пересадками. После того, как найдены возможные пути проезда с минимальным числом пересадок, проверяются дополнительные условия по каждому найденному пути и учитываются параметры поиска. На этом шаге работы алгоритма принимаются во внимание дни курсирования, пересечение государственных границ, длительность пересадок. Для каждого возможного пути определяется время отправления и прибытия наискорейшего маршрута.

На последнем шаге наиболее предпочтительный из найденных путей передается в подсистему взаимодействия с внешними автоматизированными системами. Подсистема предназначена для получения информации о наличии свободных мест. Данные о наличии свободных мест — наиболее быстро обновляющаяся часть транспортной информации. Если пропускная способность канала связи с автоматизированными системами ограничена, а объем данных велик, то физически невозможно импортировать актуальную информацию о наличии свободных мест из автоматизированных систем. Поэтому наличие мест проверяется на последнем шаге работы алгоритма, в тот момент, когда уже найден оптимальный путь проезда по остальным критериям. В подсистему взаимодействия входят:

- модуль интеграции в составе модуля поиска пути;
- сервис интеграции с внешними системами;
- эмулятор терминала «Экспресс»;
- программа контроля взаимодействия с внешними системами.



В подсистеме сначала производится поиск данных в кэше выполненных запросов. В кэш попадают результаты предыдущих запросов к внешним системам и сохраняются там установленное время. Если данные не найдены в кэше, подсистема обращается с запросом во внешние автоматизированные системы. Способ отправки запроса зависит от особенностей конкретной автоматизированной системы. Запрос может быть синхронным или асинхронным. Если запрос *синхронный*, то обслуживающий процесс выполняет его немедленно. Если применяется *асинхронный* способ взаимодействия, то запрос ставится в очередь на обслуживание. Когда в очереди появляются запросы, к работе подключается программа-сервис взаимодействия. Запрос из очереди трансформируется сервисом в запрос по протоколу, понятному внешней автоматизированной системе, и отправляется на ее сервер. Например, для взаимодействия с системой «Экспресс» используется специальный сервис — эмулятор терминала «Экспресс». Сервис преобразует запрос в пакеты BSC-3, инкапсулирует их в пакеты TCP/IP и передает на шлюз доступа в системе «Экспресс». Шлюз обменивается информацией с Хост-ЭВМ и возвращает ответ эмулятору терминала. Процесс протекает асинхронно: один запрос системы может отображаться в серию запросов-ответов между эмулятором и Хост-ЭВМ. Одновременно могут работать несколько сервисов взаимодействия, и они могут быть запущены на нескольких вычислительных машинах, просматривая единую очередь запросов.

Для получения справочной информации о возможности проезда через Интернет разработан портал доступа к информационно-справочной системе. Портал предоставляет пользователям информацию о пути проезда на железнодорожном и автомобильном транспорте России, ближнего и дальнего зарубежья с учетом пересадок, осуществляя:

- поиск пунктов пересадки, когда прямого пути между пунктами нет;
- поиск маршрутов указанного вида транспорта;
- поиск путей проезда между двумя пунктами с пересадкой в указанном пункте;
- поиск интермодального пути проезда (разные виды транспорта);
- поиск пути проезда со всех возможных вокзалов города или с одного указанного;
- предоставление информации о расписании движения по станции;
- отображение найденных путей проезда на интерактивной карте;
- отображение интерактивной схемы беспересадочных маршрутов для указанной станции.

2. АЛГОРИТМЫ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ ПУТЕЙ ПРОВОЗА НА ПАССАЖИРСКОМ ТРАНСПОРТЕ

В разработанной информационно-справочной системе применяется алгоритм поиска оптимального пути, отличающийся от известных. Существуют

два основных подхода к моделированию информации о расписаниях как задачи поиска кратчайшего пути: время-расширенный и время-зависимый [5, 6]. Время-расширенный граф конструируется таким образом, что каждый узел соответствует определенному времени (прибытия или отправления) на станцию, а ребра между узлами представляют либо элементарные соединения между двумя событиями, либо время ожидания на станции. На практике это приводит к созданию очень большого (хотя и разреженного) графа. Что касается время-зависимого подхода, то идея состоит в том, чтобы избежать создания узлов графа для каждого события. Вместо этого время-зависимый граф строится так, что каждый узел представляет станцию, и два узла считаются связанными ребром, если соответствующие станции связаны элементарным соединением. Вес ребра присваивается «на лету» и зависит от времени, когда конкретное ребро будет использовано алгоритмом поиска кратчайшего пути.

В задаче о *расписании* используются следующие понятия: *станции* (либо остановки, порты и др.), *маршруты* (поезда, автобусы), курсирующие между станциями, времена отправления и прибытия маршрутов на станции и дни курсирования. Задача формулируется следующим образом: имеется набор маршрутов Z , набор станций B , и набор элементарных соединений C , элементы которого c — кортежи пяти величин в форме $c = (Z, S_1, S_2, t_d, t_a)$. Каждое элементарное соединение понимается как маршрут Z , отправляющийся со станции S_1 во время t_d ; следующая станция маршрута — S_2 , прибытие — t_a . Длина элементарного соединения c обозначается $length(c)$ — время между прибытием и отправлением. Расписание действует для N дней курсирования. Каждому маршруту соответствует битовое поле из N битов, определяющих, в какие дни маршрут курсирует. На станции $S \in B$ возможна пересадка с одного маршрута на другой только в том случае, если время между отправлением и прибытием на станцию S больше либо равно *минимальному времени пересадки* для этой станции (S). Для станций, расположенных близко друг к другу, возможно прохождение пешком, которое описывается введением так называемых *пеших ребер* между станциями. Формально, мы рассматриваем пешее ребро как элементарное соединение c , где маршрут Z , времена отправления и прибытия t_d и t_a не определены, но длина $length(c)$ определена и равна времени пешего перехода.

Наиболее известная частная задача о расписаниях называется также *задачей наискорейшего прибытия*. Запрос (A, B, t_0) определяет станцию отправления A , станцию прибытия B и время отправления t_0 . Соединение допустимо, если отправление от станции A не происходит раньше задан-

ного времени t_0 . Критерий оптимизации — минимизировать разницу между временем прибытия и заданным временем отправления. В другой задаче *минимального числа пересадок* необходимо отыскать путь с наименьшим числом пересадок для станций A и B , вообще не принимая во внимание времена прибытий и отправлений.

Представленные подходы могут быть применены для *моделирования реальной задачи*, например, учитывающей время пересадок. Чтобы учесть времена пересадки во время-расширенной модели, на графе создается копия всех узлов прибытия и отправления со станций, которые мы называем *узлами пересадки*. Для каждого узла прибытия существует два исходящих ребра: одно ребро к отправлению того же маршрута, второе ребро — к узлу пересадки со временем, большим или равным сумме времен прибытия в узел, и минимальным временем, требуемым на пересадку на данной станции.

Часто пассажиры заинтересованы в том, чтобы найти самый дешевый путь из пункта A в пункт B в заданном интервале времени. К сожалению, тарифная система в большинстве стран настолько сложна, что практически невозможно решить такую задачу поиска точно и одновременно быстро. Даже в стандартных тарифах стоимость проезда обычно не аддитивна. Еще хуже обстоит дело, если требуется учесть специальные тарифы.

Многокритериальная оптимизация по нескольким критериям необходима, когда пассажиру требуется найти путь с минимальным числом пересадок, который начинается после заданного времени и не заканчивается слишком поздно. Вычисление оптимального пути по нескольким критериям сводится к решению задачи поиска кратчайшего пути по нескольким критериям (MOSP, multi-objective shortest path) — основной задачи в области многоцелевой оптимизации [7]. Задача многокритериальной оптимизации обычно NP -полная, так как размер набора Парето обычно экспоненциально возрастает. Даже для очень простых графов (цепь узлов, соединенных ребрами) в задаче с двумя критериями число решений в наборе Парето растет экспоненциально. Поэтому на практике для нахождения решения многокритериальной задачи применяются приближенные подходы. Один из способов выбора Парето-оптимального решения — *лексикографический порядок*. В упрощенной версии время-расширенного подхода лексикографически первое решение может быть посчитано для любого d -значения как вес ребер. Например, если $d = 2$ и первый элемент — время в пути, а второй — число пересадок, то среди всех быстрых путей находится один с минимальным числом пересадок. В практической версии время-расширенного подхода могут быть использованы только те критерии, где первый критерий — время в пути.

Подходы, описанные для решения упрощенной задачи наискорейшего прибытия, были хорошо изучены для время-расширенной и время-зависи-

мой моделей. Нахождение всех подходящих путей с учетом времени пути, стоимости, числа пересадок, естественно, гораздо сложнее, чем просто поиск наискорейшего пути. Исследования известных алгоритмов поиска по расписаниям показали, что без применения специальных ускоряющих техник их производительность обычно оказывается недостаточной. Средняя производительность особенно важна в системах с центральным сервером, который должен обрабатывать сотни запросов одновременно, например, в Интернете или на транспортных терминалах (вокзалах, аэропортах).

Перечислим некоторые ускоряющие техники, которые позволяют повысить производительность алгоритмов поиска. Техника *ограничения угла* использует информацию о пространственном расположении географических объектов. На этапе *препроцессинга* (предварительной обработки данных) применяется алгоритм Дейкстры, чтобы вычислить кратчайшие пути из узла до всех других станций [9]. Результаты вычислений не сохраняются, так как это потребовало бы слишком много места, но сохраняются два значения углов $a(v, w)$ и $b(v, w)$, которые сопоставляются каждому ребру графа. Углы вычисляются следующим образом. Пусть (v, w) — ребро, соединяющее событие v с другим событием w на время-расширенном графе и пусть S_v и S_w — станции, к которым принадлежат эти события. Нарисуем угловой сектор между углами $a(v, w)$ и $b(v, w)$ с вершиной в точке S_v . Углы a и b определяются таким образом, что конечные точки кратчайших путей, проходящих через ребро, будут внутри сектора. Позднее, во время работы алгоритма, ребра (v, w) могут быть проигнорированы поиском, если целевой узел не входит в угловой сектор. Основная идея другой техники *выбора станций* применяется во многих планировщиках маршрута на транспорте [6]. В результате число рассматриваемых узлов может уменьшаться в несколько раз. Пусть $G = (V, E)$ — маршрутный граф и V^* — набор выбранных узлов, из которых строится вспомогательный граф G^* . Вспомогательный граф G^* создается и веса его ребер задаются только один раз на этапе препроцессинга. После этого любой запрос может быть обработан на вспомогательном графе G^* , и путь будет соответствовать кратчайшему пути на графе G . Техника *поиска в направлении цели* использует потенциальную функцию на наборе узлов. Веса ребер в очереди изменяются так, чтобы направить поиск по графу в сторону цели. Пусть λ — потенциальная функция. Новый вес ребра (v, w) определяется как $l(v, w) := l(v, w) - \lambda(v) + \lambda(w)$. *Иерархический поиск* требует препроцессинга, на котором исходный граф $G = (V, E)$ разбивается на несколько уровней $l + 1$ и дополняется дополнительными кратчайшими путями между определенными узлами [10]. Чтобы найти кратчайший путь между узлами, алгоритму Дейкстры достаточно рассмот-



реть меньший подграф многоуровневого графа. Еще одна интересная техника использует понятие *радиуса достижения*. Если v — вершина на кратчайшем пути P из s в t , то радиус $r(v, P)$ достижения по отношению к пути P есть минимум от длины префикса пути P (часть пути от s к v) и длины суффикса (часть пути от v к t). Радиус $r(v)$ достижения узла v — это максимум $r(v, P)$ по всем кратчайшим путям, которые содержат вершину v . Вычислив предварительно радиус $r(v)$ для всех узлов, во время работы алгоритма можно быстро узнать, по какому ребру необходимо двигаться дальше, на ходу исключая те ребра, которые не ведут к цели.

3. ОРИГИНАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО ПУТИ НА ПАССАЖИРСКОМ ТРАНСПОРТЕ

Оригинальный алгоритм поиска, который применяется в информационно-справочной системе, позволяет строго решать двухкритериальную задачу поиска пути с минимальным числом пересадок и с наискорейшим временем прибытия [1, 2]. Алгоритм оперирует со специально преобразованными исходными данными и позволяет решить задачу точно, не сводя ее к эвристическим методам. При этом поиск производится не по реальному графу, а по «виртуальному», ребра которого вычисляются во время поиска. Преимущество состоит в том, что в оригинальной реализации не требуется полный препроцессинг при частичном изменении данных о расписании движения.

Для ускорения оригинального алгоритма известные техники, например, ограничения угла, не могут быть применены, так как информация о ребрах графа вообще не хранится в системе. А алгоритм Дейкстры, хотя и может быть применен, но недостаточно быстрый для практической реализации в информационно-справочной системе. Поэтому для ускорения работы алгоритма предложены следующие специальные техники.

Метод *пересадочного подграфа* заключается в выделении потенциальных узлов пересадки. В процессе загрузки исходных данных о расписании маршрута станции и определять потенциальные узлы пересадки. Разработаны несколько критериев, на основании которых станция добавляется в пересадочный подграф. Техника пересадочного подграфа схожа с техникой иерархического поиска, но, в отличие от последней, пересчет пересадочного подграфа производится быстро. Еще один эффективный метод — *балансировка двунаправленным поиском* — заключается в особом выборе прямого или обратного поиска на каждом шаге итерации. Разработан также метод *ускорения последней итерации*. Для каждой станции вычисляется ограничивающий прямоугольник станций, достижимых без пересадок. На последнем шаге итерации используется информация об ограничивающем прямоугольнике каждой станции для выяснения,

может ли станция быть пересадкой или ее заведомо можно исключить. Еще один эффективный метод ускорения, хотя и не точный — это метод *ускорения A^** , основанный на эвристическом алгоритме A^* . Хотя в данной задаче он не является методом, сохраняющим расстояния, но на практике почти всегда позволяет находить оптимальный путь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные подход и техники ускорения положены в основу разработанной информационно-справочной системы. Ее внедрение позволит резко повысить качество информационного обслуживания пассажиров, оптимизировать пассажиропотоки и загрузку пассажирских транспортных средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вишневецкий В.М., Железов Р.В., Атанасова Т.Н. «Единая справочная система на пассажирском транспорте Российской Федерации», Distributed Computer and Communication Networks. — М.: Техносфера, 2005. — С. 165–172.
2. Железов Р.В. Реализация единой справочной системы пассажирского транспорта на базе технологий Microsoft // Сб. тр. конф. «Технологии Microsoft в теории и практике программирования». — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — С. 10–13.
3. Вишневецкий В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. — М.: Техносфера, 2003. — 512 с.
4. HAFAS. A timetable information system by HaCon Ingenieurgesellschaft mbH, Hannover, Germany [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.hacon.de/hafas/>
5. Timetable Information: Models and Algorithms in Algorithmic Methods for Railway Optimization / Muller-Hannemann M., et al. Berlin / Heidelberg: Springer, 2007.
6. Brodal G.S. and Jacob R. Time-dependent networks as models to achieve fast exact time-table queries. — In Proc. of the 3rd Workshop on Algorithmic Methods and Models for Optimization of Railways (ATMOS 2003). — Vol. 92 of Electronic Notes in Theoretical Computer Science. Elsevier, 2004.
7. Cooke K. L. and Halsey E. The shortest route through a network with time-dependent internodal transit times // Journal of Math. Analysis and Appl. — 1966. — Vol. 14. — P. 493–498.
8. Wagner D. and Willhalm T. Geometric speed-up techniques for finding shortest paths in large sparse graphs. — Proc. of the 11th European Symposium on Algorithms (ESA 2003). — Springer, 2003. — Vol. 2832 of LNCS. — P. 776–787.
9. Wagner D. and Willhalm T. Speed-up techniques for shortest path computations // Algorithmic Methods for Railway Optimization, LNCS. Springer.
10. Schulz F., Wagner D., and Zaroliagis C. Using multi-level graphs for timetable information in railway systems / Proc. 4th Workshop on Algorithm Engineering and Experiments (ALENEX). — Springer, 2002. — Vol. 2409 of LNCS. — P. 43–59.
11. Железов Р.В. Особенности алгоритма поиска маршрута на транспорте с учетом расписаний движения // Тр. междунар. сем. «Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети (DCCN' 2007)» / ИППИ РАН. — Москва, РАН, 2007. — С. 28–32.

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.Н. Бурковым.

Вишневецкий Владимир Миронович — д-р техн. наук, зав. отделом, Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, ☎ (495) 699-29-04, e-mail: vishn@iitp.ru,

Железов Роман Владимирович — аспирант, Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный, e-mail: ironromeo@mail.ru.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНО-КЛАССИФИКАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ

В.В. НИКИТИН

Предложена экспертно-классификационная процедура для совершенствования онтологии объектов профессиональной деятельности при разработке государственных профессиональных и образовательных стандартов, в которой существенное место занимают алгоритмы автоматической классификации.

Ключевые слова: онтология предметной области, объекты профессиональной деятельности, алгоритмы классификации.

ВВЕДЕНИЕ

Важный начальный этап процесса проектирования профессиональных и образовательных стандартов — формирование и анализ множества объектов профессиональной деятельности (ОПД) специалиста, т. е. видов его трудовой деятельности и объектов, на обеспечение функционирования и развития которых эта деятельность направлена. Эффективное выполнение работ, связанных с такой деятельностью, требует от специалиста определенного набора умений и компетенций. Образовательные программы должны быть построены таким образом, чтобы обеспечивать формирование у обучающихся необходимого набора умений и компетенций.

Формирование множества ОПД для определенной предметной области¹ и его анализ представляют собой слабо формализованную и трудоемкую задачу. Сегодня общепризнанным способом описания предметной области служит онтологическое моделирование. В общем случае онтологическая модель, или онтология, задается тремя конечными подмножествами: концептов, связей и функций интерпретации. На практике наблюдается тенденция к использованию упрощенных онтологических моделей, в которых множество ОПД представлено множеством (словарем) терминов, или понятий, имеющим определенную структуру [1]. Структура

может задаваться, например, графом, вершины которого соответствуют понятиям, а дуги — связям между ними. Если этот граф иерархический, вершины более высокого уровня могут интерпретироваться как более сложные (обобщающие) понятия, или классы более элементарных, «исходных» для этого уровня ОПД. Именно классы ОПД служат основой для формирования набора компетенций специалиста и затем уже профессиональных и образовательных стандартов.

Задачу анализа предметной области в целях формирования профессиональных и образовательных стандартов можно понимать как задачу выявления структуры множества ОПД, т. е. задачу построения онтологии предметной области на базе ее «первичного» описания в виде неструктурированного множества. Однако для этого необходимо каким-то образом задать связи между ОПД. Трудность состоит в том, что для задания таких связей необходимо уже иметь (хотя бы в виде модели) некоторую онтологию, т. е. некоторое представление о структуре множества ОПД. Получается замкнутый круг. Поэтому на практике возникает задача не столько создания онтологии «с нуля», сколько улучшения уже существующей онтологии (полученной, например, экспертным или нормативным путем). Цель такого улучшения — сделать структуру множества ОПД более адекватной поставленной задаче формирования образовательных стандартов. Конкретные онтологии представляют интерес только в том случае, если ведется постоянная работа по их совершенствованию.

Однако создание и совершенствование даже относительно простых онтологических моделей

¹ В данном случае предметная область — это область профессиональной деятельности специалиста.



представляют значительные трудности для высокотехнологичных, динамично развивающихся отраслей, для которых характерны частое появление новых объектов и связанных с ними понятий, существование большого числа синонимичных понятий, быстрое устаревание некоторых типов объектов, непрерывные изменения в описании и интерпретации отдельных понятий и др.

Сложность задачи связана не только с наличием быстрых изменений в самой предметной области, но и с большим объемом исходной информации. Число ОПД может исчисляться сотнями, а число классов, в которые их желательно объединить, — десятками. При решении задачи вручную эксперт вынужден резко ограничивать число рассматриваемых вариантов онтологии, основываясь на своих субъективных оценках. Поэтому для повышения объективности и обоснованности экспертизы целесообразно применять формализованные критерии и процедуры.

Задача построения онтологии на базе неструктурированного множества ОПД рассматривалась в работе [2]. В этой постановке эксперты должны были определить наличие и меру связи между всеми парами ОПД, причем каждая связь задавалась (по определенным правилам) некоторым числом. В настоящей работе предполагается, что некоторая структура на множестве ОПД уже задана, и требуется «реструктурировать» это множество, т. е. указать новую структуру, более адекватную задаче формирования образовательных стандартов. В такой постановке задача экспертов существенно упрощается: от них требуются уже не численные оценки, а качественная информация значительно меньшего объема и в более привычных для них качественных терминах.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть задана некоторая онтология, т. е. множество понятий, имеющее определенную структуру. Пусть, далее, эта структура иерархическая — если каждому понятию поставить в соответствие вершину некоторого графа, то две вершины соединятся дугой в том и только в том случае, если они находятся на разных уровнях. При этом:

— если вершина более высокого уровня соединена дугами с несколькими вершинами одного из предыдущих уровней, то она интерпретируется как интегрированное (обобщающее) понятие или *класс* вершин (понятий) этих уровней, соединенных с ней дугами;

— граф не обязательно является деревом — каждая вершина более низкого уровня может соединяться дугами с несколькими вершинами более высокого уровня, т. е. входить одновременно в несколько классов;

— граф может содержать изолированные вершины, не включенные ни в один из классов.

Чтобы иметь возможность сравнивать разные онтологии, введем два критерия.

- Критерий качества классификации вершин графа онтологической структуры. Классификация выполняется алгоритмически, но после этого эксперты оценивают полученный результат, исходя уже не из формальных, а из содержательных соображений: «естественности» объединения понятий более низкого уровня в обобщающие понятия, наличия изолированных (не отнесенных ни к одному из классов) ОПД, имеющейся дополнительной информации, не учтенной при классификации и т. п.
- Критерий равномерности распределения весов классов по уровням онтологической структуры. Этот критерий допускает формализацию.

Пусть каждой вершине присвоен некоторый вес. По определению весом класса является сумма весов входящих в него вершин. Поясним содержательный смысл введенного параметра. Если все вершины равноценны, то естественно присвоить им один и тот же вес, например, 1. Тогда вес класса — это число входящих в него вершин и характеризует его размер. Возможные подходы к присвоению весов обсуждаются далее в § 2.

Будем считать, что онтология A лучше онтологии B по критерию равномерности, если дисперсия $\sigma_{\text{ср}}^2(A)$ весов классов в среднем для всех уровней структуры A меньше, чем структуры B , где $\sigma_{\text{ср}}^2(A)$

определяется выражением $\sigma_{\text{ср}}^2 = \frac{1}{l_B - 1} \sum_{l=2}^{l_B} \sigma_l^2$. Здесь

l_B — номер самого верхнего уровня онтологической структуры (уровни нумеруются снизу вверх), σ_l^2 — дисперсия весов классов l -го уровня.

Окончательное решение о том, какая из двух онтологий лучше, принимается экспертами на основании их сравнения по двум описанным выше критериям.

Задача заключается в том, чтобы, исходя из заданной онтологии, построить новую онтологию, лучшую (в определенном нами смысле), чем заданная.

Далее описана экспертно-классификационная процедура решения поставленной задачи. На одном из этапов этой процедуры используется алгоритм автоматической классификации. Для простоты изложения и возможности содержательной интерпретации получаемых результатов описание процедуры дается на примере конкретной онтологии.

2. ОПИСАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ

Опишем процедуру решения задачи на примере онтологии для предметной области «Информатика и информационно-коммуникационные технологии» [1].

Эта онтология имеет трехуровневую иерархическую структуру. На верхнем уровне находятся 6 классов объектов профессиональной деятельности.

1. Компоненты аппаратных средств информационных технологий.

2. Корпоративные информационные системы и услуги, связанные с их проектированием и эксплуатацией.

3. Компоненты программных средств информационных технологий.

4. Компонент ориентированные информационные системы.

5. Коммуникационные средства, системы и услуги, связанные с их проектированием и эксплуатацией.

6. Средства микроэлектронной техники и услуги, связанные с их проектированием и производством.

На втором уровне каждый из этих классов (обобщающих понятий) подразделяется на несколько подклассов (более простых понятий). Рассмотрим подробнее класс 2 «Корпоративные информационные системы и услуги, связанные с их проектированием и эксплуатацией». Он подразделяется на три подкласса.

2.1. Инструментальные программные средства интеграции корпоративных информационных систем.

2.2. Услуги по поддержке жизненного цикла корпоративных информационных систем.

2.3. Функциональные подсистемы корпоративных информационных систем.

На самом нижнем, третьем уровне класс 2 включает в себя 44 ОПД (табл. 1). Существенно, что в данной онтологии (и эта ситуация типичная) объектам нижнего уровня соответствуют изолированные вершины.

Другими словами, указанные 44 ОПД не распределены по подклассам второго уровня: они даются одним списком (второй столбец табл. 2) и перенумерованы в алфавитном порядке (первый столбец).

Процедура улучшения онтологии состоит из трех этапов.

Первый этап — использование уже имеющейся (подлежащей улучшению) онтологии для формирования пространства признаков, в котором далее будет строиться новая классификация вершин нижнего уровня.

**Нижний уровень класса
«Корпоративные информационные системы и услуги,
связанные с их проектированием и эксплуатацией»**

Но-мер	Наименование ОПД	Код
200	Анализ баз данных	111
201	Аренда приложений в сетях	010
202	Инструменты для моделирования корпоративных информационных систем	100
203	Информационно-поисковые услуги	001
204	Исследования рынка инструментальными средствами	001
205	ИТ-консалтинг	010
206	Лингвистические средства	111
207	Операторские центры (call center/help desk)	110
208	Офисные приложения	001
209	Поддержка бизнес-процессов	101
210	Поддержка групповой работы (groupware)	110
211	Проектирование баз данных	111
212	Проектирование информационных систем	111
213	Разработка архитектуры информационной системы	111
214	Разработка документации	111
215	Разработка программ на заказ (custom)	001
216	Сетевое администрирование	010
217	Системы административного управления	011
218	Системы бухгалтерского и складского учета	001
219	Системы планирования ресурсов (MRP, ERP и др.)	001
220	Системы поддержки принятия решений	001
221	Системы управления документооборотом	001
222	Системы управления запасами	001
223	Системы управления знаниями	001
224	Системы управления персоналом	001
225	Системы управления производством	001
226	Системы управления сбытом (CRM и т. п.)	001
227	Системы финансового анализа	001
228	Службы каталогов	110
229	Средства OLAP/хранилища данных	110
230	Торговые услуги в сети Интернет	001
231	Услуги «Co-location»	110
232	Услуги «Hot-line»	110
233	Услуги в сфере системной интеграции	010
234	Услуги по временному найму персонала	001
235	Услуги по обеспечению информационной безопасности	010
236	Услуги по классификации контента	001
237	Услуги по обеспечению непрерывности деятельности	010
238	Услуги по преобразованию данных	110
239	Услуги по реинжинирингу	001
240	Услуги сетевых систем хранения данных	110
241	Услуги центров обработки данных	110
242	Установка программных средств	010
243	Экспертиза качества информационных систем	101



Классификация ОПД на 4 класса

Класс	Номер	Наименование ОПД	Значение функции принадлежности			
1	200	Анализ баз данных	1	0	0	0
	206	Лингвистические средства	1	0	0	0
	211	Проектирование баз данных	1	0	0	0
	212	Проектирование информационных систем	1	0	0	0
	213	Разработка архитектуры информационной системы	1	0	0	0
	214	Разработка документации	1	0	0	0
	202	Инструменты для моделирования корпоративных информационных систем	0,8	0,2	0	0
2	201	Аренда приложений в сетях	0	1	0	0
	207	Операторские центры (call center/help desk)	0	1	0	0
	210	Поддержка групповой работы (groupware)	0	1	0	0
	217	Системы административного управления	0	1	0	0
	228	Службы каталогов	0	1	0	0
	229	Средства OLAP/хранилища данных	0	1	0	0
	231	Услуги «Co-location»	0	1	0	0
	232	Услуги «Hot-line»	0	1	0	0
	238	Услуги по преобразованию данных	0	1	0	0
	240	Услуги сетевых систем хранения данных	0	1	0	0
241	Услуги центров обработки данных	0	1	0	0	
3	205	ИТ-консалтинг	0	0	1	0
	216	Сетевое администрирование	0	0	1	0
	233	Услуги в сфере системной интеграции	0	0	1	0
	235	Услуги по обеспечению информационной безопасности	0	0	1	0
	237	Услуги по обеспечению непрерывности деятельности	0	0	1	0
	242	Установка программных средств	0	0	1	0
	243	Экспертиза качества информационных систем	0	0,4	0,6	0
4	203	Информационно-поисковые услуги	0	0	0	1
	204	Исследования рынка инструментальными средствами	0	0	0	1
	208	Офисные приложения	0	0	0	1
	209	Поддержка бизнес-процессов	0,2	0	0	0,8
	215	Разработка программ на заказ (custom)	0	0	0	1
	218	Системы бухгалтерского и складского учета	0	0	0	1
	219	Системы планирования ресурсов (MRP, ERP и др.)	0	0	0	1
	220	Системы поддержки принятия решений	0	0	0	1
	221	Системы управления документооборотом	0	0	0	1
	222	Системы управления запасами	0	0	0	1
	223	Системы управления знаниями	0	0	0	1
	224	Системы управления персоналом	0	0	0	1
	225	Системы управления производством	0	0	0	1
	226	Системы управления сбытом (CRM и т. п.)	0	0	0	1
	227	Системы финансового анализа	0	0	0	1
	230	Торговые услуги в сети Интернет	0	0	0	1
234	Услуги по временному найму персонала	0	0,4	0	0,6	
236	Услуги по классификации контента	0	0	0	1	
239	Услуги по реинжинирингу	0	0,4	0	0,6	

Этот этап выполняется с помощью экспертов. Однако от экспертов, в отличие от методики, описанной в работе [2], уже не требуется определять меру близости между каждой парой ОПД указанием конкретного числа. Перед ними ставится более простая задача: пользуясь уже имеющейся онтологией, для каждого ОПД указать, к какому из трех подклассов второго уровня этой онтологии он относится.

Если эксперт затрудняется выбрать какой-то один подкласс, он может отнести этот ОПД одновременно к двум или даже к трем подклассам. В результате каждый ОПД получает трехпозиционный код из единиц и нулей. Например, если эксперт отнес ОПД «Сетевое администрирование» к подклассу «2.2. Услуги по поддержке жизненного цикла корпоративных информационных систем», этому ОПД ставится в соответствие код 010. Если же, по мнению эксперта, ОПД нельзя отнести ни к одному из подклассов (т. е. эксперт фактически отказывается от классификации этого объекта), ему присваивается код 000 (в рассматриваемом случае таковых не оказалось).

Поскольку разные эксперты могут вкладывать в одни и те же понятия разное содержание, они могут присвоить одним и тем же ОПД разные коды. В нашем случае оказалось, что мнения экспертов расходятся незначительно, поэтому при наличии разногласий код ОПД определялся простым большинством голосов.

Коды, проставленные группой из 10 экспертов — специалистов в данной области для всех 44 ОПД данного класса, приведены в третьем столбце табл. 1.

В случае большей разбросанности мнений возможен и другой способ кодирования. Пусть, например, ОПД «Службы каталогов» восемь экспертов из 10 отнесли к первому классу, 7 — ко второму и ни один — к третьему. Тогда этому ОПД приписывается код (0,8; 0,7; 0). Для каждого j -го ОПД полученный код можно интерпретировать как вектор значений k параметров $x_j = (x_j^{(1)}, \dots, x_j^{(k)})$ (для рассматриваемого примера $k = 3$), т. е. j -й ОПД может быть представлен точкой x_j в k -мерном пространстве X .

Второй этап — автоматическая классификация (кластер-анализ) 44-х ОПД нижнего уровня последовательно на 4, 3 и 2 класса в k -мерном пространстве X , полученном на первом этапе (с последующей оценкой экспертами результатов автоматической классификации).

В качестве расстояния в пространстве X между любыми двумя ОПД можно принять расстояние по Хеммингу (число несовпадающих разрядов в их двоичных кодах) либо по Евклиду, если коды оп-

ределяются путем усреднения мнений экспертов, т. е. на каждой позиции кода может стоять любое число между 0 и 1.

Поскольку некоторые ОПД могут действительно (а не только по мнению экспертов) относиться к двум или трем подклассам одновременно, в работе применяется алгоритм размытой автоматической классификации [3].

В размытом случае каждый классифицируемый объект (точка x в пространстве признаков X) относится ко всем классам одновременно, но с разной степенью принадлежности («достоверности»). Эти величины задаются вектор-функцией принадлежности $H(x) = (h_1(x), \dots, h_r(x))$, где $h_i(x)$ — функция принадлежности точки x к i -му классу. Вид размытости задается ограничениями на функцию $H(x)$ [3]. В алгоритме размытой классификации предусмотрено наличие «фонового» класса, в который попадают объекты, «не поддающиеся» классификации (в нашем примере это все ОПД с кодом 000).

По мнению экспертов, наиболее естественную содержательную интерпретацию имеет классификация ОПД на 4 класса (табл. 2).

1-й класс можно интерпретировать как совокупность ОПД, выполняющих функции общей программной поддержки.

2-й класс — функции организационно-программной поддержки.

3-й класс — функции интеграции сети и поддержания жизненного цикла.

4-й класс — прикладные подсистемы корпоративных информационных систем.

Поскольку в рассматриваемом примере исходная онтология только трехуровневая, классифицировались только ОПД нижнего уровня. В случае существенно многоуровневой исходной онтологии описанную процедуру можно затем использовать для классификации вершин второго, третьего и далее уровней.

Третий этап улучшения онтологии — перераспределение классов по уровням онтологической структуры так, чтобы на каждом уровне распределение весов стало более равномерным.

Обратим внимание, что на втором уровне самым большим оказался 4-й класс: он охватывает почти половину всех ОПД. Это обстоятельство на первый взгляд может показаться случайным: если бы классификация прикладных задач, решаемых в корпоративных информационных системах, была не столь детальной (непонятно, например, чем отличаются «офисные приложения» от «поддержки бизнес-процессов», и зачем выделять эти функции, если далее они детализируются), число элементов в 3-м классе могло бы существенно сокра-



таться. Однако размер, или вес класса лучше определять не по числу вошедших в него ОПД, которое может быть в значительной мере связано с недостаточной продуманностью принципов составления списка исходных понятий при разработке онтологии. Желательно, чтобы приписываемые веса так или иначе были связаны с назначением рассматриваемой онтологии. Если онтология используется для разработки профессиональных и образовательных стандартов, веса могут отражать, например, время, необходимое для обучения данной области профессиональной деятельности, относительную потребность в специалистах, выполняющих соответствующие функции, — так называемый коэффициент актуальности, и т. п. (при решении конкретных прикладных задач значения весов классов должны находиться с помощью специальной экспертной процедуры оценивания).

Рассмотрим, для простоты, вторую возможность. Рассмотрим коммерческую компанию среднего размера — с численностью персонала 2—3 тыс. чел. В такой компании для оказания услуг по интеграции сети и поддержания жизненного цикла корпоративных информационных систем (сетевое администрирование и т. п. — см. класс 3) едва ли потребуется больше 10 чел. Функции общей программной поддержки (см. класс 1) едва ли потребуют более 30 чел., а число программистов, разрабатывающих и совершенствующих приложения по заказам функциональных подразделений компании, может исчисляться сотнями, и то их, как правило, не хватает.

Поэтому при оценке весов классов было бы правильно приписывать ОПД этих классов веса, характеризующие «массовость» соответствующей специальности. Например, если ОПД 3-го класса вес 1, то ОПД 1-го и 4-го классов необходимо приписать веса соответственно 3 и 20. При таких весах ОПД большой вес 4-го класса уже не кажется случайностью. Даже если все прикладные функции объединить в одной — «поддержка бизнес-процессов», 4-й класс окажется больше, чем 1-й и 3-й, вместе взятые.

Таким образом, вес четвертого класса «Прикладные системы корпоративных информационных систем» значительно больше весов остальных классов этого уровня и лишь ненамного уступает весу класса высшего уровня «Корпоративные информационные системы». А это означает, что для улучшения онтологии в смысле равномерности распределения весов классов по уровням этот класс следует перенести на следующий (верхний) уровень онтологической структуры.

В результате применения описанных трех этапов экспертно-классификационной процедуры

получен новый вариант онтологии для предметной области «Информатика и информационно-коммуникационные технологии», отличный от исходного варианта. В новом варианте уже не 6 классов ОПД, а 7 — на основе класса «Корпоративные информационные системы и услуги, связанные с их проектированием и эксплуатацией» сформированы два класса — класс с тем же названием, но меньшего веса, а также новый класс: «Прикладные информационные системы».

Четвертый этап — экспертное сравнение построенной онтологии с исходной.

Из 10 экспертов, участвовавших в описанной экспертной процедуре, 8 оценили полученную классификацию ОПД на 4 класса как более содержательную, чем априорная (т. е. не основанная на классификации ОПД нижнего уровня) классификация на 3 класса исходной онтологии. Кроме того, все эксперты положительно оценили тот факт, что в новой онтологии нет изолированных вершин.

Далее они признали целесообразным сделанное по формальному критерию перенесение класса 4 на более высокий уровень онтологической структуры.

В результате эксперты решили, что по совокупности двух критериев новая онтология существенно лучше исходной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная экспертно-классификационная процедура совершенствования онтологии предметной деятельности позволяет формировать классы объектов профессиональной деятельности, более адекватные задаче проектирования профессиональных и образовательных стандартов, что, в свою очередь, повышает эффективность самого проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин В.В. Информационно-методические обеспечение формирования перечня направлений и специальностей в области информационно-коммуникационных технологий. — М.: МАКС Пресс, 2006. — 272 с.
2. Классификация объектов профессиональной деятельности специалиста при проектировании профессиональных и образовательных стандартов / В.В. Никитин и др. // Проблемы управления. — 2007. — № 4. — С. 51—55.
3. Бауман Е.В., Дорофеев А.А. Классификационный анализ данных. // Тр. Междунар. конф. по проблемам управления / ИПУ РАН. — М., 1999. — Т. 1. — С. 62—77.

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.А. Дорофеевом.

Никитин Виктор Васильевич — канд. техн. наук, проректор, Государственный университет — Высшая школа экономики, г. Москва, ☎ (495) 771-32-38, e-mail: vnikitin@hse.ru.

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К УЧЕТУ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ КРИТЕРИЕВ ОПТИМАЛЬНОСТИ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Р.Л. Гилязов, В.Ю. Столбов

Рассмотрена задача выбора оптимальной конфигурации мультисервисной сети связи. Предложена методика учета иерархической структуры конфликтных нечетко формализованных интересов различных групп пользователей сети. Приведены примеры, демонстрирующие применение методики.

Ключевые слова: мультисервисные сети связи, оптимизация, социальные группы пользователей, иерархическая структура нечетких предпочтений.

ВВЕДЕНИЕ

В большинстве случаев территориально-распределенная сеть передачи данных служит для обеспечения возможности удобного, качественного и дешевого взаимодействия отдельных пользователей или их групп между собой. Оптимальное использование сети зависит от услуг, которые она предоставляет: насколько хорошо каждая услуга разрешает проблемы потребителя, насколько быстро она может быть доставлена потребителю и насколько она надежно функционирует. Стоимость сети (включая расходы на ее содержание) зависит от инфраструктуры, развернутой для ее поддержания: общей стоимости требуемого оборудования и стоимости поддержки информационных систем. Число потребителей информационных услуг неуклонно растет, повышаются их требования к качеству обслуживания. В последнее время в отрасли связи произошли радикальные перемены, затронувшие деятельность почти всех телекоммуникационных компаний: появились и активно внедряются новые технологии доступа, транспорта и предоставления услуг, возник широкий спектр новых услуг, и снизилась доходность традиционных услуг связи [1].

Наибольшее влияние на телекоммуникационный рынок нашей страны за последние 5—7 лет, вне всякого сомнения, оказал процесс предоставления абонентам цифровых клиентских окончатий, позволяющих оказывать услуги высокоско-

ростной передачи данных. Несмотря на то, что цифровые технологии давно используются в сетях передачи данных, на уровне абонентского доступа долгое время безраздельно господствовал доступ посредством установления телефонного соединения с помощью аналогового модема. Внедрение цифровых технологий абонентского доступа и стремительное снижение стоимости оборудования для организации оптических каналов связи привело к тому, что стоимость организации абонентского широкополосного доступа снизилась настолько, что стали возможны массовые продажи широкополосных услуг. В свою очередь, это привело к тому, что операторы связи получили техническую возможность оказывать конвергентные услуги, связанные с передачей голосовой и видеoinформации по одному и тому же каналу связи. В специальной литературе эти услуги стали называть Triple Play Services.

Широкое распространение услуг Triple Play, в свою очередь, ставит вопрос о выборе эффективных решений при проектировании и эксплуатации сети. Внедрение математических моделей, позволяющих быстро и качественно анализировать и оптимизировать имеющиеся проектные решения и проектировать новые сети, позволяет изменить процесс построения сети и ее эксплуатацию. Вместо интуитивных решений, основанных только на личном опыте людей, их принимающих, приходит математический аппарат, позволяющий этим людям принимать решения на основе данных моде-



лирования, что значительно повышает эффективность управленческих решений. Задача становится еще более актуальной, если учесть, что рынок передачи видеoinформации тоже находится на пороге значительных перемен. Уже в каждом магазине можно купить телевизор с надписью HDTV (технология передачи видеоизображения высокой четкости), а эта технология предъявляет повышенные требования к пропускной способности сетей передачи данных, и необходимо умение предсказать поведение сети при внедрении HDTV, чтобы полученное решение было надежным и финансово эффективным. Такое умение может стать ключевым фактором успешности внедрения HDTV проекта.

В современных сетях передачи данных выделяют магистральный (ядро сети, *core*), пользовательский (последняя миля) и распределительный уровни [2]. При проектировании сети передачи данных стремятся найти такой вариант построения транспортной сети, который бы удовлетворял необходимую потребность в связи при наименьших общих затратах на построение, обслуживание и последующее развитие сети. Важно понимать, что выбор пользовательского уровня сети, как правило, достаточно прост: его пропускная способность и становится тем фактором, который влияет на спектр услуг, которые можно оказать именно этому абоненту. Кроме того, выбор этого уровня большей частью определяется тем, какими ресурсами располагает оператор связи. В то же время выбор архитектуры собственно сети передачи данных (магистральный и распределительный уровни) может представлять собой достаточно сложную задачу. При создании и эксплуатации любой сети связи капитальные затраты и эксплуатационные расходы должны быть минимальны при условии, что сеть выполняет с заданными качественными показателями возложенные на нее функции по передаче и распределению информационных потоков, поступающих от потребителей [3]. Задачи моделирования магистрального и распределительного уровней сети рассматриваются в работах [4–6]. Здесь же рассмотрим вопросы построения обобщенного критерия оптимальности сети с учетом нечетких предпочтений различных социальных групп.

В качественном функционировании сети передачи данных заинтересованы различные группы лиц. В первую очередь, это, конечно, оператор сети, который инвестирует средства в строительство сети и несет расходы по поддержанию ее работоспособности. Кроме оператора сети, в ее качественном функционировании заинтересованы операторы и потребители услуг сети. Операторы услуг получают доход от оказания посредством сети передачи данных услуг потребителям, а потребители получают выгоду непосредственно от потре-

ления услуг. Таким образом, при проектировании и использовании современной мультисервисной сети связи (МСС) сталкиваются интересы различных групп потребителей и операторов услуг. Любая, даже самая мощная сеть передачи данных обладает ограниченными ресурсами для удовлетворения запросов пользователей. Увеличение количества доступных ресурсов требует дополнительных затрат от оператора сети. Пользователи сети, с одной стороны, заинтересованы в том, чтобы получать максимальное число услуг с наивысшим качеством, с другой стороны — в снижении своих затрат на пользование сетью. Сообщество потребителей услуг неоднородно, разные группы потребителей хотят получать разные услуги и с разным качеством, что, в свою очередь, приводит к предъявлению противоречивых требований ко всей системе. Для качественного проектирования сетей передачи данных необходим учет всех предъявляемых к сети требований, что невозможно без учета интересов различных социальных групп пользователей.

Таким образом, сеть передачи данных призвана удовлетворять запросам всех заинтересованных лиц, связанных с эксплуатацией сети: пользователей сети, операторов предоставляемых сетью услуг, оператора сети. Поэтому при моделировании МСС ее необходимо рассматривать как единую социально-техническую систему, в которой активную роль играют потребители услуг связи. Подобные подходы к управлению организационными и социально-экономическими системами с использованием теории активных систем и методов комплексного оценивания рассмотрены в работах [7, 8]. В работе [9] приведены подробный обзор и классификация методов комплексного оценивания и рационального выбора. Однако предлагаемые подходы требуют дополнительной конкретизации для решения рассматриваемой задачи.

Большинство работ, посвященных моделированию и оптимизации сетей связи, например, [10, 11], не учитывают социальную составляющую МСС. В то же время проблемам учета интересов пользователей при управлении сетями связи посвящен ряд работ, основанных на теории общественного выбора, например, [12], в которой задача распределения ресурсов сети между потребителями решается оригинальным, но достаточно частным способом. Ее авторы предлагают предоставить пользователям возможность самим устанавливать классы обслуживания (приоритеты при передаче по сети) для получаемых ими услуг. Для обеспечения оптимального назначения приоритетов пользователями предлагается установить особый механизм ценообразования, при котором цена получаемой пользователем услуги зависит от приоритета, установленного пользователем. Предполагается линейная связь между стоимостью услуги и потерями

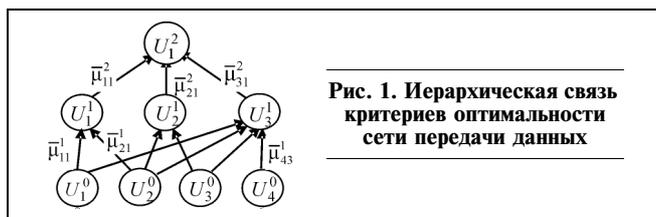


Рис. 1. Иерархическая связь критериев оптимальности сети передачи данных

от отказа в ее получении (или от неудовлетворительного качества услуги). Однако правильный выбор класса обслуживания для услуг различных типов может быть затруднен для недостаточно технически образованных пользователей, что может приводить как к их отказу от услуг сети, так и к неоптимальному ее использованию. В данной работе, в отличие от работы [12], устраняется сильное допущение о линейности и, благодаря кластеризации пользователей на группы, учитываются интересы пользователей без их привлечения к самостоятельному принятию решений.

Предлагаемый подход к проектированию МСС позволяет учесть не только технико-экономические критерии функционирования сети связи, но и интересы (часто конфликтные) различных групп пользователей данной сети. Конечное решение об инвестициях в строительство сети и выборе конкретных параметров сети передачи данных принимает оператор сети с учетом интересов всех сторон, находящихся на различных уровнях системы управления сетями связи. Для этой цели предлагаемый критерий оптимальности сети передачи данных имеет иерархическую структуру, представленную на рис. 1. Стрелками показана зависимость критериев различных уровней, а веса на стрелках задают степень зависимости. Участие весов в формировании критериев оптимальности на каждом структурном уровне будет пояснено далее.

На нулевом уровне находятся технические критерии, характеризующие качество функционирования сети, например: число потерянных пакетов, среднее время задержки для каждой услуги, предоставляемой сетью, стоимость сети и др. На первом уровне находятся комплексные критерии групп потребителей услуг и операторов услуг, характеризующие степень удовлетворенности группы пользователей или оператора услуги качеством функционирования сети. На последнем (втором) уровне находится обобщенный критерий оператора сети, характеризующий степень его удовлетворенности оценками групп пользователей и операторов услуг качеством функционирования сети. Критерии верхних уровней представляют собой свертку (необязательно линейную) критериев нижних уровней. Все критерии, входящие в обобщенный иерархический критерий оптимальности сети, начиная с первого уровня, имеют нечеткую природу. Основная причина нечеткости требований к сети

передачи данных заложена в необходимости учета интересов большого числа пользователей сети и в широком спектре услуг, предоставляемых сетью. Цель строительства мультисервисной сети передачи данных заключается в удовлетворении интересов потребителей услуг, требования которых можно считать конечными. Пользователи сети, по понятным причинам, не могут задать точного критерия, характеризующего их удовлетворенность качеством и стоимостью услуг, предоставляемых сетью. Поэтому в данной методике для описания предпочтений пользователей сети предлагается использовать лингвистическую переменную [7]. Кроме того, сеть передачи данных существует в условиях постоянных изменений: вводятся новые услуги, меняются предпочтения пользователей, повышаются требования к качеству предоставляемых услуг. Таким образом, для выбора оптимальных решений при развертывании мультисервисной сети передачи данных оператору сети необходимо учитывать большое число факторов, что требует применения специального математического аппарата.

1. ПОСТРОЕНИЕ ОБОБЩЕННОГО КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Для учета иерархической природы критерия оптимальности сети передачи данных предлагается следующая методика.

Пусть каждый вариант построения сети передачи данных характеризуется некоторым набором значений критериев $\{U_i^0 = \{u_{ik}^0\}\}$, где $k = \overline{1, K}$ — номер варианта построения системы, i — номер критерия. Необходимо выбрать лучший вариант построения этой системы. В качестве таких критериев для сетей передачи данных могут выступать средние задержки при передаче информации различных типов, дрожание, потеря пакетов, число каналов эфирного видео, доступных в сети, и качество этих каналов и др. При этом критерии оптимальности имеют иерархическую структуру.

На верхнем структурном уровне оптимальность системы зависит от некоторого обобщенного критерия U_1^2 . Значения критерия U_1^2 , в свою очередь, зависят от значений критериев из некоторого множества $\{U_{j2}^1\}$, которые принадлежат уровню 1. Значения каждого критерия уровня, в свою очередь, зависят от значений исходных критериев оптимальности системы $\{U_i^0\}$.

Будем считать, что каждое значение критерия u_{ik}^0 задает степень предпочтительности системы для каждого варианта V_k^0 построения системы по



Таблица 1

Оптимальность вариантов построения системы с учетом критериев нулевого уровня

Критерий	Вариант			
	V_1^0	V_2^0	...	V_K^0
U_1^0	u_{11}^0	u_{12}^0	...	u_{1K}^0
U_2^0	u_{21}^0	u_{22}^0	...	u_{2K}^0
...
$U_{m_0}^0$	$u_{m_0 1}^0$	$u_{m_0 2}^0$...	$u_{m_0 K}^0$

критерию U_i^0 . Результат применения критериев U_i^0 к вариантам V_k^0 отображен в табл. 1, в которой u_{ik}^0 — некоторые числа, имеющие смысл оптимальности соответствующего варианта V_k^0 по критерию U_i^0 .

Отметим, что критерии первого уровня U_j^1 зависят не от самих вариантов построения сети, а от значений критериев нулевого уровня $\{U_i^0\}$.

Введем функции принадлежности $\mu_j^1(u_{ik}^0) \in [0, 1]$, которые показывают «меру удовлетворенности» значениями критерия u_{ik}^0 нулевого уровня в смысле j -го критерия первого уровня (определяемого соответствующей группой пользователей сети), где k — номер варианта построения сети. Например, значением критерия нулевого уровня u_{ik}^0 может быть качество IP-телефонии, обеспечиваемое сетью при k -м варианте построения сети, а значением функции принадлежности $\mu_j^1(u_{ik}^0)$ будет степень удовлетворенности j -й группы пользователей качеством IP-телефонии. Для определения функции принадлежности в данном случае удобно использовать лингвистическую переменную (например, 1 — очень хорошо, 0,8 — хорошо, 0,5 — удовлетворительно, 0,2 — плохо, 0 — очень плохо). Подчеркнем, что такой способ позволяет учесть нелинейную зависимость удовлетворенности пользователей сети от качества предоставляемых услуг, подтверждением которой может служить закон убывающей полезности в экономике [13].

Для каждого критерия U_j^1 введем некоторое нечеткое бинарное отношение $\tilde{R}_j^1(V_a^1, V_b^1)$ с функ-

цией принадлежности $\mu_{\tilde{R}^1}(V_a^1, V_b^1)$, имеющее смысл степени превосходства варианта построения сети $V_a^1 = \{\mu_j^1(u_{ia}^0)/u_{ia}^0\}, i = \overline{1, m_0}$ над вариантом $V_b^1 = \{\mu_j^1(u_{ib}^0)/u_{ib}^0\}, i = \overline{1, m_0}$ и учитывающее важность учета критерия U_i^0 в смысле критерия $U_j^1(\bar{\mu}_{ij}^1)$. Иначе говоря, $\bar{\mu}_{ij}^1$ задает матрицу важностей критериев нулевого уровня в смысле критериев первого уровня.

Каждый критерий первого уровня зависит в общем случае от m_0 критериев нулевого уровня, а введенное нечеткое отношение $\tilde{R}_j^1(V_a^1, V_b^1)$ устраняет многокритериальную неопределенность при вычислении значений критериев первого уровня. Предлагаются два подхода к устранению неопределенности. Первый заключается в замене множества критериев их линейной сверткой. Функция принадлежности нечеткого отношения при таком подходе имеет вид

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{R}^1}(V_a^1, V_b^1) &= \frac{1 + \sum_i \bar{\mu}_{ij}^1(\mu_j^1(u_{ia}^0) - \mu_j^1(u_{ib}^0))}{2 \sum_i \bar{\mu}_{ij}^1} \equiv \\ &\equiv \mu_{\tilde{R}^1}^I(V_a^1, V_b^1), \end{aligned} \tag{1}$$

где числовые коэффициенты нужны для приведения области значений функции к отрезку $[0, 1]$.

Второй подход заключается в выборе критериев, по которым отклонения варианта a от варианта b максимальны. Функция принадлежности нечеткого отношения при таком подходе может иметь вид

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{R}^1}(V_a^1, V_b^1) &= \\ &= \frac{1}{2} \left(1 + \max \left(\max_i \left(\frac{\bar{\mu}_{ij}^1(\mu_j^1(u_{ia}^0) - \mu_j^1(u_{ib}^0))}{\max(\mu_j^1(u_{ia}^0), \mu_j^1(u_{ib}^0))} \right), 0 \right) + \right. \\ &\quad \left. + \min \left(\min_i \left(\frac{\bar{\mu}_{ij}^1(\mu_j^1(u_{ia}^0) - \mu_j^1(u_{ib}^0))}{\max(\mu_j^1(u_{ia}^0), \mu_j^1(u_{ib}^0))} \right), 0 \right) \right) \equiv \\ &\equiv \mu_{\tilde{R}^1}^{II}(V_a^1, V_b^1), \end{aligned} \tag{2}$$

где \max показывает максимальное (по критериям нулевого уровня) превосходство варианта a над вариантом b , \min — превосходство варианта b над вариантом a .

Выбор конкретной функции принадлежности, например, (1) или (2), зависит от предметной об-

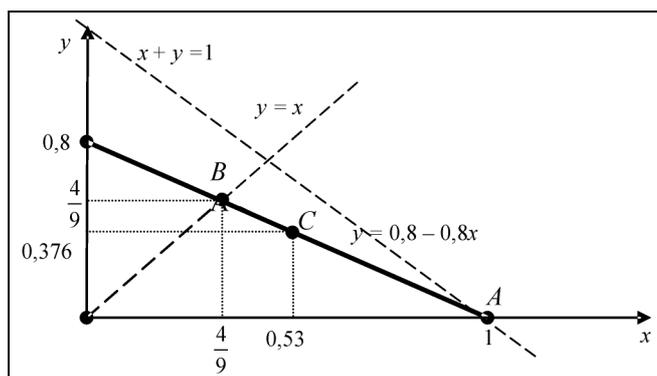


Рис. 2. Пример применения различных подходов к устранению многокритериальной неопределенности

ласти функционирования системы. Возможен также компромиссный вариант:

$$F(\mu_i^j(x_i^k)) = (1 - \alpha)\mu_{R^1}^1(V_a^1, V_b^1) + \alpha\mu_{R^1}^{\text{II}}(V_a^1, V_b^1) \equiv \mu_{R^1}^{\text{III}}(V_a^1, V_b^1), \quad (3)$$

где $\alpha \in [0, 1]$ — некоторая константа. Различия в применении функций принадлежности (1), (2) и (3) могут быть продемонстрированы на следующем примере (рис. 2). Пусть необходимо найти оптимальный вариант построения некоторой системы, имеющей два критерия оптимальности x и y . Важности критериев будем считать одинаковыми и равными единице ($\bar{\mu}_x = \bar{\mu}_y = 1$). Образ Парето-множества решений в пространстве критериев оптимальности пусть имеет вид $y = 0,8 - 0,8x$ (на рис. 2 жирная линия). В случае применения функции (1) лучшим вариантом окажется точка A , в случае функции (2) лучшим вариантом будет точка B , а в случае функции (3) лучшими будут точки отрезка $[A, B]$ в зависимости от коэффициента α , например, при $\alpha = 0,5$ наилучшим решением будет точка C . При изменении важности критериев, точка A будет определяться пересечением отрезка $y = 0,8 - 0,8x$, $x \in [0, 1]$, и прямой $\bar{\mu}_x x + \bar{\mu}_y y = c$, где c — максимальная константа, при которой пересечение существует, а точка B — пересечением того же отрезка и прямой $\bar{\mu}_x x = \bar{\mu}_y y$.

Видно, что первые две функции принадлежности дают крайние результаты из отрезка $[A, B]$, а третья позволяет получать промежуточное решение, учитывающее уровень уступки по некоторым критериям оптимальности. Управлять решением в последнем случае удобно с помощью параметра α .

Коэффициент α в формуле (3) можно считать уровнем некомпенсированности критериев. Смысл ко-

эффициента α заключается в возможности уступить по одному критерию в пользу остальных. Если $\alpha = 1$ (критерии некомпенсированы), то такие уступки можно считать недопустимыми. Если $\alpha = 0$ (критерии компенсированы), то можно игнорировать один из критериев даже при незначительном выигрыше по сумме всех критериев. В приведенном примере, при условии, что критерий y будет находиться в неотрицательной зоне, уступив $0,08$ единиц по критерию y , всегда можно получить выигрыш в $0,1$ единицы по критерию x ; т. е. уступка по критерию y приводит к выигрышу по сумме критериев. Если уровень некомпенсированности критериев равен нулю ($\alpha = 0$), то такая уступка допустима; если уровень некомпенсированности критериев равен единице ($\alpha = 1$), то уступка невозможна. Уровень некомпенсированности критериев зависит исключительно от предметной области задачи и от предпочтений лица, принимающего решение. Например, при выборе места для проживания отдаленность от центра города может быть в значительной степени компенсирована хорошими экологическими условиями, а относительно плохое состояние экологии в центре города компенсируется развитой инфраструктурой. В этом случае можно говорить о низком уровне некомпенсированности критериев. В случае распределения сил между оборонительными районами высокая обороноспособность одного района не может компенсировать низкую обороноспособность другого (противник ударит в слабое место), поэтому здесь можно говорить о некомпенсированности критериев. В рассматриваемом случае оператор сети не всегда может «пожертвовать» интересами одной группы в пользу других, а пользователи сети, в свою очередь, не всегда готовы отказаться от одной услуги ради повышения качества остальных услуг. Поэтому введением параметра α можно решить данную проблему выбора. В общем случае параметр α , как и веса критериев, может выбираться каждым лицом, принимающим решение на своем уровне иерархии, задавая правило свертки критериев нижнего уровня.

Вернемся к построению обобщенного критерия оптимальности сети передачи данных. Построим интегральную оценку варианта построения сети $V_a^1 = \{\mu_j^1(u_{ia}^0)/u_{ia}^0\}$, $i = \overline{1, m_0}$ в смысле критерия U_j^1 , $i = \overline{1, m_1}$, следующим образом: $F_j^1(V_a^1) \equiv \min_{b, b \neq a} (\mu_{R^1}^1(V_a^1, V_b^1))$. Обозначим $u_{ji}^1 \equiv F_j^1(V_i^1)$. Результат применения критериев U_i^1 к вариантам V_j^1 (табл. 2) будет выглядеть аналогично табл. 1.



Таблица 2

Оптимальность вариантов построения системы с учетом критериев первого уровня

Критерий	Вариант			
	V_1^1	V_2^1	...	V_K^1
U_1^1	u_{11}^1	u_{12}^1	...	u_{1K}^1
U_2^1	u_{21}^1	u_{22}^1	...	u_{2K}^1
...
$U_{m_1}^1$	$u_{m_11}^1$	$u_{m_12}^1$...	$u_{m_1K}^1$

Применив аналогичные рассуждения для последующих уровней, для уровня p получим:

$$u_{ik}^p \equiv F_i^p(V_k^p) = \min_{b, b \neq k} (\mu_{\bar{R}^p}(V_k^p, V_b^p)) =$$

$$= \min_{b, b \neq k} (\mu_{\bar{R}^p}(\{\mu_i^p(u_{jk}^{p-1})/u_{jk}^{p-1}\}, \{\mu_i^p(u_{jb}^{p-1})/u_{jb}^{p-1}\})),$$

где i — номер критерия уровня p , k — номер варианта построения системы, j — номер критерия уровня $p - 1$. Заметим, что функции принадлежности μ_i^p могут зависеть не только от значений критериев предыдущего уровня u_{jk}^{p-1} , но и от значений критериев нулевого уровня u_{ik}^0 , тогда $\mu_i^p = \mu_i^p(u_{jk}^{p-1}, u_{ik}^0)$, $V_k^{p-1} = \mu_i^p(u_{jk}^{p-1}, u_{ik}^0)/(\{\mu_i^p(u_{jk}^{p-1})\}, \{u_{ik}^0\})$. Такая зависимость может появиться вследствие того, что на каждом последующем уровне значения критериев теряют физический смысл. Потеря физического смысла значений критериев связана с тем, что процедура оценки вариантов построения системы, вследствие многокритериальной неопределенности, может иметь достаточно сложный вид, а результат этой процедуры выражаться безразмерными параметрами. Поэтому, если критерии уровня p не полностью «доверяют» критериям предыдущих уровней, то может возникнуть зависимость критериев уровня p от критериев нулевого уровня. Критерии нулевого уровня в этом случае можно назвать техническими критериями, так как они имеют смысл для предметной области функционирования системы.

На последнем уровне в рассматриваемом случае имеется только один обобщенный критерий U_1^2 , и

$$u_{0k}^2 \equiv F_0^2(V_k^2) = \min_{b, b \neq k} (\mu_{\bar{R}^2}(V_k^2, V_b^2)) =$$

$$= \min_{b, b \neq k} (\mu_{\bar{R}^2}(\{\mu_1^2(u_{jk}^1)/u_{jk}^1\}, \{\mu_1^2(u_{jb}^1)/u_{jb}^1\})).$$

Иначе говоря, на последнем уровне критериев варианту построения системы номер k ставится в соответствие некоторое число $u_{0k}^2 \in [0, 1]$ — степень предпочтительности данного варианта в смысле критерия U^n . Вариант a можно считать лучшим, если $u_{0a}^2 = \max_k(u_{0k}^2)$.

Таким образом, для выбора лучшего варианта построения системы при иерархической структуре критериев необходимо знать:

— степень предпочтительности вариантов построения системы в смысле критериев нулевого уровня (u_{ik}^0);

— степень предпочтительности значений критериев уровня $p - 1$ в смысле критериев уровня p ($\mu_j^p(u_{ik}^{p-1})$);

— важность каждого критерия уровня $p - 1$ в смысле каждого критерия уровня p , $\bar{\mu}_{ij}^p, p = \overline{2, n}$, где n — число уровней критериев (в данной задаче $n = 2$).

Применение изложенного подхода продемонстрируем на следующем примере.

2. ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ ПРИМЕР

Пусть оператору сети необходимо выбрать лучший из трех вариантов построения сети передачи данных, каждый вариант характеризуется тремя показателями (табл. 3). К сети подключены бизнес-центры и жилые дома, и все пользователи сети разбиты на 2 группы (корпоративные и домашние пользователи).

Оператор определил степень удовлетворенности пользователей качеством функционирования сети по каждому из показателей, а также важность каждого показателя для конкретной группы пользователей, например, путем социологического опроса, (табл. 4 и 5).

В табл. 5 показано, что корпоративные пользователи уделяют повышенное внимание качеству услуг Интернета и телефонии, предоставляемых сетью, и игнорируют качество передачи видеодан-

Таблица 3

Технические показатели функционирования сети передачи данных

Показатель, с	Вариант		
	1	2	3
Средняя задержка Интернета	1	2,8	3
Средняя задержка видео	0,011	0,005	0,01
Средняя задержка телефонии	0,015	0,013	

Таблица 4

Степень удовлетворенности групп пользователей качеством функционирования сети для трех вариантов построения сети u_{ik}^0

Социальная группа	Вариант								
	1			2			3		
	Качество								
	Интернета	видео	телефонии	Интернета	видео	телефонии	Интернета	видео	телефонии
Домашние пользователи	0,5		0,6	0,2	1	0,6	0,2	0,6	0,7
Корпоративные пользователи	0,5	0,6		0,3	0,9	0,7	0,2	0,5	0,8

ных. Для домашних пользователей важен весь спектр услуг.

Будем считать, что $\mu_j^1(u_{ik}^0) \equiv u_{ik}^0$. В соответствии с изложенным подходом, для каждой группы пользователей необходимо выработать свой интегральный показатель оценки качества функционирования сети в целом $F_i^1(V_k^1)$, где i — номер группы. Для этого необходимо определить нечеткое отношение $\tilde{R}_j^1(V_a^1, V_b^1)$, заданное своей функцией принадлежности $\mu_{\tilde{R}^1}^1(V_a^1, V_b^1)$. Предположим, выбрана функция принадлежности (1), т. е. уровень некомпенсируемости критериев $\alpha = 0$.

Тогда для демонстрационного примера

$$\mu_{\tilde{R}^1}^1(V_1^1, V_2^1, \bar{\mu}_{i1}^1) = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\sum_i \bar{\mu}_{i1}^1 (\mu_1^1(u_{i1}^0) - \mu_1^1(u_{i2}^0))}{\sum_i \bar{\mu}_{i1}^1} \right) =$$

$$= \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1(0,3) + 1(-0,5) + 0,8(-0,1)}{(1 + 1 + 0,8)} \right) = 0,450.$$

Аналогично вычисляются остальные значения функции принадлежности. Результат сравнения вариантов построения сети приведен в табл. 6.

С учетом табл. 6 имеем: $u_{11}^1 \equiv F_1^1(V_1^1) = \min(\mu_{\tilde{R}^p}^1(V_1^1, V_b^1)) = \min(0,450; 0,507) = 0,450$.

Аналогично вычисляются остальные значения оптимальности вариантов построения сети с точек зрения групп пользователей. Результат приведен в табл. 7.

Предположим, что $\mu_j^2(u_{ik}^1) \equiv \begin{cases} u_{ik}^1, & \text{если } u_{ik}^1 < 0,3 \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$,

т. е. оператор считает, что если оценка группой пользователей варианта построения сети меньше 0,3, то такой вариант полностью не устраивает группу, и выбор этого варианта приведет к отказу использования сети. Оператор сети также устанавливает важность групп пользователей μ_{ij}^{-2} . Важность может быть пропорциональна числу пользователей в группе или ожидаемому доходу от подключения группы пользователей (табл. 8).

ливают важность групп пользователей μ_{ij}^{-2} . Важность может быть пропорциональна числу пользователей в группе или ожидаемому доходу от подключения группы пользователей (табл. 8).

Таблица 5

Матрица важности показателей качества функционирования сети с точек зрения пользователей μ_{ij}^{-1}

Социальная группа	Качество		
	Интернета	видео	телефонии
Домашние пользователи	1		0,8
Корпоративные пользователи	1	0,5	0,8

Таблица 6

Результат сравнения вариантов построения сети с точки зрения различных групп пользователей

Вариант	V_1	V_2	V_3
Домашние пользователи			
V_1	—	0,450	0,507
V_2	0,550	—	0,557
V_3	0,493	0,443	—
Корпоративные пользователи			
V_1	—	0,483	0,530
V_2	0,517	—	0,548
V_3	0,470	0,452	—

Таблица 7

Оптимальность вариантов построения сети с точек зрения групп пользователей u_{ik}^1

Группа пользователей	Вариант		
	V_1	V_2	V_3
U_1^1 (домашние пользователи)	0,450	0,550	0,443
U_2^1 (корпоративные пользователи)	0,482	0,517	0,452



Далее оператор сети строит свою интегральную оценку вариантов построения сети на основании аналогичных оценок групп пользователей (u_{ik}^1). В рассматриваемом случае

$$\mu_{\bar{R}^2}(V_1^2, V_2^2) = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\sum_i \mu_{i0}^{-2} (\mu_0^2(u_{i1}^1) - \mu_0^2(u_{i2}^1))}{\sum_i \mu_{i0}^{-2}} \right) =$$

$$= \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1(0,450 - 0,550) + 0,9(0,482 - 0,517)}{(1 + 0,9)} \right) =$$

$$= 0,465.$$

Результат сравнения вариантов построения сети оператором приведен в табл. 9.

$$u_{01}^2 \equiv F_0^2(V_1^2) = \min_{b, b \neq 1} (\mu_{\bar{R}^2}(V_1^2, V_b^2)) =$$

$$= \min(0,465; 0,509) = 0,465,$$

$$u_{02}^2 \equiv F_0^2(V_2^2) = \min_{b, b \neq 2} (\mu_{\bar{R}^2}(V_2^2, V_b^2)) =$$

$$= \min(0,535; 0,544) = 0,535,$$

$$u_{03}^2 \equiv F_0^2(V_3^2) = \min_{b, b \neq 3} (\mu_{\bar{R}^2}(V_3^2, V_b^2)) =$$

$$= \min(0,491; 0,456) = 0,456.$$

Следовательно, при сделанных допущениях вариант V_2 лучше варианта V_3 , который, в свою очередь, лучше варианта V_1 . Поэтому оператору сети выгодно выбирать вариант V_2 . С учетом весов критериев оптимальности, вариант 2 имеет наибольшую среднюю степень удовлетворенности пользователей качеством функционирования сети (0,56 для домашних пользователей и 0,44 для корпоративных). Поэтому при нулевом уровне не-

Таблица 8

Матрица важности групп пользователей с точки зрения оператора сети μ_{i0}^{-2}

Группа пользователей	U_0^2 (общая оценка сети)
U_1^1 (домашние пользователи)	1
U_2^0 (корпоративные пользователи)	0,9

Таблица 9

Результат сравнения вариантов построения сети оператором

Вариант	V_1	V_2	V_3
V_1	—	0,465	0,509
V_2	0,535	—	0,544
V_3	0,491	0,456	—

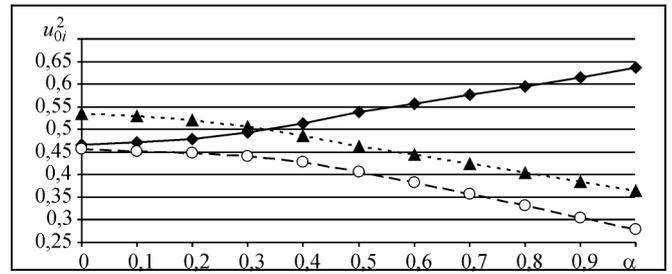


Рис. 3. Зависимость обобщенного критерия оптимальности от уровня некомпенсируемости критериев для трех вариантов построения сети: —◆— — u_{01}^2 ; —▲— — u_{02}^2 ; —○— — u_{03}^2

компенсируемости критериев оптимальным оказался вариант 2. В то же время в приведенном примере трудно предположить нулевой уровень некомпенсируемости критериев. Например, плохое качество услуг Интернета, предоставляемых сетью, не может компенсироваться отличным качеством телефонии и, наоборот, плохое качество телефонии не может компенсироваться отличным доступом в Интернет. При условии полной некомпенсируемости критериев ($\alpha = 1$) лучшим окажется вариант 1. При этом $u_{01}^2 = 0,636$, $u_{02}^2 = 0,364$, $u_{03}^2 = 0,279$. График зависимости значений обобщенного критерия оптимальности от уровня некомпенсируемости критериев изображен на рис. 3.

Видно, что задание уровня некомпенсируемости критериев оптимальности в значительной мере влияет на выбор оптимального решения. При значениях $\alpha \leq 0,336$ второй вариант построения сети с точки зрения оператора намного выгоднее других. Это связано с тем, что оператор сети судит о качестве предоставляемых услуг через оценки пользователей. Если оператор убежден, что для пользователей услуг важны средние оценки качества функционирования сети ($\alpha \leq 0,336$), то второй вариант предпочтительнее. Но, если оператор считает, что для пользователей важен каждый показатель качества предоставляемых услуг и нельзя добиться успеха за счет высокого качества одних услуг в ущерб другим, то ему следует выбрать первый вариант построения сети. Равнооптимальность вариантов V_1 и V_2 достигается при значении $\alpha \approx 0,336$. Эту точку можно считать началом отрезка значительного параметра α , при которых уровень некомпенсируемости критериев оптимальности для данной системы можно считать значительным. В данном примере для упрощения представления результатов параметр α выбирался общим для всех уровней принятия решений. Однако, как отмечалось выше, каждое лицо, принимающее решение, может выбирать свой уровень некомпенсируемости критериев, что позволит более правильно учитывать предпочтения всех групп пользователей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена методика учета иерархической структуры конфликтных нечетко формализованных интересов различных групп пользователей сети. Для учета требований к качеству функционирования сети со стороны каждой группы пользователей построены нечеткие критерии. Для устранения многокритериальной неопределенности предложен подход, основанный на учете уровня некомпенсируемости критериев оптимальности. Интересы всех социальных групп учитываются с помощью обобщенного критерия в виде нечеткого множества с нечетким носителем. Сравнение вариантов построения сети с учетом нечетких предпочтений различных социальных групп осуществляется с помощью специально разработанных индексов ранжирования. Для демонстрации предложенной методики приведен пример выбора лучшего варианта построения мультисервисной сети связи для двух групп пользователей и трех вариантов построения сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулешов К.В., Нетес В.А. Опыт совершенствования процессов управления трафиком и качеством работы телефонной сети // *Электросвязь*. — 2006. — № 9. — С. 2–5.
2. Гилязов Р.Л., Столбов В.Ю. Моделирование цифровой сети передачи данных с учетом случайных потребностей в доставке информации // *Труды XXXIV Междунар. конф. IT-S&E'07*. — Украина, Гурзуф, 2007. — С. 84–86.
3. Давыдов Г.Б. Информатизация и сети связи. — М.: Наука, 1984. — 128 с.
4. Гилязов Р.Л., Столбов В.Ю., Киндеркнехт С.В. Имитационное моделирование распределительного уровня цифровой

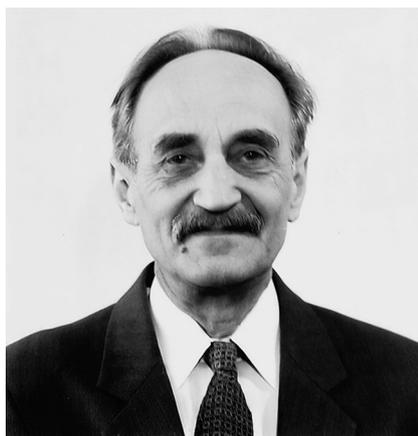
- сети передачи данных с учетом предпочтений пользователей и оператора сети // *Теоретические и прикладные аспекты информационных технологий*. Сб. науч. тр. НИИУМС. — Пермь, 2007. — Вып. 56. — С. 52–55.
5. Гилязов Р.Л., Столбов В.Ю. Имитационное моделирование цифровой сети передачи данных с учетом предпочтений различных социальных групп // *Вестник ПГТУ. Прикл. математика и механика*. — 2007. — № 8. — С. 90–101.
6. Гилязов Р.Л., Гитман М.Б., Столбов В.Ю. Управление транспортными сетями электросвязи с учетом нечетких предпочтений // *Проблемы управления*. — 2008. — № 1. — С. 62–67.
7. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. — М.: Физматлит, 2007. — 584 с.
8. Микони С.В. Теория и практика рационального выбора. — М.: Маршрут, 2004. — 463 с.
9. Подиновский В.В. Введение в теорию важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений. — М.: Физматлит, 2007.
10. Сычев К.И. Многокритериальное проектирование мультисервисных сетей связи // *Телекоммуникации*. — 2007. — № 9. — С. 2–7.
11. Оптимизация процедур обслуживания вызовов на узлах коммутации корпоративной мультисервисной сети связи / А.В. Королев и др. // *Телекоммуникации*. — 2007. — № 8. — С. 2–8.
12. Orda A., Rom R., Shimkin N. Competitive routing in multi-user communication networks // *IEEE/ACM Trans. on Networking*. — 1993. — N 5. — P. 510–521.
13. Гальперин В.М., Игнатъев С.М., Моргунов В.И. Микроэкономика. — Т. 1. — СПб.: Экономическая школа, 1999. — 348 с.

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.Г. Лебедевым.

Гилязов Руслан Леонидович — аспирант,
e-mail: Gilyazov@er-capital.ru,

Столбов Валерий Юрьевич — д-р техн. наук, профессор,
e-mail: svu@matmod.pstu.ac.ru,

Пермский государственный технический университет,
☎ (342) 239-12-97.

**Владимир Александрович ЖОЖИКАШВИЛИ
1925–2008**

1 ноября 2008 года скончался заведующий лабораторией Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, видный учёный, академик Международной академии информатизации, иностранный член Академии наук Грузии, заслуженный машиностроитель РСФСР, доктор технических наук, профессор Владимир Александрович Жожикашвили.

Его научная деятельность началась в 1949 г., когда он впервые появился в Институте в качестве аспиранта. За годы работы В.А. Жожикашвили сформулировал, развил и довел до внедрения в народное хозяйство три фундаментальных научно-технических направления в области автоматического управления: бесконтактные системы телемеханики с использованием магнитных гистерезисных элементов, общесоюзную систему резервирования мест и продажи билетов на самолеты "Сирена", давшую начало теоретическим работам в области автоматизированных систем массового обслуживания, и создание теории и практики построения таких систем на основе речевых технологий.

Результаты проведенных В.А. Жожикашвили научных исследований опубли-

кованы более чем в 140 научных публикациях, включая монографии, авторские свидетельства, брошюры и статьи в различных журналах, в том числе и в журнале "Проблемы управления". Под его научным руководством подготовлено и защищено более 40 кандидатских диссертаций.

Владимир Александрович любил свою работу, очень ценил Институт, отличался широтой и разнообразием интересов, был внимателен к людям. До последних дней своей жизни он активно работал, строил планы развития лаборатории, живо интересовался событиями в стране и мире.

Светлая память о Владимире Александровиче сохранится в наших сердцах.

*Сотрудники Института проблем
управления им. В.А. Трапезникова РАН
Редколлегия
Редакция*



СИСТЕМНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РИСКАМИ. ВЫБОР МЕХАНИЗМОВ ЗАЩИТЫ

В.И. Завгородний

Управление информационными рисками рассмотрено на уровне управления всей информационной сферой предприятия, не ограничиваясь рамками обеспечения безопасности информации. Предложен метод оптимизации выбора механизмов защиты от информационных рисков.

Ключевые слова: информационные риски, системное управление информационными рисками, система управления информационными рисками, выбор механизмов защиты от информационных рисков.

ВВЕДЕНИЕ

Появление термина «информационный риск» более десяти лет назад означало признание значимости проблемы противодействия негативным явлениям в информационной сфере предприятия, однако рассматривалась лишь область обеспечения безопасности информации. Такой подход практически остается неизменным по настоящее время [1]. Информационный риск рассматривается как угроза безопасности информации. Изменения касаются только понимания результатов реализации таких угроз, учета экономических последствий информационных рисков в виде ущерба предприятия.

В рамках обеспечения информационной безопасности по-прежнему рассматриваются лишь три негативных исхода для информационных ресурсов — нарушение конфиденциальности, доступности и целостности. Не принимается в расчет возможность снижения качества информации в результате наступления событий, не связанных с нарушением безопасности информации. Качество информации с позиций ее потребителя определяется следующими характеристиками: достоверность, актуальность, полнота, избыточность, своевременность получения, форма представления, готовность к применению. Алгоритмические и программные ошибки, сбои и отказы технических средств, ошибки субъектов информационных процессов, использование недостоверных и неполных данных, другие причины могут не отражаться на безопасности информации, но приводить к снижению качества информации. В результате использования в бизнес-процессах информации низкого качества предприятию наносится экономический ущерб.

Значение информации в деятельности современных предприятий возросло настолько, что без системного управления всеми процессами получения, хранения, преобразования и передачи информации невозможно эффективное и устойчивое функционирование предприятий. В этой связи требуется, прежде всего, сместить акценты в политике управления информационными рисками. При рассмотрении информационных рисков необходимо учитывать проблемы обеспечения как безопасности информации, так и ее качества, тесно увязывая их решение с конечными целями функционирования предприятия.

Наряду с дальнейшим развитием информационных технологий следует существенно повысить уровень управления информационными процессами предприятий путем создания эффективных систем управления информационными рисками (СУИР), обеспечивающих комплексное применение механизмов управления.

1. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РИСКАМИ

Рассмотрение вопросов управления информационными рисками целесообразно начать с определения или уточнения наиболее важных понятий, таких как информационная сфера и информационный риск. Понятие «информационная сфера предприятия» вводится в соответствии с методологией системного подхода. С позиций рассмотрения сущности информационных рисков предлагается выделить две системы: информационная система предприятия (внутренняя среда) и внешняя информационная среда. Объединение этих двух систем позволяет получить системный комплекс или мегасистему [2]. Такую мегасистему и предла-

гается рассматривать как информационную сферу предприятия. Информационная сфера предприятия не может быть представлена в виде системы из-за наличия иррационального взаимодействия между информационной системой предприятия и внешней средой. Понятие иррациональности вводится в работе [2], под которой понимается наличие неупорядоченности, нецелесообразности, непознаваемости, непредсказуемости и парадоксальности во взаимодействии систем.

С позиций системного анализа информационная система предприятия представляет собой открытую систему, образуемую множеством взаимосвязанных информационных элементов, которые обеспечивают получение, обработку, хранение и передачу необходимой информации в целях эффективного функционирования предприятия. В качестве информационных элементов следует рассматривать субъекты и объекты информационных процессов. К субъектам информационных процессов относятся сотрудники предприятия, имеющие отношение к получению, обработке, хранению и передаче информации. Объектами выступают информационные ресурсы и материальные средства обеспечения информационного процесса предприятия.

Внешнюю информационную среду предприятия образуют объекты, субъекты, процессы и явления внешней среды, оказывающие влияние на элементы информационной системы предприятия и на информацию во внешней среде, имеющую отношение к предприятию, его бизнес-процессам.

На самом высоком уровне представления мега-системы, с учетом целей исследования информационных рисков, понятие информационной сферы предприятия может быть сформулировано следующим образом. Под информационной сферой предприятия следует понимать взаимосвязанные элементы информационной системы предприятия и внешней информационной среды предприятия, а также систему регулирования отношений субъектов информационных процессов во внутренней и внешней среде предприятия. Таким образом, к информационной сфере предприятия относятся все элементы внутренней и внешней среды в их взаимодействии, имеющие отношение к получаемой, используемой, обрабатываемой, хранящейся и распространяемой информации, влияющей на бизнес-процессы предприятия, независимо от форм представления информации, видов объектов и субъектов, а также временных и пространственных рамок информационных процессов. В определении информационной сферы предприятия особо подчеркивается важность механизмов регулирования отношений субъектов информационных процессов для достижения целей бизнес-процессов.

Понятие информационного риска должно базироваться на понятии риска. Общепринятым традиционным является подход, базирующийся на

понимании риска как возможной опасности, возможного убытка или неудачи [3]. В экономике под риском понимается возможное событие, в результате которого предприятие понесет убытки, а также размер возможного ущерба [4]. Реже рассматриваются спекулятивные риски, которые связывают с возможностью получения неожиданной прибыли [5]. Общепринято также, что риски связаны с наступлением случайных событий [4, 5].

В последнее время рассматриваются и другие подходы к определению понятия «риск». Так, риск рассматривается как следствие принятого решения («риск решения»), а если причины ущерба находятся «вовне, т. е. вменяются окружающему миру», то речь может идти об опасности [6]. В работе [7] этот подход развивается, и риск трактуется как размер потерь от принятия решений. Такой подход позволяет логично определить управление рисками как управление решениями, подчеркнуть важность принятия решений.

Предложенное деление ущерба от негативных явлений на риски и опасности приводит к выводу, что в отношении опасностей не принимается управляющих решений, потому что они находятся вне сферы влияния лица, принимающего решение. Но ведь все значимые «опасности» учитываются в деятельности предприятий. Так, например, пока невозможно предотвратить землетрясение, но возможность его учитывается, и к этой опасности готовятся заблаговременно на основе принятого решения. Употребление термина «опасность» оправдано, по-видимому, по отношению к тем негативным событиям, которые ранее не происходили или по ним отсутствует какая-либо информация.

Проведенный анализ подходов к определению сущности информационных рисков с использованием дефиниции информационной сферы предприятия позволяет сформулировать понятие «информационный риск». Информационный риск — это возможность наступления случайного события в информационной сфере предприятия, в результате которого предприятию будет нанесен ущерб. Причем информационные риски рассматриваются как вероятные события во внутренней или внешней среде предприятия, оказывающие негативное влияние не только на безопасность информации, но и на ее качество; учитываются все события, которые могут произойти на всех этапах информационного процесса от получения информации до ее использования в бизнес-процессах.

Управление информационными рисками организуется в целях минимизации общей суммы ущерба от них и затрат на управление ими. Управление информационными рисками предполагает три стратегии управления, которые в различных сочетаниях могут применяться в отношении конкретных информационных рисков:

— воздействие на источники рисков для устранения причин рисков событий;



- влияние на факторы рисков, способствующие реализации рисков событий;
- создание условий для снижения ущерба от наступившего рискового события.

Устранение причин, порождающих отдельные риски, невозможно или неэффективно. В основном это относится к рискам, источник которых находится во внешней среде. Фактор риска характеризует уязвимость системы при воздействии этого риска. Факторы риска устраняются в основном на уровне информационной системы предприятия. Первые две стратегии применяются для предотвращения рисков событий (существенного снижения вероятности их реализации). Третья стратегия предусматривает наличие механизмов управления, обеспечивающих минимизацию ущерба при реализации рисков событий. Она направлена на локализацию негативного влияния риска, оперативное устранение ущерба, перехода к штатному режиму функционирования и возможную корректировку политики управления риском.

Для управления информационными рисками создается система управления, под СУИР понимается единый комплекс правовых норм, экономических и организационных мер, технических, программных и криптографических средств, а также информационных ресурсов, обеспечивающий минимальные суммарные расходы на компенсацию ущерба и затрат на управление информационными рисками.

Система управления информационными рисками входит как подсистема в информационную систему предприятия. Поэтому она должна создаваться на единых с информационной системой научно-методических принципах построения сложных человеко-машинных систем [8].

В процессе создания СУИР и ее модернизации решается задача оптимального выбора механизмов защиты от информационных рисков. Под механизмами защиты понимаются методы и средства, обеспечивающие управление информационными рисками.

2. ВЫБОР МЕХАНИЗМОВ ЗАЩИТЫ ОТ ИНФОРМАЦИОННЫХ РИСКОВ

В процессе эксплуатации информационной системы возникает необходимость совершенствования СУИР. Такая необходимость обуславливается:

- возрастанием годового ущерба от определенных информационных рисков;
- появлением новых информационных рисков;
- изменением существующих рисков;
- модернизацией информационной системы;
- изменением масштабов и сложности бизнес-процессов предприятия;
- изменениями в смежных информационных системах;

- природными явлениями;
- появлением новых правовых актов;
- изменениями в политической и экономической жизни общества.

Если по результатам анализа состояния СУИР признается необходимой ее модернизация, то следует перейти к этапу решения оптимизационной задачи выбора механизмов защиты.

Формальная постановка задачи выбора может быть представлена в следующем виде. Известно множество значимых рисков $R = \{r_1, r_2, \dots, r_N\}$. Для каждого риска r_n , $n = 1, 2, \dots, N$, определен ущерб в денежной форме u_{r_n} . Ущерб по всем рискам образуют множество ущербов $U = \{u_{r_1}, u_{r_2}, \dots, u_{r_N}\}$. Каждый ущерб u_{r_n} определен при условии, что в отношении n -го риска не применяется никаких механизмов защиты.

Определен кортеж механизмов защиты $M = (m_1, m_2, \dots, m_K)$, элементы которого могут использоваться в СУИР. Каждый k -й механизм защиты характеризуется множествами параметров R_k и E_k , а также параметром c_k . Множество $R_k = (r_{k1}, r_{k2}, \dots, r_{kN})$ составляют информационные риски, которым противодействует k -й механизм защиты.

С помощью множества показателей $E_k = (e_{k1}, e_{k2}, \dots, e_{kN})$ оценивается эффективность k -го механизма защиты относительно n -го риска. Элемент e_{kn} множества показывает, какая часть ущерба от n -го информационного риска будет предотвращена при работе k -го механизма защиты. Величина e_{kn} изменяется в пределах $0 \leq e_{kn} < 1$. Эффективность всех механизмов защиты может характеризоваться с помощью матрицы E :

$$E = \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1N} \\ e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{K1} & e_{K2} & \dots & e_{KN} \end{pmatrix}.$$

На практике определенным информационным риском часто управляют с помощью нескольких механизмов. Формально это означает, что в столбцах матрицы E может быть несколько элементов, отличных от нуля. Эффективность управления риском n с применением нескольких механизмов не может определяться с помощью аддитивного

показателя $\sum_{k=1}^K e_{kn}$, так как в этом случае суммарный показатель может равняться единице и даже ее превысить. При подсчете общей эффективности снижения ущерба от риска n , при условии включения в СУИР всех K рассматриваемых механиз-

мов, может использоваться мультипликативный показатель

$$\prod_{k=1}^K (1 - e_{kn}) = (1 - e_{1n})(1 - e_{2n}) \dots (1 - e_{Kn}),$$

характеризующий общую часть ущерба от риска n , которая сохранится при включении всех K механизмов защиты.

Параметр c_k представляет собой затраты предприятия на приобретение или на изменение, разработку, создание, а также на внедрение и эксплуатацию k -го механизма. Часто руководство предприятия не может направить на совершенствование СУИР денежные средства, превышающие определенную сумму C_{\max} .

Известны также элементы матрицы совместности механизмов управления информационными рисками:

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1K} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2K} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{K1} & d_{K2} & \dots & d_{KK} \end{pmatrix},$$

где

$$d_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й и } j\text{-й механизмы совместимы;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Несовместимыми считаются механизмы, не допускающие совместного использования в одной СУИР механизмов без существенного изменения их структур. Например, не могут быть применены программные средства, разработанные для компьютерных систем с различными операционными системами.

Несовместимыми следует считать также механизмы, выполняющие одинаковые функции и совместное применение которых не приводит к повышению эффективности системы. Такие механизмы построены, как правило, на одних и тех же принципах по сходным технологиям. Например, не имеет смысла применять в одной СУИР различные системы шифрования данных, хранящихся на внешних запоминающих устройствах. В то же время программные фильтры и контроль оператором вводимой информации являются совместимыми механизмами, повышающими достоверность вводимой информации. Совместимые механизмы могут применяться интегрировано в различных сочетаниях для комплексного противодействия риску.

Множество механизмов, входящих в СУИР, задается с помощью бинарного вектора конфигурации $X = (x_1, x_2, \dots, x_k)$, где

$$x_k = \begin{cases} 1, & \text{если } k\text{-й механизм включен в систему;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Механизмы защиты $x_i, x_j \in X$ совместимы, если $x_i x_j \leq d_{ij}$, $i = \overline{1, K}$, $j = \overline{1, K}$.

Общий ущерб U^0 , который ожидается после введения в СУИР механизмов защиты, назовем остаточным. Он определяется бинарным вектором конфигурации. С учетом введенных обозначений выражение для вычисления остаточного ущерба может быть представлено в следующем виде:

$$U^0(x_1, x_2, \dots, x_k) = \sum_{n=1}^N u_{r_n} \prod_{k=1}^K (1 - e_{kn} x_k).$$

Постановка задачи оптимального выбора механизмов защиты от информационных рисков может быть представлена следующим образом:

определить бинарный вектор $X^*(x_1^*, x_2^*, \dots, x_k^*)$, обеспечивающий минимум суммы остаточного ущерба от всех значимых рисков и затрат на применение механизмов защиты:

$$\min \left(\sum_{k=1}^K (c_k x_k) + \sum_{n=1}^N u_{r_n} \prod_{k=1}^K (1 - e_{kn} x_k) \right), \quad (1)$$

при

$$x_i x_j \leq d_{ij}, \quad i = \overline{1, K}, \quad j = \overline{1, K}, \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K (c_k x_k) \leq C_{\max}. \quad (3)$$

В общем случае эффективность k -го механизма e_{kn} в отношении риска n зависит от вектора X , т. е. возможно влияние включения $k + 1$ -го механизма в СУИР на эффективность k -го механизма. Эта зависимость может быть учтена при вычислении мультипликативного показателя эффективности.

Кроме того, эффективность механизмов защиты зависит, как правило, от затрат, связанных с их применением. Поэтому в альтернативной постановке задачи оптимизации определения механизмов защиты эффективность k -го механизма e_{kn} может быть представлена как функция механизма $e_{kn} = (x_1, x_2, \dots, x_{k-1}, x_{k+1}, \dots, x_k, c_k)$. Переход к более сложной постановке задачи оправдан, если эффективность механизмов существенно зависит от включения других механизмов в СУИР.

Задача определения механизмов защиты от информационных рисков, которые необходимо ввести в СУИР дополнительно или для замены существующих механизмов, относится к нелинейным дискретным бинарным задачам переборного типа [9]. Решение таких задач возможно методами полного перебора, ветвей и границ, динамического программирования. Точный метод ветвей и границ не применим для решения поставленной задачи, так как целевая функция не является монотонной [10]. При решении практических задач значимые информационные риски исчисляются десятками,



а число механизмов управления рисками может быть на порядок больше. При такой размерности решение задачи методом полного перебора проблематично.

Субоптимальные решения, удовлетворяющие практическим целям управления информационными рисками, могут быть получены эвристическими методами. Для решения поставленной задачи предлагается применить эвристический пошаговый метод. Его достоинство заключается в сочетании локальной оптимизации на каждом шаге с учетом влияния принимаемых решений на конечный результат, что позволяет повысить точность решения. При этом существенно снижается вычислительная сложность по сравнению с методом полного перебора. Время реализации алгоритма полиномиально зависит от числа переменных в отличие от зависимости, близкой к экспоненциальной, при полном переборе.

Сущность метода заключается в выборе на каждом шаге одного из возможных механизмов, обеспечивающего получение максимального эффекта. Эффект определяется размером снижения расходов на управление рисками (суммой затрат собственно на управление рисками и размера ущерба) в результате применения очередного механизма и упущенной выгодой от невозможности применения на последующих шагах механизмов, несовместимых с включаемым в систему очередным механизмом. Таким образом, на каждом шаге анализируется не только локальный эффект от включения в систему механизма, но и рассматриваются последствия этого шага в дальнейшей работе алгоритма, в которой учитываются ограничения на расходы, связанные с применением механизмов защиты от информационных рисков.

Для формального представления алгоритма вводятся следующие обозначения: h — номер выполненного шага алгоритма; $X_h(x_{h1}, x_{h2}, \dots, x_{hK})$ — состояние вектора конфигурации после h -го шага; $W(h)$ — множество механизмов, включенных в число применяемых на h -м шаге; $S(h)$ — множество механизмов еще не включенных в число применяемых на h -м шаге, но совместимых с механизмами множества $W(h)$; $\Omega(h)$ — множество механизмов, несовместимых с множеством $W(h)$, т. е. исключаемых из дальнейшего рассмотрения; $U_n^0(h)$ — остаточный ущерб от n -го риска после выбора механизмов на первых h шагах.

Таким образом, значения $x_{hk} = 1$ соответствуют механизмам, уже отобраным на первых h шагах алгоритма, т. е. входящим во множество $W(h)$.

Пусть $m_{h+1} \in S(h)$ — механизм, выбираемый на $h+1$ -м шаге из множества $S(h)$. Выбор механизма m_{h+1} означает, что соответствующая компонента вектора $X_h(x_{h1}, x_{h2}, \dots, x_{hK})$ становится равной еди-

нице. Предположим, что выбранному механизму m_{h+1} в векторе X_h соответствует компонента с номером k .

Тогда величина, на которую уменьшится ущерб от n -го риска при выборе на шаге $h+1$ механизма m_{h+1} с номером k , равна $\Delta U_n^0(h+1, k)$ и определяется следующим образом: $\Delta U_n^0(h+1, k) = U_n^0(h)e_{kn}$. Оставшаяся величина ущерба от n -го риска $U_n^0(h+1, k) = U_n^0(h)(1 - e_{kn})$.

Суммарное уменьшение ущербов от рисков всех видов при выборе на $h+1$ -м шаге k -го механизма

$$\Delta U(h+1, k) = \sum_{n=1}^N \Delta U_n^0(h+1, k) = \sum_{n=1}^N U_n^0(h)e_{kn}$$

Упускаемая возможность снижения ущербов на последующих шагах алгоритма $\Delta U_\tau^-(h+1, k)$ обусловлена исключением применения на следующих шагах механизма τ , несовместимого с механизмом k ($\tau \in \Omega(h)$), и вычисляется как

$$\Delta U_\tau^-(h+1, k) = \sum_{n=1}^N U_n^0(h)(1 - e_{kn})e_{\tau n} \bar{d}_{k\tau} s_{h\tau}$$

где $\bar{d}_{k\tau}$ — инверсное значение $d_{k\tau}$ из матрицы совместимости D (если $d_{k\tau} = 1$, то $\bar{d}_{k\tau} = 0$ и наоборот); множитель $s_{h\tau} = 1$, если $\tau \in S(h)$ и $s_{h\tau} = 0$ в противном случае.

Присутствие множителя $s_{h\tau}$ в этом выражении позволяет учитывать на шаге $h+1$ механизм τ , который стал несовместным только на шаге $h+1$ в результате включения механизма k . Величина $U_n^0(h)(1 - e_{kn})$ есть остаточный ущерб от n -го риска после применения механизма k на шаге $h+1$;

Суммарная упускаемая возможность снижения ущербов, в случае выбора на $h+1$ -м шаге k -го механизма из-за исключения несовместимых с ним механизмов,

$$\Delta U^-(h+1, k) = \sum_{\tau=1}^K \sum_{n=1}^N U_n^0(h)(1 - e_{kn})e_{\tau n} \bar{d}_{k\tau} s_{h\tau}$$

Для оценки эффекта от включения на шаге $h+1$ k -го механизма защиты введем величину $\Theta(h+1, k)$:

$$\Theta(h+1, k) = \Delta U(h+1, k) - (\Delta U^-(h+1, k) + c_k)$$

Эффект от включения механизма k в СУИР определяется как разность суммы прямого уменьшения ущербов от всех видов рисков и суммы затрат на управление k -м информационным риском и размера упущенного уменьшения ущербов в дальнейшем.

Вместо эффекта удобнее пользоваться безразмерной величиной — удельным эффектом $\mathcal{E}_y(h+1, k) = \mathcal{E}(h+1, k)/C_{\max}$.

В соответствии с введенными обозначениями эвристический алгоритм состоит из следующих шагов. На каждом шаге h для $m \in S(h)$ вычисляется $\mathcal{E}_y(h+1, k)$ и выбирается такой механизм m^* с номером k^* , для которого удельный эффект $\mathcal{E}_y(h+1, k^*)$ имеет наибольшее значение и при этом не исчерпываются выделенные средства, т. е. выполняется условие (3). Если такого механизма нет, то работа алгоритма прекращается и в качестве оптимального принимается вектор $X^*(x_1^*, x_2^*, \dots, x_K^*)$.

Проверка эвристического метода показала, что его точность зависит от размерности задачи. При малом числе рисков около 90 % реализаций дают решение, полностью соответствующее результатам, полученным полным перебором. Отклонения результатов эвристического метода на случайных наборах исходных данных возрастают с увеличением размерности задачи. Это объясняется тем, что в расчет принимаются упускаемые возможности снижения ущерба из-за невозможности использования всех несовместных механизмов на каждом шаге. Причем учитывается влияние и тех механизмов, которые по окончании работы алгоритма не войдут в число оптимальных. Точность алгоритма может быть повышена путем изменения порядка вычисления общей упускаемой возможности снижения ущерба. На каждом шаге целесообразно рассматривать эффект снижения ущерба только от нескольких наиболее эффективных механизмов, вероятность включения которых в альтернативных вариантах высока.

На рынке механизмов управления информационными рисками часто предлагаются готовые подсистемы, включающие в свой состав комплекс механизмов защиты, которые называются агрегированными. Наличие комплексных механизмов в СУИР и возможность применения таких механизмов для ее совершенствования придает особенности процессу оптимизации системы.

Пусть для создания СУИР может быть применено множество комплексных механизмов $KM = (km_1, km_2, \dots, km_L)$, а также множество отдельных автономных механизмов $M = (m_1, m_2, \dots, m_K)$. Часть автономных механизмов может входить в состав комплексных механизмов защиты.

Предположим, что эффективность автономных механизмов при включении их в состав комплексных механизмов не изменяется. Тогда задача оптимального выбора механизмов защиты от информационных рисков, с учетом ранее введенных обозначений, может быть формально представлена следующим образом.

Определить общий бинарный вектор конфигурации автономных и комплексных механизмов

$X_0^*(x_1^*, x_2^*, \dots, x_K^*, x_{K+1}^*, x_{K+2}^*, \dots, x_{K+L}^*)$, обеспечивающий минимум целевой функции

$$\sum_{k=1}^{K+L} c_k x_k + \sum_{n=1}^N \left(u_n \prod_{k=1}^{K+J} (1 - e_{kn} x_k) \right),$$

при

$$x_i x_j \leq d_{ij}, \quad i = \overline{1, K+L}, \quad j = \overline{1, K+L};$$

$$\sum_{k=1}^{K+L} (c_k x_k) \leq C_{\max}.$$

Для решения задачи могут быть применены те же методы, что и для решения задачи (1)–(3). Вычислительная сложность алгоритмов при этом возрастает, так как размерность вектора X_0 больше размерности вектора X .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значимость проблемы управления информационными рисками требует перехода от управления безопасностью информации к системному управлению информационной сферой предприятия. Управление информационной сферой предприятия организуется с помощью системы управления информационными рисками, в процессе модернизации которой осуществляется выбор механизмов защиты от информационных рисков. Один из возможных подходов к решению этой задачи представлен в настоящей работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петренко С.А., Симонов С.В. Управление информационными рисками. Экономически оправданная безопасность. — М.: АйТи-Пресс, 2004. 384 с.
2. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. — М.: СИНТЕГ, 2000. — 528 с.
3. Ефремова Т.Ф. Новый словарь русского языка. Толково-словообразовательный. Т. 1. — М.: Русский язык, 2000. — 1233 с.
4. Найт Ф.Х. Риск, неопределенность и прибыль. — М.: Дело, 2003. — 360 с.
5. Балабанов И.Т. Риск-менеджмент. — М.: Финансы и статистика, 1996. — 192 с.
6. Луман Н. Понятие риска // THESIS. — 1994. — № 5. — С. 135–160.
7. Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика. — М.: Наука, 2000. — 431 с.
8. Молчанов А.А. Моделирование и проектирование сложных систем. — Киев: Выща школа, 1988. — 359 с.
9. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. — М.: Мир, 1982. — 416 с.
10. Кузнецов О.П., Адельсон-Вельский Г.М. Дискретная математика для инженера. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 480 с.

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.В. Кульбой.

Завгородний Виктор Иванович — канд. техн. наук, доцент, Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Финансовая академия при Правительстве Российской Федерации, e-mail: zvi@rambler.ru.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИОРИТЕТА КРИТЕРИЕВ В РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЕ ОЦЕНИВАНИЯ НАУЧНЫХ ЖУРНАЛОВ

О.В. Федорец

Рассмотрена математическая модель автоматизированного рейтингового оценивания научных журналов для поддержки принятия решений в процессе комплектования информационного центра. Для отбора наиболее значимых критериев и определения их приоритета в условиях неполноты данных разработана статистическая методика взвешивания, основанная на использовании обучающей выборки и эталонного критерия. Для вычисления рейтинга научного журнала применен метод анализа иерархий.

Ключевые слова: рейтинг научного журнала, принятие решений, приоритет критериев, статистическая методика, обучающая выборка, метод анализа иерархий, база данных, SQL.

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее традиционным результатом многокритериального оценивания в различных областях деятельности служит числовой показатель, именуемый рейтингом. Рейтинги используются для ранжирования банков, корпораций, ценных бумаг, университетов, спортсменов, политических деятелей, стран и т. д. Одному и тому же объекту может быть присвоено несколько рейтингов, характеризующих его с различных сторон.

Научный журнал, как один из важнейших компонентов системы научных коммуникаций, также может быть объектом комплексного рейтингового оценивания, по результатам которого может приниматься решение о включении журнала во входной поток информационного центра, библиотеки, реферативной службы.

Рейтинговая оценка научного журнала, вычисленная автоматически, не может полностью заменить экспертную оценку. При экспертном оценивании целесообразно выдавать эксперту издания в соответствии с предварительно ранжированным списком, а не в случайном порядке. В этом случае экспертную оценку в первую очередь получают те журналы, которые были достаточно высоко оценены автоматизированной системой.

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

«Подписка на научный журнал является товаром повышенного покупательского риска: подписываясь на Журнал, подписчик платит деньги за еще не созданную вещь. Как убедить его, что вещь того стоит? Казалось бы, сделать это можно одним-единственным способом: взять комплект выпусков журнала за один или несколько лет издания, просмотреть их и экстраполировать в предположении, что Редакционная коллегия будет работать в будущем году, по меньшей мере, не хуже, чем в предыдущие годы. Очевидно, однако, что это «невозможная возможность»: ни один подписчик не будет тратить время на изучение годового комплекта Журнала» [1].

Тем более не в состоянии глубоко изучать научную периодику информационные центры и библиотеки, в поле зрения которых находятся тысячи наименований журналов, поэтому при первичном отборе они ограничиваются формальными признаками.

Даже в организациях, которые могут позволить себе затраты на экспертное оценивание научной периодики, выбор основан на формальных свойствах журнала. Например, в фирме «Thomson Scientific» (США), издающей указатель цитирования «Journal Citation Report» (JCR), ежегодно около

2000 новых журналов анализируются на соответствие основным издательским стандартам: наличие рефератов статей, ключевых слов, информативность названий журнала и публикуемых в нем статей, полная библиографическая информация о цитируемых источниках, адресная информация об авторах. Для изданий, издающихся не на английском языке, принимается во внимание наличие перевода названий, ключевых слов и рефератов статей на английский язык. Уделяется внимание наличию рецензирования статей, своевременному выходу номеров издания, географическому распространению авторов статей и цитируемых ими авторов (т. е. приоритетом пользуются издания международного уровня) [2].

Основными критериям автоматизированной оценки журналов в Библиотеке по естественным наукам РАН служат показатели читательского спроса по различным каналам обслуживания, оценка цитирования и экспертная оценка. Для каждого показателя и канала определяется вес (приоритет), а вычисленный в результате *интегральный показатель информативности журнала* используется затем для оптимизации распределения денежных средств между тематическими направлениями на основе модели линейного программирования [3].

Во Всероссийском институте научной и технической информации (ВИНИТИ) РАН в 1997—2002 гг. была разработана и внедрена Автоматизированная система комплектования и регистрации входного потока литературы (АСКР) [4]. В связи с внедрением баз данных и персональных компьютеров в процессы комплектования активизировались и работы по автоматизации комплексного оценивания научных журналов. Наиболее полно проблема оценки качества документального потока (в том числе журналов) была исследована в работе [5], где был предложен *метод многофакторной экспертизы* для автоматизированной оценки журналов. Основные принципы этого метода в 2004—2006 гг. были реализованы в ВИНИТИ в рамках АСКР.

Одна из основных задач комплектования ВИНИТИ состоит в совершенствовании списка важнейших зарубежных журналов, необходимых для обеспечения подготовки научно-информационных изданий ВИНИТИ с требуемым уровнем отражения зарубежных публикаций и наиболее полного отражения отечественных и русскоязычных журналов [6].

В работе [7] представлен краткий обзор публикаций, посвященных комплексной автоматизированной оценке сериальных изданий (СИ) по множеству критериев. В основу разработанной методики оценивания положен метод анализа ие-

рархий [8], который находит практическое применение в различных сферах, в том числе рейтинговом оценивании [9] и оптимизации распределения ресурсов [10]. Описание метода и примеры его применения в экономической сфере можно также найти в работе [11].

Наиболее объективным показателем влияния, которое журнал оказывает на научное сообщество, выступает импакт-фактор, вычисляемый на основе частоты цитирования журнальных статей и публикуемый в указателе JCR.

Импакт-фактор занимает промежуточное положение между оценкой использования (спроса) и экспертной оценкой научного журнала. Ссылка на публикацию другого автора означает ее реальное использование, потому что далеко не все статьи, встретившиеся ученому, оказываются затем в его пристатейном списке библиографии.

В связи с этим правомерно использовать импакт-фактор в качестве эталонного критерия для определения весомости формальных критериев оценки СИ на основе обучающей выборки. Несмотря на изменчивость показателя цитирования во времени, на больших статистических выборках можно получать вполне достоверные результаты.

Конечная цель рейтингового оценивания СИ заключается в получении векторной оценки в виде двух величин: рейтинга качества $R_{\text{кач}}$ и рейтинга спроса $R_{\text{спр}}$.

Имея значения $R_{\text{спр}}$ и $R_{\text{кач}}$ для каждого СИ, можно получить из базы данных отчеты, выявляющие несоответствия между оценками качества и спроса, что позволяет принимать решения, обеспечивающие ежегодную ротацию списка периодических изданий.

Общий рейтинг СИ было решено вычислять умножением рейтинга спроса на рейтинг качества, т. е.:

$$R_{\text{общ}} = R_{\text{спр}} \cdot R_{\text{кач}} \quad (1)$$

2. ОЦЕНОЧНАЯ СИСТЕМА И МЕТОДИКА ВЫЧИСЛЕНИЯ РЕЙТИНГА

Структура оценочной системы, которая используется при многокритериальном экспертном оценивании проектов, включает в себя такие важные составляющие, как [12]:

- перечень критериев, характеризующих проект;
- оценка сравнительной важности критериев;
- шкалы для оценки проектов по критериям;
- формирование принципа выбора (решающие правила).

Этот список достаточно универсален, поэтому понятие «проект» можно заменить на «объект», в



качестве которого в данной работе выступает научный журнал.

При наличии скалярного рейтинга принцип выбора заключается в максимизировании суммарного рейтинга отбираемых журналов, учитывая ограничения (на стоимость, число журналов, число статей). Таким образом, задача выбора сводится к однокритериальной оптимизации с множеством ограничений.

Критерии оценки качества научного журнала были разбиты на три группы:

- экспертные критерии оценки;
- формальные критерии оценки;
- оценка цитирования.

Отметим, что такой важный фактор, как «научное рецензирование статей», в оценочной системе не используется, но он используется на предшествующем этапе выявления научных журналов в мировом потоке периодических изданий.

Рецензирование является существенным, определяющим признаком понятия «научный журнал». Это относится и к бумажным, и к электронным журналам [13].

Другой формальный определяющий признак, позволяющий разделить потоки научной и популярной литературы, заключается в наличии в статьях списков библиографии.

Таким образом, рейтинговой оценке подлежат только те издания, которые обладают этими двумя определяющими признаками — наличием сведений о научном рецензировании статей и списками библиографии.

2.1. Оценка сравнительной важности критериев

В связи с тем, что для отбора и взвешивания критерия производятся различные действия над статистическими выборками, сами выборки и действия над ними удобно определять с помощью аппарата теории множеств.

Вначале определим множества J , E и K :

J — множество индексов, каждый индекс представляет собой целое положительное число, идентифицирующее объект (в нашем случае объектом является научный журнал);

E — множество допустимых значений эталонного критерия, (допустимым значением будем считать неотрицательное рациональное число); для научных журналов в качестве эталонного критерия был выбран индекс цитирования — «импакт-фактор»;

K — множество допустимых значений исследуемого частного критерия: $K = E$.

Возрастание значения эталонного критерия означает возрастание предпочтительности объекта или повышение его качества. Выдвигается гипотеза, что более предпочтительному (качественному)

объекту соответствует большее значение частного критерия. Цель исследования критерия — подтверждение или опровержение этой гипотезы, а также определение приоритета критерия по отношению к другим критериям в случае подтверждения гипотезы. Если гипотеза принимается, то частный критерий включается в иерархию критериев, на основе которой строится обобщенный критерий — рейтинг объекта.

Введем тернарное отношение R , которое является собственным подмножеством декартова произведения множеств J , E и K , т. е. $R \subset (J \times E \times K)$.

При этом первый элемент тернарного кортежа является уникальным идентификатором объекта. Следовательно, должно выполняться условие:

$$\forall (j, e, k) \in R \forall (i, x, y) \in R (j, e, k) \neq (i, x, y) \Rightarrow (j \neq i).$$

Рассмотрим два случая: для булева и количественного значения исследуемого критерия k соответственно.

В первом случае исследуемый критерий k является булевой переменной.

Определим тернарные отношения R_0 и R_1 , которое назовем соответственно «нулевой» и «единичной» выборкой:

$$K = \{0, 1\} \Rightarrow R_0 = \{(j, e, k) | (j, e, k) \in R \& k = 0\},$$

$$K = \{0, 1\} \Rightarrow R_1 = \{(j, e, k) | (j, e, k) \in R \& k = 1\}.$$

Во втором случае исследуемый критерий k — неотрицательная количественная переменная. В этом случае отношения R_0 и R_1 определяются по-другому:

$$K = \{k | k \geq 0\} \Rightarrow R_0 = \{(j, e, k) | (j, e, k) \in R \& k < \xi_{0,5}(K_R)\},$$

$$K = \{k | k \geq 0\} \Rightarrow R_1 = \{(j, e, k) | (j, e, k) \in R \& k \geq \xi_{0,5}(K_R)\},$$

где K_R — случайная величина, принимающая значение критерия k в упорядоченных парах $(j, e, k) \in R$, $\xi_{0,5}(K_R)$ — квантиль порядка 0,5 случайной величины, кратко именуемый медианой.

Введем дополнительные случайные величины. Обозначим E_0 случайную величину, принимающую значения критерия e в упорядоченных парах $(j, e, k) \in R_0$, т. е. в нулевой выборке. Аналогичным образом обозначим E_1 случайную величину, принимающую значения критерия e в упорядоченных парах $(j, e, k) \in R_1$, т. е. в единичной выборке. Тогда \bar{E}_0 и \bar{E}_1 — средние арифметические значения случайных величин E_0 и E_1 соответственно, т. е. выборочные средние.

Величина

$$E^* = \bar{E}_1 / \bar{E}_0 \quad (1)$$

показывает соотношение выборочных средних эталонного критерия в единичной и нулевой выборке.

Чем слабее связь исследуемого критерия с эталонным критерием, тем ближе значение E^* к единице. Далее в § 2.2 описана проверка статистической гипотезы $\bar{E}_1 = \bar{E}_0$.

Зададим отношения S_0 и S_1 следующим образом:

$$S_0 = \{(j, e, k) | (j, e, k) \in R \ \& \ e < \xi_{0,5}(E_R)\},$$

$$S_1 = \{(j, e, k) | (j, e, k) \in R \ \& \ e \geq \xi_{0,5}(E_R)\},$$

где E_R — случайная величина, принимающая значение критерия e в упорядоченных парах $(j, e, k) \in R$.

Для булева частного критерия «успехом» назовем событие $k = 1$.

Для количественного частного критерия «успехом» назовем событие $k \geq \xi_{0,5}(K_R)$.

Тогда число успехов в выборке «эталонный критерий меньше медианы» равно мощности множества $|S_0 \cap R_1|$, а число успехов в выборке «эталонный критерий не менее медианы» равно мощности множества $|S_1 \cap R_1|$.

Величина S^* показывает отношение числа успехов в выборках S_1 и S_0 :

$$S^* = \frac{|S_1 \cap R_1|}{|S_0 \cap R_1|}. \quad (2)$$

Чем слабее связь исследуемого критерия с эталонным критерием, тем ближе значение S^* к единице. В § 2.2 описана проверка статистической гипотезы $|S_0 \cap R_1| = |S_1 \cap R_1|$.

Значение приоритета исследуемого критерия вычисляется как среднее геометрическое величин E^* и S^* , вычисляемых по формулам (1) и (2):

$$w = \sqrt{E^* S^*} = \sqrt{\frac{\bar{E}_1}{\bar{E}_0} \cdot \frac{|S_1 \cap R_1|}{|S_0 \cap R_1|}}. \quad (3)$$

Ранжирование критериев по убыванию величины w равносильно ранжированию критериев по убыванию приоритета.

2.2. Отбор критериев по результатам проверки статистических гипотез

В основе разработанного метода статистического взвешивания частных критериев лежат выражения \bar{E}_1 / \bar{E}_0 и $|S_1 \cap R_1| / |S_0 \cap R_1|$, которые используются в формуле (3). Проверяется статистическая гипотеза «более предпочтительному (качествен-

ному) объекту соответствует большее значение исследуемого критерия». Если эта гипотеза принимается, то критерий считается значимым для оценки объекта.

Предлагается использовать для проверки гипотезы два статистических теста. Если в обоих случаях подтверждается значимость частного критерия, то он используется для вычисления интегрального показателя (рейтинга) объекта.

Подробное описание обоих тестов можно найти в книге [14], где они названы следующим образом:

1) сравнение двух средних произвольно распределенных генеральных совокупностей (большие независимые выборки);

2) сравнение двух вероятностей биномиальных распределений.

Первый тест используется для проверки гипотезы $\bar{E}_1 = \bar{E}_0$, т. е. о равенстве средних значений эталонного критерия (импакт-фактора) в нулевой и единичной выборках, при конкурирующей гипотезе $\bar{E}_1 > \bar{E}_0$.

Второй тест используется для проверки гипотезы $|S_1 \cap R_1| : |S_1| = |S_0 \cap R_1| : |S_0|$, т. е. гипотезы о равенстве относительных частот успеха в выборках S_1 и S_0 , при конкурирующей гипотезе $|S_1 \cap R_1| : |S_1| > |S_0 \cap R_1| : |S_0|$.

Если оба теста отвергают гипотезу о равенстве, критерий считается значимым для оценки объекта. В табл. 1 приведены реальные исходные данные по шести критериям для проверки статистических гипотез. По результатам проверки статистических гипотез все указанные критерии были признаны значимыми.

Критерий «Направляется академиком» выделяется из общего ряда, так как на самом деле он является не формальным, а экспертным показателем. Список журналов, оглавления которых направляются академиком РАН по их личному заказу, регулярно актуализируется. Таким образом, статистическая методика отбора и взвешивания критериев была успешно проверена на показателе, значимость которого изначально не вызывала сомнений.

2.3. Шкалы для оценки журналов по критериям

Значения веса, полученные ранее по формуле (3) и приведенные в табл. 1, позволяют получить ранжированный по важности список критериев, но являются ненормированными величинами. Их нельзя использовать в качестве весовых коэффициентов при вычислении интегрального показателя, так как отношение максимального значения к минимальному слишком мало.



Исходные данные для проверки статистических гипотез о значимости критериев оценки

Название частного критерия	Нулевая выборка			Единичная выборка			Число успехов: $s_0 = S_0 \cap R_1 $, $s_1 = S_1 \cap R_1 $		Вес
	$ R_0 $	\bar{E}_0	$D(E_0)$	$ R_1 $	\bar{E}_0	$D(E_1)$	s_0	s_1	w
Язык текста английский (да, нет)	247	0,742	0,847	4090	1,843	2,648	1960	2130	1,643
У издания есть адрес в Интернете (да, нет)	735	1,423	2,965	3602	1,853	2,503	1675	1927	1,224
Есть Интернет доступ к полному тексту (да, нет)	1581	1,225	2,177	2756	2,098	2,753	1082	1674	1,628
Направляется академиком (да, нет)	3047	1,588	2,309	1290	2,232	3,116	506	784	1,476
Число реферативных служб не менее 23 (да, нет)	2145	1,417	2,379	2192	2,135	2,739	853	1339	1,538
Число служб доставки не менее 6 (да, нет)	2251	1,505	2,524	2086	2,077	2,633	1220	1636	1,360

Примечание. $\xi_{0,5}(E_R) = 1,101$, $|S_0| = |S_1| = 2168$.

Наиболее простой способ увеличить разность — использовать в качестве весового коэффициента уровень относительного прироста, выраженный в процентах. Например, если среднее значение критерия в выборке *A* оказалось больше, чем в выборке *B* в 1,643 раза, то это означает относительный прирост на 64,3 % по данному критерию.

Универсальный подход к определению весовости критериев в зависимости от предметной области — построение вербально-числовой шкалы для установления соответствия между «относительным приростом» и «относительной важностью». За основу для построения такой шкалы можно взять девятибалльную вербально-числовую шкалу отношений, которая наиболее часто используется в методе анализа иерархий при парном сравнении критериев и объектов относительно критерия [8, 11].

Необходимость построения предметно-ориентированных вербально-числовых шкал определяется тем фактом, что в разных предметных областях значимость относительного изменения показателя на x % может существенно различаться. Например, нельзя считать одинаково значимыми рост инфляции на 15 % в год и естественный прирост населения в стране на те же 15 % в год. Следовательно, трактовка понятий *слабая*, *сильная*, *очень сильная*, *абсолютная* значимость зависит в первую очередь от самой предметной области, а лишь затем от мнений конкретных экспертов.

Возможность отобразить результаты статистического взвешивания на шкалу, принятую в экспертных оценках, необходима при объединении в одной иерархии критериев, для которых могут

применяться как экспертные, так и статистические методы определения приоритета.

На рисунке представлена иерархия критериев оценки качества СИ в виде ориентированного графа древовидной структуры. Значение веса критерия указано на дуге графа, исходящей из вершины, соответствующей критерию; *ГА* — группа академиков.

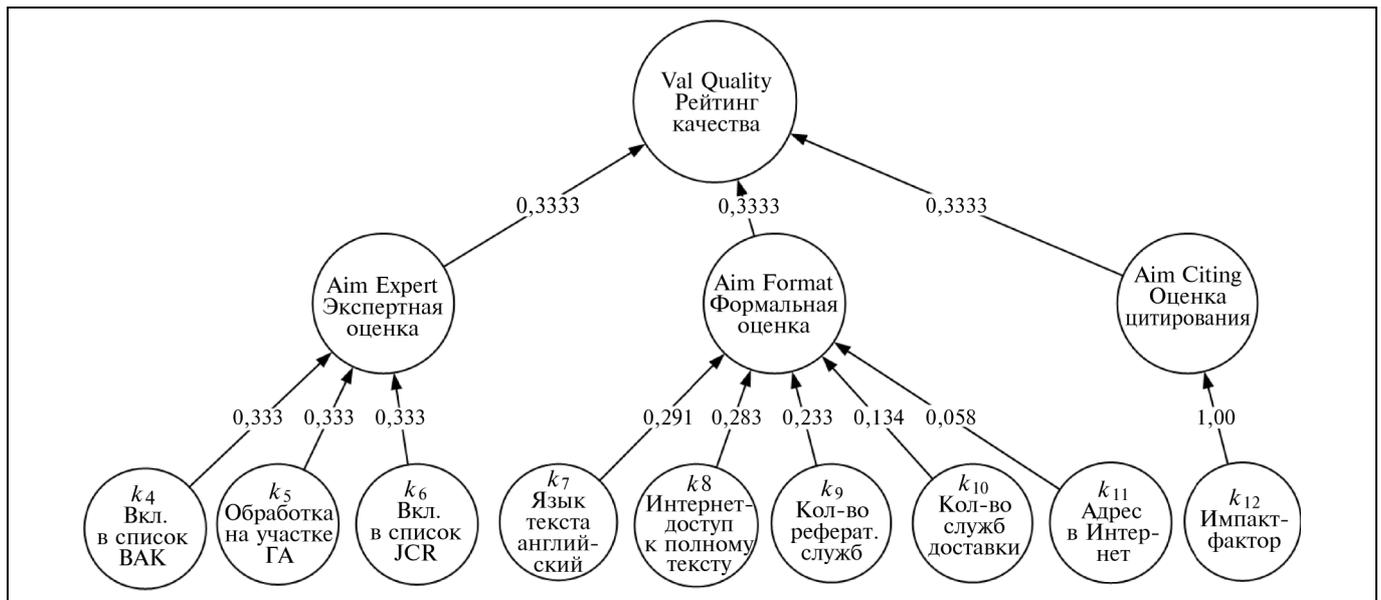
Точно так же на исходящих дугах указаны значения веса для подцелей, т. е. для трех вершин, соответствующих трем видам оценки: экспертной, формальной и цитирования. Самую верхнюю вершину иерархии обычно называют целью или фокусом иерархии [11].

Вес формальных критериев, вносящих вклад в формальную оценку, определен статистически. Экспертным критериям и подцелям присвоен одинаковый вес только в связи с тем, что на данном этапе работы привлечение экспертов для сравнения критериев и подцелей не планировалось.

В данной работе предлагается упрощенный способ установления соответствия между заключением прироста и уровнем значимости прироста некоторого признака. Экспертам достаточно определить значимость превосходства максимального значения прироста над минимальным значением прироста по вербально-числовой шкале отношений.

Это позволяет вычислять значимость прироста автоматически для любых других значений w , лежащих в интервале $[\min W, \max W]$, по формуле:

$$w^{(1, \dots, s)} = \frac{w - \min W}{\max W - \min W} (s - 1) + 1, \quad (4)$$



Иерархия оценки качества научного журнала

где s — предпочтительность наиболее приоритетного критерия по сравнению с наименее приоритетным критерием по шкале отношений, i — порядковый номер критерия.

Табл. 2 иллюстрирует получение нормированного вектора приоритета (в последней колонке) с помощью формулы (4) при $s = 5$, что соответствует «существенной или сильной значимости» по шкале отношений. Последняя колонка таблицы представляет собой нормированный вектор-столбец приоритета критериев, т. е.

$$\sum_{i=1}^n \hat{w}_i = 1.$$

2.4. Рейтинг качества и рейтинг спроса

Рейтинг качества журнала не должен зависеть от таких характеристик, как продуктивность, отражаемость в информационных продуктах, частота зака-

зов полнотекстовых копий статей, выдача журнала в библиотеке и т. п. Все перечисленные характеристики относятся к количественной оценке использования издания по различным каналам информационного обслуживания, поэтому их предлагается учитывать при вычислении рейтинга спроса. Характеристики издания, которые не относятся к показателям спроса, но могут оказывать влияние на оценку и отбор издания, можно отнести к качественным свойствам издания.

Согласно иерархии, изображенной на рисунке, оценка качества серийного издания вычисляется следующим образом:

$$ValQuality = AimExpert \cdot 0,333 + AimFormal \cdot 0,333 + AimCiting \cdot 0,333,$$

где значения трех подцелей второго уровня вычисляются по формулам:

$$AimExpert = k_4 \cdot 0,333 + k_5 \cdot 0,333 + k_6 \cdot 0,333;$$

$$AimFormal = k_7 \cdot 0,291 + k_8 \cdot 0,283 + k_9 \cdot 0,233 + k_{10} \cdot 0,134 + k_{11} \cdot 0,058;$$

$$AimCiting = k_{12} \cdot 1,00.$$

В отличие от критериев качества журнала, критерии спроса — это в основном количественные переменные целого типа, показывающие частоту использования журнальных статей по различным каналам информационного обслуживания.

В качестве подцелей в иерархии спроса могут использоваться не только каналы обслуживания, но и тематики. Это позволяет задавать различный

Таблица 2

Статистический приоритет критериев

Критерий	i	w_i	$w_i^{(1, \dots, 5)}$	\hat{w}_i
Язык текста английский	1	1,643	5,000	0,291
Интернет-доступ к полному тексту	2	1,628	4,857	0,283
Число реферативных служб	3	1,538	3,998	0,233
Число служб доставки	4	1,360	2,298	0,134
Наличие адреса издания в Интернете	5	1,224	1,000	0,058



приоритет каналам и тематикам в зависимости от основных направлений деятельности конкретного информационного центра. В иерархии спроса все значения критериев имеют количественный тип и неопределенные значения отсутствуют. Следовательно, для вычисления рейтинга спроса можно применить метод анализа иерархий без каких-либо изменений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная математическая модель вычисления рейтинга была опробована на реальных данных в 2007 г. В качестве выборки использовалось множество научных журналов, поступавших в ВИНТИ в 2001—2005 гг. и отражавшихся в реферативных журналах в 2001—2006 гг. В качестве эталонного критерия использовался импакт-фактор, опубликованный в «Journal Citation Report» в 2005 г.

Эксперименты проводились с использованием реляционной базы данных «Автоматизированной системы регистрации и комплектования ВИНТИ РАН», работающей под управлением СУБД «Microsoft SQL Server 2000». Все необходимые вычисления были реализованы с помощью процедур и функций, разработанных на языке «Transact-SQL».

Методика статистического взвешивания критериев разработана с учетом необходимости ее применения в условиях высокой размерности исходных данных, неполноты данных и различных типов значений (булевых и количественных).

Разработанная методика обладает следующими достоинствами:

— независимость от функций распределения критериев при использовании репрезентативной обучающей выборки;

— возможность взвешивать критерии на неполных массивах информации, когда для отдельных объектов значения некоторых критериев неизвестны.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Эпштейн В.Л.* Как увеличить подписку и прибыльность научного журнала: информационно-поисковый сборник аннотаций // Проблемы управления. — 2004. — № 4. — С. 88—92.
2. *Testa J.* The Thompson journal selection process. — 2004. URL: <http://scientific.thomson.com/free/essays/selectionofmaterial/journalselection>.
3. *Каленов Н.Е., Козлова Е.И., Гуацинтов О.М.* Математическая модель оптимизации подписки на журналы в научной библиотеке // Науч.-техн. информация. Сер. 1. Организация и методика информационной работы. — М., — 1999. — № 12. — С. 9—12.
4. *Шапкин А. В.* Автоматизированная система комплектования и регистрации входного потока ВИНТИ. Ч. 1, 2 // Науч.-техн. информация. Сер. 1.— М., — 2005. — № 3. — С. 8—19, № 4. — С. 16—31.
5. *Кириллова О.В.* Принципы и модели формирования входного документного потока информационного центра: Автореф. дис. канд. техн. наук Московский государственный университет культуры и искусств. — Химки, 2004. — 25 с.
6. *Арский Ю.М.* ВИНТИ в решении проблем современной информатики // НТИ-2007. Информационное общество, интеллектуальная обработка информации, информационные технологии. Материалы междунар. конф. / ВИНТИ. — М., 2007. — С. 3—5.
7. *Федорец О.В.* Рейтинговая система оценивания научных журналов: математическая модель и результаты экспериментов. — М., 2007. — 75 с. — Деп. в ВИНТИ 28.12.07, № 1257-B2007.
8. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализ иерархий. — М.: Радио и связь, 1989. — 316 с.
9. *Николаева М.А., Юнецвич О.Ф.* Методы и алгоритмы построения рейтингов // Информационные технологии. — 2003. — № 12. — С. 7—18.
10. *Федоров Ю.В.* Решение многокритериальной задачи оптимизации в нечеткой постановке // Там же. — 2005. — № 7. — С. 55—60.
11. *Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н.* Анализ, синтез, планирование решений в экономике. — М.: Финансы и статистика, 2004. — 464 с.
12. *Литвак Б.Г.* Экспертные технологии в управлении. — М.: Дело, 2004. — 400 с.
13. *Эпштейн В.Л.* Предвидимое будущее научных журналов // Проблемы управления. — 2004. — № 1. — С. 2—15.
14. *Гмурман В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистика. — М.: Высшая школа, 1998. — С. 281—348.

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.С. Манделем.

Федорец Олег Владимирович — ст. науч. сотрудник, Всероссийский институт научной и технической информации РАН, ☎ (495) 155-42-06, e-mail: ovf@viniti.ru .

Новые книги

- Анкудинов И. Г.** Автоматизация структурного синтеза и принятия решений в управлении и проектировании. — СПб.: Политехн. ун-т, 2008. — 201 с.
- Бабичев А. В.** Распознавание и спецификация структур данных. — М.: URSS, 2008. — 187 с.
- Богданов Р. И.** Фазовые портреты динамических систем на плоскости и их инварианты. — М.: Вузовская книга, 2008. — 427 с.
- Ватаманюк А. И.** Создание и обслуживание локальных сетей. — М.: Питер, 2008. — 301 с.
- Гелиг А. Х.** Устойчивость и стабилизация нелинейных систем. — СПб.: СПб. ун-т, 2006. — 269 с.
- Косарев Е. Л.** Методы обработки экспериментальных данных. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 207 с.
- Максимов Н. В.** Архитектура ЭВМ и вычислительных систем. — М.: Форум, 2008. — 511 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТ СРЕДСТВАМИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Ч. I. Физико-технические основы управления расходом жидкого топлива ракет

А.Я. Андриенко, В.П. Иванов

Предложены основные результаты полувекковой разработки семейства проблемно ориентированных систем управления расходом жидкого топлива для отечественных ракет-носителей и межконтинентальных баллистических ракет. Уделено внимание физико-техническим основам построения таких систем.

Ключевые слова: жидкостные ракетные двигатели, энергетические характеристики, гарантийные запасы топлива, управление расходом топлива.

ВВЕДЕНИЕ

В основе настоящей статьи лежит единая концепция повышения энергетических характеристик объектов ракетно-космической техники (РКТ) методами и средствами управления, сформулированная в общих чертах в работах [1–3]. Реализация этой концепции предусматривает два пути: снижение потребных для управления полетом запасов топлива и повышение эффективности использования располагаемых запасов топлива.

Первый из отмеченных путей повышения энергетических характеристик довольно широко освещен в печати и сводится к оптимизации традиционных систем управления полетом по критерию, характеризующему энергозатраты на управление, и далее практически не затрагивается.

Второй из них требует создания специальных средств и систем управления, непосредственно не связанных с задачами управления полетом. Именно эта сторона концепции и развивается здесь — применительно к жидкостной ракете.

Рассматривается ракета, которая состоит из соединенных между собой (параллельно или последовательно) отдельных ракетных блоков, включа-

ющих в себя баки с питаемыми из них ЖРД, с заданными значениями всех основных параметров. В частности, считаются заданными стартовая масса ракеты, ее компоновка, конструкции блоков, энергетические и массовые характеристики ЖРД и пр.

При выведении ракетой полезной нагрузки на заданную орбиту (или на траекторию полета к заданной цели) необходимо, в соответствии с концепцией, осуществлять такое управление расходом топлива в ракетных блоках, чтобы требуемые конечные значения траекторных координат ракеты (в конце активного участка полета) могли быть достигнуты при возможно большей массе полезной нагрузки (или большем расстоянии от точки старта до цели). Управление расходом топлива здесь понимается в широком смысле, охватывающем управление моментами времени включения и выключения ЖРД различных блоков, моментами сброса отработанных ракетных блоков и режимом расходования топлива через работающие ЖРД.

Ввиду сложности картины взаимосвязанных процессов, протекающих на ракетном комплексе и его агрегатах при их работе, необходимости учета действия большого числа различных возмущающих факторов, а также присущих объектам ракет-



ной техники технических ограничений (по перегрузкам, аэродинамическому напору и пр.) поставленная задача оказывается чрезвычайно трудной. Поэтому на практике она решалась декомпозиционно: из общей совокупности физических предпосылок повышения энергетических характеристик ракет выделялась одна небольшая группа, которая и использовалась при построении той или иной системы управления расходом топлива.

1. ФОРМИРОВАНИЕ ГАРАНТИЙНЫХ ЗАПАСОВ ТОПЛИВА

Действие тех или иных средств управления на энергетические характеристики жидкостных ракет проявляется чаще всего через изменение массы гарантийных запасов топлива, сущность которых состоит в следующем.

В каждый из баков ракеты дополнительно к рабочему запасу топлива, полностью израсходуемому в номинальных условиях выведения (при действии только систематических факторов), приходится заправлять гарантийный запас, предназначенный для компенсации случайных возмущений, действующих на процесс расходования топлива и на траекторные координаты ракеты (таких, как ошибки заправки топливом, разброс удельных импульсов тяги ЖРД и пр.).

Выделение гарантийных запасов топлива из заданного неизменным общего запаса топлива возможно лишь путем соответствующего сокращения рабочих запасов, приводящего к уменьшению максимально допустимой массы полезной нагрузки, выводимой на заданную орбиту. Это уменьшение тем значительнее, чем больше выделяемые гарантийные запасы. Однако произвольное, волевым сокращением этих запасов приводит к увеличению вероятности несанкционированного прекращения работы ЖРД из-за нехватки топлива (или одного из его компонентов).

Задача формирования гарантийных запасов топлива состоит в резервировании такого количества гарантийных запасов на ракете и в таком его распределении по ракетным блокам и бакам, при которых, с одной стороны, располагаемого на борту топлива с заданной вероятностью хватает для выведения полезной нагрузки, а с другой — обеспечивается как можно большее значение массы полезной нагрузки, которую может вывести данная ракета с принятым составом системы управления расходом топлива.

В теоретическом отношении это одна из задач математической статистики о построении в многомерном пространстве случайных событий обла-

сти минимального размера, в которой с заданной вероятностью заключаются события.

2. УПРАВЛЕНИЕ МОМЕНТАМИ ВРЕМЕНИ ВКЛЮЧЕНИЯ И ВЫКЛЮЧЕНИЯ ЖРД

Управление выработкой топлива из ступеней ракеты. Задача формирования гарантийных запасов топлива тесно связана с задачей управления выработкой топлива при заданном распределении общего (рабочего и гарантийного) запаса топлива по ступеням ракеты — т. е. управления моментами выключения ЖРД отдельных ступеней в реальных условиях полета.

Важную роль при управлении выработкой топлива играют требования приведения точки падения отработанных ступеней ракеты в заданные районы. Более того, в традиционном способе управления выработкой — *выработке топлива по функционалу* — это требование оказывается единственным условием для определения в полете момента времени выключения ЖРД. (Здесь при управлении выработкой топлива используется только информация о траекторных координатах ракеты, свернутая в форму функционала управления дальностью полета отработанной ступени.) Этот способ управления выработкой топлива не принадлежит к числу непосредственно направленных на повышение энергетических характеристик и приводится здесь лишь в качестве отправной точки для сравнительного рассмотрения других способов.

Использование при управлении выработкой топлива текущей информации о количестве топлива в баках ракеты позволяет повысить энергетические характеристики ракет. Примером такого управления служит управление *полной выработкой топлива*, когда двигатели нижних ступеней выключаются только по информации о количестве топлива в баках ступеней так, чтобы обеспечить возможно меньший остаток топлива (т. е. обеспечить в пределе полную выработку топлива), а двигатель последней ступени выключается только по текущей информации о траекторных координатах с тем, чтобы обеспечить требуемые конечные условия выведения полезной нагрузки.

Эффект повышения энергетических характеристик здесь определяется тем обстоятельством, что в большей своей части резервирование гарантийных запасов на ракете производится из условия компенсации суммарного по ступеням воздействия случайных возмущений на конечные значения траекторных координат ракеты, тогда как при управлении выработкой топлива по функционалу приходится посредством гарантийных запасов пар-

циальным образом парировать влияние случайных от ступени к ступени траекторных возмущений.

При полной выработке топлива возрастают трудности выполнения ограничений на размеры районов падения отработанных ступеней: в случае, когда управление движением центра масс ракеты производится без учета текущей информации о расходовании топлива, дополнительный разброс скорости ракеты в момент разделения ступеней, возникающий из-за полной выработки топлива в реальных условиях полета (при случайных отклонениях удельной тяги и др.), приводит к значительному увеличению разброса координат точки падения отработанной ступени. Поэтому при управлении расходом топлива приходится решать дополнительную задачу о прогнозировании конечного состояния траекторных координат в момент полной выработки топлива на ступени с тем, чтобы система управления ракетой могла обеспечить приведение точки падения отработанной ступени в заданный район — посредством корректирования (по результатам прогноза) процесса управления ориентацией вектора скорости.

Еще больший эффект повышения энергетических характеристик ракет достигается при управлении выключением ЖРД, обеспечивающим *оптимальную выработку топлива*.

Суть оптимальной выработки топлива состоит в том, что только некоторая часть случайных возмущений (часть α_n), действующих на траекторные координаты данной n -й ступени N -ступенчатой ракеты, компенсируются посредством израсходования топлива этой ступени. Оставшаяся часть возмущений приводит к отклонению траекторных координат в конце активного участка полета ступени и рассматривается как возмущение, действующее на последующую ступень. В результате соответствующего выбора коэффициентов α_n ($n = 1, 2, \dots, N$;

$\sum_{n=1}^N \alpha_n = 1$) оптимизируется распределение гарантийного запаса топлива по ступеням в смысле обеспечения максимального значения допустимой массы полезной нагрузки, выводимой на требуемую траекторию свободного полета. Выключение ЖРД каждой ступени здесь производится при достижении заданных значений траекторного функционала.

Управление выработкой топлива из баков многоблочной ступени ракеты. Организация управления выработкой топлива из ступеней ракеты затрагивает, главным образом, вопросы, связанные с распределением гарантийных запасов топлива по ступеням. Подобные же вопросы возникают и аналогичным образом решаются и при управлении

выработкой топлива из отдельных блоков многоблочной ступени ракеты.

Однако на многоблочной ступени имеются и дополнительные возможности повышения энергетических характеристик ракеты — посредством рациональной организации последовательности выработки рабочих запасов топлива из отдельных блоков в рамках заданного общего количества топлива на многоблочной ступени.

Здесь рассматривается многоблочная ступень в виде связки параллельно соединенных ракетных блоков. Один из блоков непосредственно или через последующие ступени несет полезную нагрузку. Остальные блоки соединены с полезной нагрузкой через несущий блок. Эти блоки иногда называют бустерами, разгонными блоками, и обычно они комплектуются из нескольких пар боковых блоков, симметрично расположенных относительно центрального, несущего; ЖРД боковых блоков при этом включаются одновременно.

Основная идея *программирования последовательности выключения ЖРД боковых блоков* состоит в том, что баки разных блоков опорожняются одновременно так, чтобы по мере опорожнения баков обеспечивалось последовательное во времени выключение ЖРД пар оппозитных блоков, а сами пары блоков отбрасывались последовательно во времени. В результате из боковых блоков одной ступени реализуется некоторый аналог многоступенчатой ракеты. На безатмосферном участке полета максимальный выигрыш в энергетических характеристиках ракеты достигается в случае, когда отношение продольной составляющей абсолютного ускорения к расходу топлива непосредственно перед выключением ЖРД равно отношению значений тех же величин непосредственно после отбрасывания пары блоков. Более раннее выключение ЖРД пары блоков вызывает увеличение гравитационных потерь в скорости ракеты, более позднее — увеличение энергетических потерь на разгон сухой конструкции этой пары. (Последнее обстоятельство находит свое выражение в уменьшении конечной характеристической скорости ракеты, исчисляемой по формуле К.Э. Циолковского).

Реализация этого способа сводится к определению программы номинальных моментов времени выключения ЖРД разгонных блоков, выполнение которой может быть обеспечено либо посредством соответствующего *выбора циклограммы работы ЖРД* блоков, либо в результате перераспределения рабочих запасов топлива ступени между блоками.

На сходных физических предпосылках основано *программирование последовательности моментов времени включения модулей¹ многодвигательной установки несущего (центрального) блока*: чем поз-



же включается модуль, тем больше гравитационные потери в скорости ракеты, но тем меньше аэродинамические потери и потери в энергетике ракеты на разгон конструкции боковых блоков. Поэтому существует оптимальная по энергетике ракеты последовательность (программа) номинальных моментов времени включения модулей многодвигательной установки центрального блока. В частном случае, когда заданная тяговооруженность боковых блоков относительно невелика, так что доминирующее значение имеют гравитационные потери в скорости, эта программа вырождается в условие включения всех модулей центрального блока одновременно с ЖРД боковых блоков. В случае весьма высокой тяговооруженности боковых блоков вся двигательная установка несущего блока должна включаться после отделения боковых блоков — получаем чисто последовательную схему работы ракетных блоков.

3. УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ РАСХОДА ТопЛИВА

Наиболее разнообразным и сложным в реализации и в то же время наиболее эффективным (по энергетике ракеты) из всех представленных здесь средств является управление режимом расходования топлива при работе ЖРД. Рассмотрим основные задачи этого управления.

Внутриблочное регулирование опорожнения баков двухкомпонентного жидкостного ракетного блока осуществляется посредством изменения в полете соотношения текущих расходов компонентов топлива из баков и предназначено, главным образом, для снижения гарантийных запасов топлива при выбранном (см. § 2) способе управления моментами времени включения и выключения ЖРД блока; другое назначение этого регулирования связано с обеспечением надежности функционирования ЖРД и состоит в удержании соотношения текущих расходов компонентов топлива в заданном диапазоне.

Размеры гарантийных запасов топлива на ракетном блоке определяются по характеристикам случайной составляющей конечных остатков компонентов топлива в момент выключения ЖРД блока. Поэтому при организации внутриблочного регулирования опорожнения баков в принципе следует по возможности полнее учитывать специфику факторов, влияющих на случайный разброс конечных остатков компонентов топлива. Перечислим эти факторы для случая, когда при выключении

¹ Модулем здесь называется каждый из ЖРД, входящих в состав многодвигательной установки.

ЖРД блока обеспечивается выработка топлива по функционалу:

— случайные траекторные возмущения (аэродинамические, по удельной тяге и пр.), которые однозначно обуславливают значение суммарной (окислителя и горючего) случайной составляющей конечного остатка топлива;

— действующие на процесс расходования топлива случайные возмущения (температурные, по давлению наддува баков, ошибки настройки ЖРД на номинальное значение $K_{m \text{ ном}}$ соотношения массовых расходов компонентов топлива и др.), которые обуславливают случайное перераспределение конечных остатков топлива по бакам (слабо влияя на суммарную составляющую конечного остатка).

В этом случае внутриблочное регулирование может преследовать две цели.

Первая — компенсация возмущений, вызывающих случайное перераспределение по бакам конечного остатка топлива. (Это означает, что должна обеспечиваться синхронизация опорожнения баков окислителя и горючего.)

Вторая цель состоит в перераспределении (по бакам) суммарной случайной составляющей конечного остатка топлива в заданном соотношении $K_{\text{ост}}$.

Выбор целевого соотношения $K_{\text{ост}}$ масс случайной составляющей остатка топлива может производиться из условий, непосредственно не связанных с требованиями минимизации суммарных гарантийных запасов топлива, но направленных, например, на повышение экологичности эксплуатации ракеты.

Реализация условия $K_{\text{ост}} = K_{m \text{ ном}}$ приводит к широко применяемому в РКТ способу управления режимом расходования топлива — *внутриблочной синхронизации расхода*. При относительно высокой точности внутриблочного регулирования опорожнения баков (когда составляющая случайного остатка топлива, обусловленная погрешностью синхронизации опорожнения, значительно меньше суммарной случайной составляющей конечного остатка) синхронизация расходования топлива обеспечивает массу суммарных остатков топлива на блоке, близкую к минимальной.

Межблочное регулирование опорожнения баков. На многоблочной ступени ракеты темп расходования топлива из разных ракетных блоков в силу ряда случайных причин оказывается различным, и возникает дополнительная к рассмотренным случайная составляющая конечных остатков топлива.

Поскольку группа боковых одновременно отделяемых блоков состоит, как правило, из одинаковых блоков (меньших, по сравнению с центральным блоком, размеров), то с целью снижения гарантий-

ных запасов топлива на ступени предусматривается — независимо от принятого способа управления моментами времени выключения ЖРД — *межблочная синхронизация расхода топлива боковых блоков*. Эта синхронизация осуществляется посредством изменения в полете межблочного соотношения суммарных (окислителя и горючего) текущих расходов топлива.

В случае, когда при выключении ЖРД боковых блоков обеспечивается выработка топлива по функционалу или оптимальная выработка топлива, может потребоваться, кроме того, и синхронизация расхода топлива между несущим и разгонными блоками. При этом уменьшается неопределенность в текущем распределении топлива между несущим и разгонными (боковыми) блоками и, следовательно, снижается значение случайной составляющей остатка топлива на разгонных блоках в момент набора заданного значения функционала.

В случае полной выработки топлива, когда ЖРД разгонных блоков выключаются только по текущей информации о количестве топлива на этих блоках, конечные остатки топлива на разгонных блоках не зависят от количества топлива на несущем блоке, и нет необходимости в синхронизации расхода топлива между несущим и боковыми блоками. Более того, иногда имеет смысл осуществлять *рассинхронизацию между несущим и боковыми блоками* по функционалу от процессов управления центром масс ракеты и расхода топлива.

Связано это с необходимостью снижения размеров района падения отработанной ступени. При полной выработке топлива для уменьшения разброса точки падения отработанной ступени можно по текущей информации о количестве топлива так воздействовать на процесс управления ориентацией вектора тяги (главным образом, управления углом тангажа), чтобы заданное значение функционала (т. е. заданная дальность пассивного полета отработанной ступени) достигалось в момент опорожнения баков ступени. При полете отработанной (конкретно, первой) ступени по траектории, близкой к минимально энергетической (с максимальной — для данной конечной скорости выведения ступени — дальностью пассивного полета), влияние изменения угла тангажа в момент выключения ЖРД на дальность полета отработанной ступени весьма мало, и поэтому данный способ снижения разброса точки падения ступени оказывается здесь при жестких ограничениях по допустимым углам атаки непригодным к реализации.

Многоблочная компоновка ступени в этом случае предоставляет возможность обеспечивать

посредством соответствующей рассинхронизации расхода топлива израсходование топлива боковых блоков к моменту достижения ракетой заданного значения функционала, характеризующего дальность пассивного полета разгонных блоков. Влияние траекторных возмущений на дальность точки падения при этом компенсируется благодаря перерасходу или недорасходу части топлива несущего блока, выделенного для использования в режиме первой ступени.

Программирование режима расхода топлива. Задачи программирования расхода топлива слагаются из выбора циклограмм работы ЖРД (программирования суммарного расхода топлива) и программирования соотношения K_m текущих расходов компонентов топлива на ракетном блоке.

Некоторые из обстоятельств, которые следует иметь в виду при выборе циклограммы работы ЖРД в статье уже упоминались. Другие же обстоятельства очевидным образом связаны с необходимостью снижения гравитационных потерь (при заданных максимально допустимых значениях расхода топлива через ЖРД) и выполнением ограничений по допустимым перегрузкам на ракете.

Возможность повышения энергетических характеристик ракет посредством программирования соотношения K_m расходов компонентов топлива появляется в случае, когда соотношение $K_{m \text{ ном}}$ рабочих запасов топлива не совпадает с тем соотношением K_m^* , которое соответствует максимальному удельному импульсу тяги ЖРД (правильнее говорить о программировании, позволяющем снизить потери в энергетике ракеты, вызванные несовпадением соотношений $K_{m \text{ ном}}$ и K_m^*).

Общая постановка задачи программирования соотношения K_m расходов компонентов топлива, обеспечивающего максимизацию энергетических характеристик ракет при заданной циклограмме работы ЖРД и ограниченном диапазоне допустимых значений соотношения расходов, формулировалась авторами еще в 1960-х гг. Тогда же отмечалась и возможность ее решения на основе принципа максимума. Несколько позже в книге [4, с. 97] было дано ее решение в явном виде, исходящее из условия необходимости синхронизации опорожнения баков без учета ограничений по допустимым значениям соотношения расходов.

Программирование изменения соотношения K_m расходов компонентов топлива предписывает опорожнение баков в начале полета ракеты при относительно больших отклонениях от K_m^* соотношения расходов (больших, чем при $K_{m \text{ ном}}$); при этом снижается удельный импульс тяги ЖРД, зато



формируется избыток в баке одного компонента топлива относительно другого, позволяющий к концу синхронного опорожнения баков осуществить расходование топлива при меньшем отклонении соотношения K_m расходов от K_m^* , т. е. с большим удельным импульсом тяги, чем при $K_{m \text{ ном}}$ [4]. Поскольку масса ступени ракеты по ходу опорожнения уменьшается, то приращение скорости ракеты из-за повышения удельной тяги на конечном участке полета ступени ракеты перекрывает с избытком соответствующие потери в скорости на начальном участке полета. Диапазон программированного изменения соотношения K_m тем больше, чем больше отличие $K_{m \text{ ном}}$ от K_m^* , и чем меньше отношение конечной массы ступени к начальной (т. е. чем совершеннее конструкция ступени).

При практической реализации программирования соотношения расходов компонентов топлива этот диапазон существенно снижается (а следовательно, уменьшается энергетическая эффективность программирования), так как приходится учитывать, прежде всего, ограничения по допустимым значениям соотношения расходов, а также, возможность случайных отклонений (от программных) истинных значений соотношения K_m .

Априорное программирование соотношения расходов компонентов топлива предусматривает оптимизацию соотношения K_m во временной области с учетом априорных характеристик распределения случайных значений соотношения расходов.

Несколько больший энергетический эффект дает *апостериорное программирование соотношения расходов компонентов топлива*, когда соотношение K_m оптимизируется на основе апостериорно (на борту) определенных характеристик распределения случайных значений соотношения расходов. В этом случае временная программа соотношения расходов компонентов топлива перестраивается в полете по текущей информации о процессе расходования топлива.

При *рандомизированном программировании соотношения расходов компонентов топлива* ограничение на допустимый диапазон программирования соотношения K_m линейно связывается с остатком топлива, оцениваемым по текущей информации о траекторных координатах ракеты. В результате значения программного отклонения K_m определяются траекторными возмущениями и поэтому по

отношению к процессу регулирования опорожнения баков выступают как некоторые независимые от него случайные (рандомизированные) величины. Большие дополнительные отклонения K_m от номинала здесь реализуются только в редких случаях действительной энергетической необходимости, а в большинстве случаев эти отклонения малы, что и позволяет воспроизвести эквивалент расширения диапазона программирования соотношения K_m при соблюдении заданной вероятности выхода этого соотношения за допуск по совокупности процессов управления режимом расходования топлива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в статье способы совершенствования энергетических характеристик жидкостных ракет средствами управления расходованием топлива весьма неравноценны по эффективности действия и технической реализуемости. Некоторые примеры бортовых систем управления расходованием топлива, рассматривавшихся в качестве возможных вариантов при проектных проработках, будут рассмотрены во второй части статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Petrov B.N., Portnov-Sokolov Yu.P., Andrienko A.Ya. Control aspects of efficient rocket propulsion systems // Acta Astronautica. — 1977. — Vol. 4, N 11—12. — P. 1127—1136.
2. Управление расходованием топлива как средство повышения энергетики жидкостной ракеты / Б.Н. Петров, Ю.П. Портнов-Соколов, А.Я. Андриенко, В.П. Иванов // Навигация, наведение и оптимизация управления. — М.: Наука, 1978. — С. 67—76.
3. Андриенко А.Я., Иванов В.П., Портнов-Соколов Ю.П. Системы управления расходованием топлива жидкостных ракет. История создания и пути развития // Космонавтика и ракетостроение. — 1999. — № 15. — С. 133—137.
4. Бортовые терминальные системы управления / Б.Н. Петров, Ю.П. Портнов-Соколов, А.Я. Андриенко, В.П. Иванов. — М.: Машиностроение, 1983.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Б.В. Павловым.

Андриенко Анатолий Яковлевич — д-р техн. наук, зав. лабораторией, ☎ (495) 334-88-71,

Иванов Владимир Петрович — канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, ☎ (495) 334-87-60,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, e-mail: vladguc@ipu.ru.

СИСТЕМА ИНФОРМИРОВАНИЯ И ОПОВЕЩЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ: ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ РЕАЛИЗАЦИИ ФУНКЦИЙ

Р.А. Дурнев

Рассмотрены основные функции системы информирования и оповещения населения в интересах обеспечения безопасности. Приведена постановка задачи и результаты расчетов по определению рациональных объемов реализации данных функций в различных режимах.

Ключевые слова: информирование и оповещение населения, информационно-телекоммуникационные технологии, информационный центр, терминальный комплекс, функции системы.

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно в Российской Федерации в опасных и чрезвычайных ситуациях (ЧС) погибают свыше 65 тыс. чел., получают травмы около 300 тыс. чел., прямой материальный ущерб составляет более 100 млрд. руб. Практика показывает, что большую роль в снижении людских потерь и материального ущерба играют информирование и оповещение населения. От регулярности предоставления сведений о возможных источниках и масштабах опасных и чрезвычайных ситуаций, мерах по уменьшению их последствий, оперативности доведения сигнала оповещения до сил предупреждения и ликвидации ЧС и населения зависит, в конечном итоге, результативность укрытия людей в защитных сооружениях, их эвакуации из зоны ЧС и других способов защиты.

Для информирования и оповещения населения используются ресурсы средств массовой информации, создается Общероссийская комплексная система информирования и оповещения населения в местах массового пребывания людей (ОКСИОН), основанная на современных информационно-телекоммуникационных технологиях (ИТТ) получения, обработки, хранения, передачи и отображения аудиовизуальной информации. Она представляет собой информационно-техническую систему, объединяющую информационные центры различных уровней, терминальные комплексы (ТК) для

отображения аудиовизуальной информации, автоматизированные территориально распределенные подсистемы связи и передачи данных, сбора информации, радиационного и химического контроля и др.

Основные функции ОКСИОН состоят в оповещении, информировании и подготовке населения в целях обеспечения его безопасности, а также в мониторинге обстановки в местах массового пребывания людей (см. рисунок).

В качестве дополнительной функции системы определена трансляция рекламных информационных материалов в местах регулярного массового



Основные функции ОКСИОН



пребывания людей. Это связано с тем, что содержание и развитие системы информирования и оповещения населения сопряжены со значительными затратами финансовых, материальных и иных ресурсов. Предполагается, что благодаря коммерческому использованию ТК будет возможно получение средств на обслуживание системы, расширение парка терминальных комплексов, банка информационных материалов и др.

1. ОБЩАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Важнейшая задача, решаемая при реализации основных и дополнительной функций ОКСИОН, состоит в установлении рациональных объемов их реализации. Очевидно, что чрезмерное доминирование реализации какой-либо функции (например, только информирования населения) будет негативно сказываться на других (трансляции рекламных информационных материалов). Это не позволит получать в требуемом объеме средства на содержание и развитие системы. В то же время, избыточный акцент на трансляции рекламных информационных материалов не позволит достигнуть основных целей, стоящих перед ней.

С учетом специфики данной системы могут быть максимизированы:

- эффективность воздействий ИТТ на население в интересах обеспечения безопасности;
- доход от использования ТК.

Очевидно, что степень достижения указанных целей зависит, в первую очередь, от объемов реализации функций систем. Поэтому в качестве ограничений можно принять объемы эфирного времени (часов в сутки), выделяемого на трансляцию сигналов и информации в области безопасности жизнедеятельности, а также рекламных информационных материалов.

Это позволяет в обобщенном виде сформулировать следующую задачу: найти объемы эфирного времени, выделяемого для реализации функции оповещения населения $t_{\text{опов}}$, информирования населения $t_{\text{инф}}$, подготовки населения $t_{\text{подг}}$ и мониторинга обстановки $t_{\text{монит}}$, максимизирующие эффективность воздействий ИТТ на население в интересах обеспечения безопасности и доход от использования ТК.

2. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Очевидно, что рассматриваемые функции ОКСИОН являются взаимно конфликтующими, т. е. увеличение объемов реализации одной из них приводит к уменьшению объемов реализации другой. Поэтому необходимо применение такого науч-

но-методического аппарата, который бы позволял найти компромиссное решение, учитывающее важность каждой функции.

Для решения рассматриваемой задачи можно применить целевое программирование, предназначенное для поиска решений, удовлетворяющих определенному уровню достижения целей [1–3]. Принципиальные отличия целевого от других видов математического программирования заключаются в понимании критериев как целей и установлении приоритетов или весовых коэффициентов достижения отдельных целей [2].

Для решения задач целевого программирования наибольшее распространение получили метод весовых коэффициентов и метод приоритетов (лексикографический).

Первый из них характеризуется присутствием переменных, представляющих собой меры отклонения от пороговых уровней достижения целей (сверху и снизу). В нем единственная целевая функция формируется как взвешенная сумма исходных частных целевых функций. Для нахождения решения, наилучшим образом удовлетворяющего целям, минимизируются взвешенные суммы переменных отклонений при определенных ограничениях, наложенных на переменные целевого программирования:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n w_i G_i &\rightarrow \min, \\ \sum_{j=1}^m k_{qj} x_{qj} &= \left. \begin{array}{l} \leq \\ \geq \end{array} \right\} a_{qj}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$ — номер цели; G_i — значение переменной отклонения от i -й цели; w_i — значение весового коэффициента, отражающего предпочтение, отдаваемое i -й цели; $j = 1, 2, \dots, m$ — номер переменной целевого программирования x , коэффициента переменной целевого программирования k и постоянной величины a ; q — номер ограничения (неравенства, равенства).

В методе приоритетов n частных целевых функций ранжируется в порядке их важности. Затем последовательно решается ряд задач математического программирования с одной целевой функцией. При этом решение задачи с низкоприоритетной целью не может ухудшить оптимального значения целевой функции с более высоким приоритетом. Этот процесс представляется в виде следующего алгоритма:

Шаг 0. Определяются частные целевые функции и ранжируются в порядке приоритетов:

$$G_1 > G_2 > \dots > G_i > \dots > G_n.$$

Значение i приравнивается единице.

Шаг i . Решается i -я задача математического программирования с целевой функцией G_i . Полученное оптимальное значение отклоняющейся переменной G_i обозначается через G_i^* . Если $i = n$, вычисления заканчиваются. В противном случае в задачу вводится новое ограничение $G_i = G_i^*$. Полагается $i = i + 1$ и повторяется i -й шаг.

Преимущество метода приоритетов заключается в том, что вместо целевых функций задачи математического программирования могут использоваться реальные целевые функции, которые необходимо оптимизировать. Кроме того, в этом случае нет необходимости определять их весовые коэффициенты.

3. КОНКРЕТНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Принимая во внимание периоды реализации основных функций (см. рисунок), задача целевого программирования может быть сформулирована в виде:

$$\begin{aligned} & E_{ИТТ}^{инф} t_{инф} + E_{ИТТ}^{опов} t_{опов} + E_{ИТТ}^{подг} t_{подг} + \\ & + E_{ИТТ}^{монит} t_{монит} - t_{рекл} \rightarrow \max, \\ -c_{инф} t_{инф} - c_{опов} t_{опов} - c_{подг} t_{подг} - c_{монит} t_{монит} + \\ & + c_{рекл} t_{рекл} \rightarrow \max, \end{aligned} \quad (1)$$

$$t_{монит} \leq 24,$$

$$t_{инф} + t_{опов} + t_{подг} + t_{рекл} \leq 24, \quad (2)$$

$$t_{подг} \geq 6,$$

$$t_{инф} - \phi t_{опов} = 0,$$

$$t_{инф}, t_{опов}, t_{подг}, t_{монит}, t_{рекл} > 0,$$

где $E_{ИТТ}^{инф}$, $E_{ИТТ}^{опов}$, $E_{ИТТ}^{подг}$ и $E_{ИТТ}^{монит}$ — вероятность безопасных действий человека благодаря регулярному информированию, своевременному оповещению, регулярной подготовке и уточнению характера доводимой информации по результатам мониторинга обстановки в местах массового пребывания людей, соответственно; $t_{инф}$, $t_{опов}$, $t_{подг}$, $t_{монит}$ и $t_{рекл}$ — эфирное время в часах, выделяемое на информирование населения, на трансляцию сигналов и информацию оповещения, на подготовку населения, на мониторинг обстановки в мес-

тах массового пребывания людей и трансляцию рекламных информационных материалов, соответственно; $c_{инф}$, $c_{опов}$, $c_{подг}$ и $c_{монит}$ — удельные затраты в рублях на реализацию функций информирования, оповещения, подготовки населения и мониторинга обстановки в местах массового пребывания людей, соответственно; $c_{рекл}$ — доход в рублях от трансляции рекламных информационных материалов; ϕ — коэффициент пропорциональности.

В первой целевой функции все переменные, увеличение которых максимизирует эффективность информационно-телекоммуникационных воздействий, приведены со знаком «+» ($t_{инф}$, $t_{опов}$, $t_{подг}$, $t_{монит}$). Переменная $t_{рекл}$ отрицательно влияет на увеличение эффективности указанных воздействий. Поэтому коэффициент перед ней отрицательный. Для второй целевой функции знаки коэффициентов перед переменными показывают, какие функции ведут к максимизации и минимизации дохода от использования ТК.

4. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Сформулированная задача решалась в рамках работы [4]. Определялся объем эфирного времени для трансляции рекламных информационных материалов и материалов по безопасности жизнедеятельности применительно к повседневному режиму, режиму повышенной готовности и режиму ЧС, а также рациональная пропорция распределения средств от реализации коммерческой деятельности с использованием ТК по социальному, научно-производственному, финансовому, кадровому, материально-техническому и другим направлениям.

Расчеты при решении задачи целевого программирования методом приоритетов проводились с помощью программного продукта Microsoft Excel пакета программ MS Office XP (надстройка «Поиск решения»). В ходе первой итерации находились значения переменных, максимизирующих первую целевую функцию в выражении (1) при ограничениях (4).

При второй итерации данная целевая функция с найденным максимальным ее значением (E) применялась в качестве ограничения

$$\begin{aligned} & E_{ИТТ}^{инф} t_{инф} + E_{ИТТ}^{опов} t_{опов} + E_{ИТТ}^{подг} t_{подг} + \\ & + E_{ИТТ}^{монит} t_{монит} - t_{рекл} \geq E \end{aligned}$$

совместно с ограничениями (2) при нахождении значений переменных, максимизирующих вторую целевую функцию в выражении (1).



Результаты определения рациональных объемов реализации функций систем информирования и оповещения населения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Функция	Объем эфирного времени, ч	
	В повседневном периоде	При угрозе и развитии ЧС
Оповещение населения	0	2
Информирование населения	0	22
Подготовка населения	12	0
Мониторинг обстановки в местах массового пребывания людей	24	24
Трансляция рекламных информационных материалов	12	0

Результаты решения сформулированной задачи свидетельствуют о том, что для обеспечения самокупаемости Общероссийской комплексной системы информирования и оповещения населения в местах массового пребывания людей ее терминальные комплексы должны использоваться в коммерческих целях в повседневном периоде в размере около 50 % от объема эфирного времени, выделяемого на все информационные материалы. В этом случае доходы, полученные от трансляции рекламных информационных материалов, превысят затраты на содержание систем во всех рассматриваемых периодах и будут направляться на обслуживание системы, расширение парка терминальных комплексов, банка информационных материалов.

Найденные идеальные (оптимальные) значения переменных $t_{\text{инф}}$, $t_{\text{опов}}$, $t_{\text{подг}}$, $t_{\text{монит}}$ и $t_{\text{рекл}}$, максимизируют доход от использования ТК при условии достижения максимальной эффективности воздействий ИТТ на население. Полученные результаты расчетов и учет факторов реальной обстановки в Москве и Санкт-Петербурге [4] позволили обосновать приемлемые (рациональные) значения рассматриваемых переменных (см. таблицу).

Анализ показывает, что в повседневном периоде функции оповещения и информирования населения не реализуются. Общий объем эфирного времени распределяется поровну между функциями подготовки населения и трансляции рекламных информационных материалов. В периоде угрозы и развития опасных и чрезвычайных ситуаций осуществляются функции оповещения и информирования населения в объеме около 10 и 90 % эфирного времени соответственно. В связи с тем, что при реализации функции мониторинга обстановки используется иное, чем при других функциях, оборудование, она реализуется непрерывно во всех рассматриваемых периодах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хемди А. Таха. Введение в исследование операций. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2001.
2. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения. — М.: Радио и связь, 1992.
3. Подиновский В.В. Математическая теория выработки решений в сложных ситуациях. — М.: Министерство обороны СССР, 1981.
4. Заключительный отчет о НИР «Создание научно-методических основ информирования и оповещения населения с использованием современных технических средств массовой информации в местах массового пребывания людей» / П. 4.3.1 ЕТП НИОКР МЧС России на 2007 г. — М.: ЦСИ ГЗ МЧС России, 2007.

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.В. Кульбой.

Дурнев Роман Александрович — д-р техн. наук, ст. научн. сотрудник, Центр стратегических исследований гражданской защиты МЧС России, г. Москва, ☎ (495) 449-99-23, e-mail: rdurnev@rambler.ru.

Читайте в следующем номере

- ✓ Климченко В. В. Модификация многомерного алгоритма Левинсона
- ✓ Гусев В. Б., Косьяненко А. В. Оценка влияния государственного заказа на воспроизводство ВВП
- ✓ Гладков Ю. М., Мартынов В. Л., Шелков А. Б. Методы управления резервом покрытия задолженности в системе социального страхования
- ✓ Курдюков А. П., Тимин В. Н. H_2 -управление энергетической системой в аварийном режиме. Ч. II. Синтез робастного регулятора для управления энергетической системой
- ✓ Андриенко А. Я., Иванов В. П. Совершенствование энергетических характеристик жидкостных ракет средствами автоматического управления. Ч. II. Бортовые системы управления расходом топлива



СОЦИАЛЬНЫЕ И ЭТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

О.А. Кононов, О.В. Кононова

Рассмотрены вопросы обеспечения информационной безопасности современного общества через внедрение в сознание участников информационных отношений принципов информационной этики.

Ключевые слова: информационные технологии, информационные отношения, информационная безопасность, кодекс компьютерной этики, информационная этика.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая статья посвящена рассмотрению состояния информационных отношений в современном обществе в смысле их соответствия задачам обеспечения информационной безопасности в части соблюдения этических норм.

Широкое применение информационных технологий в современном обществе порождает проблемы, связанные с информационной безопасностью личности, общества, и государства, обусловленные все большей «прозрачностью» и уязвимостью различных сторон жизни и деятельности людей для внешнего воздействия. На решение этих проблем нацелены социальные институты информационной безопасности, определяющие систему «правил игры» в обществе и активно формирующиеся в настоящее время. Это технические, корпоративные, правовые и этические (моральные) нормы. Все они затрагивают глобальные вопросы становления информационного общества.

1. СУБЪЕКТЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОТНОШЕНИЙ

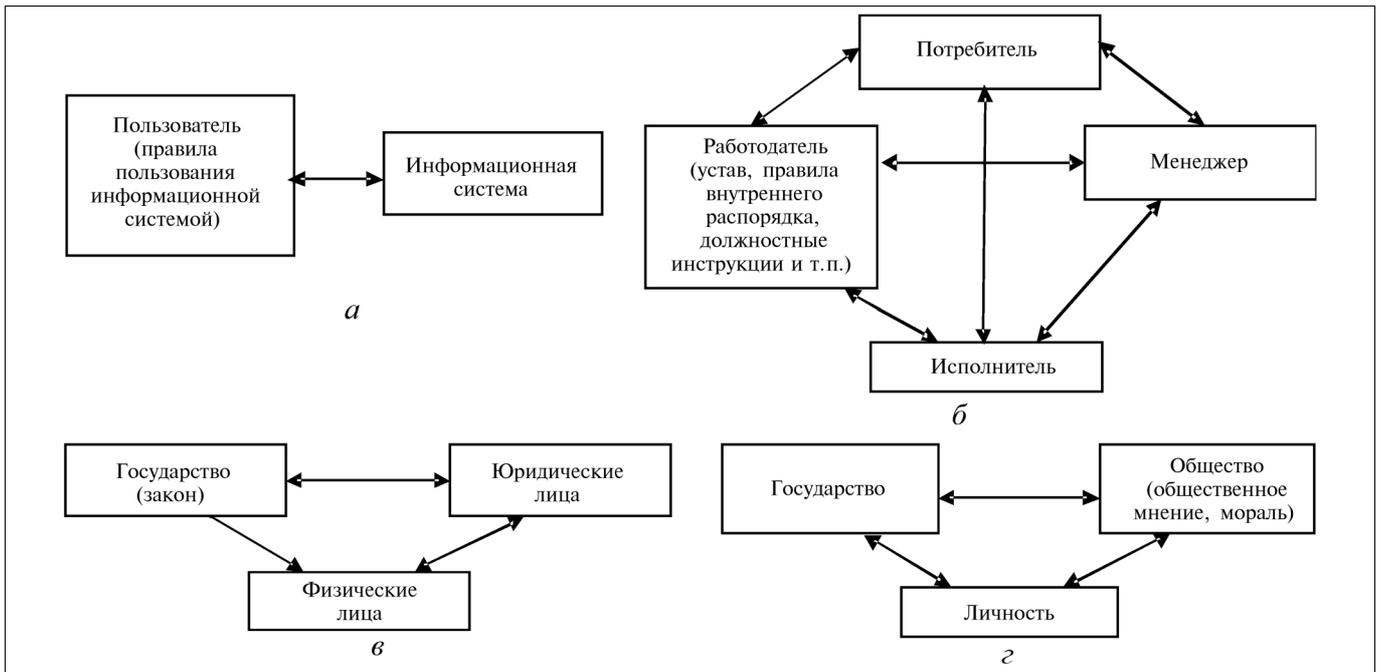
В аспекте технических норм субъектами информационных отношений являются пользователь и информационная система, а регуляторами отношений выступают правила пользования информационной системой (см. рисунок). В аспекте корпоративных норм субъектами информационных отношений являются администрация, потребитель и исполнитель, а регуляторами отношений служат устав, правила внутреннего распорядка организации, должностные инструкции и т. п. В аспекте правовых норм субъекты информационных отношений — государство, юридические и физические лица, а регуляторы отношений — законы.

В аспекте этических норм субъекты информационных отношений — государство, личность и общество, а регуляторы отношений — общественное мнение, мораль.

Особое значение в информационном обществе приобретают этические нормы, поскольку саморегуляция на основе нравственных норм является одним из естественных и эффективных способов защиты от антисоциального поведения участников информационного взаимодействия. В перспективе выработанные обществом нормы морали могут стать базой для формирования новых и совершенствования существующих правовых норм, обеспечиваемых силой государственного воздействия. Таким образом, обогатившись новым содержанием, адекватным новой реальности информационного общества, этические нормы могут стать настоящей гарантией обеспечения информационной безопасности личности и общества. Именно они определяют границы должного и возможного поведения.

2. ИНФОРМАЦИОННАЯ ЭТИКА

Важность этого института информационной безопасности способствовала появлению новой отрасли знаний — «информационной этики». Этот термин стал употребляться учеными и специалистами по компьютерной этике и смежным дисциплинам с 2002-го года. Информационная этика занимается изучением природы социального воздействия компьютерных технологий на общество, формулированием на этой основе моральных норм и проведением политики их внедрения в сознание разработчиков и пользователей компьютерных технологий. Информационная этика — обширная дисциплина, включающая в себя профессиональную этику, потребительскую этику и некоторые



Субъекты информационных отношений в аспекте технических (а), корпоративных (б), правовых (в) и этических (з) норм

вопросы политики государства. Естественно, что первоначально она возникла как элемент профессиональных знаний и культуры в области информационных технологий.

На сегодня до 90 % всех технологий, влияющих на уровень профессиональной этики любой отрасли знаний, связаны с информацией, т. е. с ее сбором, передачей, обработкой, хранением, техническими средствами и др. Это обстоятельство определяет повышенный уровень требований к специалистам — программистам, системным администраторам, и, конечно, к аналитикам, связанным с информационно-аналитическим обеспечением безопасности. Поэтому вопросы профессиональной этики в современном обществе приобретают информационный оттенок, причем эта тенденция будет сохраняться [1].

Первый кодекс компьютерной этики был разработан и принят в Институте инженеров электроники и электротехники (IEEE) в 1979 г. Принятие кодекса было продиктовано пониманием того, что инженеры, ученые и технологи результатами своей деятельности определяют качество и условия жизни всех людей в информационном обществе. Поэтому в преамбуле кодекса подчеркивается жизненно важная необходимость соблюдения всех норм этики при разработке и эксплуатации средств информационных технологий. Позднее были разработаны и приняты кодексы этики Ассоциацией разработчиков компьютерных технологий (АСМ), Ассоциацией пользователей информационных технологий в США (ИТАА), Ассоциацией сертифицированных компьютерных профессиона-

лов (ИССР). В 1987 г. был разработан и принят кодекс компьютерной этики для преподавателей высшей и средней школ. Эти кодексы послужили основой для создания специальных курсов, которые сейчас преподаются во всех школах и большинстве университетов США. В обиход широко вошли понятия компьютерная этика, этика рекламодателей, нетикет или этика поведения в сети Интернет.

На основе этических стандартов, используемых в перечисленных кодексах, Международная федерация по информационным технологиям (IEIP) рекомендовала принять кодексы компьютерной этики национальным организациям других стран, основой которых служат десять моральных постулатов (заповедей) с учетом местных культурных и этических традиций [2]. Вы не будете:

- использовать компьютер с целью нанесения вреда другим людям;
- создавать помехи и вмешиваться в работу других пользователей компьютерных сетей;
- «совать нос» в файлы, не предназначенные для свободного использования;
- использовать компьютер для воровства;
- использовать компьютер для распространения ложной информации;
- использовать ворованное программное обеспечение;
- использовать компьютерное оборудование или сетевые ресурсы без разрешения или соответствующей компенсации;
- присваивать чужую интеллектуальную собственность;

- думать о возможных общественных последствиях программ, которые Вы пишете или систем, которые Вы разрабатываете;
- использовать компьютер с самоограничениями, которые показывают Вашу предупредительность и уважение к другим людям.

Во всех кодексах наряду с перечисленными заповедями и общечеловеческими моральными нормами, такими как честное исполнение своих обязанностей, профессиональная и социальная ответственность, повышение квалификации, расовое равноправие и т. п., содержатся нормы, основанные на соблюдении четырех главных моральных принципов: *privacy* (тайна частной жизни), *assurasy* (точность), *property* (частная собственность) и *accessibility* (доступность).

Перечисленные принципы нашли отражение и в «Национальном кодексе деятельности в области информатики и телекоммуникаций», разработанном Торгово-промышленной палатой Российской Федерации в 1996 г., основные положения которого сформулированы следующим образом [3]:

- не производить (копировать) и не использовать программные и технические средства информатики и телекоммуникаций без разрешения (лицензии) собственника (изготовителя) или праволадельца и не приобретенные на законных основаниях;
- не нарушать законодательство об охране интеллектуальной собственности и признанные нормы авторского права на программные средства и базы данных;
- не нарушать тайны передачи сообщения, не практиковать вскрытие информационных систем и сетей передачи данных;
- не использовать наименования и аббревиатуры других фирм, компаний и организаций без их согласия;
- не извлекать прибыль от использования товарного знака или символа, принадлежащего другой фирме или продукции.

Кодекс распространяется на все виды деятельности: производство, продажу, пользование средствами информатики и телекоммуникаций и определяет, что эта деятельность должна быть законной, пристойной, честной и правдивой. Кодекс включает в себя и другие моральные нормы и открыт для добровольного присоединения любого физического или юридического лица, действующего в области информатики или телекоммуникаций. К сожалению, публикация кодекса не вызвала большого интереса и широкого обсуждения проблем компьютерной этики среди российских специалистов и пользователей. Кроме того, согласно данным сайта Международного центра по информационной этике, Россия не отмечена как активный участник научно-исследовательской и образовательной деятельности в области информационной этики. В то же время, наряду с такими

странами, как США, Канада, Германия, Великобритания, Нидерланды, Австралия, Япония, Китай и Индия названы Аргентина, Бразилия, Мексика, Уганда, Южная Африка и Казахстан [4, 5].

Не удивительно, что у нас подобные кодексы часто существуют отдельно от пользователей компьютерной техники. По разным оценкам уровень использования пиратского программного обеспечения в России достигает 90 %, в то время как в странах, где уделяется достаточное внимание проблемам этического использования информационных технологий, этот уровень не превышает 30 %. Нередко предпринимаются попытки несанкционированного доступа в защищаемые информационные системы, многие начинающие программисты считают своей доблестью написать программу-вирус, в компьютерных магазинах можно свободно приобрести вредоносные программы. Как следствие, российский рынок информационной безопасности растет в среднем на 30 % в год. Причем продажи антивирусного программного обеспечения увеличиваются более чем на 50 % в год, при том что в мире в среднем на 15–20 % в год. В 2006 г. в России пострадало от утечки приватной информации 785 000 граждан. Американским фирмам российские пираты в 2005 г. принесли 1,7 млрд. долл. США ущерба. По оценке Международного альянса по интеллектуальной собственности ПРА они уступают по вредоносности китайцам (2,3 млрд. долл. США), но выигрывают у итальянцев (1,6 млрд. долл. США) [6].

О сложности ситуации говорят и результаты проведенных в 2006–2007 гг. Санкт-Петербургским институтом информатики и автоматизации РАН и ООО «Академия информационных технологий» социологических исследований старшеклассников в школах Новосибирска, Республики Алтай, Республики Калмыкия, Ханты-Мансийского автономного округа и Санкт-Петербурга. В выборках участвовало 18 502 старшеклассника, 2730 учителей и 650 экспертов [7].

С одной стороны, наблюдается новое явление в жизни старшеклассника — увлечение компьютером вышло на второе — третье место в структуре свободного времени, пропустив вперед только прослушивание музыки (в Санкт-Петербурге) и спорт и туризм (в остальных субъектах). Компьютер даже потеснил книгу.

А с другой стороны, значительный процент участников опроса о понимании гражданского долга не считает себя связанным обязанностями перед обществом и другими людьми. Среди школьников наблюдается правовой нигилизм. Только 10,4 % старшеклассников считают, что следует подчиняться «несправедливому» закону, а 52,7 % — не следует. Таким образом, правопослушным оказывается лишь каждый десятый старшеклассник. Менее половины старшеклассников (44,3 %) выступают за «определенный» контроль за содержа-



нием телевизионных программ, а около 13 % считают допустимым использование ненормативной лексики в разговорной речи.

И это несмотря на наличие в нашей стране действующих программ по этико-правовому образованию детей и молодежи для начальной и средней школы.

3. ИНФОРМАЦИОННАЯ ЭТИКА И ЗАДАЧИ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

Значительный вклад в решение задачи внедрения в сознание участников информационного взаимодействия необходимости соблюдения норм компьютерной этики и привития навыков ее применения может и должна внести система высшего образования, как социальный институт «производства социального человека» [8].

Разъяснять и пропагандировать эти нормы необходимо в лекционных курсах информатики, информационных технологий и других информационных дисциплин. Студенты должны понимать основные правовые, социальные и этические аспекты обеспечения информационной безопасности общества. Они должны сознавать свою личную роль в этом процессе, развивать в себе способность задавать серьезные вопросы о социальном влиянии информатизации и оценивать предлагаемые ответы на них. Социально-личностное развитие обучаемых по различным специальностям, как техническим, так и сугубо гуманитарным, чрезвычайно важно для обеспечения информационной безопасности общества.

Об этом говорится и в одном из пунктов проекта «Этического кодекса для информационного общества» ЮНЕСКО [9], а именно:

— всем действующим лицам в информационном обществе следует стремиться поднять каждого участника на тот уровень, где он поймет, как работает система и как он может действовать коллективно со всеми, разделяя ответственность за успех системы в целом;

— открытое, интегрированное и межкультурное образование, совмещенное с обучением навыкам информационного и коммуникационного управления, является решающим; не следует ограничивать его получением технических знаний, но также включать осведомленность о моральных принципах и ценностях;

— людям следует быть готовым к получению базовых навыков в области информационно-коммуникационных технологий и этики в информационном обществе.

Одним из элементов решения этой задачи может стать введение информационной этики в ряд дисциплин, изучаемых в высшей школе. Целями этой дисциплины должны стать: ознакомление студентов с историческими и философскими

предпосылками этических традиций, связанных с социальными аспектами построения информационного общества; внедрение в сознание обучаемых необходимости следования на практике принципам, заложенным в кодексах информационной этики; развитие навыков информационной этики.

Однако необходимо еще раз подчеркнуть, что рассмотрение социальных и этических аспектов информационных технологий должно стать обязательной темой для разговора при проведении занятий по всем информационным дисциплинам, что будет способствовать формированию здорового современного информационного общества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе на основе анализа современного состояния информационных отношений обозначена роль системы высшего образования как социального института, нацеленного на решение задачи внедрения в сознание современных и будущих участников информационного взаимодействия необходимости соблюдения норм компьютерной этики и привития навыков ее применения через введение информационной этики в ряд дисциплин, изучаемых в высшей школе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минзов А.С. Профессиональная этика специалиста в области безопасности бизнеса / Под ред. Л.М. Кунбутаева. М.: Изд. МЭИ, 2005.
2. Rinaldi A. The Ten Commandments for Computer Ethics, The net: User Guidelines and Netiquette. URL: http://www.dti.gov.ph/uploads/files/Forms_File_1113382137_netiquette%2010%20commandments.doc. (дата обращения 30.08.2008).
3. Национальный кодекс деятельности в области информатики и телекоммуникаций // PC Week. — 1996. — № 29—30.
4. International Center for Information Ethics. Institutions. URL: <http://icie.zkm.de/institutions> (дата обращения 30.08.2008).
5. International Center for Information Ethics. Teaching. URL: <http://icie.zkm.de/teaching> (дата обращения 30.08.2008).
6. Информационная безопасность. URL: <http://www.rb.ru/biz/b2bmarkets/show/627> (дата обращения 30.08.2008).
7. Информационно-аналитическая поддержка национального проекта «Образование». Сб. материалов социолог. исслед. / Под ред М.А. Вуса. — СПб.: Анатолия, 2007. — 100 с.
8. Субетто А.И. Сочинения. Ноосферизм: В 13 томах. Т. 7: Системология образования и образованиеведение / Под ред. Л.А. Зеленова. — Кострома: КГУ им. Н.А. Некрасова, 2007. — 520 с.
9. Этический кодекс для информационного общества (проект). URL: http://www.osu.ru/docs/kodeks_ethics_info.doc (дата обращения 30.08.2008).

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.В. Кульбой.

Кононов Олег Александрович — канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой,

Кононова Ольга Васильевна — канд. социолог. наук, доцент,

Санкт-Петербургский институт управления и права,
☎ (812) 275-36-62, e-mail: o2kon@mail.ru.



XXII ЕВРОПЕЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ И ИМИТАЦИИ — ECMS 2008

На ежегодной Европейской конференции по моделированию и имитации (*European Conference on Modelling and Simulation*), которая в 2008 г. проходила с 3 по 6 июня в Никосии (Кипр), 195 авторов представили около 100 докладов различной направленности. Традиционно большое число участников было из Великобритании, Франции и Германии; были широко представлены Россия, Латвия, Чехия и Польша, а также участвовали коллеги из США, Австралии, ЮАР и ряда других неевропейских стран. Организатор конференции — Европейский совет по моделированию и имитации (*European Council for Modelling and Simulation*), а принимающей стороной на этот раз был Кипрский университет.

В рамках основной темы конференции можно выделить следующие направления:

- имитационное моделирование в промышленности, бизнесе и сфере услуг;
- агентное имитационное моделирование;
- моделирование сложных систем;
- имитационное моделирование интеллектуальных систем;
- изображение и визуализация;
- практические приложения имитационного моделирования в промышленности;
- методология имитационного моделирования;
- финансы и экономика;
- имитационное моделирование в эксперименте и инженерии;
- дискретно-событийное моделирование в логистике, транспорте и цепях поставок;
- имитационное моделирование и графы связей;
- моделирование, имитация и управление технологическими процессами;
- виртуальная и расширенная реальность в имитационном моделировании.

Конференция открылась пленарным докладом профессора *Ф. Брейтенкера* из Венского технического университета, посвященным развитию возможностей программного обеспечения имитационного моделирования.

На секции «Имитационное моделирование в промышленности, бизнесе и сфере услуг» были представлены девять работ, которые в основном носят практический характер. В докладе *П. Тейлора*, *Х. Годино* и *Б. Майеда* описана разработанная авторами имитационная среда, позволяющая мо-

делировать различные факторы риска, влияющие на выполнение бизнес-процессов, посредством генерации нечетких правил, которые позволяют измерять степень данного риска. В работе *Б.-К. Чоя*, *Д. Ли* и *Д.-Н. Канга* рассмотрена модель имитационного модуля последовательности выполняемых действий. Модель основана на формализме дискретно-событийных систем и может быть встроена в существующую систему управления бизнес-процессами. В работе *Х. Отаменди*, *П. Ансола*, *М. Поятоса*, *Х. Пастора* и *А. Хигуера* представлено имитационное средство, которое позволяет решить задачу эффективного управления ресурсами аэропорта и рассчитать издержки конкретных операций.

Доклад *А. Дувенхага* и *Б. Дувенхага* был посвящен интеграции дискретно-событийного подхода к имитационному моделированию с квантованием по состоянию. В работе *Б. Соколова*, *Д. Иванова*, *Д. Верзлина* и *Е. Зайчика* рассмотрены проблемы управления интегрированной информационной системой виртуального предприятия, оптимального перераспределения управляющих функций между элементами этой системы и ее подсистемами в режиме реального времени. Дано формальное многокритериальное описание этих проблем и разработан комбинированный алгоритм их решения. В докладе *П. Легато*, *Д. Джулли* и *Р. Трунфио* рассмотрена проблема развертывания портового крана на морском контейнерном терминале. Предложен подход, позволяющий определить, когда, сколько и каких типов кранов необходимо для каждого судна. На заседании секции также были заслушаны доклады о новом имитационном средстве «Maple»; о Веб-сервисе, содержащем актуальную информацию о предлагаемых вакансиях на рынке труда; о проблемах и успехах внедрения в Греции услуги *M-government*.

На секции «Агентное имитационное моделирование» заслушаны девять докладов. *Е. Боффа*, *Р. Викари* и *М. Фагундес* доложили о разработанном интеллектуальном обучающем комплексе, в работе которого участвуют так называемые социальные агенты. Следующий доклад *Х. Мослера* был посвящен проблеме чрезмерного использования природных богатств, для решения которой рассмотрено применение агентного моделирования. В работе *Е. Киндлера* и *И. Кривы* делается акцент на



роль агентно-, объектно- и блочно-ориентированных парадигм программирования в создании систем, управляемых с помощью набора сложных решающих правил. В докладе *М. Понтиера* рассмотрена численная модель для имитационного моделирования последствий травм и терапии на эмоциональное состояние человека. В продолжение этой темы, в работе *Н. Техрани и М. Агдаси* применен объектно-ориентированный подход к созданию человекоподобных агентов для замены ими человека в имитации. Далее был заслушан ряд докладов, посвященных созданию автономных агентов, способных вести переговоры; сравнению агентного и популяционного (*population-based*) моделирования; архитектуре имитационной среды для домена «Искусственная жизнь».

На секции «**Моделирование сложных систем**» был представлен доклад *Д. Кононова, В. Кульбы и Я. Быковской* «Синтез сценариев устойчивого развития социально-экономических систем». В нем даны основные понятия сценария поведения системы, его элементов и их характеристик, определены задачи оптимального синтеза синергетических и аттрактивных сценариев развития социально-экономических систем. На этой же секции были доложены работы о влиянии силы трения почвы на сопротивление плуга, о создании модели флуорисцентного биосенсора, о динамическом правиле в клеточном автомате.

В рамках секции «**Имитационное моделирование интеллектуальных систем**» представлены девять докладов, в которых описываются математическая модель роботизированной машины с двумя колесами; имитационная модель автопилота морского судна; новый алгоритм, позволяющий более эффективно решать задачи, требующие многократного запуска компьютерной программы, путем перераспределения вычислений через Интернет на большее число компьютеров; алгоритм оптимального использования энергии электротранспортом в условиях городского трафика; метод построения модели временного ряда для прогнозирования дневной диаграммы подачи тепла; новый подход к оптимизации управления хаосом посредством эволюционных алгоритмов.

В рамках секции **по визуализации** представлены работы по 3D визуализации данных имитационной модели, обработке данных для визуализации мультиспектрального изображения и применению преобразования Хафа для обработки изображения.

На секции **по практическому применению имитационного моделирования в промышленности** представлены пять докладов. В одном из них отражена эффективность применения имитационного моделирования при организации работы для улучшения производства и материального обеспечения компонентов ковкого железа. В другом представлены возможности имитационного моделирования при организации работы контейнерного терминала.

Также представлен доклад о возможностях улучшения производительности цепи поставок. В работе *Л. Мванса и Я. Янычека* рассмотрена проблема повышения надежности доступа к распределенным данным. Авторы доклада *А. Брудзоне, С. Поджи и Э. Бокка* решают задачу применения HLA-технологии распределенного моделирования для обучения управленческого персонала морских портов.

В рамках секции «**Методология моделирования**» представлены доклады, посвященные задачам применения моделирования в различных научных областях. Отметим работу *В. Гиллеса, П. Стефани, Л. Лаурента и Л. Йола*, в которой описано моделирование процесса разрушения (размывания) поверхности культивируемой почвы вследствие обильных осадков; построенная модель базируется на формализме дискретно-событийных систем (DEVS). Еще одна модель на базе DEVS предложена *Р. Голиштейном и Г. Вайнером*; разработанная клеточная модель помогает исследовать защитные реакции иммунной системы человека в борьбе с раковыми заболеваниями. Остальные работы связаны со снижением порядка моделирования нелинейных нейронных сетей; с созданием искусственного генератора сетевого трафика; разработкой алгоритма классификации пространственных данных; применением имитационного моделирования на базе языка XML для изучения расширенных сетей массового обслуживания (*extended queuing network*); моделированием работы гидравлической системы на колесном погрузчике.

Четыре работы, посвященные моделированию в экономике, представлены на секции «**Финансы и экономика**». Авторы одной из них, *Г. Вагенхал и Ю. Бук*, разработали и практически применили модель для анализа влияния изменений в налоговой политике Германии на расходы, связанные с рабочими издержками; разработанная модель применяется министерством финансов Германии. В работе *Й. Сайнза, Я. Отамэнди, П. Грау и М. Дончела* исследована эффективность работы менеджеров по повышению стоимости инвестиционных проектов. Соответствующие исследования немецкого рынка показали, что лишь в 9 % случаев можно говорить об эффективной работе менеджеров. В работе *З. Туласса* представлена агентная модель для изучения случаев экстренного разового возврата средств. Авторы работы «Модель для расчета экономической свободы» *А. Диаз и Й. Монте* разработали модель структурных уравнений для расчета экономических свобод и оценивания их важности.

На секции «**Имитационное моделирование в эксперименте и инженерии**» представлены четыре работы. Авторы одной из них, *С. Иванов и Ф. Либрик*, рассказали о моделировании процессов работы синхронных двигателей для идентификации слабых и сильных мест в архитектурах двигателей данного типа. В докладе *М. Ляжека, П. Бутрына, А. Кробака и А. Кульки* дана концепция системы

для получения информации о трафике городского движения, предусматривающая применение недорогих устройств и уже существующих городских инфраструктур для создания относительно дешевого решения, связанного с исследованием трафика городского движения. *И. Вондрак, Я. Кожушник, Я. Унучка и С. Штолфа*, авторы доклада «Флореон — система для прогнозирования наводнений», сообщили о разрабатываемой программе для моделирования условий возникновения и предотвращения наводнений; одним из приоритетных критериев эффективности модели принято наличие «дружелюбного» интерфейса для конечных пользователей. В докладе *Я. Амбровского* рассмотрены факторы, влияющие на надежность авиаперелетов, и исследована возможность применения моделирования для оценивания возможных изменений этих факторов.

Самой крупной оказалась секция «**Дискретно-событийное моделирование в логистике, транспорте и в цепях поставок**». Прежде всего, отметим работу *К. Фишмана, Ф. Ботингера, Р. Верза и К. Канза* «Управление буфером для системы автоматизированной транспортировки материалов на заводе по производству полупроводников», в которой представлены результаты применения имитационного моделирования для принятия логистических решений по размещению складов и складских буферных зон на территории действующего завода. Авторы работы «Исследование влияния структуры и товара заказа на позиционирование зоны комплектации заказов» *А. Ульрих и С. Галк* с помощью имитационной модели действующего предприятия исследовали зависимость между эффективностью процессов комплектации товаров и числом зон, в которых осуществляются данные процессы. Автор доклада «Дискретно-событийное имитационное моделирование сетевого полиграфического производства» *В. Куен* предложил подход, основанный на применении имитационного моделирования для улучшения оперативного контроля на данном производстве, а также для более успешного планирования подобного производства.

На этой секции немало внимания было уделено проблеме городского транспорта, которой посвящены четыре работы: доклад *В. Юренка, В. Янсона и К. Диденко* о применении статистического сканирования так называемых «черных точек» на дорогах Латвии, в которых зафиксировано большое число дорожно-транспортных происшествий; работа *П. Патлина* об оптимизации городских перевозок в условиях нестабильной интенсивности дорожных потоков; работа *Т. Арасана* о микроскопическом моделировании пассажирских перевозок на территории Индии; работа *Л. Хуанга и Ю. Ву* о создании поведенческой модели смешанных транспортных потоков на базе агентного моделирования. Были представлены также доклады *А. Кли-*

мова и Ю. Меркурьева об использовании имитационного моделирования для оценивания рисков в цепях поставок, *М. Ко и С. Парка* о разработке среды для визуальной валидации PLC-программ, *В. Кульбы, А. Кононова и Г. Меркурьевой*, в котором даны формализованное описание сценария безкризисного развития системы и приведен пример практического применения предложенной методологии. В этой секции можно выделить доклад *Г. Неймана*, посвященный применению имитационного моделирования в качестве средства обучения студентов в сфере логистики.

На секции «**Моделирование и управление технологическими процессами**» четыре из восьми докладов посвящены применению имитационного моделирования для изучения возможностей контроля химических реакторов.

Одно из интереснейших направлений в области моделирования состоит в создании виртуальной и расширенной реальностей. В связи с этим отметим четыре доклада, представленные на секции «**Виртуальная и расширенная реальность в имитационном моделировании**». В одном из них затронута проблема создания виртуальных объемных «мягких» объектов с реалистичными физическими характеристиками, имеющая большое значение при использовании виртуальной реальности в области медицины. Авторы *С. Арнаб и В. Райа* рассмотрели возможности замены классического подхода с применением сложного объемного моделирования альтернативным поверхностным моделированием с добавлением пружинного эффекта. Доклад *К. Лопуаса, П. Псониса и А. Амдитиса* посвящен применению виртуального моделирования производственных процессов в целях повышения безопасности на объектах производства. Подразумевается виртуальное обучение персонала, управление безопасностью, оценивание рисков и изучение чрезвычайных ситуаций. *Я. Чимлевски* в своем докладе предложил новый подход к описанию характеристик моделей интерактивных 3D объектов, при котором облегчается поиск архитектурных объектов с необходимыми интерактивными характеристиками. В работе *Л. Химона, Й. Красантоу и А. Лойзидес* дан обзор и предложена классификация методов анимации человеческих фигур в виртуальной среде.

Дополнительную информацию о материалах конференции можно найти на сайтах <http://www.scs-europe.net/conf/ecms2008/> и <http://www.scs-europe.net/>.

Следующая, XXIII Европейская конференция по моделированию и имитации — ECMS 2009, состоится 9 — 12 июня 2009 г. в Испании, в г. Мадриде. Принимающая сторона — Университет короля Хуана Карлоса. Подробности на сайте <http://www.scs-europe.net/conf/ecms2009/index.html>.

Я.Р. Быковская, Р.А. Климов, Ю.А. Меркурьев,
e-mail: jana@itl.rtu.lv, URL: www.itl.rtu.lv/mik/?id=35
Рижский технический университет.



CONTENTS & ABSTRACTS

MODELS AND MECHANISMS FOR ECOLOGICAL-ECONOMIC SYSTEMS MANAGEMENT 2

Burkov V.N., Novikov D.A., and Shchepkin A.V.

The basic model of ecological-economic system (Ec-ES) is introduced, and its generalizations are analyzed. The brief survey of EcES management models and mechanisms is given.

Keywords: ecological-economic system, game theory, mechanisms of decision-making.

H_∞ -POWER SYSTEM EMERGENCY MANAGEMENT.

Part I: Theoretical basis of robust H_∞ -regulators synthesis 8

Kurdukov A.P. and Timin V.N.

The paper addresses the problem of external disturbance attenuation in a power system. The problem solution is based on the technique of closed-loop pole placement in a given region of complex plane, as well as loop shaping using linear matrix inequalities.

Keywords: power system control, H_∞ control theory, linear matrix inequalities, disturbance attenuation, loop shaping, closed-loop pole placement in a given region.

IDENTIFICATION ALGORITHM WITH TRANSITION IN THE PARAMETERS DOMAIN 18

Gusev S.S. and Chadeev V.M.

The identification algorithm of static object with restrictions is considered. The case when the error of output measurement of object y leads to exceeding the bounds of area of admissible estimations of parameters H with some probability p for all n -dimensional blocks and the case of greater errors when the probability is strictly equal to zero are offered. The connection of error of measurement and probable distribution of parameters estimation error is analysed with use of Kramer formula.

Keywords: identification, restrictions, static object, parameter estimations, error of output measurement.

ADAPTIVE GUARANTEED ESTIMATION USING THE INFORMATION ON THE SET OF "RELATIVE OBJECTS" 22

Afanaseva K.E. and Shiryaev V.I.

The paper gives the estimation algorithms of object's state on the basis of data on "relative" objects under disturbances and not precise and full measurements of ob-

ject's vector. The information on disturbances and measurement errors is known only to some defined sets. If the trajectory of object is changed, the information on "relative" objects is used to define the model for the object considered.

Keywords: adaptive guaranteed estimation, information set, "relative" objects, discrepancy.

USING RELATIONS OF ATTRIBUTES FOR BUILDING ONTOLOGY OF SUBJECT DOMAIN 27

Pronina V.A. and Shipilina L.B.

The method for building of ontology for a subject domain is offered. It allows automating building taxonomy of concepts with use of expert knowledge on attributes of subject domain. The method is based on the binary relations of "existence constraints" on set of attributes and Formal Conceptual Analysis. The example of taxonomy fragment for graph theory, built with the use of offered method is made.

Keywords: ontology, taxonomy, formal concept analysis, relation of existence constraints, graph theory.

PRINCIPLES OF DESIGN AND DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEM FOR FINDING OPTIMAL PATH IN PUBLIC TRANSPORT 33

Vishnevsky V.M., Zhelezov R.V.

The architecture of developed information system for finding optimal path in public transport is proposed. The original algorithm for finding optimal paths taking into consideration public transport timetables is produced.

Keywords: information system, optimal path, public transport, timetable, Internet.

EXPERT-CLASSIFICATION METHODS FOR DESIGNING PROFESSIONAL AND EDUCATIONAL STANDARDS 38

Nikitin V.V.

To improve the ontology of professional activity objects in order to develop professional and educational standards, the expert-classification procedure is proposed. It essentially uses automatic classification algorithms.

Keywords: domain ontology, objects of professional activity, expert-classification algorithms.

ONE APPROACH TO ALLOWING
FOR HIERARCHICAL STRUCTURE
OF OPTIMALITY CRITERIA OF MULTISERVICE
COMMUNICATION NETWORK 44

Gilyazov R.L. and Stolbov V.Yu.

The paper considers the problems of selecting the optimal multiservice communication network configuration. The original method of allowing for hierarchical structure of fuzzy conflicting interests of various groups of users is suggested. Some demonstration examples are made.

Keywords: multiservice communication networks, optimization, social groups of users, hierarchical structure of fuzzy preferences.

SYSTEM MANAGEMENT OF INFORMATION RISKS:
CHOICE OF MECHANISMS FOR PROTECTION
AGAINST INFORMATION RISKS 53

Zavgorodniy V.I.

The paper considers management of information risks at a level of enterprise's entire information sphere and is not limited to frameworks of information safety. The method for optimization of choice of mechanisms of protection against information risks is offered.

Keywords: information risks, system management of information risks, information risk control system, choice of mechanisms for protection against information risks.

USE OF LEARNING SAMPLE TO DEFINE
A PRIORITY OF CRITERIA IN SCIENTIFIC
JOURNALS RATING SYSTEM 59

Fedorets O.V.

Mathematical model for automated rating of scientific journals for decision support in acquisition of scientific journals in the information centre is presented. The statistical technique of weighing based on the use of learning sample and reference criterion is developed for selection of the most significant criteria and determination of their priorities in condition of data incompleteness. To compute scientific journals rating the analytic hierarchy process is used.

Keywords: rating of scientific journal, decision making, priority of criteria, statistical procedure, learning sample, analytic hierarchy process, database, SQL.

IMPROVEMENT OF POWER CHARACTERISTICS
OF LIQUID-PROPELLANT ROCKETS BY MEANS
OF AUTOMATIC CONTROL.

Part I: Physicotechnical bases of fuel consumption
control 66

Andrienko A.Ya. and Ivanov V.P.

The basic results of semicentennial development of family of control systems of liquid fuel consumption for domestic carrier rockets and intercontinental ballistic missiles are stated. Physicotechnical bases of construction of these systems are explained.

Keywords: liquid rocket engines, power characteristics, guarantee fuel capacity, management of fuel consumption.

SYSTEM OF INFORMING AND WARNING
OF POPULATION: PROOF OF REASONABLE
FUNCTION CAPACITY 72

Durnev R.A.

The paper considers main functions of the system of informing and warning of the population for safety purposes. Problem statement and results of computation of reasonable function capacity in different modes are provided.

Keywords: informing and warning of population, information-telecommunication technologies, information centre, terminal complex, systems functions.

SOCIAL AND ETHIC ASPECTS OF INFORMATION
SECURITY ENSURING 76

Kononov O.A. and Kononova O.V.

Problems of the present-day society information security ensuring through making principles of information ethics clear to the participants of the information relations are studied in the paper.

Keywords: information technologies, information security, information relations, computer ethics code, information ethics.

22nd EUROPEAN CONFERENCE ON MODELLING
AND SIMULATION — ECMS 2008 80