



Российская Академия Наук

ТРУДЫ

Кольского научного центра РАН

3/2010 (3)

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

выпуск 1

Апатиты
2010

ТРУДЫ Кольского научного центра РАН

3 / 2010

**ТРУДЫ КОЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

1/2010

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Апатиты
2010

УДК 004.9
ISBN 978-5-91137-132-6

Труды Кольского научного центра РАН

Главный редактор – академик
В.Т. Калинин
Заместитель главного редактора:
д.г.-м.н. В.П. Петров

Редационный совет:
академик Г.Г. Матишов,
академик Н.Н. Мельников,
академик Ф.П. Митрофанов,
чл.-корр. В.К. Жиров,
чл.-корр. А.И. Николаев,
д.г.-м.н. Ю.Л. Войтеховский,
д.т.н. Б.В. Ефимов,
д.э.н. Ф.Д. Ларичкин,
д.т.н. В.А. Маслобоев,
д.т.н. В.А. Путилов,
д.ф.-м.н. Е.Д. Терещенко,
к.г.-м.н. А.Н. Виноградов (отв. секретарь)

Редколлегия серии
«Информационные технологии»:

доктора технических наук

профессор, д.т.н. В.А. Путилов (отв. редактор)
д.т.н. А.Г. Олейник,
д.ф. -м.н. А.П. Афанасьев,
д.т.н. В.А. Маслобоев

Серия «Информационные технологии» представляет результаты исследований и разработок, связанные с широким спектром вопросов и задач создания и практического использования информационных технологий и систем, математического и компьютерного моделирования в различных областях деятельности. Большинство статей настоящего сборника подготовлено сотрудниками институтов Кольского научного центра РАН и непосредственно связано с тематикой проводимых в этих институтах исследований. В сборнике также представлены работы теоретического характера, направленные на развитие методов моделирования и перспективных информационных технологий.

Сборник адресован специалистам в области создания и практического использования информационных систем и технологий в различных сферах управленческой и производственной деятельности, преподавателям и студентам ВУЗов соответствующих специальностей.

**TRANSACTIONS OF KOLA SCIENCE CENTRE OF
THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES**

1/2010

**INFORMATION
TECHNOLOGIES**

Apatity
2010

Sequence “Information Technologies” presents results in researchers and developments concerning wide range of problems and tasks in design and practical application of information technologies and systems, as well as mathematical and computer modelling in various fields of activity. Most of the papers are submitted by the experts from the institutes of the Kola Science Center RAS and are directly connected with the fields of the institutes’ scientific researches. The collection also includes theoretical articles devoted to development of modelling methods and promising information technologies.

The collection is intended for experts in development and practical application of information systems and technologies in various fields of administrative and industrial activity, as well as for teachers and students of corresponding specialities at the higher educational establishments.

Введение

Современные информационные технологии являются эффективным и удобным средством поддержки различных сфер человеческой деятельности – от удовлетворения повседневных информационных потребностей до анализа и прогнозирования развития сложных технических и социально-экономических систем. Информационные технологии в сочетании с техническими достижениями в области вычислительной техники и телекоммуникаций создают базис для формирования глобального информационного пространства, позволяют практически применять методы моделирования и автоматизированной обработки информации в научных исследованиях, управлении и других областях, требующих оперирования большими объемами разнотипных данных.

Не смотря на большие достижения в этой области, жизнь постоянно выдвигает новые требования к информационным технологиям. В связи с этим сохраняется актуальность исследований, связанных с развитием математических основ и методов моделирования, разработкой новых решений в области интеграции, организации хранения и целевого доступа к огромным объемам данных. Повышение сложности задач, к решению которых привлекаются информационные технологии, требует реализации и развития в рамках этих технологий интеллектуальных функций.

Использование компьютерного моделирования и информационных технологий в Кольском научном центре (КНЦ) РАН имеет давнюю историю. Осознание важности развития этих подходов и разработки специализированных решений для поддержки научных исследований, проводимых институтами Центра, во многом обусловили принятие решения о создании в КНЦ РАН специализированного института.

Большинство работ, включенных в настоящий сборник, представляют результаты исследований членов одной научной школы. Они посвящены разработке моделей и информационных технологий, ориентированных на создание инструментальных средств поддержки принятия решений на различных уровнях управления – от малых предприятий до региона в целом. Достаточно широк спектр используемых авторами исследований методов. При этом, наряду с развитием известных методов и их адаптацией к новым задачам, авторы предлагают и принципиально новые теоретические разработки, которые обеспечивают новое качество решения задач.

Разработка моделей, информационных технологий и инструментальных средств, ориентированных на изучение, совершенствование и обеспечение безопасности технологических процессов и систем, является одним из приоритетных направлений исследований. Свои результаты по этому направлению в сборнике представили сотрудники нескольких институтов КНЦ РАН, а также исследователи из других научных организаций.

Настоящий сборник открывает серию «Информационные технологии» Трудов Кольского научного центра РАН. Сборник адресован специалистам в области создания и практического использования информационных систем и технологий в различных сферах управленческой и производственной деятельности, преподавателям и студентам ВУЗов соответствующих специальностей.

ФЕНОМЕНОЛОГИЯ СОВРЕМЕННОЙ ИНФОРМАТИЗАЦИИ: ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ И ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ

Путилов В.А., Шишаев М.Г., Попова Л.П.

Введение

Бурное развитие информационных технологий привело к кардинальному изменению устройства современного человеческого общества. Информатизация, являющаяся следствием этого развития, стала всепроникающей. Сегодня трудно представить себе область человеческой деятельности, где не применялись бы активнейшим образом современные информационно-коммуникационные технологии. Темпы их развития стали лавинообразными, современные возможности хранения, передачи и обработки данных открывают все новые и новые перспективы для более эффективного оперирования все большими объемами информации. За неполное столетие наш мир изменился кардинальным образом: современные коммуникационные технологии практически стерли границы межчеловеческого общения, объемы информации, помещающейся на современных устройствах хранения, размером с наперсток, многократно превышают информационную емкость многих традиционных, «бумажных», библиотек, скорости вычислений, обеспечиваемые современными компьютерами, уже измеряются тысячами терафлопс (TFLOPS). Технологии обработки информации все в большей степени и в более широком спектре задач не только автоматизируют рутинные операции обработки данных, но и заменяют человеческий интеллект.

В настоящее время роль информации и информационных технологий такова, что современное общество принято называть «информационным», или обществом, основанным на информации и знаниях. Современная информатизация - это не столько технологический, сколько социальный процесс, связанный со значительными изменениями в образе жизни населения. Связанная с информатизацией переориентация на производство информационного, а не материального продукта влечет за собой изменения подходов к производству, модернизацию уклада жизни, изменение системы ценностей.

Отличительные признаки информационного общества проявляются не только в технологической сфере, но и во всех других областях жизнедеятельности человека. Так, с точки зрения экономики, информация стала ключевым фактором в качестве услуг, товара, источника добавленной стоимости и занятости. С точки зрения политики, присущая информационному обществу свобода информации привела к политическому процессу, который характеризуется растущим участием в политической деятельности различных социальных слоев населения. Наконец, информация выступает в качестве важного стимуля-

тора изменения качества жизни, в информационном обществе формируется и утверждается «информационное сознание» при широком доступе к информации. Качественно новым моментом перехода к информационному обществу стала возможность управления большими комплексами организаций. Организуются системы (транснациональные компании), в которых требуется координация деятельности сотен тысяч и даже миллионов людей.

Вместе с тем, возрастание уровня информатизации общества не всегда характеризуется лишь положительными эффектами. Так, одним из крайне неприятных аспектов информатизации, является утрата информационным обществом устойчивости. Из-за возрастания роли информации малые группы могут оказывать существенное влияние на всех людей. Такое влияние, например, может осуществляться через террор, активно освещаемый СМИ. Современный терроризм это одно из следствий снижения устойчивости общества, в том числе, по мере информатизации общества. Неоднозначны и многие другие эффекты информатизации. Данная статья представляет собой вариант системного взгляда на технологические и социальные эффекты тотальной информатизации общества, обеспечивающего основу для последующего анализа причинно-следственных зависимостей этих эффектов, и через это – возможность целенаправленного влияния на социальные и иные процессы, связанные с информатизацией.

1. Технологические показатели современной информатизации

Наиболее наглядно уровень современной информатизации общества характеризуется статистикой использования разнообразных информационных служб Интернета. За последние 10 лет количество пользователей глобальной сети возросло более чем в четыре раза. В таблице 1 представлена статистика использования Интернета в различных регионах нашей планеты и ее рост в сравнении с декабрем 2000 года (по данным сайта «Internet World Stats» [1]). По данным различных Интернет-источников [2, 3], количество пользователей электронной почты приблизилось к полутора миллиардам. В 2009 году было отправлено около 90 триллионов электронных писем, среднее дневное количество писем, при этом, составляет 247 миллиардов. По состоянию на конец декабря 2009 года в Интернете насчитывалось 234 миллиона веб-сайтов, при этом 47 миллионов из них появилось в 2009 году.

Статистика использования Интернета в регионах мира

Регион	Население (оценка 2010)	Пользователей интернета (декабрь 2000)	Пользователей интернета (октябрь 2010)	Уровень использования интернета (% к населению)	Рост использования интернета (2000-2010)	Распределение пользователей по регионам
Африка	1,013,779,050	4,514,400	110,931,700	10.9 %	2,357.3 %	5.6 %
Азия	3,834,792,852	114,304,000	825,094,396	21.5 %	621.8 %	42.0 %
Европа	813,319,511	105,096,093	475,069,448	58.4 %	352.0 %	24.2 %
Ближний Восток	212,336,924	3,284,800	63,240,946	29.8 %	1,825.3 %	3.2 %
Северная Америка	344,124,450	108,096,800	266,224,500	77.4 %	146.3 %	13.5 %
Латинская Америка и Карибский бассейн	592,556,972	18,068,919	204,689,836	34.5 %	1,032.8 %	10.4 %
Австралия и Океания	34,700,201	7,620,480	21,263,990	61.3 %	179.0 %	1.1 %
Всего	6,845,609,960	360,985,492	1,966,514,816	28.7 %	444.8 %	100.0 %

Не менее впечатляющими являются и показатели роста использования Интернета в России. Так, по различным подсчетам, в 2009 году количество россиян, пользующихся информационными сервисами глобальной сети, составило от 40 до 50 миллионов человек. По результатам исследования, проведенного Фондом «Общественное мнение» [4], в 2009-2010 гг. ключевые показатели проникновения Интернета в Россию составили:

- в 2009-2010 гг. количество пользователей Интернета в России достигло 43,3 млн. человек (+3% за 3 месяца) – 37% населения РФ;

- российские пользователи составляют примерно 10% всех европейских Интернет-пользователей;

- суточная аудитория Интернета в России зимой 2009/2010 года составила 25,8 млн. человек (22% населения страны, +8% за квартал);

- по сравнению с результатами осени 2008-го и весны 2009-го полугодов аудитория сети выросла на 4-7%, суточная – на 4-6% с 17,7 млн. и 20,6 млн.;

- 94% московских пользователей выходят в сеть из дома, с работы – 48%. В целом по России эти показатели составляют 81% и 31% соответственно;

- лидерами по количеству пользователей в РФ являются Центральный федеральный округ (13,2 млн. человек, в Москве живут 5,8 млн.) и Приволжский федеральный округ (8,6 млн.);

- в рейтинге зарубежных стран осенью 2009-го Россия по показателю проникновения Интернета заняла 9-ую позицию;

- уступают России по проникновению Интернета Бразилия (34%) и Китай (27%).

На рис. 1 представлена динамика роста российских пользователей Интернета за 2003 – 2010 годы [5].

Общемировые и общероссийские процессы информатизации, разумеется, не оставили в стороне и Мурманскую область. Их результатом стал ощутимый рост активности использования информационных технологий, как частными лицами, так и организациями региона. Так, по данным Облкомстата, за последние пять лет уровень оснащенности домохозяйств Мурманской области компьютерной техникой возрос почти в два раза и приблизился к 100 процентам [9].

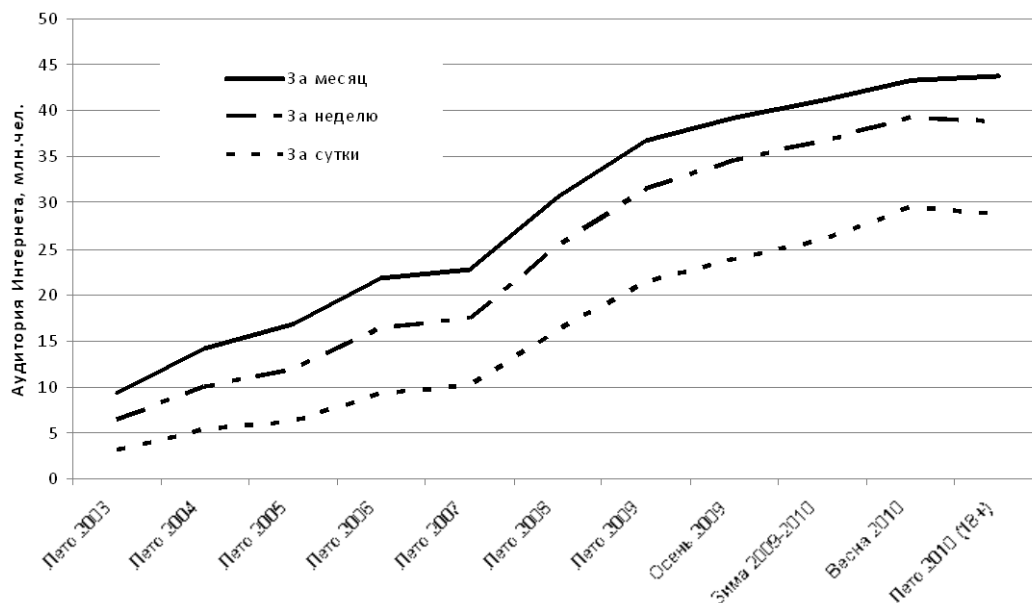


Рис.1. Динамика численности российских пользователей Интернета в возрасте 18 лет и старше

Эта тенденция также хорошо иллюстрируется статистикой оснащённости компьютерной техникой слушателей Кольского регионального Центра

Интернет-образования (рис. 2), которые, в основном, представлены работниками образования Мурманской области.

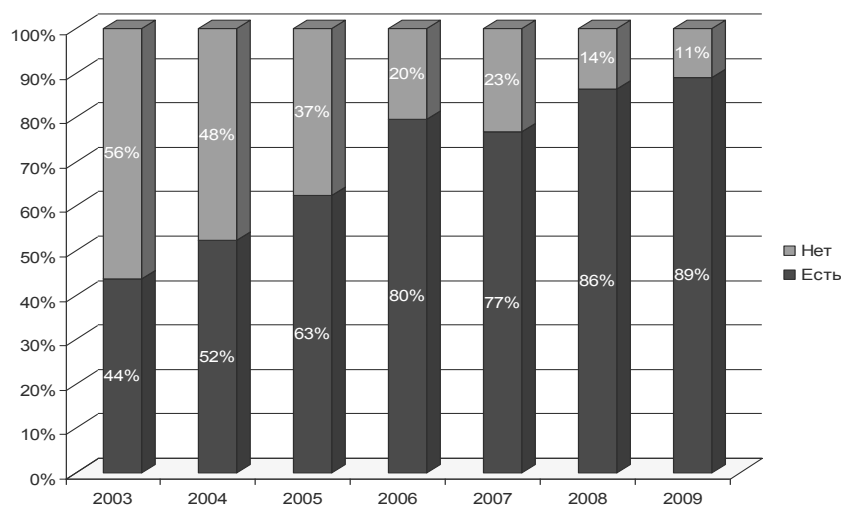


Рис.2. Результаты опроса слушателей КРЦИО: Есть компьютер дома?

Что касается уровня оснащённости компьютерной техникой предприятий и организаций, то здесь показатели в абсолютном измерении несколько скромнее, но динамика их роста, тем не менее, положительная. Причем в некоторых отраслях, таких как финансовая деятельность и высшее образование, уровень оснащённости компьютерной техникой достигает, и даже превышает 100 % на одного работника. Данные, характеризующие уровень информационной активности* пользователей компьютерных технологий в различных отраслях, а также оснащё-

ность организаций персональными компьютерами представлены в табл. 2.

Еще одним показателем уровня информатизации региона является бурный рост использования современных телекоммуникационных технологий. За последнее десятилетие количество абонентов сотовой связи в Мурманской области увеличилось более, чем в 150 раз. При этом неуклонно сокращается активность использования традиционных видов связи – почтовой, телеграфной.

* Удельное количество предприятий и организаций, использующих информационные технологии.

Уровень информационной активности и оснащенность организаций Мурманской области персональными компьютерами

Виды деятельности (услуг)	Уровень информационной активности, в %			Число персональных компьютеров на 100 человек, единиц		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008
Всего	95,6	97,5	96,0	27	29	36
Финансовая деятельность	96,7	100,0	98,1	107	111	118
Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг	90,8	92,4	92,7	30	34	48
Научные исследования и разработки	96,2	96,0	100,0	72	77	83
Государственное управление и обеспечение военной безопасности; обязательное социальное обеспечение	98,1	99,1	98,6	85	65	86
Высшее профессиональное образование	96,2	100,0	100,0	88	97	108
Здравоохранение и предоставление социальных услуг	99,4	100,0	99,5	14	16	18
Деятельность по организации отдыха и развлечений, культуры и спорта	94,7	98,7	94,5	22	25	40

Появление в регионе нескольких операторов местной и междугородной связи привело к заметному оздоровлению рынка телекоммуникационных услуг за счет возросшей конкуренции. Это отражается на

ценах на услуги связи, которые, в отличие от цен на большинство других услуг для населения и юридических лиц, постоянно уменьшаются (табл. 3) [9].

Таблица 3

**Индексы тарифов на услуги связи для юридических лиц
(декабрь к декабрю предыдущего года, в процентах)**

Виды услуг	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Услуги связи:	112,2	83,8	77,2	107,0	108,9	107,5
почтовая	117,9	110,4	87,6	114,1	102,3	115,8
городская телефонная	112,1	115,0	112,8	100,0	106,1	100,0
междугородная телефонная	120,0	100,0	94,4	100,0	100,0	80,9
документальная электросвязь	110,7	113,0	105,7	101,8	147,9	144,5
проводное вещание	150,0	122,2	109,1	125,0	150,0	122,2
беспроводная	69,2	53,2	54,6	166,7	100,0	93,0

Технологические проявления информатизации, конечно, не ограничиваются представленными выше показателями, но объем данной статьи не позволяет дать более детальный их обзор.

2. Социальные эффекты информатизации

Социальные проявления информатизации весьма многообразны. Причем проявления эти – как положительного, так и отрицательного свойства. Один из наиболее системных взглядов на социальные эффекты информатизации дает, так называемая, таблица Хессига [10], представленная ниже. В таблице выде-

лены положительные и отрицательные эффекты информатизации для различных сфер жизни человеческого общества. Как видим, практически любой положительный эффект от распространения информационных технологий имеет в той или иной степени заметную обратную сторону.

Так, социализация информации, то есть увеличение ее направленности на социальную сферу, влечет за собой дегуманизацию жизни. Развитие информационной среды создает предпосылки для повышения культурного уровня (доступ по сетям к сокровищам библиотек, музеев и т.д.), однако автоматически это не происходит. Возможно резкое увеличение числа людей, являющихся механическими потребителями

предоставляемой информации и через это - снижение общего культурного уровня. Обеспечиваемые информационным обществом предпосылки для разрешения глобального экологического кризиса, решение проблемы устойчивого развития цивилизации в целом приводят, с другой стороны, к поляризации общества и эффекту изоляции индивида. При этом незнание и, что еще хуже, отсутствие потребности знать своих коллег, соседей и родственников – весьма опасное социальное явление. Выравнивание иерархии власти за счет вовлечения большего числа людей в политику, создает условия для повышения ими социального статуса, но, с другой стороны, при современных технологиях возможен контроль не только поведения, но и мыслей людей. Если при этом государство не будет создавать условия для воспитания интеллектуального человека, то получит массу легко управляемых, прогнозируемых людей.

Повышение компетентности и, как альтернатива этому – «деквалификация». ЭВМ нейтральна по отношению к человеку, она лишь предоставляет новые возможности для реализации конкретных жизненных целей. Появление новых профессий и квалификаций и, с другой стороны, возможное исчезновение многочисленных «традиционных» профессий. Чтобы этого не происходило, появление новых, более интеллектуальных профессий не должно исключать сохранения информации не только об исчезающих технологиях, но и о социальных структурах, обеспечивавших их реализацию (типе людей, их отношениях, менталитете). Так, утеря технологий создания египетских пирамид, дамасской стали, перегородчатой эмали и др., невозможность их восстановления сегодня в значительной степени связана с незнанием социальной инфраструктуры их использования.

Таблица 4

Последствия информатизации в зеркале общественности

Положительные последствия	Отрицательные последствия
<i>Культура и общество</i>	
Свободное развитие индивида	«Автоматизация» человека
Информационное общество	Дегуманизация жизни
Социализация информации	Технократическое мышление
Коммуникативное общество	Снижение культурного уровня
Преодоление кризиса цивилизации	Лавина информации
Развитие цивилизации	Элитарное знание (поляризация)
	Изоляция индивида
<i>Политика</i>	
Расширение свобод	Снижение свобод
Децентрализация	Централизация
Выравнивание иерархии власти	Государство – «надзиратель»
Расширенное участие в общественной жизни	Расширение государственной бюрократии
	Усиление власти благодаря знаниям
	Усиление манипуляции людьми
<i>Хозяйство и труд</i>	
Повышение продуктивности	Все возрастающая сложность жизни
Рационализация	Обострение промышленного кризиса
Повышение компетентности	Концентрация
Увеличение богатства	Подверженность кризисам
Преодоление кризиса	Стандартизация
Экономия ресурсов	Массовая безработица
Охрана окружающей среды	Новые требования к мобильности трудящихся
Децентрализация промышленности	Дегуманизация труда
Новая продукция	Стрессы
Улучшение качества	Деквалификация
Диверсификация продукции	Исчезновение многочисленных профессий
Новые профессии и квалификации	
<i>Международные отношения</i>	
Появляется шанс на развитие у стран «третьего мира»	Технологическая зависимость
Улучшение обороноспособности страны	Обострение отношений Юга-Запада
Улучшение обороноспособности страны	Уязвимость
Национальная независимость	Усиление взаимозависимости
	Усиление опасности новой войны из-за обновления военных систем

Обеспечиваемое информатизацией повышение уровня интеллекта нации позволяет государствам выходить на позиции национальной независимости. Но, с другой стороны, эта информатизация ведет к уязвимости наций и государств: для общества, вступившего в фазу информатизации, фактор технологического отрыва становится более весомым, чем численное превосходство армии. Прежде всего, этот фактор проявляется в технологии информационнообменных процессов. Понятия «психологическая война», «пси-оружие», «утечка мозгов», «зомбирование» и т.п. наполняются реальным содержанием. Национальные системы СМИ становятся объектами стратегического значения [11]. Рассмотрим далее некоторые наиболее яркие социальные эффекты информатизации. Одним из них является резкое увеличение возможностей межлического общения за счет использования современных коммуникационных технологий. К наиболее бурно развивающимся в последние годы технологиям такого сорта относятся *социальные сети* – «Одноклассники.РУ», «В контакте», «Twitter», и другие. Предоставляя пользователям эффективный инструмент для общения с помощью компьютера, эти сети в буквальном смысле слова стирают границы государств и регионов, давая возможность свободно, общаться друг с другом людям, находящимся на расстояниях многих тысяч километров.

Число пользователей социальных сетей исчисляется сотнями миллионов, а их активность - миллиардами посещений. При этом количество пользователей и активность использования социальных сетей продолжает расти огромными темпами. Так, всего лишь за один год общее время, проведенное на Твиттере, выросло на 3712% (с апреля 2008 по апрель 2009).

В начале 2010 года в Рунете* насчитывалось 25 миллионов пользователей социальных сетей. По прогнозам специалистов, ежегодный средний прирост их числа до 2014 г. в России составит около 23%. Около четверти всего количества пользователей Рунета пользуются сервисами «В контакте.РУ» и «Одноклассники.РУ».

Обеспечиваемое Интернет-технологиями расширение числа контактов между людьми, возрастание их активности, появление возможности общаться собеседникам, находящимся в разных регионах, странах и континентах следует считать положительным эффектом современной информатизации. Однако, с другой стороны, социальные сети как нельзя более ярко отражают парадоксы информационного общества: технически это общество объединяет людей, а психологически все больше трансформируется в общество тотального одиночества. Прогрессирующая опосредованность контактов и взаимодействие между людьми приводит к вытеснению реального общения суррогатным, виртуальным [12].

Большинству родителей сегодняшних и недавних подростков (а кому-то – и на собственном опыте) известно насколько сильной и пагубной может быть

зависимость человека от компьютерных игр. Однако, по результатам исследований российских ученых, психологическая зависимость (сродни наркотической) от социальных сетей «Одноклассники.РУ» и «В контакте.РУ» даже больше, чем от компьютерных игр! Минимальное время, которое проводит пользователь социальной сети в «он-лайн» составляет 3 часа в сутки, а максимальное может исчисляться более чем 30-ю часами в неделю!

Как отмечалось ранее, информатизация существенно видоизменила способы информационного обеспечения практически всех сфер деятельности человека. Одним из наиболее ярких проявлений «всепроникновения» информационных технологий является распространение систем *электронной торговли*. В настоящее время в Интернет-магазинах, не вставая с места и располагая телефоном, компьютером и банковской картой, можно купить что угодно. О масштабах распространения электронной торговли говорит уровень оборота популярных торговых площадок в Интернете. По подсчетам известного топ-менеджера Ника Трейна, если бы торговым оборотам eBay[†] соответствовала экономическая активность некоего условного государства, то эта «страна» оказалась бы в мировой таблице о рангах на 59 месте, чуть-чуть недотянув до уровня Кувейта. При этом, как несложно догадаться, правительства большинства стран мира многое бы дали за то, чтобы их экономики росли скоростью, хотя бы в десять раз меньшей, чем темпы роста бизнеса eBay.

С одной стороны, электронные магазины и рынки увеличивают степень доступности товаров и услуг для потребителя, что особенно важно для таких удаленных от наших столиц регионов, к каким относится Мурманская область. Это есть положительный эффект. С другой стороны, средства электронной коммерции резко увеличивают уровень конкуренции, и небольшие региональные фирмы, доставляющие товары в регион и перепродающие их на месте с некоторой маржей, такой конкуренции не выдерживают: Интернет-магазины, как правило, способны продавать тот же товар по гораздо более низкой цене.

Еще одной областью, где современные информационные технологии заметно потеснили традиционные средства, является издание и распространение книг и другой печатной продукции. Если технологии электронного документооборота не слишком распространились в России (вероятно, вследствие крепких бюрократических традиций), то использование печатной продукции (книг, периодических изданий) в электронном виде стало обыденностью. Об этом, в частности, косвенно свидетельствует статистика книгоиздания и использования библиотек (по Мурманской области) с одной стороны, и возросший уровень предложения в магазинах электроники различных электронных устройств для чтения текстов – с другой. Так, численность зарегистрированных пользователей библиотек в Мурманской области

* Российский сегмент Интернета.

[†] Одна из наиболее популярных зарубежных виртуальных торговых площадок

сократилось в период с 2004 по 2007 гг. с 502,3 до 484,7 тысяч человек, а объемы тиражей печатной продукции за тот же период сократились почти в два с половиной раза.

Говоря об эффектах информатизации региона, нельзя не отметить ее естественное влияние на сферу образовательных услуг. Само по себе образование – есть процесс передачи знаний, который неразрывно связан с накоплением, хранением, обработкой и передачей информации, составляющими суть информационных технологий.

Наиболее ярким эффектом возросшего уровня информатизации в образовательной среде является активное развитие средств и технологий дистанционного обучения. Сама идея дистанционного обучения родилась далеко не сегодня (уже в 19 веке некоторые университеты реализовывали дистанционное обучение с использованием традиционной почты). Однако новый, современный уровень информационных технологий открыл совершенно иные возможности для получения образования вне зависимости от местоположения вуза и студента.

Нынешнее дистанционное образование базируется на активном использовании информационных и коммуникационных технологий, предлагая двухстороннюю связь в самых различных формах (текст, графика, звук, анимация) как в синхронном («в одно и то же время» — в виде видеоконференций), так и в асинхронном режиме («не в одно и то же время» — с использованием электронной почты, Интернета или телеконференций).

Дистанционное образование становится все более востребованным в современных условиях, когда стандартная модель образования, в которой человек, однажды получивший квалификацию, пользуется полученными знаниями всю жизнь, уже можно считать устаревшей. Сегодня актуальна концепция непрерывного обучения, а диплом о высшем образовании больше нельзя считать однозначным свидетельством наличия всех знаний, необходимых для работы по специальности. Новая концепция – «Учиться всю жизнь, совмещая это с работой» - делает дистанционное образование как нельзя более актуальным.

Несмотря на такую острую потребность, в России дистанционное образование в полной мере не реализуется. В первую очередь это происходит из-за несовершенства законодательной базы. Тем не менее, большинство российских вузов, а также многие крупные компании уже сегодня в той или иной мере используют современные элементы дистанционного обучения, основанные на информационных технологиях.

Исследование Фонда «Общественное мнение» показало, что уже сегодня 2% или порядка 100 тыс. человек, прошедших профессиональное обучение, предпочли дистанционную форму обучения очной. В денежном выражении этот показатель составляет 70 млрд. рублей, при этом объем рынка дистанционного бизнес-образования оценивается в 1,4 млрд. рублей. Стоит отметить, что в США около 40% студентов программ MBA используют дистанционную форму обучения. По оценкам экспертов сферы бизнес-

образования, в ближайшие годы рост рынка составит 20-25%. При сохранении этого прогноза в будущем году денежный объем рынка дистанционного бизнес-образования может составить 1,7 млрд. рублей.

Вместе с тем, влияние информатизации на образование нельзя назвать однозначно положительным. Огромные темпы развития информационных технологий ведут к постоянной гонке за знаниями. Это проявляется в том, что специалист должен постоянно учиться, чтобы соответствовать своей квалификации, то есть он должен находиться в системе образования в течение всей своей профессиональной трудовой деятельности. Из-за этого дипломированным специалистам все чаще приходится проходить различные курсы повышения квалификации. При этом некоторые специальности, которые напрямую связаны с разработкой и использованием информационных технологий, ставят специалиста в такие условия, что ему постоянно приходится овладевать все новыми и новыми знаниями. Все чаще цель этой гонки – овладение конечным знанием с тем, чтобы применять его на практике – размывается и на первое место выходит сам процесс овладения бурно развивающимися информационными технологиями (знания ради знаний), то есть, нет конечной цели – есть только процесс образования ради самого процесса [13]. Еще одним негативным эффектом от информатизации в сфере образования является появление в Интернете массы рефератов, курсовых и дипломных работ по разным специальностям высшего и среднего профессионального образования и даже готовых диссертаций. Доступность подобных ресурсов дискредитирует соответствующие формы контроля знаний, приводит к необходимости тратить силы и средства на выявление и борьбу с прецедентами плагиата со стороны студентов и учащихся.

Одним из важных положительных социальных эффектов информатизации является «смывание границ» в экономической жизни регионов. За счет высокой эффективности современных информационных коммуникаций и развития традиционной коммуникационной инфраструктуры, экономики регионов становятся все в большей степени трансграничными. Эти процессы непосредственно затрагивают и отдельных жителей региона, поскольку современные ИТ расширяют спектр потенциальных областей экономической активности населения региона: появляется возможность зарабатывать деньги и даже производить некий ВВП с помощью Интернета. Сфера потенциального трудоустройства людей уже не ограничивается лишь сугубо региональным сектором экономики, у жителей любого региона с достаточно развитой коммуникационной инфраструктурой имеются практически равные возможности организовать бизнес в глобальной сети Интернет.

Бизнес в Интернете – собирательное, многогранное, объемное понятие. Это совокупность всех видов ведения коммерческой деятельности и деловой активности в рамках электронной сети Интернет со своей определенной спецификой и возможностями с целью удовлетворения потребностей пользователей Сети и получения, различных благ взамен [14].

Один из самых распространенных способов заработка в Интернете – это уже рассмотренный нами ранее Интернет-магазин. Кроме того, весьма популярным видом бизнеса в Интернет является разработка и раскрутка веб-сайтов. Данный вид бизнеса в Сети довольно широко представлен различными специализирующимися фирмами и является довольно привлекательным с финансовой точки зрения и в настоящий момент, и в перспективе. Так, если 4 года назад число россиян, пользующихся Интернетом ежедневно, составляло всего 5%, в прошлом году – 15%, то в нынешнем 2010 году этот показатель составляет уже 23 %! (по данным опросов ВЦИОМ).

Российский рынок разработки и поддержки веб-сайтов характеризуется впечатляющими показателями:

- в данном секторе работают около 2000 компаний;
- годовой объем рынка - 7,2 млрд. руб. (в 2009 г.);
- ожидаемый в 2010 году рост рынка составляет 51%.

Финансовую основу бизнеса в Интернете обеспечивает Интернет-реклама. Технологии, используемые для рекламирования товаров и услуг в Интернете, разнообразны. Наиболее эффективной на сегодняшний день считается контекстная реклама. Ее суть заключается в размещении одного или нескольких небольших блоков объявлений, чаще текстовых, на странице однородного содержания. При этом для размещения на странице подбираются объявления (в результате автоматизированного процесса), максимально соответствующие содержанию каждой отдельно взятой страницы. В 2009 году выручка компаний, занимающихся контекстной рекламой, составила 10,5 млрд. руб.

Другой разновидностью Интернет-рекламы является баннерная реклама. В данном случае клиент для каждой своей рекламной компании заказывает разработку баннера (мини-плаката) с рекламным обращением, определенного размера и формата, в специализирующихся фирмах, после чего он платит за размещение каждого баннера на каждой странице каждого отдельно взятого, выбранного им, сайта.

Также к категории Интернет-рекламы следует отнести, хорошо известные большинству современных пользователей информационных технологий, почтовые рассылки, составляющие такое негативное явление, как спам (нежелательная корреспонденция).

Кроме легальных (или полуправильных, как спам) способов заработка в Интернете, сегодня существует множество различных нелегальных способов получить материальные выгоды с помощью глобальной сети. Сюда можно отнести хакерство, «черную» рекламу, плагиат и воровство авторской или запатентованной информации.

Появление новых способов заработка, связанных с развитием современных информационных технологий, привело и к появлению новых форм преступности в сфере информационных технологий, которые принято именовать обобщающим термином – *киберпреступность*. Преступления в сфере информацион-

ных технологий включают как распространение вредоносных вирусов, взлом паролей, кражу номеров кредитных карточек, так и распространение противоправной информации (клеветы, материалов порнографического характера, материалов, возбуждающих межнациональную и межрелигиозную вражду и т.п.) через Интернет. Кроме того, одним из наиболее опасных и распространенных преступлений, совершаемых с использованием Интернета, является мошенничество.

По оценкам специалистов, объем рынка компьютерных преступлений в России достигает 1 млрд. долл. в год, а количество активных хакеров составляет около 20 тысяч. Услуги российских хакеров в среднем в пять раз дешевле, чем в США, и пользуются неизменным спросом. Гарантированный взлом почтового ящика на почтовых сервисах Yandex, Mail, Rambler стоит от \$45, аккаунт в платежной системе – всего 6 долл., номер кредитки с ПИН-кодом от 490 долл., DDoS-атака от 100 долл., разработка троянской программы 980-4900 долл. Рассылка спама на 400 тыс. корпоративных адресов обходится заказчику в 55 долл., на 6 млн. частных адресов по России – в 150 долл., на 4 млн. адресов, зарегистрированных на сервере mail.ru, в 200 долл.

При этом киберпреступники пользуются практически полной безнаказанностью, качество их услуг растет, а расценки падают. В стране нет работающих международных соглашений по борьбе с киберпреступлениями, много лазеек в законодательстве, не развита система реагирования на инциденты в сфере высоких технологий, скудна соответствующая судебная практика.

3. Причинно-следственные взаимосвязи эффектов информатизации

Как видим, последствия информатизации весьма многообразны и могут иметь как положительный, так и отрицательный характер. При этом положительные эффекты являются побуждающим стимулом к дальнейшему расширению и развитию использования информационных технологий, тогда как отрицательные эффекты являются сдерживающим фактором информатизации (рис.3). Положительная и обратная связи, представленные на рисунке являются опосредованными, соотношение их темпов определяет развитие или, напротив – рецессию уровня информатизации. Например, возможность хищения информации при ее хранении и передаче в электронном виде существенно сдерживает темпы использования глобальных сетей для ведения бизнеса, в частности – для электронной торговли. Тем не менее, выгоды, получаемые от электронного способа ведения бизнеса, побуждают искать эффективные механизмы защиты информации и, несмотря на обозначенный риск, внедрять информационные технологии в этой сфере.



Рис.3. Общая взаимосвязь уровня информатизации с ее положительными и отрицательными эффектами

Более детально основные технологические и социальные эффекты информатизации в виде причинно-следственной диаграммы, характеризующей их взаимную связь, представлены на рис.4. Диаграмма может служить основой для построения более детальных имитационных моделей, позволяющих с помощью вычислительного эксперимента изучать динамические процессы в обществе, связанные с технологическими и социальными эффектами информатизации, формировать и изучать результативность различных стратегий управления этими процессами.

Очевидно, что информатизация различных сфер человеческой деятельности несет как положительные, так и отрицательные эффекты. Так, например, массовое распространение социальных сетей влечет за собой не только увеличение возможностей межлического общения, предоставляя массу различных сервисов, но также является средством распространения информации запретного характера. Кроме того, чрезмерные «виртуальные контакты» могут вызывать психологическую зависимость и оказывать разрушающее воздействие на здоровье и психику людей (изолированность субъекта).

Благодаря доступности информации появляется возможность за короткий срок разрешить возникающие проблемы и задачи. Возможность самостоятельно познавать информационный мир подталкивает человека к самостоятельному получению дополнительного образования, что является очевидным положительным эффектом информатизации. В то же время, развитие Интернет-коммуникаций провоцирует рост киберпреступности (фишинг-атаки, мошенничество), распространение спама, вредоносных вирусов, что, несомненно, оказывает пагубное воздействие на различные сферы человеческой деятельности.

Кроме того, распространение Интернет-коммуникаций создает благоприятные условия для развития «он-лайн» торговли, повышения эффективности товарного и сервисного обслуживания населения. При этом ярко прослеживается тенденция к переходу от наличного денежного оборота к безналичным расчетам (электронные деньги, пластиковые карты). С одной стороны, электронные магазины увеличивают доступность товаров и услуг, их распространение и развитие приводит к удешевлению потребительских товаров, а также увеличивает возможности выбора для регионального покупателя. С другой стороны, средства «он-лайн» коммерции увеличивают и уровень конкуренции на рынке, что нередко приводит к банкротству мелких региональных

фирм. В этом мы видим одно из проявлений отрицательной обратной связи от эффектов информатизации.

Ярким результатом информатизации является развитие телекоммуникаций. Например, на сегодняшний день мобильная связь является одной из основных социально значимых телекоммуникационных услуг. Очевидный положительный эффект использования сотовой связи - увеличение возможностей межлического общения. Появление новых мобильных операторов влияет на повышение уровня конкуренции на рынке услуг сотовой связи, что, в свою очередь, влечет за собой снижение тарифов на услуги связи.

В целом, возросший рост информатизации положительно сказывается на развитии инфраструктуры региона, трудоустройстве, уровне компьютерной грамотности населения. Однако большинство проявлений информатизации имеет и некоторые отрицательные эффекты, которые отражаются на причинно-следственной диаграмме опосредованными отрицательными обратными связями.

4. Методы изучения социальных и технологических эффектов информатизации

В представленном анализе технологических и социальных эффектов информатизации рассмотрены лишь некоторые, наиболее существенные, на наш взгляд, ее проявления и взаимосвязи между ними. Тем не менее, даже такой обобщенный взгляд показывает, что информатизация как процесс представляет собой весьма сложный социально-технологический феномен. Для его детального изучения необходим системный подход к исследованию. Для решения этой задачи может быть использован накопленный ранее опыт специалистов в области создания методов и средств моделирования сложных систем.

Среди исследовательских организаций, активно развивающих подобные методы, следует отметить Институт системного анализа РАН (ИСА РАН), Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН), Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН (ИИММ КНЦ РАН), Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова (ИПУ РАН), Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН (ИПМ РАН), Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН (ВЦ РАН), и другие институты и подразделения Российской Академии наук, занимающиеся вопросами моделирования, автоматизации и компьютеризации в различных предметных областях. В перечисленных институтах и организациях разработано большое число методов и технологий, потенциально применимых для решения рассматриваемой задачи. К их числу следует отнести методы микродинамики для исследования неравновесных процессов в макросистемах [14], математические методы системного моделирования сложных неоднородных систем [15; 16],

теорию моделирования развивающихся систем [17], методы и технологии построения мультиагентных систем с приложениями к задачам управления и принятия решений, теорию и методы распределенного моделирования сложных систем [18; 19].

Одной из перспективных технологий, заслуживающей отдельного внимания в контексте задачи системного исследования эффектов информатизации, является технология концептуального моделирования [20], позволяющая формировать комплексное формальное представление структуры предметной области, решаемых задач и исполнительской среды, обеспечивающей их решение. Технология может быть использована для описания общей взаимосвязи уровня информатизации с ее положительными и отрицательными эффектами.

Еще одним потенциально эффективным инструментом является технология имитационного моделирования на основе метода системной динамики. Системная динамика [21] применяется для исследования динамически сложных слабо формализованных процессов с множественными обратными связями, характеризующимися разнородностью и динамичностью, что затрудняет применение аналитических методов моделирования. В данном случае технология применима для изучения социальных и технологических последствий информатизации с точки зрения моделирования сложных процессов в социально-экономических системах, характеризующихся сложностью и большой длительностью развития. Такое моделирование позволяет изучать результативность различных вариантов влияния на динамические процессы с целью формирования эффективных стратегий целенаправленного управления ими.

В качестве примеров эффективного использования упомянутых методов и технологий для решения схожих исследовательских задач в других предметных областях можно привести следующие разработки:

– методы и средства синтеза имитационных моделей на основе онтологических описаний для прогнозирования развития регионального научно-образовательного комплекса [22];

– методы и технологии комплексного информационно-аналитического обеспечения управления инновационным развитием региональной экономики [23];

– мультиагентная система информационной поддержки инновационной деятельности [24];

– комплекс системно-динамических моделей инновационных процессов, позволяющий исследовать динамику и результативность рыночной диффузии инноваций [25].

Таким образом, накопленный ранее опыт математического моделирования социально-экономических систем может быть эффективно использован для изучения социально-экономических процессов, связанных с различными эффектами информатизации, а также для формирования и анализа стратегий управления этими процессами.

Заключение

Представленный в данной статье краткий обзор современных технологических и социальных эффектов информатизации не претендует на абсолютную полноту. В рамках небольшой по размерам статьи невозможно подробно осветить все значимые эффекты информатизации, отразить огромный пласт проблем, связанных с внедрением информационных технологий в различные сферы жизнедеятельности человека. Тем не менее, даже такой беглый взгляд иллюстрирует сложность и многогранность социальных, экономических и иных процессов, порождаемых информатизацией общества, характеризует неоднозначность ее влияния на жизнь отдельных индивидуумов и общества в целом. Использование системного подхода к изучению данной проблематики позволяет учитывать сложность и опосредованность связей между технологическими и социальными эффектами информатизации, целенаправленно изучать природу инициируемых этими эффектами процессов.

Если же давать обобщенную оценку влияния информатизации на человеческую жизнь, то, несмотря на неоднозначность этого влияния, учитывая существующую историю человечества, эффект от распространения информационных технологий следует считать положительным. Всякий прогресс человечества всегда имел как положительные, так и отрицательные эффекты. С появлением развитых дорожных сетей человек во многом утратил личную свободу, но обрел возможность расширить контакты с себе подобными. Развитие промышленности создало и сделало более доступными для рядового человека многие блага, но безвозвратно изменило окружающую человека природу. Обнадеживает в данной ситуации то, что, коль скоро человечество живет и прирастает, то положительные эффекты прогресса все же преобладают над отрицательными. Это дает повод надеяться, что и информатизация, несмотря на сопряженный с ней негатив, приведет человечество к новому качеству, сплотит его, в перспективе сделает единой социальной сущностью, и откроет дорогу к освоению новых материальных и духовных пространств.

Литература

1. Internet World Stats. Режим доступа: <http://www.internetworldstats.com/stats.htm>
2. Интернет-2009 в цифрах. - Режим доступа: <http://webtalk.su/internet-2009-v-cifrax>
3. Статистика пользователей интернета. Интересные факты.
Режим доступа: <http://www.raznoblog.com/internet/2009/01/27/statistica-polzovateley-interneta-interesnie-fakti/>
4. RUMетрика. Цифры в Интернете. Режим доступа: <http://rumetrika.rambler.ru/review/2/4304>

5. Тридцатый выпуск регулярного бюллетеня «Интернет в России». – Вып. 30. Лето 2010. Режим доступа: <http://bd.fom.ru/report/map/leto2010>
6. Berners-Lee, Tim; James Hendler and Ora Lassila (May 17, 2001). "The Semantic Web". Scientific American Magazine. - Режим доступа: <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=the-semantic-web>
7. Поспелов, Д.А. Очерки истории информатики в России / Д.А. Поспелов, Я.И. Фет. – Новосибирск: Научно-изд. центр ОИГГМ СО РАН, 1998. -664 с.
8. Глушков, В.М. О некоторых задачах вычислительной техники и связанных с ними задачах математики / В.М. Глушков. Украинский математический журнал, 1957. -№ 4. – С. 369-376.
9. Статистический ежегодник, 2008 / Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. - Мурманскстат, 2009. – 247 с.
10. Ракитов, А.И. Философия компьютерной революции / А.И. Ракитов. -М., 1991. - 217 с.
11. Урсул, А.Д. Информатизация общества и переход к устойчивому развитию цивилизации / А.Д. Урсул. // Вестник РОИВТ, 1993. - № 1-3. - С.35-45.
12. Дейнека, О.С. Атрибутивная картина наркотической зависимости в информационном обществе / О.С. Дейнека, Е.В. Боброва // Технологии информационного общества – Интернет и современное общество: труды V Всерос. объедин. конф. –СПб.: Изд-во СПбГУ, 2002. – С.27-30.
13. Прокудин, Д.Е. Проблемы использования информационных технологий в системе образования в условиях современного информационного общества / Д.Е. Прокудин // Технологии информационного общества – Интернет и современное общество: труды V Всерос. объедин. конф. –СПб.: Изд-во СПбГУ, 2002. – С.54-56.
14. Попков, Ю.С. Макросистемные модели пространственной экономики / Ю.С. Попков. - М.: УРСС, 2008. -240 с.
15. Попков Ю.С. Динамика неоднородных систем / Ю.С. Попков. -М.: Эдиториал УРСС, 2005. - Вып. 9. -232 с.
16. Технология системного моделирования / Под общей ред. С.В. Емельянова. - М.: Машиностроение; Берлин: Техник, 1988. -520 с.
17. Геловани, В.А. СССР и Россия в глобальной системе (1985-2030) / В.А. Геловани, В.Б. Бритков, С.В. Дубовский. Результаты глобального моделирования. -М.: УРСС, 2009. -320 с.
18. Информатика для устойчивого развития / Под ред. М.Б. Игнатьева, М.А. Вуса. - СПб.: СПБОНТЗ «Полиграфэкспресс», 2009. -196 с.
19. Юсупов Р.М., Заболотский В.П. Концептуальные и научно-методологические основы информатизации /Р.М. Юсупов, В.П. Заболотский. - СПб.: Наука, 2009. -542 с.
20. Информационные технологии регионального управления. С.В. Емельянов и др. - М.: Эдиториал УРСС, 2004. -400 с.
21. Путилов, В.А., Горохов А.В. Системная динамика регионального развития / В.А. Путилов, А.В. Горохов.-Мурманск: НИЦ «Пазори», 2002.-306 с.
22. Олейник, А.Г. Инструментальные средства информационной поддержки устойчивого функционирования и развития системы кадрового обеспечения инновационной деятельности / А.Г. Олейник, А.Н. Лексиков // О совершенствовании системы подготовки и переподготовки менеджеров и специалистов для инновационного развития Мурманской области: Междунар. научно-практич. конф. и школа-семинар, 11-13 ноября, г. Апатиты, 2009. –7 с.
23. Олейник, А.Г. / Информационные технологии поддержки инноваций / Ю.С. Попков, В.А. Путилов, М.Г. Шишаев. - М.: Эдиториал УРСС, 2010. -503 с.
24. Маслобоев, А.В., Шишаев М.Г. Одноранговая распределенная мультиагентная система информационно-аналитической поддержки инновационной деятельности / А.В. Маслобоев, М.Г. Шишаев // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО, 2009. -№4(62).- С.108-114.
25. Путилов, В.А, Технологии распределенных систем информационной поддержки инновационного развития региона / В.А. Путилов, М.Г. Шишаев, А.Г. Олейник // Прикладные проблемы управления макросистемами: труды Института системного анализа РАН (ИСА РАН). – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2008. -Т.39. - С.40-63.

**АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КОРРЕКТНОСТИ ПРОЦЕССА
МОДЕЛИРОВАНИЯ В РАМКАХ АЛГЕБРАИЧЕСКОГО ПОДХОДА*****А.А. Зуенко, А.Я. Фридман, Б.А. Кулик¹****1. Введение**

При создании программного обеспечения современных производственных процессов, как правило, приходится иметь дело со сложными природно-техническими комплексами. Их составные элементы (подсистемы) могут дублировать функции друг друга, а сам объект исследования изменяется во времени. Кроме того, для таких предметных областей обычно не существует готовых аналитических моделей. В силу перечисленных причин модель предметной области (МПО) поэтапно уточняется и перестраивается, то есть, открыта для оперативных модификаций ее структуры и подключения новых программных модулей, реализующих более совершенные алгоритмы расчетов. Ввиду открытости модели целесообразно автоматизировать контроль за ее структурной динамикой, чтобы облегчить работу конечного пользователя в системе моделирования и снизить негативную роль человеческого фактора. Другими словами, для обеспечения согласованного взаимодействия различных блоков модели необходимо автоматически контролировать корректность процесса моделирования на всех этапах: от построения МПО до анализа результатов моделирования. Тем не менее, в большинстве систем моделирования весь контроль корректности возлагается на пользователя. На общем фоне выгодно отличаются системы концептуального моделирования, автоматизирующие некоторые проверки за счет программирования ограничений модели, но и они имеют следующие недостатки:

- отсутствие возможности гибко настраиваться на ограничения, специфичные для конкретного объекта исследования (предметно-ориентированные ограничения);
- отсутствие возможности использовать ограничения в задачах, отличных от контроля корректности структуры МПО (при ее построении), например, при анализе незапланированных запросов к базе данных (БД) системы моделирования (СМ);
- отсутствие возможности активировать только те ограничения, которые актуальны для исследуемой в текущий момент МПО, а также ситуации;
- высокая трудоемкость модификации логики проверок в существующих средствах контроля корректности.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 09-07-00066), Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН (проект 2.3) в рамках текущей Программы фундаментальных научных исследований и Президиума РАН (проект 4.3 Программы №3).

¹ Институт проблем машиноведения РАН, г. С-Петербург.

Для преодоления перечисленных трудностей в работах [2, 4] предложено производить традиционный анализ структурных особенностей модели не путем жесткого программирования ограничений, а посредством их декларативного представления и обработки с применением методов искусственного интеллекта. В результате исследований авторами был разработан контекстно-ориентированный подход к управлению данными для систем концептуального моделирования. В рамках подхода корректность взаимодействия блоков модели контролируется на уровне семантического интерфейса реляционной БД СМ, тем самым обеспечивается возможность не только проверять структуру МПО, но и отслеживать действия блоков модели над общими данными на основе анализа гибко модифицируемых и оперативно подгружаемых предметно-ориентированных ограничений. Наделение реляционных СУБД способностью обрабатывать данные моделирования с учетом их семантики позволяет единообразно контролировать корректность всего процесса моделирования, а не только отдельных его этапов (случай программируемых ограничений).

Семантизация реляционных СУБД осложнена тем, что для обработки структур данных и знаний используются принципиально разные теоретические подходы: для данных применяется алгебраический подход (реляционная алгебра), а для знаний – декларативный подход, в основе которого лежит теория формальных систем. Для унификации обработки данных и знаний авторами в [6] была предложена единая методологическая основа – алгебра кортежей (АК), которая реализует общую теорию множественных отношений. Однако при наделении семантического интерфейса возможностью анализировать контексты относительно друг друга (без наполнения значениями из БД СМ), в частности, проверять корректность незапланированных запросов к БД СМ до стадии их исполнения СУБД, оказалось, что структуры АК в чистом виде плохо приспособлены для этих целей. АК ориентирована на анализ логических формул над элементарными одноместными предикатами, а большинство контекстных ограничений и запросов можно представить только в виде логических формул, содержащих элементарные двуместные предикаты. Как расширение АК на задачу логического анализа таких формул, авторами разработана алгебра условных кортежей (АУК) [5]. Но прежде чем перейти к ее описанию, кратко рассмотрим ранее упомянутый контекстно-ориентированный подход к управлению данными.

2. Контекстно-ориентированный подход к управлению данными системы концептуального моделирования

В рамках предложенного подхода [2] в обработке данных моделирования (ОДМ) участвуют следующие объекты: модель предметной области, прикладная программа (приложение), запрос приложения и база данных системы моделирования, предназначенная для хранения элементов модели предметной области и результатов процесса имитации.

Модель предметной области открыта для оперативных модификаций, что предполагает возможность подключения новых программных модулей для обработки информации. Вследствие этого одна и та же модель может быть реализована разным набором *приложений*. Каждое приложение для обработки данных использует определенный набор специализированных *запросов*, адресованных *базе данных системы моделирования*.

Все перечисленные объекты ОДМ характеризуются собственным контекстом. Таким образом, контекст взаимодействия складывается из контекста модели, контекста приложения, контекста запроса и контекста БД СМ, каждый из которых, в свою очередь, подразделяется на абстрактный и прикладной контексты. Абстрактный контекст объекта соответствует интенционалу этого объекта. Прикладной контекст объекта позволяет описать некоторое множество его экземпляров. Контексты всех объектов взаимодействия формализуются с использованием рассмотренных в [2, 4] систем ограничений.

Контексты при их совместном рассмотрении накладывают дополнительные ограничения на запрос, адресованный к БД СМ, на содержимое БД СМ, а также на саму модель предметной области.

Контекст базы данных системы моделирования. Абстрактный контекст БД СМ формируется в виде системы ограничений на отношения концептуальной схемы БД, описывающей класс моделей предметной области, которые являются допустимыми в рамках той или иной системы моделирования. Прикладной контекст БД СМ задается посредством наложения на абстрактный контекст дополнительного набора ограничений, которые специфичны для отдельных предметных областей.

Контекст запроса. Абстрактный контекст запроса описывает его структуру. Прикладной контекст запроса получается из абстрактного после назначения атрибутам запроса конкретных значений (где это необходимо) [1; 3].

Контекст приложения описывает возможности прикладной программы. Абстрактный контекст приложения – это список типов выполняемых приложениями запросов (абстрактных контекстов запросов). Прикладной контекст приложения характеризует конкретный экземпляр программного модуля и ссылается на прикладные контексты генерируемых запросов. В качестве приложений могут выступать как

исполнители элементов МПО (внутрисистемные модули), так и внешние клиентские модули.

Контекст модели предметной области определяется совокупностью приложений, необходимых для ее функционирования. Различные экземпляры одного и того же подключаемого программного модуля могут быть исполнителями различных элементов МПО. Абстрактный контекст МПО описывается совокупностью абстрактных контекстов приложений-исполнителей и не зависит от того, куда подключен тот или иной экземпляр исполнителя, и от хода его работы. Таким образом, имеется возможность производить контроль корректности исполнителей еще на этапе их подключения. Прикладной контекст МПО соответствует конкретному варианту назначения исполнителей.

Контексты приложения и МПО представляют собой специализированные справочники, использующие каталог запросов (их типов) для повышения эффективности процедур анализа запросов путем исключения многократного дублирования проверок.

Конкретные примеры контекстных ограничений приводились в [2, 4, 5], как правило, такие ограничения записываются в виде логических формул над элементарными одно- и двуместными предикатами без кванторов, где в качестве предикатов выступают: «<», «>», «=», «≠». Напомним здесь один из примеров контекстных ограничений БД СМ.

Пусть определены следующие классификации и отношения элементов модели предметной области, хранящиеся в БД СМ. Модель (*Model*) состоит из множеств объектов (*Object*), процессов (*Process*) и ресурсов (*Resource*). Объекты формализуют организационную структуру исследуемого комплекса. Каждый объект является оболочкой набора процессов – преобразователей данных (ресурсов). Как объекты, так и процессы связаны между собой потоками ресурсов. Над множествами определены отношения принадлежности, например, $ProcObj \subseteq Object \times B(Process)$ – процессы, приписанные к объекту; отношения типа «вход-выход» (например, $ObjInRes \subseteq Object \times B(Resource)$ – входные ресурсы объекта, $ProcOutRes \subseteq Object \times B(Resource)$ – выходные ресурсы процесса). Здесь $B(*)$ – служит для обозначения булеана (множества всех подмножеств) множества «*».

На совокупность описанных отношений накладываются ограничения, которые неформально можно выразить следующим образом:

1. Имена (свойство *rname*) однотипных (свойство *usertype*) ресурсов на входах и выходах процессов-буферов (базовый тип “*buf*”) должны быть одинаковыми.

2. Имена однотипных ресурсов на входах и выходах процессов-разветвителей и преобразователей (базовый тип “*bra*” и “*tra*”) должны быть различными.

3. На входные ресурсы процессов с базовым типом "pro" ограничений не накладывается.

Приведенное ограничение может быть записано в виде такой логической формулы:

$$\begin{aligned} & ((P.basetype = 'buf') \wedge (R^{in}.usertype = R^{out}.usertype) \wedge \\ & (R^{in}.rname = R^{out}.rname)) \vee (((P.basetype = 'bra') \\ & \vee (P.basetype = 'tra')) \wedge (R^{in}.usertype = \\ & R^{out}.usertype) \wedge (R^{in}.rname \neq R^{out}.rname)) \vee \\ & (P.usertype = 'pro'), \end{aligned} \quad (1)$$

где P – некоторое подмножество процессов, R^{in} – входные ресурсы процессов P , R^{out} – выходные ресурсы процессов P .

При наложении контекстов появляется необходимость установить выполнимость или невыполнимость некоторой результирующей логической формулы, образующейся при слиянии контекстов, на основе анализа ее структуры. Для автоматизации работы с такими логическими формулами создан аппарат алгебры условных кортежей, который, в отличие от реляционной алгебры и алгебры кортежей, позволяет в качестве значений атрибутов в отношениях использовать не только константы и одноместные предикаты, но и двуместные предикаты (бинарные отношения).

Далее введем основные определения, необходимые для описания АУК.

3. Алгебра условных кортежей

Пусть $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ – множество атрибутов (например, атрибутов классов концептуальной схемы базы данных), называемых простыми, а $C = \{A_1, A_2, \dots, A_n, A_1 \times A_2, A_1 \times A_3, \dots\}$ – множество, состоящее из *простых атрибутов* и их, всевозможных попарных декартовых произведений (*сложных атрибутов*). Тогда в качестве гибкого универсума следует рассматривать булеан множества $C - B(C) = \{Q_i\}$.

АУК задается следующим образом:

$\Lambda = \langle \{R_{ki}[Q_i]\}, \cup, \cap, +Attr, -Attr, Pr, \leftrightarrow Attr, \square \rangle$, где: $R_{ki}[Q_i]$ – некоторый АУК-объект (условный C -кортеж или условная C -система); Q_i – схема отношения, представляющая собой некоторое множество простых атрибутов и их попарных декартовых произведений; \cup – операция объединения АУК-объектов; \cap – операция пересечения АУК-объектов; $+Attr, -Attr$ – операции добавления и элиминации атрибутов; $\leftrightarrow Attr$ – операция перестановки атрибутов; Pr – операция взятия проекции; \square – операция наполнения АУК-объектов.

Условным C -кортежем называется заданный в определенной схеме отношения кортеж множеств (компонент), каждое из которых является либо подмножеством домена соответствующего простого атрибута, либо подмножеством бинарных отношений, которые могут быть заданы на соответствующем сложном атрибуте. В качестве бинарных

отношений (двуместных предикатов) выступают: «<» (меньше), «>» (больше), «=» (равно), « \neq » (не равно). Компоненты простых атрибутов формируются из открытых интервалов вида (a, b) и дискретных значений. В описании компонент сложных атрибутов используются лишь имена бинарных отношений, а конкретные множества значений формируются в результате операции наполнения. Условный C -кортеж будем называть *элементарным*, если каждая его компонента, либо является полной, либо содержит только одно из возможных значений. Элементарные условные C -кортежи соответствуют логическим формулам, не содержащим связки по «или» между двуместными предикатами. Условные C -системы учитывают такие связки.

По аналогии с C -кортежами, условные C -кортежи будем считать *однотипными*, если они сформированы в одной и той же схеме отношения.

Условной C -системой называется множество однотипных условных C -кортежей, которые записываются в виде матрицы, ограниченной прямыми скобками. В этой матрице строками являются содержащиеся в ней условные C -кортежи.

Условные C -кортежи и C -системы будем называть *АУК-объектами*. Чтобы отличать АУК-объекты от АК-объектов, в их именах явно указывается множество сложных атрибутов. Например, $R_K[M]$ означает, что АУК-объект задан в схеме отношения $[M]$, и K – множество сложных атрибутов. Очевидно, что $K \subseteq M$.

Пересечение двух однотипных условных C -кортежей $P_K[M] = [P_1, \dots, P_n]$ и $T_L[M] = [T_1, \dots, T_n]$ равно пересечению соответствующих компонент этих структур, т.е. $P_K[M] \cap T_L[M] = [P_1 \cap T_1, \dots, P_n \cap T_n]$.

Пересечение компонент простых атрибутов сводится к пересечению между собой интервалов и дискретных значений. Правила определения пересечений элементов, которые образуют компоненты сложных атрибутов, могут быть сформулированы в виде приведенной ниже таблицы. Зная, как вычисляется пересечение двух условных C -кортежей, можно определить результат пересечения пары любых АУК-объектов. Операции *добавления, элиминации, проекции, перестановки* атрибутов, а также операции *объединения* условных C -кортежей и условных C -систем аналогичны соответствующим операциям АК.

Проверки, производимые при пересечении, касаются в отдельности простых и в отдельности сложных атрибутов, они не учитывают того, как соотносятся между собой разные виды атрибутов. Кроме того, не анализируется сама возможность одновременно сформировать все бинарные отношения, описанные в элементарном кортеже, на основе значений компонент простых атрибутов. Для обработки таких соотношений предназначена операция *наполнения* АУК-объектов значениями.

Правила пересечения сложных атрибутов

Предикаты		Наличие совместимости	Результат
Первый	Второй		
$x=y$	$x=y$	Да	$x=y$
	$x \neq y$	Нет	-
	$x < y$	Нет	-
	$x > y$	Нет	-
$x < y$	$x < y$	Да	$x < y$
	$x \neq y$	Да	$x < y$
	$x > y$	Нет	-
$x > y$	$x > y$	Да	$x > y$
	$x \neq y$	Да	$x > y$

Экземпляром $\square R_K[M]$ АУК-объекта $R_K[M]$ называется C -система, которая получается в результате конкретизации всех бинарных отношений, производимой в соответствии с алгоритмом, который подробно описан в [5].

С помощью АУК появляется возможность автоматизировать анализ составляющих логической формулы, содержащей элементарные двуместные предикаты, и делать выводы относительно ее выполнимости или невыполнимости.

4. Примеры применения АУК при анализе контекстных ограничений

В [5, 6] предлагается моделировать реляционные таблицы, состоящие из множества элементарных кортежей, в виде C -систем, где все компоненты являются одноэлементными множествами. Условные C -системы представляют собой расширение C -систем (C -система $R[M]$ есть условная C -система $R_K[M]$, где $K=\emptyset$). Следовательно, с помощью условных C -систем также можно моделировать реляционные таблицы.

АУК позволяет представлять в виде сопоставимых объектов сами реляционные таблицы, ограничения, накладываемые на них, и запросы к ним. Рассмотрим, как описывается Θ -соединение с помощью введенного выше математического аппарата АУК. Допустим, в БД содержится два отношения со схемами $R[XY]$ и $T[WV]$, где атрибуты X и W имеют целочисленный тип. Необходимо выполнить выборку тех кортежей, где $x < w$. Атрибутом, значения которого необходимо получить в ходе исполнения запроса, является X . На языке SQL этот запрос выражается так: `SELECT T.x FROM R, T WHERE R.x < T.w`.

На языке АУК этот запрос вычисляется с использованием оператора взятия проекции (Pr) следующим образом:

$Pr(\square(R[X,Y] \cap T[W,V] \cap SE_{XW}[XW]) X)$,
где $SE_{XW}[XW]=\{<\}$ – селектор запроса (модель where-части). В выражении $Pr(op^1 | op^2)$ первый операнд – это исходное отношение, а второй – множество атрибутов вычисляемой проекции. Предположим, что:

$$R[X,Y]=\begin{bmatrix} \{1\},\{f\} \\ \{2\},\{g\} \end{bmatrix}, T[W,V]=\begin{bmatrix} \{4\},\{y\} \\ \{5\},\{z\} \end{bmatrix}.$$

Рассмотрим процедуру вычисления этого запроса:

$$R[X,Y] \cap T[W,V]=\begin{bmatrix} \{1\},\{f\},\{4\},\{y\} \\ \{1\},\{f\},\{5\},\{z\} \\ \{2\},\{g\},\{4\},\{y\} \\ \{2\},\{g\},\{5\},\{z\} \end{bmatrix},$$

$$R[X,Y] \cap T[W,V] \cap SE_{XW}[XW]=\begin{bmatrix} \{1\},\{f\},\{4\},\{y\},\{<\} \\ \{1\},\{f\},\{5\},\{z\},\{<\} \\ \{2\},\{g\},\{4\},\{y\},\{<\} \\ \{2\},\{g\},\{5\},\{z\},\{<\} \end{bmatrix},$$

$$\square(R[X,Y] \cap T[W,V] \cap SE_{XW}[XW])=$$

$$\begin{bmatrix} \{1\},\{f\},\{4\},\{y\},\{\{1\},\{4\}\} \\ \{1\},\{f\},\{5\},\{z\},\{\{1\},\{5\}\} \\ \{2\},\{g\},\{4\},\{y\},\{\{2\},\{4\}\} \\ \{2\},\{g\},\{5\},\{z\},\{\{2\},\{5\}\} \end{bmatrix},$$

$$Pr(\square(R[X,Y] \cap T[W,V] \cap SE_{XW}[XW]) | X)=\begin{bmatrix} \{1\} \\ \{1\} \\ \{2\} \\ \{2\} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} \{1\} \\ \{2\} \end{bmatrix}.$$

Из приведенного примера видно, что структура селектора запроса $SE_{XW}[XW]$ задается еще до стадии исполнения запроса, т.е. до наполнения условного C -кортежа $SE_{XW}[XW]$ значениями. Это дает возможность производить при необходимости предварительный анализ запроса, поскольку в качестве переменных здесь выступает не весь селектор, а лишь атрибуты, формирующие описания отдельных компонент.

В настоящей работе широко применяется проверка корректности, как самой БД, так и запросов к ней относительно некоторого набора ограничений. Рассмотрим ограничение (1), которое может быть записано в виде условной C -системы $CD_K[D]$:

$$CD_K[D]=\begin{bmatrix} \{ 'buf' \}, \{ = \}, \{ = \} \\ \{ 'bra', 'tra' \}, \{ = \}, \{ \neq \} \\ \{ 'pro' \}, \quad *, \quad * \end{bmatrix},$$

где $[D]=A, XY, WZ$; $A - P.basetype$, $X - R^{in}.usertype$, $Y - R^{out}.usertype$, $W - R^{in}.rname$, $Z - R^{out}.rname$.

Пусть к БД СМ, на которую накладывается упомянутое ограничение, адресован запрос следующего содержания: получить процессы базового типа “buf”, имя входного ресурса – “Res1”, а имя выходного – “Res2”, а их пользовательские типы равны соответственно “Type1”.

Селектор запроса запишем в виде следующего C -кортежа $Q[G]$:

$$Q[G]=\begin{bmatrix} \{ 'buf' \}, \{ 'Type1' \}, \{ 'Type1' \}, \{ 'Res1' \}, \{ 'Res2' \} \end{bmatrix},$$

где $G=A, X, Y, W, Z$.

В результате пересечения условной C -системы ограничения с C -кортежем запроса получим:

$$Q[G] \cap CD_k[D] = \left[\begin{array}{l} \{ 'buf' \}, \{ 'Type1' \}, \{ 'Type1' \}, \{ 'Re s1' \}, \{ 'Re s2' \} \\ \{ 'bra', 'tra' \}, \{ = \}, \{ \neq \} \\ \{ 'pro' \}, \quad *, \quad * \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \{ 'buf' \}, \{ 'Type1' \}, \{ 'Type1' \}, \{ 'Re s1' \}, \{ 'Re s2' \} \\ \{ = \}, \{ \neq \} \end{array} \right]$$

Наполняя данный условный C -кортеж значениями на основе его проекции на множество простых атрибутов, получаем:

$$\left[\{ 'buf' \}, \{ 'Type1' \}, \{ 'Type1' \}, \{ 'Re s1' \}, \{ 'Re s2' \}, \left[\{ 'Type1' \}, \{ 'Type1' \} \right], [\emptyset, \emptyset] \right] = \emptyset.$$

Таким образом, в результате анализа установлено, что запрос $Q[G]$ является некорректным с точки зрения ограничения $CD_k[D]$. Причем, некорректность выявлена на стадии предварительного анализа запроса без привлечения информации из таблиц БД.

5. Заключение

На этапе проектирования системы моделирования предложенные программные средства на основе алгебры условных кортежей способствуют ускорению разработки инструментов контроля за ходом процесса моделирования. С использованием контекстно-ориентированного подхода представление ограничений на модель предметной области становится декларативным и появляется возможность применять их не только для анализа самой модели, но и при проверке незапланированных запросов, а также содержимого базы данных. Кроме того, появляется возможность учитывать и оперативно анализировать как ограничения, общие для всех допустимых моделей, так и ограничения, специфичные для конкретной предметной области.

В процессе эксплуатации системы моделирования разработанные методы и алгоритмы алгебры условных кортежей позволяют организовать автоматическую проверку модели предметной области на уровне ее структуры и выявлять некорректности при обращении к данным со стороны подключаемых программных модулей. Разработанный метод семантического анализа незапланированных запросов на основе контекстов позволяет исключить некорректные обращения к реляционной СУБД.

Предложенные программно - алгоритмические средства способствуют уменьшению трудозатрат на модификацию и ввод ограничений в систему моделирования.

Литература

1. Зуенко, А.А. Анализ корректности запросов к базам данных систем концептуального моделирования средствами алгебры кортежей / А.А. Зуенко, Б.А. Кулик, А.Я. Фридман // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы (ИИ-2009) // Материалы X Междунар. научно-технической конф. - Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. - С.86-88.
2. Зуенко, А.А. Контекстный подход в системах сопровождения открытых моделей предметной области / А.А. Зуенко, А.Я. Фридман // Искусственный интеллект и принятие решений. -2008.- №3. -С. 41-51.
3. Зуенко, А.А. Логический вывод при семантическом анализе нерегламентированных путевых запросов. / А.А. Зуенко, А.Я. Фридман // Одиннадцатая национальная конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008, 28сент. – 3 окт. 2008 г. г. Дубна, Россия: Труды конф. -Т.1. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – С.298-304.
4. Зуенко, А.А. Управление контекстом при организации интеллектуализированного интерфейса БД в системах моделирования на основе концептуального подхода / А.А. Зуенко, А.Я. Фридман // Труды ИСА РАН. Прикладные проблемы управления макросистемами / Под ред. Ю.С. Попкова, В.А. Путилова. -Т.39. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2008. – С.128-141.
5. Зуенко, А.А. Развитие алгебры кортежей для логического анализа баз данных с использованием двуместных предикатов /А.А. Зуенко, А.Я. Фридман // Известия РАН. Теория и системы управления. - 2009. -№2. – С.95-103.
6. Kulik, B.A. A Generalized Approach to Modelling and Analysis of Intelligent Systems on the Corтеge Algebra Basis. Proceedings of the Sixth International Conference on System Identification and Control Problems (SICPRO '07)/Russia, Moscow, January 29 – February 2, 2007. - P.679-715.

СЕМАНТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В СОВРЕМЕННЫХ ФАКТОГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

А.А. Зуенко, А.Я. Фридман

Введение

Большинство фактографических систем используют для хранения и обработки данных реляционные СУБД (РСУБД), а также их расширения. Популярность реляционной модели данных обусловлена следующими причинами:

1. Понятность пользователю, не имеющему особых навыков в программировании.

2. Возможность присоединения новых элементов данных, записей, связей без изменения соответствующих подсхем и, следовательно, прикладных программ.

3. Максимальная гибкость при обработке незапланированных запросов с терминалов.

Но, пожалуй, главная причина успеха РСУБД состоит в том, что они базируются на строгом математическом аппарате – реляционной алгебре [1]. Несмотря на несомненные преимущества РСУБД для задач обработки данных, все попытки наделить эти системы интеллектуальными способностями, такими как дедуктивный вывод и управление данными на основе экспертных знаний о предметной области, до сих пор не имели коммерческого успеха. Осознавая недостатки своей реляционной модели в части представления семантики предметной области, Э. Кодд предложил расширенную реляционную модель (RM/T), в рамках которой были типизированы сущности и отношения между ними, введены новые правила ссылочной целостности. Однако модель RM/T также оказалась не приспособлена для представления основных структур знаний и "встраивания" процедур логического вывода.

По мнению авторов, сложившаяся ситуация обусловлена отсутствием единого аппарата для обработки данных и знаний. Другими словами, требуется более мощная алгебраическая система, чем реляционная алгебра, которая бы позволила с единых позиций представлять и анализировать табличные данные и экспертные знания.

В настоящей работе подробно рассмотрены современные тенденции в СУБД на основе реляционной модели данных, их достоинства и недостатки, а также одно из возможных расширений реляционной алгебры на задачу обработки знаний – алгебра кортежей.

Реляционные СУБД

В реляционных БД основными объектами управления являются файлы, организованные в виде таблиц. Эти таблицы (отношения) состоят из

множества элементарных кортежей. Для реализации запросов над файлами или представлениями БД используется реляционная алгебра со своим набором операций. Пять из этих операций – основные: проекция, объединение, прямое произведение, разность и селекция. Остальные операции реляционной алгебры реализуются как комбинации основных.

Как правило, РСУБД не позволяют добавлять новые типы данных, то есть набор типов данных в РСУБД заранее определен и фиксирован. Классические РСУБД не поддерживают композитных атрибутов (домены таких атрибутов содержат пользовательские типы данных, составленные из predetermined набора элементарных типов), несмотря на то, что они не противоречат реляционной модели.

Сильная сторона реляционных СУБД заключается в том, что в них встроен язык запросов SQL, реализующий операции проекции и соединения отношений и предоставляющий необходимые средства для выполнения незапланированных запросов. Запросы к базе данных возвращают результаты в виде таблиц, которые тоже могут выступать как объект запросов.

РСУБД, в отличие от иерархических и сетевых СУБД, позволяют организовывать связи между таблицами в любой момент обработки [2]. В каждой таблице БД имеется, как правило, хотя бы одно поле, служащее ссылкой для другой таблицы. В терминологии РСУБД такие поля называются полями внешних ключей. С помощью внешних ключей можно связывать любые таблицы БД на любом этапе работы. Кроме того, на основе внешних ключей реализуется механизм, обеспечивающий ссылочную целостность данных.

С появлением РСУБД связывают возникновение двухзвенной архитектуры распределенных приложений "клиент-сервер" (например, [3]), поскольку РСУБД ориентированы на многопользовательскую обработку данных.

К основным недостаткам РСУБД относят то, что их семантическая составляющая развита слабо. Это, с одной стороны, затрудняет использование РСУБД в системах поддержки принятия решений и в предметных областях, имеющих сложно структурированные данные, где требуются дополнительные средства представления семантики данных. С другой стороны, программирование алгоритмов выборки данных на языке SQL порождает громоздкие конструкции. В работе [4] приведен пример

реализации в реляционном стиле запроса “Определить все прямоугольники, которые покрывают некоторую область заданного квадрата” (впервые предложенный Стоунбрейкером). Этот пример иллюстрирует, что запросы к реляционной базе данных обладают довольно низкой степенью наглядности. Последнее препятствует анализу их смысла.

Перечисленные недостатки привели к появлению направления семантического моделирования и широкому использованию объектного подхода при организации хранения и обработки информации БД.

Объектно-ориентированный подход [5] был создан для решения задачи повышения уровня абстракции данных и стал фактическим стандартом разработки программного обеспечения. В объектно-ориентированных языках программирования (ООЯП) предметная область описывается в виде совокупности экземпляров различных типов, которые определяются программистом. ООЯП поддерживают три парадигмы:

- 1) инкапсуляция данных;
- 2) наследование;
- 3) полиморфизм.

Разработчики современных СУБД стремятся тем или иным способом реализовать объектные парадигмы, расширяя возможности базовых моделей данных. При этом возникает вопрос о целесообразности применения объектно-ориентированного подхода при организации хранения данных. Несмотря на то, что области языков программирования и управления базами данных имеют много общего, в некоторых весьма важных аспектах они отличаются. В частности, по определению прикладная программа предназначена для решения заранее определенного набора специфических задач, а базы данных – для решения задач, формулировка которых может быть не известна в момент создания базы данных. Инкапсулированным объектам при разработке прикладной программы, очевидно, необходима некоторая доля “разумности”, поскольку это позволяет сократить код управления этими объектами, повысить эффективность работы программиста, улучшить сопровождение программы и т.д. Для баз данных использование в чистом виде объектно-ориентированного подхода зачастую может оказаться вредным, поскольку ограничивает возможность выполнения незапланированных запросов. Причина в том, что ООП обеспечивает инкапсуляцию данных и задает жестко регламентированные интерфейсы для объектов, тем самым наследуя недостатки иерархической (сетевой) модели данных.

Далее рассматриваются особенности различных расширений реляционного подхода. Исследуются их возможности в представлении семантических ограничений предметной области и организации на их основе интеллектуальных процедур.

Совместное использование реляционного и объектно-ориентированного подходов

В зависимости от того, каким образом реализуются парадигмы объектно-ориентированного программирования, среди современных СУБД можно выделить три основных направления:

- постреляционные;
- объектно-ориентированные (ООСУБД);
- объектно-реляционные (ОРСУБД).

Первое и третье направление появились в результате развития реляционного подхода. Второе направление представляет собой логическое продолжение иерархического и сетевого подходов к представлению БД.

Постреляционные СУБД – результат эволюции РСУБД. Они позволяют создавать пользовательские типы данных (с некоторыми ограничениями) и таблицы с композитными столбцами. В качестве домена столбца может выступать таблица, а точнее – тип данных, соответствующий структуре таблицы и создаваемый одновременно с таблицей. Композитные типы создаются на основе некоторого базового множества элементарных типов, априорно поддерживаемых СУБД. Современные постреляционные СУБД (например, PostgreSQL 8.02 [6]) не позволяют напрямую (средствами языка SQL или его объектных расширений) создавать массивы для хранения произвольных структур, несмотря на то, что сами пользовательские типы данных определяются без особого труда. Создание массивов пользовательских типов средствами таких СУБД требует описания на одном из объектно-ориентированных языков (чаще всего на C++ [5, 8]) самого массива, а также операторов преобразования массива в строку и обратно. Постреляционные СУБД позволяют хранить функции обработки данных, которые используют в качестве параметров определяемые пользователем типы. В PostgreSQL поддерживается возможность множественного наследования таблиц, которая вызывает ряд проблем (например, уникальность значений ключевых полей таблиц-наследниц). Проблемы возникают из-за неадекватности отображения “объектный класс – таблица”, характерного для постреляционных СУБД [4]. Реляционную таблицу нельзя считать аналогом объектного класса, несмотря на то, что она тоже описывается набором атрибутов, по следующим причинам:

1. Таблица, в отличие от объектного класса, является коллекцией однотипных объектов. В связи с этим, таблица должна иметь ключевой атрибут, который не характерен для объектного класса.

2. Таблица не имеет методов. Конечно, можно описать функции, работающие с данной таблицей. Но между вызовами “table.method(3)” и “procedure(table,3)” нельзя ставить знак равенства, поскольку разрушается инкапсуляция объектного класса – ключевая парадигма ООП.

Другими словами, более корректно отображение “динамический массив – таблица”.

Постреляционные СУБД не поддерживают полиморфного поведения объектов, лежащих в одной иерархии наследования. Более того, если таблица содержит поле базового типа, то добавление объекта дочернего типа приводит к усечению последнего.

Объектно-ориентированные СУБД (ООСУБД) [4] предназначены для постоянного хранения объектов ООЯП, в них обеспечивается та или иная форма настройки по адресам. Эти продукты не имели коммерческого успеха, поскольку требовали преобразования существующих данных в формат СУБД. ООСУБД изначально интегрированы с ООЯП. Например, в системе GemStone применяется язык представления данных OPAL. Таким образом, в код приложения нет необходимости встраивать дополнительные конструкции типа SQL. ООСУБД входят в состав компилятора, который обрабатывает исходный текст и автоматически создает в БД структуры для хранения объектов. Объект сохраняется в БД при вызове специального метода. Основной недостаток ООСУБД, который они унаследовали от иерархических СУБД, – невозможность осуществления незапланированных запросов к БД без изменения её структуры (добавления новых структур данных или методов), а значит, изменения и самой программы. Кроме того, если с одной и той же БД работают приложения, количество которых заранее не определено, то появление нового приложения требует перекомпиляции уже имеющихся.

Объектно-реляционные СУБД (например, Oracle 9i [7]), наряду с хранением реляционных данных, обеспечивают постоянное хранение объектов. Такие системы используют отображение “объектный класс – домен” и поддерживают создание пользовательских типов данных. Это позволяет создавать композитные атрибуты, применять парадигмы наследования и полиморфизма. Так, если поле таблицы имеет базовый тип, то в нем может содержаться также и объект любого дочернего типа. Методы типа описываются в его теле, что поддерживает инкапсуляцию данных. Методы могут описывать преобразования к другим типам, что обеспечивает поддержку приведения типов на уровне доменов. Множественное наследование в современных ОРСУБД не поддерживается, хотя не исключается в будущем.

Помимо объектных расширений, ОРСУБД поддерживают все реляционные операторы. Поэтому ОРСУБД свободны от недостатков ООСУБД и поддерживают следующие возможности:

- незапланированные запросы;
- каскадное удаление (ссылочная целостность);
- поиск указателей и идентификаторов объектов скрыт от пользователя;
- использование преимуществ инкапсуляции для внутренней структуры отношений.

Поскольку ОРСУБД, по сути, реализуют реляционную модель с дополнительной поддержкой пользовательских типов на уровне доменов, то они наследуют все основные недостатки этой модели, связанные с семантикой и реализацией интеллектуальных процедур.

"Расширенные" реляционные модели данных как способ представления семантики

Исследования в области семантического моделирования были вызваны необходимостью создания системного подхода к решению проблемы проектирования баз данных. Для представления семантики данных разработаны различные “расширенные” данные, которые включают как неформальные семантические понятия, так и формальную модель для их интерпретации. Общий подход к семантическому моделированию содержит четыре этапа [4]:

1. Выявление некоторого множества семантических понятий, которые могут использоваться при неформальном описании рассматриваемой проблемы реального мира.
2. Введение набора соответствующих формальных объектов, которые могут использоваться для представления семантических понятий.
3. Установление набора формальных общих правил целостности, предназначенных для работы с такими объектами.
4. Определение набора формальных операторов, предназначенных для манипулирования этими объектами.

Наиболее популярны расширенные модели ER и RM/T [4, 9, 10]. ER-модель, по сути, есть неформальное дополнение базовой реляционной модели, она получила широкое распространение за счет использования диаграммной техники. С помощью диаграмм можно декларативно задавать, в частности, ограничения целостности. Семантическими понятиями ER-модели являются: объекты (сущности), свойства, отношения (связи), подтипы и супертипы. Объекты разделяются на правильные (сильные) и слабые. Слабым объектом называется тот, который находится в зависимости от некоторого другого объекта и не может без него существовать. Отношения могут иметь тип один-к-одному, один-ко-многим, многие-к-одному и многие-ко-многим. В модели определены типы таблиц, соответствующие перечисленным понятиям.

Механизм реализации расширений в RM/T, напротив, низкоуровневый: вводятся формальные объекты, в частности, бинарные и тернарные графовые отношения, правила целостности и операторы. Это делает модель более мощной и гибкой, но вместе с тем более сложной и ориентированной в первую очередь на программистов, а не на пользователей. В RM/T не делается никаких различий между объектами и отношениями, она содержит несколько специальных операторов, в основном, для работы с графовыми отношениями в дополне-

ние к операторам базовой реляционной модели. Объекты (включая отношения) представлены E -отношениями и P -отношениями – особыми видами отношений общего типа степени n . E -отношения используются для указания объектов, а P -отношения – для указания свойств этих объектов. В модели RM/T имеются и другие аналоги семантических концепций ER-модели. Кроме того, в RM/T предусмотрена поддержка различных типов агрегации данных. Минимальной атомарной смысловой единицей является бинарное отношение. Единицы молекулярной семантики могут быть более крупными, чем отдельные n -арные отношения, что позволяет, по-видимому, все конкурирующие подходы транслировать в эту среду [10].

Применение расширенных моделей при организации доступа к базам данных позволяет формулировать запрос с использованием семантики данных, повышая их уровень абстракции. Однако расширенные модели не ориентированы на семантический анализ запросов. Они не обладают развитыми средствами для задания ограничений, отличных от правил целостности.

Описанные расширения реляционной алгебры (расширенные модели данных, СУБД на основе объектно-ориентированного подхода и т.д.) получены либо путем введения сложных доменов, либо посредством добавления к пяти базовым реляционным операциям некоторого набора вспомогательных операций, которые, в принципе, могут быть выражены через базовые. В этом смысле все перечисленные ранее расширения изоморфны реляционной алгебре. Заметим, что большинство операций реляционной алгебры заимствовано из алгебры множеств. Однако в рамках реляционной алгебры не определены операции алгебры множеств над отношениями, заданными в различных схемах, а также не определена операция взятия дополнения. Другими словами, реляционная алгебра не может рассматриваться как полноценный аналог алгебры множеств для случая, когда в качестве множеств берутся отношения (множества элементарных кортежей). В то же время, известно, что не только данные, но и многие структуры знаний, используемые в формальных системах, представимы в виде отношений (графы, семантические сети, предикаты и т.п.). С другой стороны, установлено, что многие формальные системы (например, силлогистика Аристотеля, исчисление высказываний и т.д.) могут быть выражены на языке алгебры множеств.

Следовательно, в качестве базовой структуры для унификации обработки данных и знаний целесообразно выбрать отношение, причем требуется принципиально новый, по сравнению с реляционной алгеброй, математический аппарат, обеспечивающий изоморфизм с алгеброй множеств. Далее рассматривается такой математический аппарат – алгебра кортежей (АК).

Расширение реляционной алгебры на задачу обработки знаний

Алгебра кортежей [11, 12] реализует общую теорию многоместных отношений, ориентированную на решение задач логического анализа (проверка правильности следствия, анализ гипотез и т. д.). За счет введения простых операций с атрибутами отношений удалось существенно расширить область применения этой алгебры по сравнению с реляционной.

Во-первых, операции алгебры множеств обобщены на случай, когда отношения заданы в различных декартовых произведениях. Для приведения произвольной совокупности отношений к единой схеме используются фиктивные компоненты. В результате удалось найти точные соответствия между операциями и структурами теории отношений и логическими операциями, включая квантификацию и логический вывод. Например, в логике обобщенным операциям объединения и пересечения соответствуют операции дизъюнкции и конъюнкции.

Во-вторых, разработаны новые математические структуры (C -кортежи, C -системы, D -кортежи, D -системы), позволяющие сжато представлять многоместные отношения за счет перехода от элементарных кортежей к кортежам, компонентами которых являются не отдельные элементы, а множества. Это дает возможность обойтись меньшими объемами памяти при хранении данных и знаний и значительно сократить вычислительные затраты на осуществление действий над отношениями.

В-третьих, исследованы матричные свойства структур АК. Анализ этих свойств предоставляет дополнительные резервы уменьшения трудоемкости процедур логического вывода. В частности, в D -системах, которые в математической логике соответствуют конъюнктивным нормальным формам (КНФ), выделены специфические подструктуры – бесконфликтные и монотонные блоки, позволившие выявить новые структурные и статистические классы КНФ с полиномиально распознаваемым свойством выполнимости.

Подробное описание основ АК и ее приложений можно найти в [13, 14]. Здесь лишь кратко ознакомимся с основными понятиями АК.

В АК определены 4 структуры (C -кортеж, C -система, D -кортеж, D -система) табличного или матрицеподобного типа. Эти структуры носят обобщенное название **АК-объекты**. Каждая такая структура компактно представляет некоторое множество **элементарных кортежей**. Например, рассмотрим структуру C -кортежа. Запись $R_1[XYZ] = [A B C]$ означает, что C -кортеж $[A B C]$ соотносится со схемой отношения $[XYZ]$, при этом $A \subseteq X$; $B \subseteq Y$; $C \subseteq Z$ и $R_1[XYZ] = A \times B \times C$. Если атрибут в схеме отношения выделен жирным шрифтом, то он трактуется не как отдельный атрибут, а как множество атрибутов. **Компоненты** АК-объектов являются подмножествами домена соответствующего атриби-

бута. Среди компонент особую роль играют две **фиктивные компоненты**: * – *полная компонента*, т.е. множество, равное домену некоторого атрибута, которая используется в *C*-кортежах и *C*-системах; \emptyset – *пустое множество* – используется в *D*-кортежах и *D*-системах.

C-система – это таблица, строки которой есть однотипные *C*-кортежи; она представляет отношение, равное объединению соответствующих декартовых произведений. Например, *C*-система

$$R_2[YZ] = \begin{bmatrix} \{a, d\} & \{a, b\} \\ \{d\} & \{b, c\} \end{bmatrix} = (\{a, d\} \times \{a, b\}) \cup (\{d\} \times \{b, c\}).$$

D-кортежи и **D-системы** – это дополнения соответственно *C*-кортежей и *C*-систем. Они записываются в виде матриц, ограниченных перевернутыми скобками. Дополнение *C*-системы (*C*-кортежа) – *D*-система (*D*-кортеж) той же размерности, в которой каждая компонента равна дополнению соответствующей компоненты в исходной *C*-системе (*C*-кортеже).

С АК-объектами, заданными в одной схеме, можно выполнять любые операции алгебры множеств. Для выполнения операций с АК-объектами, имеющими разные схемы отношений, требуются операции с атрибутами. К ним относятся:

- 1) переименование атрибутов;
- 2) перестановка атрибутов;
- 3) обращение отношений;
- 4) добавление фиктивного атрибута (+*Atr*);
- 5) элиминация атрибута (–*Atr*). Подробно остановимся на двух последних операциях.

При **добавлении фиктивного атрибута** в схему отношения добавляется имя нового атрибута, а в АК-объект добавляется новый столбец с фиктивными компонентами (в *C*-кортежи и в *C*-системы – фиктивные компоненты “*”, а в *D*-кортежи и *D*-системы – фиктивные компоненты “ \emptyset ”). Эта операция соответствует правилу обобщения в логике.

При **элиминации атрибута** из АК-объекта удаляется столбец, а из его схемы отношения – соответствующий атрибут. Доказано, что элиминация атрибута *X* из *C*-кортежей и *C*-систем соответствует навешиванию квантора $\exists x$ в соответствующую логическую формулу, а элиминация того же атрибута из *D*-кортежей и *D*-систем – навешиванию квантора $\forall x$.

Назовем операции алгебры множеств с АК-объектами с предварительным добавлением недостающих фиктивных атрибутов **обобщенными операциями и отношениями** алгебры множеств в АК и обозначим их соответственно

$$\cap_G, \cup_G, \setminus_G, \subseteq_G, =_G \text{ и т.д.}$$

Первые две операции полностью соответствуют логическим операциям \wedge и \vee . Отношение \subseteq_G в АК соответствует **отношению выводимости** в исчислении предикатов. Отношение $=_G$ означает равенство структур при условии, что они приведены к одной

схеме отношения путем добавления атрибутов. Это обстоятельство позволяет использовать принципиально новый подход к построению процедур логического вывода и проверок выводимости (см. [11]).

Разработанная алгебра кортежей и ее методы:

- позволяют унифицировано обрабатывать данные и знания, представленные в виде совокупности многоместных отношений с различными схемами;
- ускоряют выполнение процедур логического вывода при решении стандартных задач теории формальных систем за счет: 1) удобства распараллеливания вычислений, 2) использования матричных свойств отношений, а также новых структурных и статистических классов КНФ с полиномиально распознаваемым свойством выполнимости;
- дают возможность по-новому организовывать процедуры логического вывода.

Заключение

Интеллектуализация хранилищ информации в настоящее время составляет актуальную проблему в силу необходимости осуществлять поиск релевантной информации в возрастающих потоках данных. Фактографические информационные системы, где стандартом являются реляционные СУБД, отстают от этого отношения от систем обработки документов. Наметившийся разрыв, по мнению авторов, обусловлен тем, что реляционная алгебра малоприменяема для задач логического анализа. Следовательно, требуется более мощная алгебраическая система, обладающая преимуществами реляционной алгебры в области распараллеливания вычислений, а также возможностью представления и реализации методов логического вывода.

В отличие от подхода, принятого в дедуктивных базах данных, где интеграция реляционных СУБД с системами логического вывода обеспечивается путем представления данных и знаний на языке исчисления предикатов, в настоящей работе рассматривается подход к унификации обработки данных и знаний на основе их представления в виде системы многоместных отношений (АК-объектов). Новый математический аппарат – алгебра кортежей – позволяет анализировать внутреннюю структуру отношений и содержит специфические методы, способствующие уменьшению трудоемкости процедур логического вывода. Кроме того, в рамках рассмотренной алгебры кортежей разработаны новые способы организации интеллектуальных процедур.

Таким образом, АК создает единую методологическую основу для обработки данных и знаний, представленных в виде многоместных отношений, и может рассматриваться как расширение реляционной алгебры на задачу обработки знаний.

Литература

1. Codd, E.F. A relational model of data for large shared data banks. / E.F. Codd // Comm. ACM. - 1970. - V.13. - № 6. - P. 377-387.
2. Мартин, Дж. Организация баз данных в вычислительных системах / Дж. Мартин. – М.: Мир, 1980. – 664 с.
3. Олифер, В.Г. Сетевые операционные системы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2003. – 539 с.
4. Дейт, К. Дж. Введение в системы баз данных / К. Дж. Дейт:- 6-е издание: Пер. с англ. - М.; СПб.: Издательский дом “Вильямс”, 2000. – 848 с.
5. Буч, Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование: с примерами приложений на C++. / Г. Буч. - СПб. - М.: Бином, Невский диалект, 1998. – 560 с.
6. Документация по PostgreSQL 8.0.1. Всемирная группа разработчиков PostgreSQL. Частичный перевод с английского. – Режим доступа: <http://resurrection.ru/doc/postgres>.
7. Кайт, Т. Oracle для профессионалов / Т. Кайт. - М. - СПб., Киев: торгово - издательский дом “Diasoft”, 2003.
8. Страуструп, Б. Язык программирования C++. / Б. Страуструп. - 3-е изд. : Пер. с англ. - СПб., М.: Бином, Невский диалект, 1999. - 991 с.
9. Цаленко, М.Ш. Моделирование семантики в базах данных. /М.Ш. Цаленко. – М.: Наука, 1989. – 288 с. – 848 с.
10. Codd, E.F. Extending the Database Relational Model to Capture More Meaning /E.F. Codd // ACM Transactions on Database Systems. – Vol. 4. – № 4, December 1979. – P.397-434.
11. Kulik, B. Logical Analysis of Intelligence Systems by Algebraic Method / B. Kulik, A. Fridman, A. Zuenko // Sybernetics and Systems 2010: Proceedings of Twentieth European Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR 2010). - Vienna, Austria, 2010. - P.198-203. (ISBN 3-85206-178-8).
12. Kulik, B.A. Algebraic Method of Intelligent Data and Knowledge Processing / Boris A. Kulik, Alexander Ya. Fridman, Alexander A. Zuenko // Proceedings of First Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications. - Vladivostok, 6 - 9 September, 2010. – P.130-135. (ISBN 978-0-9803267-3-4).
13. Зуенко, А.А. Примеры применения алгебры кортежей в интеллектуальном анализе данных / А.А. Зуенко, Б.А. Кулик, А.Я. Фридман // Труды Двенадцатой национальной конф. по искусственному интеллекту с междунар. участием КИИ-2010 (20-24 сент. 2010 г., г. Тверь. конф. - Т.3. - М.: Физматлит, 2010. - С.279-287.
14. Зуенко, А.А. Развитие алгебры кортежей для логического анализа баз данных с использованием двуместных предикатов / А.А. Зуенко, А.Я. Фридман // Известия РАН. Теория и системы управления. - 2009. - №2. - С.95-103.

ОБРАБОТКА ТЕКСТОВ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА В МОДЕЛЯХ ПОИСКОВЫХ СИСТЕМ

В.В. Диковицкий, М.Г. Шишаев

Введение

Одной из основных функций современных информационных систем (ИС) является поиск элементов данных, удовлетворяющих некоторым признакам (информационный поиск). Специфика методических и технологических проблем, возникающих при организации такого поиска, обуславливается несколькими факторами. Прежде всего, это - характер контента, содержащегося в информационных ресурсах, входящих в систему. В современных ИС по-прежнему преобладает текстовый контент, однако все большее распространение приобретают мультимедийные ресурсы, содержащие мультимедиа-контент (графика, аудио и видео информация), а также использующие для повышения эффективности функционирования различные формы структуризации контента. Результатом структуризации становится деление информации на собственно данные, мета-данные, описывающие их структуру, и даже "мета-мета-данные", определяющие различные варианты структур данных. Такие особенности контента, в явном или неявном виде, определяют подходы к организации эффективного поиска информации в рамках соответствующего набора ресурсов.

Еще одним важным обстоятельством, оказывающим существенное влияние на эффективность механизмов поиска информации, является распределенный и, как следствие, гетерогенный характер современных информационных ресурсов и систем. Ориентированные на использование в условиях однородных информационных систем и ресурсов механизмы поиска (например, на базе простых индексов) резко теряют свою эффективность в применении к распределенным гетерогенным системам, где форматы представления данных и, соответственно, метаданные отличаются от ресурса к ресурсу или от системы к системе. Это обстоятельство заставляет исследователей и разработчиков искать пути создания универсальных методов и технологий информационного поиска, адекватных требованиям современных информационных систем.

Текст является одной из основных форм обмена информацией в обществе. Текстовая информация в различных форматах составляет значительную долю информационных ресурсов информационных систем. Поэтому создание и развитие технологий обработки текста привлекали большое внимание на всех этапах развития информационных систем. Наиболее распространенными системами этой категории

являются системы текстового поиска, задача которых заключается в поиске по заданной коллекции документов на естественном языке (ЕЯ) документов, удовлетворяющих информационным потребностям пользователей. В данной работе представлены основные принципы текстового поиска, методы обработки естественного языка и их использование в моделях поиска.

Методы информационного поиска и обработка текстов на естественном языке

Значительное место в технологиях текстового поиска занимает обработка ЕЯ. Под обработкой ЕЯ (Natural Language Processing, NLP) понимается решение задач, связанных с пониманием, анализом, выполнением различных операций над текстами, а так же их генерацией [6]. Примеры подобных задач: классификация, кластеризация хранимых коллекций документов, глубокий анализ текстов, перевод документов с одного языка на другой и т.д.

Все многообразие методов информационного поиска основываются на обработке и анализе текстов индексируемых документов*. Большинство ИПС являются системами с предпроцессингом - предварительной обработкой (индексированием) всех имеющихся в системе документов. Исключения составляют метапоисковые системы [9]. Перечислим основные трудности, возникающие при обработке текстов на ЕЯ:

- проблема синонимии;
- проблема омонимии;
- устойчивые сочетания слов;
- морфологические вариации.

Проблема синонимии. Одно понятие может быть выражено различными словами. В результате релевантные документы, в которых используются синонимы понятий, указанных пользователем в запросе, могут быть не обнаружены системой.

Проблема омонимии и явлений «смежных с омонимией». Грамматические омонимы - разные по значению слова, но совпадающие по написанию в отдельных грамматических формах. Это могут быть

* Под документом подразумевается некий объект, содержащий информацию в зафиксированном виде. Документы могут содержать тексты на естественном или формализованном языке, изображения, звуковую информацию и т.д.

слова одной или разных частей речи. Лексические омонимы - слова одной части речи, одинаковые по звучанию и написанию, но разные по лексическому значению.

Устойчивые сочетания слов. Словосочетания могут иметь смысл отличный от смысла, который имеют слова по отдельности.

Морфологические вариации. Во многих естественных языках слова имеют несколько морфологических форм, различающихся по написанию.

Существующие ПС используют различные методы обработки текстов ЕЯ. В современных технологиях текстового поиска используется не только аппарат лингвистики для анализа текстов, но и статистические методы, математическая логика и теория вероятностей, кластерный анализ, методы искусственного интеллекта, а так же технологии управления данными. Рассмотрим два основных подхода к обработке и анализу текстов ЕЯ – *статистический и лингвистический* (рис.1).

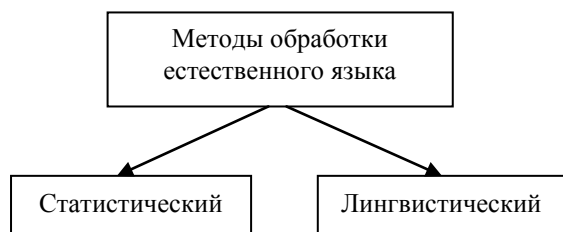


Рис.1. Методы обработки естественного языка

В основе *статистического подхода* лежит предположение, что содержание текста отражается наиболее часто встречающимися словами. Суть статистического анализа заключается в подсчете количества вхождений слов в документ. Распространенным является сопоставление каждому терму t в документе некоторого неотрицательного веса. Веса термов вычисляются множеством различных способов. Самый простой из них – положить «вес» равный количеству появлений терма t в документе d , обозначается $tf_{t,d}$ (term frequency)[1]. Этот метод взвешивания не учитывает дискриминационную силу терма. Поэтому в случае, когда доступна статистика использования термов по коллекции, лучше работает схема $tf-idf$ вычисления весов, определяемая следующим образом:

$$tf - idf_{i,d} = tf_{i,d} \times idf_i,$$

где $idf_i = \log \frac{N}{df_i}$ - обратная документальная частота

(inverse document frequency) терма t , df_i - документальная частота (document frequency), определяемая как количество документов в коллекции, содержащих терм t , N - общее количество документов в коллекции. Схема $tf-idf$ и ее модификации широко используются на практике.

Эффективным подходом, основанным на статистическом анализе, является латентно-семантическое индексирование. Латентно-семантический анализ –

это теория и метод для извлечения контекстно-зависимых значений слов при помощи статистической обработки больших наборов текстовых данных [2]. Латентно-семантический анализ основывается на идее, что совокупность всех контекстов, в которых встречается и не встречается данное слово, задает множество обоюдных ограничений, которые в значительной степени позволяют определить похожесть смысловых значений слов и множеств слов между собой.

Главный недостаток статистических методов состоит в невозможности учета связности текста, а представление текста как простого множества слов недостаточно для отражения его содержания. Текст представляет набор слов, выстроенных в определенной заданной последовательности. Преодолеть этот недостаток позволяет использование лингвистических методов анализа текста.

Существуют следующие уровни *лингвистического анализа*: графематический, морфологический, синтаксический, семантический. Результаты работы каждого уровня используются следующим уровнем анализа в качестве входных данных (рис. 2).

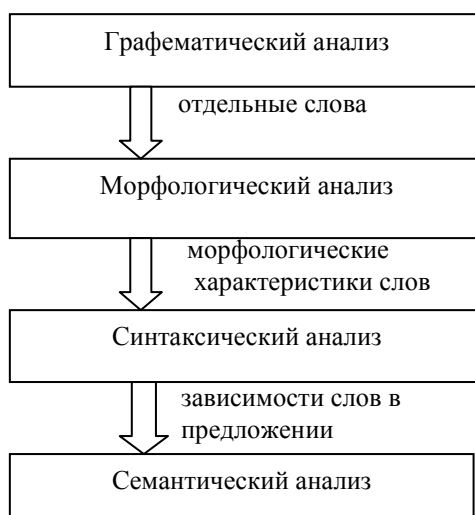


Рис.2. Уровни лингвистического анализа

Целью графематического анализа является выделения элементов структуры текста: параграфов, абзацев, предложений, отдельных слов и т. д.

Целью морфологического анализа является определение морфологических характеристик слова и его основной словоформы. Особенности анализа сильно зависят от выбранного естественного языка.

Целью синтаксического анализа является определение синтаксической зависимости слов в предложении. В связи с присутствием в русском языке большого количества синтаксически омонимичных конструкций, наличием тесной связи между семантикой и синтаксисом, процедура автоматизированного синтаксического анализа текста является трудоемкой. Сложность алгоритма увеличивается экспоненциально при увеличении количества слов в предложении и числа используемых правил.

Разработки в области семантического анализа текста связаны с областью искусственного интеллекта, делающей акцент на смысловом понимании текста. В настоящее время успехи в этом направлении достаточно ограничены. Разработанные семантические анализаторы обладают высокой вычислительной сложностью и неоднозначностью выдаваемых результатов [10].

Модели информационного поиска

В ходе развития информационно-поисковых систем было предложено множество моделей информационного поиска, далее рассмотрим основные.

Модель поиска – это сочетание следующих составляющих [6]:

1. Формат представления документов.
2. Формат представления запросов. Запрос – формализованный способ выражения информационных потребностей пользователя ИПС. Для этого используется язык поисковых запросов, синтаксис которых варьируется от системы к системе.
3. Функция соответствия документа запросу. Степень соответствия запроса и найденного документа (релевантность) – субъективное понятие, поскольку результаты поиска, уместные для одного пользователя, могут быть неуместными для другого.

В различных моделях ИПС вид критерия релевантности документов зависит от вида модели информационного поиска, например в моделях семантического поиска, точное вхождение слов запроса в документ не является основополагающим критерием, как, например, в теоретико-множественных моделях.

Вариации этих составляющих определяют множество реализаций систем поиска. Рассмотрим наиболее распространенные модели поиска.

Модели традиционного информационного поиска принято делить на три вида: теоретико-множественные (булевская, нечетких множеств, расширенная булевская), алгебраические (векторная, обобщенная векторная, латентно-семантическая, нейросетевая), вероятностные (рис.3).

Булевская модель – модель поиска, опирающаяся на операции пересечения, объединения и вычитания множеств. Запросы представляются в виде булевских выражений из слов и логических операторов. Релевантными считаются документы, которые удовлетворяют булевскому выражению в запросе. Основным недостатком булевской модели заключается в непригодности для ранжирования результатов поиска.

Векторная модель – представление коллекции документов векторами из одного общего для всей коллекции векторного пространства. Документы и запросы представляются в виде векторов в N-мерном евклидовом пространстве. Вес термина в документе можно определить различными способами. Например, можно подсчитать количество употреблений термина в документе, так называемую частоту термина, — чем чаще слово встречается в документе, тем больший у него будет вес. Если терм не встречается в документе, то его вес в этом документе равен нулю.

Все термины, которые встречаются в документах обрабатываемой коллекции, можно упорядочить. Если теперь для некоторого документа выписать по порядку, включая те, которых нет в этом документе, получится вектор, который и будет представлением данного документа в векторном пространстве.

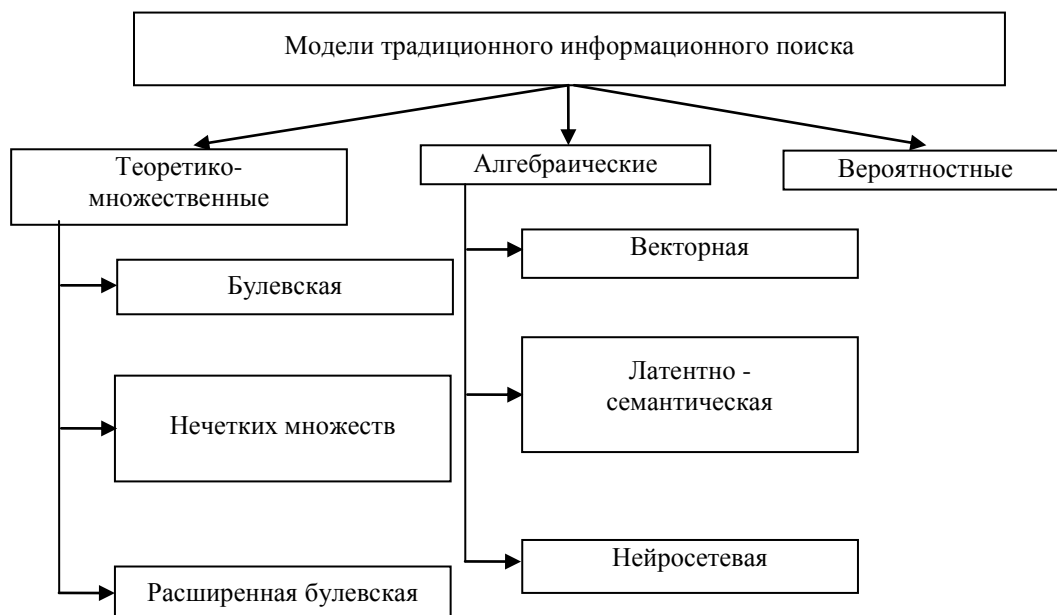


Рис.3. Модели традиционного информационного поиска

Размерность этого вектора, как и размерность пространства, равна количеству различных термов во всей коллекции, и является одинаковой для всех документов. Релевантность в данной модели выражается через подобие векторов. Для вычисления подобия векторов используется косинусная метрика. Учитывать частотные характеристики слов предложили в 1957 году Jouce и Needham, и в 1968 году векторная модель была реализована Джерардом Солтоном* в поисковой системе SMART (Salton's Magical Automatic Retriever of Text) [11]. Векторно-пространственная модель связана с расчетом массивов высокой размерности и малоприспособна для обработки больших массивов данных.

В 1977 году Robertson и Sparck-Jones реализовали вероятностную модель [12]. Релевантность в этой модели рассматривается как вероятность того, что данный документ может оказаться интересным пользователю. При этом подразумевается наличие уже существующего первоначального набора релевантных документов, выбранных пользователем или полученных автоматически при каком-нибудь упрощенном предположении. Вероятность оказаться релевантным для каждого следующего документа рассчитывается на основании соотношения встречаемости терминов в релевантном наборе и в остальной, «нерелевантной» части коллекции. Вероятностная модель характеризуется низкой вычислительной масштабируемостью, необходимостью постоянного обучения системы.

Семантический поиск

Одно из перспективных направлений развития информационно-поисковых систем – построение моделей «семантического» поиска. Семантический поиск — вид автоматизированного полнотекстового информационного поиска с учетом смыслового содержания слов и словосочетаний запроса пользователя и предложений текстов проиндексированных информационных ресурсов. Семантический поиск, например, позволяет найти документы, вовсе не содержащие слов из поискового запроса, но имеющие к ней отношение. Попытки реализации семантического поиска начались в конце 20 века. В 2000 г. P. Vakkari [15] предложил способ поиска схожих по семантике документов на основе сопоставления их лексических векторов.

Существующие системы семантического поиска

В трудах Гавриловой Т.А., Хорошевского В.Ф. [17, 18] исследуется вопрос о применении онтологического подхода для информационного поиска. Онтологии являются методами представления и обработки знаний и запросов, и предназначены для описания семантики данных для некоторой предметной области и решения проблемы несовместимости и противоречивости понятий.

Онтологии обладают собственными средствами обработки (логического вывода), соответствующими задачам семантической обработки информации. Поэтому онтологии получили широкое распространение в решении проблем представления знаний и инженерии знаний, семантической интеграции информационных ресурсов, информационного поиска и т.д.

Определение онтологии дано в работе Gruber T.R «A Translation Approach to Portable Ontology Specifications»[13]: *явная спецификация концептуализации, где в качестве концептуализации выступает описание множества объектов и связей между ними.*

В работе Wielinga B., Schreiber A.T., Jansweijer [14], сделана попытка дать математические определения понятий "модель концептуализации предметной области", "база знаний предметной области" и "модель онтологии предметной области".

Онтология определяет общий словарь для ученых, которым нужно совместно использовать информацию в предметной области. Она включает машинно-интерпретируемые формулировки основных понятий предметной области и отношения между ними.

В России информационно-поисковая система с использованием онтологии была впервые реализована авторами Добров Б.В., Лукашевич Н.В., Сыромятников С.В., Загоруйко Н.Г. в информационно-поисковой системе УИС «РОССИЯ» (Университетская информационная система). Поступающие на вход информационной системы потоки документов подвергаются автоматической лингвистической обработке, включающей в себя следующие этапы: морфологический анализ, терминологический анализ, рубрицирование, аннотирование [4]. Терминологический анализ реализован на основе Тезауруса по общественно-политической тематике. На базе Тезауруса осуществляется автоматическое концептуальное индексирование входящего потока текстов и производится процедура разрешения многозначных терминов.

Основная проблема при реализации применении онтологического подхода - отсутствие достаточно больших и качественных онтологий предметных областей, особенно на русском языке.

Осипов Г.С. и соавторы предложили собственную модель семантического поиска, реализовав ее в информационно-поисковой системе «Ехactus», в которой объединены статистические и лингвистические методы поиска. Из статистических характеристик текста Ехactus учитывает TF*IDF веса термов и значимость фрагментов текстов (на основе HTML-разметки документов). Лингвистическая составляющая – значения синтаксем (минимальных семантико-синтаксических единиц текста) и их сочетаемость в конкретном предложении [5].

В теории коммуникативной грамматики [8] русского языка опровергается традиционное противопоставление синтаксиса семантике, которое

* Gerard Salton (Sahlman) 1927-1995 гг.

предполагает разделение знаний о законах формирования связной речи на два уровня: знания о форме (синтаксис) и знания о значении (семантика).

Основополагающая идея коммуникативной грамматики заключается в том, что синтаксис должен изучать именно осмысленную речь, а синтаксические правила должны учитывать категориальные значения слов, чтобы иметь возможность определять обобщенные значения любой синтаксической конструкции – от слова до словосочетания и простого предложения. Очевидно, что одних морфологических характеристик недостаточно, чтобы слово стало конструктивной единицей синтаксиса. Слово-лексема еще не является синтаксической единицей, слово – единица лексики, а в разных его формах могут реализоваться или актуализироваться разные стороны его общего значения. Таким образом, решающую роль здесь играет обобщенное значение, то есть категориально-семантический класс слова. Обобщенное значение определяет синтаксические возможности слова и способы его функционирования. Формируя и изучая связную речь, синтаксис имеет дело с осмысленными единицами, несущими свой не индивидуально-лексический, а обобщенный, категориальный смысл в конструкциях разной степени сложности. Эти единицы характеризуются всегда взаимодействием морфологических, семантических и функциональных признаков. Эти единицы получили название *синтаксем*. Важно подчеркнуть, что семантическое значение складывается в результате соединения категориального значения и морфологической формы, реализуется в определенной синтаксической позиции. Рассмотрение слова изолированно, в отрыве от текста, не позволяет установить синтаксическое значение, а следовательно – осуществлять семантический поиск.[8]

Методы семантического поиска в информационно-поисковой системе «Ехactus» применяются к обработке текстов запросов пользователей и возвращаемых документов. Семантическая обработка включает в себя построение семантического поискового образа запроса, построение семантического образа документов и сравнение получившихся образов. В результате вычисляются дополнительные виды релевантности, позволяющие фильтровать документы, не соответствующие поисковому запросу в указанном понимании, т.е. отбирать только те тексты, в которых семантическое значение синтаксемы совпадает с ее семантическим значением в запросе (что невозможно в обычных статистических методах).

Заключение

Приведенные традиционные модели поисковых систем изначально предполагали рассмотрение документов как множества отдельных слов, не зависящих друг от друга. Вероятностная модель характеризуется низкой вычислительной масштабируемостью, необходимостью постоянного обучения системы. Наиболее распространенными являются алгебраические теоретико-множественные модели, т.к. их прак-

тическая эффективность обычно выше. Следует отметить, что предлагаемые в последнее время новые реализации проектов информационного поиска зачастую являются гибридными моделями и обладают свойствами моделей разных классов. Одно из перспективных направлений развития информационно-поисковых систем – построение моделей семантического поиска, основная задача которых заключается в анализе текста, т.е. извлечение смысла из текста и отображение его в формальную модель, которая позволяет находить смысловую близость двух текстов. Стоит признать, что потенциал у таких систем действительно большой, однако в настоящее время реализованы далеко не все возможные семантические технологии. По сути, сейчас они только помогают выделить ключевые слова из фраз, построенных на естественном языке и подобрать дополнительные словоформы для составления корректного поискового запроса. Данное направление методов поиска требует развития.

Литература

1. Brin, S. The Anatomy of a Large-Scale Hypertextual Web Search Engine / Sergey Brin, Lawrence Page// – Режим доступа: <http://infolab.stanford.edu/pub/papers/google.pdf>
2. Некрестьянов, И.С. Латентно-семантический анализ: Введение в латентно-семантический анализ. - Режим доступа: <http://meta.math.spbu.ru/~igor/papers/lisa-prg/node2.html>
3. Studer, R. Knowledge Engineering: Principles and Methods/ Studer R., Benjamins V.R., Fensel D. // In Data & Knowledge Engineering, 25, 1998. – P. 161 – 197.
4. Журавлев, С.В. УИС «РОССИЯ». Автоматическое тематическое индексирование полнотекстовых документов / С.В. Журавлев, Б.В. Добров //Материалы научно-практической конф. «Проблемы обработки больших массивов неструктурированных текстовых документов», 2001.
5. Осипов, Г.С. Семантический поиск в сети интернет средствами поисковой машины Ехactus /Г.С. Осипов, И.А. Тихомиров, И.В. Смирнов. – Режим доступа: http://www.raai.org/cai-08/files/cai-08_exhibition_31.doc
6. Коголовский, М.Р. Перспективные технологии информационных систем / М.Р. Коголовский. –М.: Компания АйТи, 2003. – 288 с.
7. Baeza-Yates R. Modern Information Retrieval / R. Baeza-Yates , B. Ribeiro-Neto // ACM Press Series/Addison Wesley, New York, 1999. – 513 p.
8. Золотова, Г.А. Коммуникативная грамматика русского языка / Г.А. Золотова, Н. К. Онипенко, М.Ю. Сидорова //Институт русского языка РАН им. В.В. Виноградова. - М., 2004. – 544 с.

9. Тихонов, В. Архитектура метапоисковых систем – Режим доступа:
http://www.cmsmagazine.ru/library/items/internet_info/metasearch/
10. Калининченко, А.В. Сущность проблемы анализа текста в полнотекстовых поисковых системах. Подходы и пути решения. – Режим доступа:
<http://www.jurnal.org/articles/2010/inf12.html>
11. Солтон, Дж. Динамические библиотечно-информационные системы. – М.: Мир, 1979.
12. Лифшиц, Ю. Модели информационного поиска. – Режим доступа:
<http://yury.name/internet/03ianote.pdf>
13. Gruber, T.R. A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. – Режим доступа:
<http://tomgruber.org/writing/ontolingua-kaj-1993.pdf>.
14. Wielinga, B. Framework and Formalism for Expressing Ontologies / B. Wielinga etc.// ESPRIT Project 8145 KACTUS, Free University of Amsterdam Deliverable, DO1b.1, 1994.
15. Vakkary, P. eCognition and changes of search terms and tactics during task performance // RIAO'2000.
16. Гаврилова, Т.А. Онтологический подход к управлению знаниями при разработке корпоративных информационных систем / Т.А. Гаврилова // Новости искусственного интеллекта, 2003. – №2. – С. 24-30.
17. Гаврилова, Т.А. Использование онтологии в системах управления знаниями. – Режим доступа:
http://big.spb.ru/publications/bigspb/kni/use_ontology_m_suz.shtml
18. Гаврилова, Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем /Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. -СПб.: Изд-во «Питер», 2001. - 382 с.

СЕТИ ПЕТРИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ*М.В. Мальков, С.Н. Малыгина*

Эмпирические системы – события и явления внешнего мира, называемые «ситуациями», являются системами, состоящими из взаимосвязанных частей, каждая из которых вносит свой вклад в характеристики целого. При анализе эмпирические системы абстрагируются до уровня системы асинхронно взаимодействующих процессов и задают поведение данной системы. В настоящее время большой и устойчивый интерес проявляется к средствам моделирования и анализа сложных параллельных и распределенных систем. Такими системами являются, например, вычислительные машины и комплексы с параллельной и распределенной архитектурой, параллельные программы и алгоритмы, протоколы взаимодействия (коммуникационные, верифицирующие), модели технологических и бизнес-процессов. При исследовании сложной системы могут интересовать различные ее свойства. Математические методы во многих случаях позволяют получить однозначный ответ на подобные вопросы. При этом значение имеет первоначальный выбор используемого формализма, то есть способа моделирования реальной системы. Для решения задач анализа и верификации в теории параллельных и распределенных вычислений в настоящее время предлагаются различные способы моделирования реальных систем. К числу наиболее известных формализмов можно отнести конечные автоматы, алгебры процессов, CCS Р. Милнера, языки трасс, а также различные их модификации, в том числе с добавлением конструкций времени и вероятности. Различные классы моделей обладают различными свойствами выразительности и алгоритмической разрешимости. Причем эти два параметра модели, как правило, противоречат друг другу: выбранный формализм может оказаться или очень выразительным и не поддающимся анализу, или же позволяющим эффективно решать все необходимые проблемы, но при этом слишком слабым, недостаточно полно описывающим моделируемую систему. Для формализации процессов в дискретных динамических системах самой разной природы необходимо обратиться к абстракциям условий, событий, причинно-следственных связей и т.п. А если этим абстракциям поставить в соответствие определенные графические примитивы и связать их линиями, несущими определенную логику, то получится некая сеть, т.е. графический образ процесса. Сетевые методы описания и анализа процессов хороши тем, что используемые в них абстракции близки к интуитивным представлениям о процессах. Сеть является графическим образом процесса. Пример - сети Петри или N-схемы [8]. Сети Петри - математический аппарат для моделирования динамических дискретных систем. Впервые описаны Карлом Петри в 1962 г. Популярность сетей Петри

вызвана удачным представлением различных типов объектов, присутствующих во многих моделируемых системах и “событийным” подходом к моделированию. Они обладают наилучшими возможностями для описания взаимосвязей и взаимодействий параллельно работающих процессов. Сети Петри являются мощным инструментом исследования моделируемых систем благодаря их возможности описания многих классов дискретных, асинхронных, параллельных, распределенных, недетерминированных систем, благодаря наглядности представления их работы, поэтому математическому и программному аппарату анализа. Сети Петри - достаточно выразительная модель параллелизма, обладающая в то же время значительным набором разрешимых свойств. Сети Петри разрабатывались специально для моделирования тех систем, которые содержат взаимодействующие параллельные компоненты, например аппаратное и программное обеспечение ЭВМ, гибкие производственные системы, а также социальные и биологические системы. Существуют определённые области, в которых сети Петри являются идеальным инструментом для моделирования: это области, в которых события происходят синхронно и независимо. Одной из таких областей является аппаратное и программное обеспечение ЭВМ и других систем. Существует несколько формальных определений сети Петри, отличающихся способами задания элементов и связей в сети.

Анализ сетей Петри помогает получить важную информацию о структуре и динамическом поведении моделируемой системы. Эта информация может быть полезна для оценки моделируемой системы и выработки предложений по её усовершенствованию и изменению. Анализ результатов может сказать о том, какие действия происходят, какие состояния им предшествовали, и какие состояния примет система после выполнения действия, в каких состояниях пребывала или не пребывала система, какие состояния в принципе недостижимы. В сетях Петри нет строгого понятия процесса. Нет также однозначной последовательности исполнения. Это позволяет гибко использовать данный формализм для отображения и анализа причинно-следственных связей в самых разнообразных процессах, происходящих в дискретных динамических системах, вне зависимости от их природы. Поведение системы описывается выполнением событийной модели. Сеть Петри моделирует некоторую структуру и динамику ее функционирования. В настоящее время определены и изучены разнообразные классы сетей Петри.

Сеть Петри имеет четыре базовых элемента: позиции, переходы, дуги и метки (фишки или маркера) – см. рис.1. Позиция - это состояние, в котором находится система или определенная ее часть. Текущее

состояние сети Петри характеризуется неупорядоченным набором позиций. Каждой позиции сети ставится в соответствие натуральное число, указывающее количество фишек в данной позиции. Это число называют разметкой позиции, а совокупность таких чисел для всех позиций сети называют разметкой сети. Позиция может и не содержать фишек, т.е. иметь нулевую разметку. Процесс перераспределения фишек называется выполнением сети Петри. Позиции и переходы соединены направленными дугами, каждая из которых имеет свой вес. Дуги можно разделить на два типа: дуги, направленные от позиции к переходам и дуги, направленные от переходов к позициям. При срабатывании перехода фишка удаляется из каждой его входной позиции и вносится в каждую выходную позицию. Срабатывание перехода происходит мгновенно - за нулевое время. Если одновременно активированы два либо более переходов, то срабатывает только один из них (одновременное срабатывание двух переходов в сетях Петри не допускается). Выбор запускаемого перехода осуществляется случайно, в этом смысле сети Петри - недетерминированная модель. Помимо недетерминированности сеть Петри характеризуется асинхронностью - она работает не в физическом, а в логическом (дискретном) времени, определяемом частичной упорядоченностью событий (переходов). Для детерминизации сетей Петри необходимо дополнительно привлечь механизм выбора - ввести управление сетью.

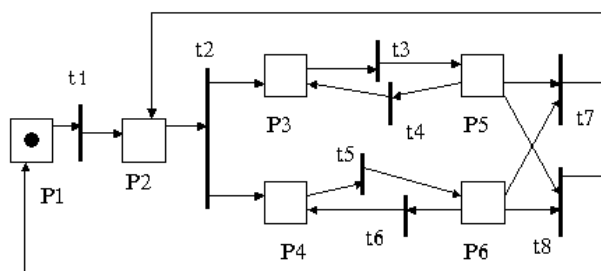


Рис.1. Пример сети Петри

$P1 - P6$ обозначают позиции, $t1- t8$ обозначают переходы, чёрный кружок — фишка (метка или маркер). При срабатывании перехода $t1$ фишка переносится из позиции $P1$ в позицию $P2$, при срабатывании перехода $t2$ фишка переносится из позиции $P2$ в позиции $P3$ и $P4$ и т.д.

Сети Петри занимают промежуточное положение между машинами Тьюринга и конечными автоматами. Вообще говоря, конечные автоматы являются частным случаем сетей Петри. Сети Петри лучше всего подходят для описания любых асинхронных систем, тогда как конечные автоматы - для последовательных систем. Наглядность динамики и композиционные возможности сетей Петри выше, чем у конечных автоматов, но при этом компактность представления предпочтительнее у конечных автоматов. Конечные автоматы эквивалентны автоматным сетям Петри - сетям, в которых каждый переход может иметь одну входную и одну выходную пози-

цию. Конечные автоматы анализировать гораздо проще, чем сети Петри и проще, чем машины Тьюринга. Что касается отношения сетей Петри к машине Тьюринга, то достаточно расширить сеть Петри сдерживающими дугами (позволяющими определять отсутствие фишек в данной позиции), как она тут же становится эквивалентной машине Тьюринга [7].

Сети Петри можно интерпретировать по-разному. Можно представить себе, что позиции представляют условия (буфер пуст, файл закрыт и т.д.), а переходы - события (получение информации в буфер, запись в файл). Однако основная интерпретация сетей Петри для моделирования систем дается в терминах событий и условий. Переходы сетевой модели интерпретируются как события, входные позиции перехода - как условия возникновения события (предусловия), выходные позиции - как условия, возникающие после совершения события (постусловия). Состояние системы описывается совокупностью условий. Функционирование системы состоит в осуществлении последовательности событий. Для возникновения события необходимо выполнение некоторых предусловий. Возникновение событий может привести к выполнению постусловий. В сети Петри условия моделируются позициями, события - переходами.

Наглядность сетевого моделирования систем существенно повышается, если использовать теоретико-графовое представление сети Петри в виде двудольного ориентированного мультиграфа. Напомним, что двудольный граф — это такой граф, множество вершин которого разбивается на два подмножества и не существует дуги, соединяющей две вершины одного подмножества. Граф сетей Петри является мультиграфом, т.к. он допускает существование кратных дуг от одной вершины к другой [8]. Сеть Петри представляет собой ориентированный граф с вершинами двух типов - позициями и переходами, где дугами могут соединяться только вершины различных типов.

Предметом теоретического исследования сетей Петри является процесс их функционирования, т.е. возможные последовательности срабатывания переходов и свойства получаемых при этом разметок сети. И, как обычно в математике, такие исследования формулируются в виде утверждений двух основных типов - утверждение о существовании и утверждения об обязательности.

Анализ сетей Петри заключается в распознавании ряда свойств, характеризующих сеть. Основными свойствами сети Петри являются:

- ограниченность - число фишек в любой позиции сети не может превысить некоторого значения K . Под ограниченностью понимают свойство сети не допускать превышения количества фишек в данной позиции некоторого фиксированного числа;
- безопасность — частный случай ограниченности, $K=1$. Безопасной является такая сеть Петри, в которой ни при каких условиях не может появиться более одной метки в каждой из позиций. Для исследуемой системы это означает возможность функционирования ее в стационарном режиме. На основе

анализа данного свойства могут быть определены требования к буферным накопителям в системе;

- достижимость – возможность перехода сети из одного заданного состояния (характеризуемого распределением фишек) в другое. Граф достижимости – одна из основных характеристик сети Петри. С помощью этого графа описываются возможные варианты функционирования сети. Такой граф имеет вершины, которые являются возможными маркировками. Задача достижимости – одна из основных задач, решаемая при анализе сетей Петри, к которой сводится множество других задач;

- сохраняемость – постоянство загрузки ресурсов, $\sum A_i N_i = \text{const}$, где N_i — число фишек в i -той позиции, A_i — весовой коэффициент;

- живость. Под живостью перехода понимают возможность его срабатывания в данной сети при начальной разметке. Анализ модели на свойство живости позволяет выявить невозможные состояния в моделируемой системе (например, неисполняемые ветви в программе).

Одна из основных проблем в теории сетей Петри – задача о конечности функционирования сети (о достижении тупиковой разметки, т.е. разметке, при которой ни один переход не может сработать). Другое направление исследования функционирования сети Петри связано с изменением количества фишек в конкретной позиции в процессе функционирования сети.

Выполнением сети Петри управляют количество и распределение фишек в сети. Фишки управляют выполнением переходов сети, поскольку сеть Петри выполняется посредством запуска переходов. Переход может запускаться только в том случае, когда он разрешен. Входные позиции конкретного перехода – те позиции, из которых исходят дуги. Переход срабатывает, если количество фишек в каждой входной позиции перехода не меньше количества дуг, соединяющих эту позицию с переходом. Срабатывание перехода состоит в изъятии фишек из каждой входной позиции и помещении их в каждую выходную позицию. Причем, количество фишек, изымаемых из конкретной позиции, или помещаемых в конкретную позицию равно количеству дуг, соединяющих срабатывающий переход с данной конкретной позицией. Сеть останавливается, если при некоторой разметке не может сработать ни один из ее переходов. Такая разметка называется тупиковой. Если одновременно активированы два либо более переходов, то срабатывает только один из них (одновременное срабатывание двух переходов в сетях Петри не допускается). Переход разрешен, если входная позиция содержит, хотя бы одну фишку. При срабатывании перехода маркировка сети изменяется следующим образом: из входных позиций перехода удаляется по одной фишке, а в выходные – добавляется по одной.

Важным понятием сетей Петри является «событие». Событием называют срабатывание перехода, при котором фишки из входных позиций этого перехода перемещаются в выходные позиции. События происходят мгновенно, либо одновременно, при

выполнении некоторых условий. Моделирование в сетях Петри осуществляется на событийном уровне. Определяются, какие действия происходят в системе, какие состояния предшествовали этим действиям и какие состояния примет система после выполнения действия. Анализ состояний не дает числовых характеристик, определяющих состояние системы. В сетях Петри события и условия отображаются абстрактными символами, называемыми переходами и позициями. Условия-позиции и события-переходы связаны отношениями зависимости, которые отображаются с помощью ориентированных дуг. Выполнение условий отображается помещением соответствующего числа фишек в соответствующую позицию. Состояние системы формируется в результате реализации локальных операций, называемых условиями реализации событий. Условие имеет емкость:

- условие не выполнено – емкость равна 0;
- условие выполнено – емкость равна 1
- условие выполнено с n -кратным запасом – емкость равна n .

Определенная комбинация условий может стимулировать определенное событие, которое вызовет в свою очередь изменение условий. Если число фишек более 2-3, емкость условия может быть отображена числом. Каждый переход имеет нуль или более входных дуг, исходящих из позиций, и нуль или более исходящих дуг, направленных к выходным позициям. Любой разрешенный переход может произойти, удалив все входные фишки и установив фишки в выходных позициях, что отражает изменение условий (и емкостей). Если числа входных и выходных дуг отличаются, число фишек не сохраняется. Если разрешено более одного перехода, то может произойти любой из них. Причем один из осуществившихся переходов, может блокировать реализацию всех остальных переходов из данного набора. Формализм сетей Петри не предусматривает каких-либо механизмов преодоления подобных конфликтов. Переход осуществляется, если выполнены все условия реализации данного события. Если два или более переходов могут осуществиться (выполнены все условия) и они не имеют общих входных позиций, то их реализация некоррелирована и может происходить параллельно или в любой последовательности. Выбор перехода, вообще говоря, не определен. Переходы из состояния в состояние для каждого процесса или объекта рассматриваются независимо. Если условия ни для одного из переходов не реализованы, сеть переходит в заблокированное состояние [3]. Функционирование сети Петри – последовательная смена маркировок в результате срабатывания переходов. Состояние сети в данный момент времени определяется ее текущей маркировкой. Маркер свидетельствует о том, что переменная (буфер) имеет значение, а если позиция имеет несколько маркеров, то это может интерпретироваться как наличие нескольких значений в буфере. Маркеры могут перемещаться по сети. Каждое изменение маркировки называют событием, причем каждое событие связано с определенным переходом. Считается, что события

происходят мгновенно и одновременно при выполнении некоторых условий. Каждому условию соответствует определенная позиция. Совершению события соответствует срабатывание (возбуждение или запуск) перехода, при котором фишки из входных позиций перемещаются в выходные позиции. Последовательность событий образует моделируемый процесс. Завершение процесса функционирования приводит сеть к разметке, называемой конечной.

Сети Петри имеют ряд недостатков, ограничивающих их возможности. Основной из них - время срабатывания перехода считается равным нулю, что не позволяет исследовать с помощью сетей Петри временные характеристики моделируемых систем [8]. Однако, можно вводить ряд правил и условий в алгоритмы моделирования, получая ту или иную разновидность сетей Петри. Так, можно ввести модельное время, чтобы моделировать не только последовательность событий, но и их привязку ко времени. Это осуществляется приданием переходам веса - продолжительности срабатывания, которую можно определять, используя задаваемый при этом алгоритм. Полученную модель называют временной сетью Петри. Если задержки являются случайными величинами, то сеть называют стохастической. В стохастических сетях возможно введение вероятностей срабатывания возбужденных переходов.

Развитие теории сетей Петри привело к появлению, так называемых, «цветных» сетей Петри. Понятие цветности в них тесно связано с понятиями переменных, типов данных, условий и других конструкций, более приближенных к языкам программирования. Расширение простых сетей в цветные заключается в добавлении информации к элементам сети, основываясь на которой, при определенных условиях, можно преобразовать цветные сети в простые [2]. При этом:

- фишки трансформируются в объект, который может содержать в себе один или более параметров, каждый из которых может принимать дискретный набор значений. Чтобы различать фишки по типам их окрашивают в различные цвета (отсюда и название - цветные);

- к позициям добавляется информация о типах фишек;

- к дугам, исходящим из позиций, добавляется информация о типах фишек, которые могут участвовать в возбуждении переходов;

- к переходам может быть добавлена информация с инструкцией возбуждения перехода в зависимости от значений переменных, содержащихся в фишках;

- к исходящим дугам добавляется информация о типах фишек, исходящих из перехода и о преобразовании переменных;

- к начальной маркировке сети добавляется информация о значении переменных, содержащихся в фишках;

- для передачи данных между фишками различных цветов используются выражения на дугах. Переменные на дугах, входящих в переход, конкретизируются значениями компонент цветов фишек, находясь в входной позиции. Выражения на дугах, исходящих из перехода, формируют фишку для выходной позиции. Таким образом, переход может порождать фишки любого цвета;

- для анализа систем с хронологией (например, систем реального времени) вводится временной механизм, реализованный с помощью системных часов (глобальных или специальных) и так называемых штампов, отражающих локальное (событийное) время, которые несут фишки. Временной штамп фишки назначается при ее инициализации в начальной разметке или при создании фишки переходом, и может измениться на переходах или дугах. В результате фишка становится доступной для перехода, если ее штамп находится в определенных соотношениях с системными часами.

При преобразовании цветной сети в простую, все действия переходят в структуру сети, что достигается разбиением позиций и переходов на количество равное произведению множества значений всех типов данных, соответствующих местам и переходам. При этом все переменные в сети получают уже заданными и вместо дуг цветной сети рисуются дуги, соединяющие места и переходы, согласно своим «цветным» описаниям.

Сети Петри бывают первого и второго рода. Сеть первого рода - это цветная сеть Петри, описанная на языке предписаний.

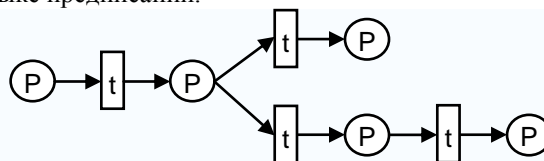


Рис.2. Сеть первого рода

Сеть второго рода - это сеть, представленная в виде иерархической композиции объектов.

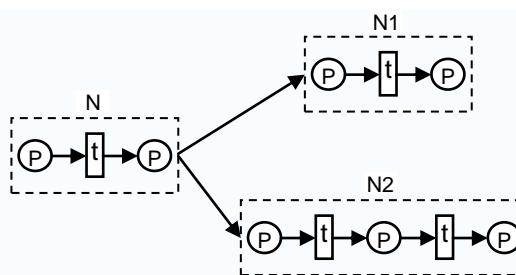


Рис.3. Сеть второго рода

Предметом теоретического исследования сетей Петри является процесс их функционирования, т.е. возможные последовательности срабатывания переходов и свойства получаемых при этом разметок сети. Такие исследования формулируются, как правило, в виде утверждений двух основных типов - утверждение о существовании и утверждения об обязательности. Одна из основных проблем в теории сетей Петри - задача о конечности функционирования сети

(о достижении тупиковой разметки). Суть проблемы состоит в ответе на вопрос для данной конкретной сети - существует ли такая последовательность срабатывания переходов, которая приводит сеть к тупиковой разметке (т.е. разметке, при которой ни один переход не может сработать).

Сети Петри моделируют широкий класс систем, но для некоторых распространенных специальных классов систем удобно применять сети Петри не общего вида, а некоторые их подклассы или расширения (иерархические сети, раскрашенные сети Петри, сети событий, временные сети событий), более адекватные рассматриваемым системам. Некоторые виды сетей Петри:

- временная сеть – переходы обладают весом, определяющим продолжительность срабатывания (задержку);
- стохастическая сеть – задержки являются случайными величинами;
- функциональная сеть – задержки определяются как функции некоторых аргументов, например, количества фишек в каких-либо позициях, состояния некоторых переходов;
- цветная сеть – метки могут быть различных типов, обозначаемых цветами, тип метки может быть использован как аргумент в функциональных сетях;
- ингибиторная сеть – возможны ингибиторные дуги, запрещающие срабатывание перехода, если во входной позиции, связанной с переходом ингибиторной дугой, находится метка;
- иерархическая сеть – содержит не мгновенные переходы, в которые вложены другие, возможно, также иерархические, сети. Срабатывание такого перехода характеризует выполнение полного жизненного цикла вложенной сети.

Развитие теории сетей Петри проводится по двум направлениям - формальному и прикладному. Формальная теория сетей Петри занимается разработкой основных средств, методов и понятий, необходимых для применения сетей Петри. Прикладная теория сетей Петри связана главным образом с применением сетей Петри к моделированию систем и их анализу [1].

Композиционный подход к построению сетей Петри предполагает возможность построения более сложных сетей из менее сложных составляющих. Для этого вводятся точки доступа, которые позволяют объединять простые сети путём синхронизации событий и состояний (переходов и мест). Для построения композитных сетей используются две основные операции над сетями Петри:

1. Операция слияния переходов – позволяет породить и описывать синхронизацию параллельных процессов;
2. Операция слияния позиций – позволяет применять к сетям операции последовательной композиции, выбора, итерации и другие.

Рассмотрим кратко математический формализм сетей Петри. Итак, сеть Петри называется четвёрка элементов:

$$C = (P, T, I, K),$$

где $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, $n > 0$ множество позиций (конечное),

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$, $m > 0$ множество переходов (конечное),

$I: T \rightarrow P$ функция входов (отображение множества переходов во входные позиции),

$K: T \rightarrow P$ функция выходов (отображение множества переходов в выходные позиции).

Если $p_i \in I(t_j)$, то p_i – входная позиция j -го перехода, если $p_i \in K(t_j)$, то p_i – выходная позиция j -го перехода.

Для наглядного представления сетей Петри используются графы. Граф сети Петри есть двудольный ориентированный мультиграф:

$$G = (V, \vec{E}),$$

где $V = P \cup T$, причём $P \cap T = \emptyset$.

Исходя из графического представления сети Петри, её можно определить и так:

$$C = (P, T, A),$$

где A – матрица инцидентий графа сети.

Напомним, что матрица инцидентий – таблица, которая содержит N строк и M столбцов. Каждая строка соответствует узлу (вершинам), а каждый столбец – ветви (дугам) графа. Матрица инцидентий дает полное описание направленного графа.

Определим понятие маркированной сети Петри – оно является ключевым для любой сети. Маркировка μ сети Петри $C = (P, T, I, K)$ есть функция:

$$N = \mu(P),$$

отображающая множество позиций на множество натуральных чисел. Маркировку можно также определить как вектор:

$$\mu = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n\},$$

где $n = |P|$, а $\mu_i \in N$.

Между этими определениями есть связь:

$$\mu_i = \mu(p_i).$$

На графе маркировка отображается соответствующим числом фишек в каждой позиции. Если фишек много (больше трёх), то их количество отображается числом. Таким образом, маркированная сеть Петри представляет собой пятёрку элементов:

$$M = (P, T, I, K, \mu).$$

Пусть имеется маркированная сеть Петри: $M = (P, T, I, K, \mu)$. У неё n позиций. В каждой позиции не более N фишек. Тогда пространство состояний есть множество всех возможных маркировок сети. Определим δ – функцию следующего состояния. Если переход t_j разрешён при текущей маркировке μ , то следующая маркировка μ' определится так:

$$\mu' = \delta(\mu, t_j).$$

Если переход t_j не разрешён, то δ не определена.

Пусть $\{t_{j_0}, t_{j_1}, \dots, t_{j_n}\}$ – последовательность запущенных переходов. Тогда ей будет соответствовать последовательность $\{\mu^0, \mu^1, \dots, \mu^{n+1}\}$, то есть:

$$\mu^{k+1} = \delta(\mu^k, t_{j_k}).$$

На основании последнего равенства можно определить понятие непосредственно достижимой маркировки. Для сети $C = (P, T, I, K)$ маркировка μ' называется непосредственно достижимой из μ , если

существует такой переход $t_j \in T$, при котором $\mu' = \delta(\mu, t_j)$.

Можно распространить это понятие на множество достижимых из данной маркировок. Определим множество достижимых из μ маркировок $R(C, \mu)$ следующим образом:

1. $\mu \in R(C, \mu)$;
2. если $\mu' \in R(C, \mu)$, $\mu' = \delta(\mu, t_j)$ и $\mu'' = \delta(\mu', t_k)$, то и $\mu'' \in R(C, \mu)$.

Вектором маркировки для сети Петри является вектор, в котором число элементов равно числу позиций, а значением элемента является количество фишек в соответствующей позиции. Одной из основных аналитических задач сетей Петри является задача определения достижимости маркировки, когда для исходного вектора маркировки требуется установить существование последовательности переходов, выполнение которых обеспечивает достижение заданного выходного вектора маркировки. Простейший способ анализа достижимости маркировки состоит в следующем. Структура сети Петри представляется в виде двух матриц инцидентности (D^+ и D^-), с числом строк, равным числу переходов в сети, и числом столбцов, равным числу позиций. Матрицы D^+ и D^- содержат соответственно выходные и входные функции переходов. При этом D^+ называется матрицей входов и содержит 1 на пересечении i -той строки и j -го столбца, если j -тая позиция является входной для i -того перехода (и 0 для других вариантов). D^- называется матрицей выходов и содержит 1 на пересечении i -той строки и j -го столбца, если j -тая позиция является выходной для i -того перехода. Вектор x называется вектором запуска переходов. Число элементов в x равно числу переходов, а значение каждого элемента определяет количество запусков данного перехода в процессе выполнения. Если исходный вектор маркировки обозначить m_0 , а результирующую маркировку – через m_1 , то достижимость маркировки m_1 равнозначна существованию вектора x с неотрицательными целыми элементами, который служит решением уравнения:

$$m_1 = m_0 + x \cdot (D^+ - D^-) \quad (1),$$

где $(D^+ - D^-)$ – матрица изменений.

Пример. Рассмотрим фрагмент сети Петри, заданной матрицами:

$$D^+ = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad D^- = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Пусть исходная маркировка $m_0 = (1, 0, 1, 0)$. Необходимо определить достижимость маркировки $m_1 = (1, 0, 0, 0)$.

Решение. Вектор запусков, являющийся решением уравнения (1) имеет вид:

$$x = \begin{pmatrix} 3 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Из чего следует, что требуемая маркировка достижима в результате выполнения процессов с номерами 1, 2, 3.

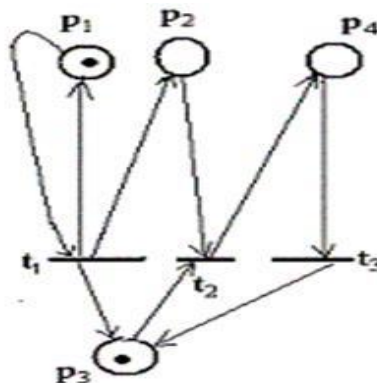


Рис.4. Граф соответствующий заданным матрицам инцидентий

Литература

1. Википедия. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org>
2. Сети Петри. – Режим доступа: <http://www.iacr.dvo.ru>
3. Сети Петри. – Режим доступа: <http://book.itep.ru/10/>
4. О сетях Петри. – Режим доступа: <http://www.textan.org>
5. Использование сетей Петри в математическом моделировании. – Режим доступа: <http://revolution.allbest.ru/programming/>
6. Методы оценки деятельности предприятия. - Режим доступа: <http://www.interface.ru/>
7. Котов, В.Е. Сети Петри / В.Е. Котов. – М.: Наука, 1984. -160 с.
8. Советов, Б.Я., Моделирование систем / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 2005. -344 с.

МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ И СРАВНЕНИЯ КОНТЕКСТОВ ПОНЯТИЙ ОНТОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ СЕМАНТИЧЕСКОЙ БЛИЗОСТИ*

А.В. Маслобоев, П.А. Ломов, Н.М. Мавренков

Введение

На сегодняшний день в виду накопления огромного объема знаний в различных предметных областях проблема их представления и повторного использования является весьма актуальной. Одним из решений данной проблемы является использование онтологических моделей для получения формальной спецификации концептуализации. Под концептуализацией понимается согласованное видение предметной области группой специалистов (экспертов). Полученная в итоге онтологическая спецификация или онтология сочетает в себе, как формализованные знания в виде системы аксиом, так и неформализованные – вербальные названия и определения терминов и отношений между ними. Эта особенность позволяет использовать ее, как в задачах машинной обработки информации, так и для наглядного представления и оперирования знаниями экспертом предметной области.

Однако достаточно часто разработка онтологий ведется различными несогласованными группами экспертов, например разными институтами, и возникает ситуация, при которой требуемую предметную область описывает не одна, а несколько семантически гетерогенных онтологий. В таких условиях неизбежно возникает задача интеграции онтологий. В общем случае, интеграцию онтологий принято определять как процесс нахождения сходства двух онтологий А и В и, как результат, создание новой онтологии С, объединяющей и согласующей семантические представления исходных онтологий [1].

В настоящей работе предлагается метод автоматического построения и сравнения контекстов понятий различных онтологий для оценки их семантической близости в процессе онтологической интеграции. Составления контекста осуществляется в результате проведения комплексного анализа корпуса текстов, описывающих ту же предметную область или задачу, что и обрабатываемая онтология.

Отдельное внимание в работе направлено на создание процедур синтаксического анализа текстов и разработку алгоритмов формирования и сравнения контекстов онтологий на основе результатов, полученных на этапе синтаксического анализа.

1. Преимущества предлагаемого метода

Разработка онтологии подразумевает создание спецификации в виде формального описания некоторой концептуализации мыслимой разработчиком или их коллективом. Частично такую концептуализацию удается специфицировать явно, в виде набора формальных аксиом. Однако некоторая часть формально не описывается, что может быть обусловлено целью разработки онтологии, а также ограничениями языка выбранной онтологической модели. Также следует заметить, что определение совокупности аксиом онтологии, задает систему ограничений множеств интерпретации концептов и отношений, но при этом они остаются всего лишь абстракциями. Для их овеществления разработчик дает им осмысленные имена, а так же производит их аннотирование. Тем самым некоторая (сравнительно большая) часть семантики представляется неформально. Вследствие этого, при интеграции онтологий используются как формальные, так и неформальные методы для сопоставления семантики элементов. Причем, как правило, формальные методы могут быть использованы лишь в дополнение к неформальным [2]. Именно поэтому развитие неформальных методов оценки семантической близости понятий позволит повысить корректность результата интеграции онтологий.

В общем, неформальные методы оценки семантической близости состоят в выявлении различных сходств вербальных имен и определений элементов, данных разработчиком онтологии. Однако в этом случае, на оценке близости понятий может сказаться субъективность определений какого-либо понятия, так как они могут быть верными во всех случаях, но по-разному сформулированы. В этом случае весьма вероятно получение негативной оценки близости при сопоставлении схожих понятий различных онтологий.

Некоторые методы сравнения также предполагают использование тезауруса, на понятиях которого определены различные лексические отношения (синонимия, гипонимия, омонимия), для выявления схожих слов в определениях или вербальных именах элементов онтологий. Однако не во всех случаях удастся найти тезаурус, соответствующий той предметной области или задаче, понятия которой описаны в онтологии. Использование же общих тезаурусов может приводить, либо к неверным оценкам, в случае

*Работа выполнена по программе ОНИТ РАН "Фундаментальные основы информационных технологий и систем" (проект № 2.6).
Работа поддержана грантом РФФИ (проект № 08-07-00301-а).

различных точек зрения на понятие онтологии и тезаурусе, либо к их отсутствию, так как в тезаурусе может вообще не найтись подходящего понятия. Последнее особенно вероятно для онтологий узких предметных областей или онтологий задач.

Метод сравнения понятий различных онтологий, предлагаемый в настоящей работе, основывается на том предположение, что контекст употребления одних и тех же терминов в текстовых источниках, описывающих одну предметную область одинаковы. Сравнивая эти контексты, можно судить о семантической близости понятий, соответствующих данным терминам и определенных в разных онтологиях. Основные преимущества предлагаемого подхода заключаются в устранении субъективности неформальных описаний элементов онтологии, отсутствии необходимости использования специализированных тезаурусов, а также ориентированность на применение для онтологий, описывающих практически любую предметную область или задачу.

2. Общее описание метода

Применение метода осуществляется в два этапа: формирование контекстов понятий онтологии для более полного представления их интерпретаций и сравнение полученных контекстов для оценки семантической близости понятий.

Формирование контекстов рекомендуется проводить разработчику онтологии в качестве одной из заключительных фаз ее создания. При этом следует использовать некоторый корпус текстов, в которых с точки зрения разработчика онтологии, используемые им понятия, имеют правильное значение. Роль такого корпуса текстов могут играть наборы инструкций, рабочих документов, научных статей и т. п.

Сравнение контекстов производится уже непосредственно во время процесса интеграции онтологий, прошедших обработку на первом этапе, где оно, как правило, выполняется наряду с другими методами для получения дополнительных оценок семантической близости понятий.

Под контекстом термина в данном случае будем понимать набор множеств лексем Q , семантически связанных с лексемой, обозначающей термин, в некотором корпусе текстов, относящимся к предметной области или задаче:

$$Q = (K_1, K_2, K_3, K_4, K_5),$$

где K_i множества лексем, а i определяет их значимость в описании интерпретации термина – чем оно больше, тем более значимым данное множество является. Сами множества состоят из лексем следующих видов:

- в K_1 попадают лексемы из тех предложений, в которых кроме лексемы, соответствующей понятию, нет других лексем – понятий онтологии, а найденная лексема-понятие употреблено не в значимой роли, например, подлежащее или дополнение;

- в K_2 попадают лексемы из тех предложений, в которых помимо искомой лексемы-понятия

присутствуют и другие лексемы, соответствующие понятиям онтологии, при этом ни одна из них не является значимой;

- в K_3 попадают лексемы из предложений, в котором искомая лексема-понятие имеет значимую роль, при этом других лексем-понятий онтологии не найдено;

- в K_4 попадают лексемы из предложений, в котором искомая лексема-понятие имеет значимую роль, при этом в предложении присутствуют другие лексемы-понятия из онтологии;

- в K_5 попадают лексемы из предложений, в котором искомая лексема-понятие имеет значимую роль, а в качестве лексемы-сказуемого используется объектное отношение онтологии, либо сказуемое определено как непосредственно описывающее искомую лексему-понятие.

Алгоритм формирования контекстов понятий онтологии, включает следующие основные этапы (рис. 1):

1. Обработка содержания текстов корпуса. Документы из текстового корпуса проходят многоуровневый языковой анализ, приводятся в нормализованную форму, снабженную полученной на этапе анализа информацией.

2. Индексация корпуса. При формировании контекста понятия требуется информация об употреблении соответствующей ему лексеме в тексте. Наряду с этим также необходимо располагать информацией об употреблении в тексте лексем, соответствующих и другим понятиям онтологии. Для этого перед составлением контекста строятся специальные структуры данных, которые содержат информацию об употреблении всех терминов онтологии в корпусе.

3. Формирование контекста. С помощью полученного на предыдущем шаге индекса производится включение лексем во множества контекстов понятий онтологии.

После завершения этапа формирования контекстов понятий онтологий может быть произведено их сравнение. Оно заключается в определении схожести по различным множествам контекстов понятий, входящих в интегрируемые онтологии. Схожесть различных множеств контекста в разной степени влияет на итоговую оценку.

Для оценки близости понятий онтологий по их контекстам используется формула Джаккарда, взвешенная по схожести различных множеств контекста:

$$S_{AB} = \frac{\sum_{n=1}^5 \left(i_n \cdot \frac{|K_n^A \cap K_n^B|}{|K_n^A \cup K_n^B|} \right)}{5},$$

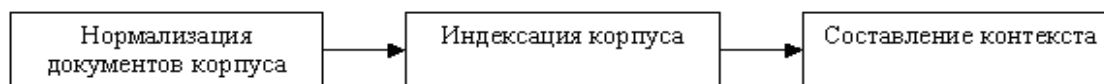
где A, B – контексты понятий двух онтологий,

K_n^A, K_n^B – n -ое множество контекста,

$0 \leq i_n \leq 1$ – коэффициенты значимости

(определяются эмпирически).

Шаги



Промежуточные результаты

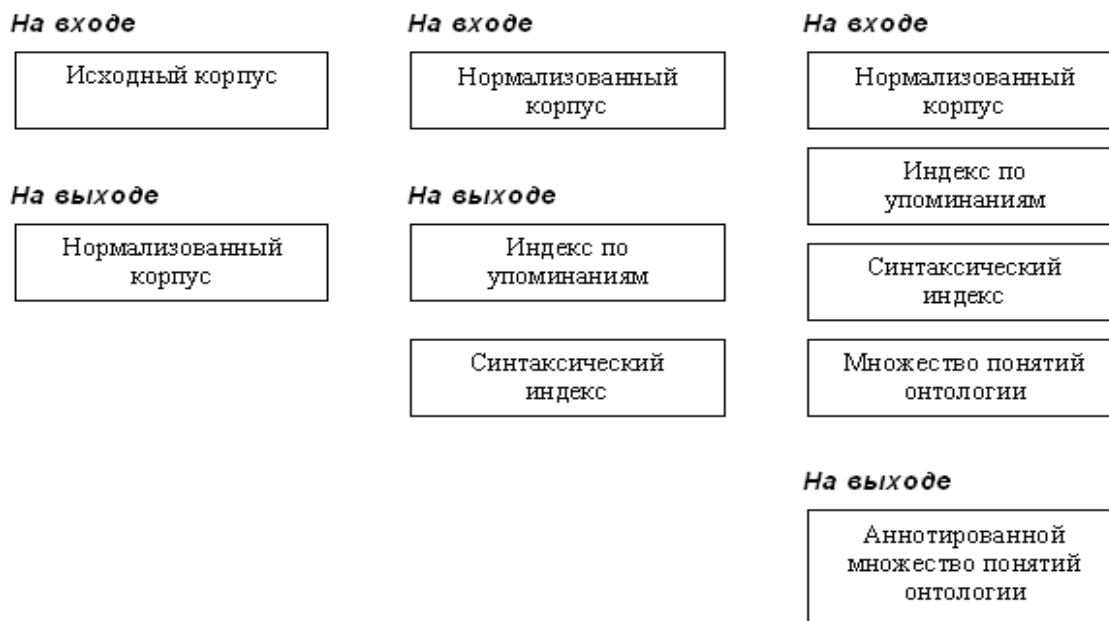


Рис.1. Логика работы алгоритма составления контекста

3. Программная реализация

Программная реализация метода была выполнена на языке Java в интегрированной среде разработки NetBeans версии 6.0 в виде программного модуля (Java-package), который в дальнейшем может быть использован в других программных продуктах. Диаграмма классов разработанного программного модуля представлена на рис. 2.

При нормализации исходных текстов используется сторонний модуль морфологического анализа «Mst», описанный в работах [3,4]. Отнесение лексем предложения к определенному множеству контекста сильно зависит от занимаемых ими синтаксических ролей, поэтому одним из важнейших этапов разработки системы стало создание синтаксического анализатора текста. При разработке синтаксического анализатора были использованы методики, описанные в работе [5].

Рассмотрим работу программного модуля на этапе формирования контекста понятия, так как именно от его результатов зависит правильность и обоснованность дальнейшего сравнения контекстов.

Обработка текста начинается с лексического анализа, в ходе которого из исходного текста выделяются предложения, а из предложений выделяются токены, которые передаются для обработки морфологическому анализатору. Токенами в данном случае называется последовательность

символов из входного потока символов, распознанная как единый объект.

Далее выполняется морфологический анализ, который заключается в поиске полученных токенов среди словоформ лексем, содержащихся в словаре анализатора, заданном изначально. В данном случае был использован грамматический словарь русского языка А. А. Зализняка [6]. На выходе морфологический анализатор выдает набор лексем-омонимов, для словоформ которых найдено совпадение с рассматриваемым токеном. Данный набор далее будем называть юнитом.

Далее в ходе синтаксического анализа производится применение синтаксических правил с целью установления иерархии на юнитах, из которых состоит предложение, и формированием синтаксической группы. Под синтаксической группой будем понимать установленное n-арное отношение на юнитах. Группа может иметь вложенные подгруппы, одна из которых может быть главная. Главным юнитом считается главный юнит главной подгруппы, а главный юнит атомарной группы – единственный входящий в нее юнит. В начале анализа всем юнитам ставятся в соответствие атомарные группы – группы состоящие из одного юнита. Далее к этому набору групп последовательно применяются синтаксические правила, вследствие чего атомарные группы поглощаются более общими.

Правила применяются к группам слева направо, для нахождения группы, соответствующие условиям правила, перебирая при этом все комбинации лексем-омонимов в юнитах. Если найден набор групп, удовлетворяющих правилу, то они объединяются той группой, для которой выполнялся поиск. При этом из

юнитов, входящих в найденные группы, удаляются все лексемы-омонимы.

После обработки текста производится составление индекса. Под индексом понимается набор структур данных, служащий для быстрого доступа к информации.

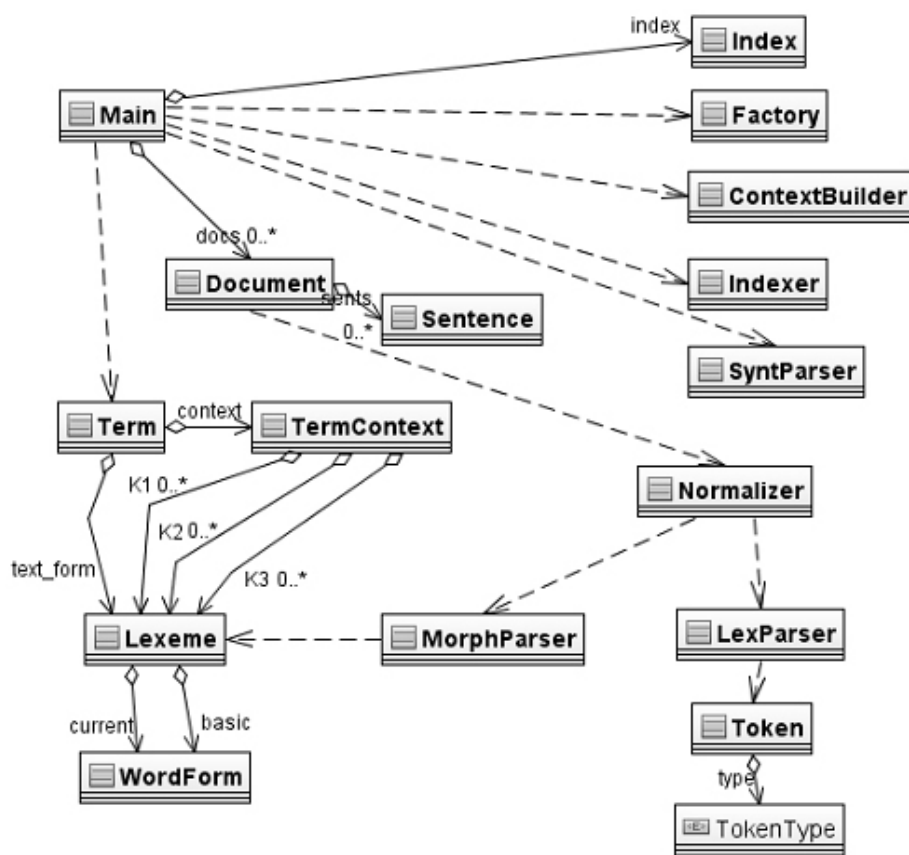


Рис.2. Диаграмма классов программного модуля

Для составления контекста понятий необходимо, во-первых, для каждой соответствующей ему лексемы получать список предложений, где он используется, а во-вторых, для каждого предложения получать список понятий из онтологии, соответствующие лексемы которых в нем встречаются. Кроме того, в индекс заносится информация о синтаксической роли лексем-понятий в предложениях. Именно эта информация используется для формирования контекстов понятий. Из вышесказанного следует, что логичным является создание прямого и обратного индекса. Прямой индекс позволяет получать информацию о том, в каких предложениях какого документа встречается данный термин. Для его хранения используется система хэш-таблиц, содержащих ссылки на вложенные таблицы. То есть, для каждого понятия создается таблица документов использования, для каждого документа – таблица предложений, а для каждого предложения – структура, содержащая адрес понятия-лексемы в предложении и данные синтаксического анализа. Обратный индекс организован похожим образом за исключением того,

что цепочка хэш-таблиц строится в противоположном порядке.

Построение контекста понятий происходит следующим образом – перебираются все понятия онтологии, выбираются предложения, в которых встречаются соответствующие понятию лексемы. Затем из каждого предложения, согласно индексу, выбираются лексемы, формирующие контекст понятия с учетом других понятий онтологии, связанных с текущим.

Заключение

В работе предложен метод формирования и сравнения контекстов понятий онтологий, который может быть эффективно использован в решении задачи оценки их семантической близости с целью последующей интеграции. Его отличие от существующих неформальных методов установления близости понятий, предполагающих сравнение различными способами вербальных определений и имен понятий, данных разработчиком онтологии, заключается в том, что он обеспечивает автоматическое формирование контекста термина, который можно рассматривать как его формальную

аннотацию. Это позволяет разработчику онтологии избежать дополнительных трудозатрат на формулировку объемных аннотаций терминов, которые позволят более точно выявить сходство или различие понятий, а вместо этого ограничиться их короткими вариантами. Немаловажным является также отсутствие необходимости наличия при использовании метода каких-либо тезаурусов терминов предметной области. Вместе с тем, вследствие того, что контекст всегда формируется с помощью корпуса текстов по определенным правилам и независимо от разработчика онтологии, появляется возможность устранения возможной субъективности и узости аннотации понятия.

Разумеется, в полной мере проблему интеграции разнородных онтологий представленный метод не решает, так как алгоритмы составления контекста не безупречны и адекватны лишь на столько, на сколько адекватны методы синтаксического разбора и анализа текста. Однако его использование позволяет повысить адекватность и обоснованность оценок близости понятий, полученных на основе их неформальной семантики, что в итоге положительно сказывается на интеграции онтологий в целом.

Основные области применения разработанного метода:

1) использование в программах автоматического интегрирования;

2) упрощение работы эксперта, занимающегося вопросами интегрирования и составления онтологий – составленный контекст помогает четче понять семантику термина.

Литература

1. Бархатов, А.В. Разработка и интеграция веб-ресурсов на основе их семантического представления в виде онтологий.
- Режим доступа: <http://rrc.krasu.ru/node/1885>
2. Кудрявцев, Д.В. Практические методы отображения и объединения онтологий / Д.В. Кудрявцев // Труды 11-й Национальной конф. по искусственному интеллекту с междунар. участием (КИИ-08), семинар «Знания и Онтологии *ELSEWHERE*», 29 сент. - 3 окт. 2008, г. Дубна, Россия.– М.: URSS, 2008. -Т.3. - С.164-173.
3. Выдрин, Д.В. Реализация электронного словаря на основе n-грамм /Д.В. Выдрин, В.В. Поляков // Труды III Междунар. научно-практ. конф. "Искусственный интеллект – 2002".- Кацевелли: Изд-во Институт проблем искусственного интеллекта, 2002. - Т.2. - С.79-84.
4. Выдрин, Д.В. Метод сравнения библиографических описаний, представленных в различных форматах / Д.В. Выдрин, С.А. Громов, В.Н. Поляков // Обработка текста и когнитивные технологии VII Международная конф. - Варна. М: Изд-во "Учеба", 2004. -№ 9. - С.166-172.
5. Автоматическая Обработка Текста: Синтаксический анализ. - Режим доступа: <http://aot.ru/docs/synan.html>
6. Зализняк, А.А. Грамматический словарь русского языка /А.А. Зализняк. - М.: АСТ-Пресс Книга, 2009. - 720 с.

**СИНТЕЗ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕДУРЫ СООТНЕСЕНИЯ ШАБЛОНОВ
И ОБРАТНОЙ «ДОПАРАМЕТРИЗАЦИИ» ОНТОЛОГИИ**

О.В. Кудинова

В рамках работы ИИММ была разработана онтология КНЦ и технология синтеза имитационной модели на основе шаблонов. Для решения задачи синтеза имитационной модели на основе онтологического описания, необходимо сначала вырезать соответствующий фрагмент онтологии в соответствии с поставленной целью. Затем соотнести набор шаблонов с этим фрагментом, и провести процедуру допараметризации онтологии в случае, если некоторые шаблоны невозможно сопоставить с элементами онтологии, либо они соотнесены частично.

Онтологию можно представить следующим образом [1]:

$$O = \langle X, At_x, R_x, F \rangle,$$

где X - множество понятий онтологии;

At_x - множество атрибутов над понятиями онтологии;

R_x - множество отношений над понятиями онтологии;

F - множество правил функционирования онтологии.

Процедура выделения фрагмента онтологии представлена как отображение ξ множества O в подмножество Ob . Отображение выполнено в соответствии с целью имитационного моделирования. G - дерево целей, состоящее из двух уровней. Тогда процедуру выделения можно представить следующим образом (1):

$$\xi : O \xrightarrow{G} Ob, \quad (1)$$

где $Ob \subset X$ причем $\exists x \in X : x = \bigcup_i x_i$, и

$$\exists g_i \in G : g_i \otimes x_i, \quad i = \overline{1, k},$$

где k - количество подцелей.

Операция \otimes обозначает однозначное соответствие элементу множества G элемента множества X . В данном случае X является корнем дерева.

Процедура выделения связей из онтологии представлена как отображение ω множества O в подмножество Ob следующим образом (2):

$$\omega : O \rightarrow Ob, \quad (2)$$

где $Ob \subset X$ такое, что $\forall ob_i$ и

$$\forall ob_j \in Ob \exists R_i \otimes R_{x_i}, \quad R_{x_i} \in R_x \quad \text{и} \quad R_i \in R,$$

где $i = \overline{1, k}$, k - количество подцелей;

R_x - множество связей над понятиями онтологии;

R - множество связей между элементами шаблона.

Процедура выделения атрибутов из онтологии представлена как отображение ν множества O в подмножество Ob следующим образом (3):

$$\nu : O \rightarrow Ob, \quad (3)$$

где $Ob \subset X$ такое, что $\forall ob_i \in Ob \exists at_i \otimes at_{x_i}$,

$$at_{x_i} \in At_x \quad \text{и} \quad at_i \in At,$$

где $i = \overline{1, k}$, k - количество подцелей;

At_x - множество атрибутов над понятиями онтологии;

At - множество атрибутов множества шаблонов.

Процедура выделения правил функционирования из онтологии представлена как отображение σ множества O в подмножество Ob следующим образом (4):

$$\sigma : O \rightarrow Ob, \quad (4)$$

где $Ob \subset X$ такое, что $\forall ob_i \in Ob \exists f_i \otimes f_{x_i}$,

$$f_{x_i} \in F_x \quad \text{и} \quad f_i \in F,$$

где $i = \overline{1, k}$, k - количество подцелей;

F_x - множество правил функционирования над понятиями онтологии;

F - множество правил функционирования шаблонов.

Таким образом, получен следующий фрагмент онтологии (5):

$$FO = \langle Ob, A, F, R \rangle, \quad (5)$$

где Ob - множество объектов;

A - множество атрибутов над Ob ;

F - множество правил функционирования над Ob ;

R - множество отношений между Ob .

Пусть имеется вырезанный фрагмент из онтологии КНЦ. Этот фрагмент был выбран в соответствие с поставленной целью - «Финансирование КНЦ».

На рис. 1. изображен фрагмент онтологии КНЦ, где C - концепты, A - атрибуты соответствующих концептов, стрелки - связи между концептами.

В соответствии с технологией концептуальных шаблонов шаблон - это некоторая типовая конструкция, обладающая неизменной структурой и набором входных и выходных параметров, а также функционально реализующая определенную цель [2].

Определим множество шаблонов $A = \{P_i\}$, где $i = \overline{1, \dots, m}$, m - размерность множества A .

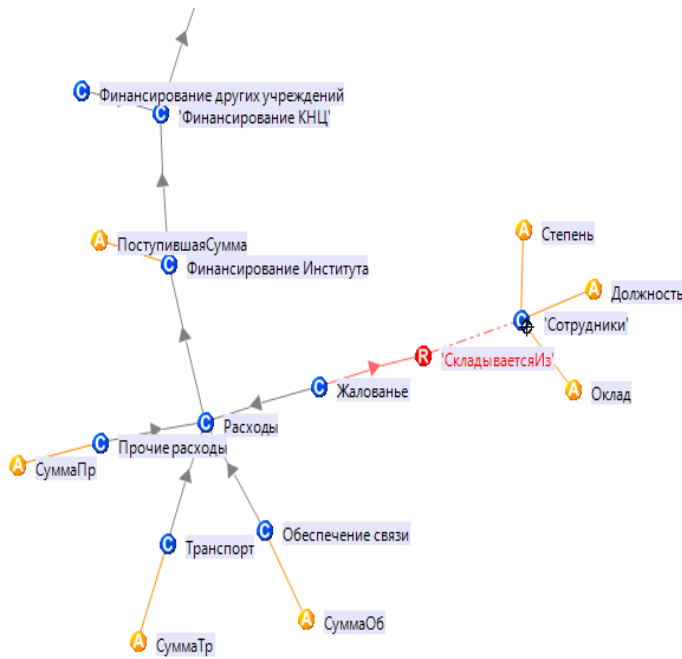


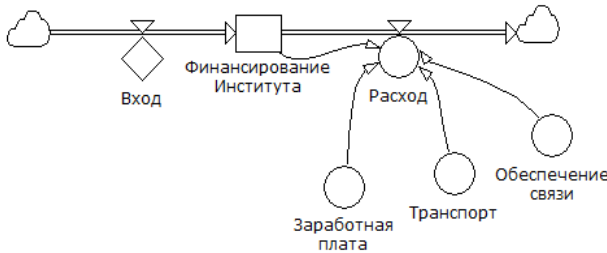
Рис.1. Фрагмент онтологии КНЦ

Пусть определен некоторый набор шаблонов, разработанный экспертами в данной предметной области. В работе для общего понимания работы технологии представлены только несколько шаблонов, которые реализуется в виде модели системной динамики.

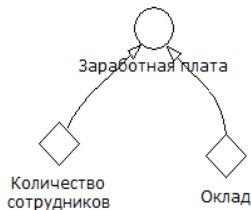
Шаблон «Финансирование КНЦ»



Шаблон «Финансирование Института»



Шаблон «Зарботная плата»



Формально шаблон можно представить в виде следующего множества: $P = \{St, X, Y, I\}$, где St – множество структурных элементов шаблона; X – множество входных параметров шаблона; Y – множество выходных параметров; I – множество начальных значений.

Процедура соотнесения шаблонов фрагменту онтологии заключается в том, чтобы каждому структурному элементу шаблона был найден элемент онтологии. Формально процедура соотнесения представляется как отображение S , в котором каждому шаблону из множества шаблонов A ставится в соответствие некоторое множество элементов фрагмента онтологии, причем каждый структурный элемент шаблона соотнесен с элементом ФО (6).

$$S : A \rightarrow \Phi O, \tag{6}$$

причем

$$\forall P_i \in A \exists EO_j \subset \Phi O, \text{ причем } \forall st_i \in St_i \exists st_j \in St_j,$$

где $St_i \subset P_i$, а $St_j \subset EO_j$ (EO – некоторое множество элементов фрагмента онтологии, P_i – отдельный шаблон).

Схема отображения S представлена как матрица, строки которой соответствуют элементам шаблона P_i , а столбцы – элементам EO_j :

$$S_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } st_i \neq st_j \\ 1, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Введем некий критерий соотнесения. Этим критерием будет выступать относительная величина структуры (ОВС).

ОВС характеризует структуру совокупности, определяет долю (удельный вес) части в общем объеме совокупности. ОВС рассчитывают как отношение объема части совокупности к абсолютной величине всей совокупности, определяя тем самым удельный вес части в общем объеме совокупности:

$$OBC = \frac{m_i}{M},$$

где m_i – число соотнесенных элементов i -го шаблона (количество ненулевых строк в матрице S_{ij}); M – общее число структурных элементов в шаблоне. Для каждого P_i находится свое OBC_{P_i} .

Введем предельное значение α ($\alpha=1$ означает, что все элементы и связи полностью соотнесены с элементами и отношениями онтологии). Установим предельное значение равным 0,6. Тогда $OBC > \alpha$ означает, что большая часть структуры шаблона соотнесена с элементами онтологии и можно провести процедуру допараметризации. Если $OBC < \alpha$, то это означает, что большинство элементов шаблонов не могут быть соотнесены с элементами онтологии, а, значит, этот шаблон не будет использоваться на этапе синтеза имитационной модели.

Например, для шаблона «Заработная плата» были соотнесены следующие элементы: «Количество сотрудников» и «Оклад». Вычислим ОВС для данного шаблона. Общее число структурных элементов и связей шаблона $M = 5$, тогда как соотнесенных $m = 4$: $ОВС = 4/5 = 0,8$. Значит, шаблон «Заработная плата» почти соотнесен с элементами и отношениями онтологии.

Также необходимо учесть, что онтология и шаблоны разрабатывались разными экспертами, которые могут оперировать синонимичными понятиями данной предметной области. Принимая это обстоятельство во внимание, для каждого шаблона дополнительно проводится процедура поиска синонимов. Она заключается в поиске синонимов сначала в выделенном фрагменте онтологии, затем работает с понятиями оставшейся части онтологии, которая не учитывалась при вырезании фрагмента онтологии.

Пусть SYN – множество синонимов данной предметной области, X – множество элементов фрагмента онтологии, St – множество элементов шаблона P_i . Тогда процедура поиска синонима строится по следующему принципу:

1) поиск несоотнесенного элемента в словаре синонимов данной предметной области и выделение всех синонимов данного понятия;

2) сопоставление выделенного набора синонимов с элементами фрагмента онтологии;

3) если поиск не дал положительного результата, то процедуру поиска повторяем для оставшейся части онтологии. Если процедура поиска выполняется в оставшейся части онтологии и дает положительный результат, то найденные синонимичные понятия добавляются к фрагменту онтологии с обязательным указанием связей.

Вернемся к примеру с шаблоном «Заработная плата». В шаблоне элементы «Количество сотрудники» и «Оклад» связаны с элементом «Заработная плата» информационной связью. В онтологии имеются только «Количество сотрудников» и «Оклад», но есть информационная связь с элементом «Жалование». Используя процедуру поиска синонимов, можно однозначно установить, что «Жалование» есть синоним «Заработной платы».

В словаре синонимов для слова «Заработная плата» имеется несколько синонимов – жалование, доход, заработок и др. Затем этот набор выделенных синонимов сравнивается с понятиями в онтологии. Если концепт равен одному из синонимов множества S_{syn} , то вместо элемента шаблона «Заработная плата» пользователю предлагается использовать синонимичное понятие в онтологии «Жалование», а также сразу установить предложенные связи. Функция поиска синонимичных понятий для несоотнесенного элемента (7).

$$F_{syn} = \begin{cases} st_i = ob_k, \text{ если } \exists S_{syn} \in Syn, \text{ причем } ob_k = S_{syn}, \\ Ob = \bigcup_{k=1}^n ob_k \cup st_i, \text{ в противном случае} \end{cases} \quad (7)$$

где S_{syn} – множество выделенных синонимов для st_i ;

Syn – множество всех синонимов для данной предметной области;

Ob – множество понятий фрагмента онтологии ФО;

St_i – несоотнесенный элемент из множества структурных элементов St шаблона P .

Процедура поиска синонимов позволяет увеличить степень соотнесения каждого шаблона, а также избежать проблемы избыточности онтологии.

После процедуры соотнесения шаблонов и процедуры поиска синонимов могут возникнуть три ситуации:

1) Шаблон вообще нельзя соотнести с элементами онтологии.

2) Найден не все связи между всеми имеющимися элементами.

3) Найден не все элементы в онтологии, а соответственно не все необходимые связи.

Рассмотрим первый случай, когда шаблон вообще нельзя соотнести с элементами онтологии, т.е. $ОВС_{P_i}=0$. Если процедура поиска для шаблона P_i не дает никаких результатов, то встает вопрос о необходимости использования данного шаблона на этапе синтеза имитационной модели. Если пользователь посчитает, что данный шаблон все-таки необходим, то проводится процедура допараметризации онтологии. Она заключается в «доставлении» фрагмента онтологии теми понятиями, которые пользователь посчитает необходимыми для синтеза модели. Также пользователь сам указывает, какие связи должны быть между этими элементами (9):

$$FO = \langle Ob \cup Ob_u, A \cup A_u, R \cup R_u, F \cup F_u \rangle,$$

где Ob_u – множество пользовательских понятий;

A_u – множество пользовательских атрибутов;

R_u – множество пользовательских связей между элементами;

F_u – множество пользовательских правил функционирования над новыми понятиями.

Таким образом, данная процедура позволяет расширить онтологию, т.е. увеличить степень детализованности онтологии.

Процедура допараметризации может быть **полной** или **частичной**. Допараметризация считается полной, когда в онтологию добавляются как новые понятия, так и связи между ними. Если онтология пополняется только связями, то допараметризация является частичной.

Во втором случае, когда структурные элементы шаблона соотнесены с элементами фрагмента онтологии, но в самой онтологии отсутствуют некоторые связи между этими элементами, процедура допараметризации является частичной. Система, анализируя информацию шаблона и фрагмента онтологии, предлагает пользователю наиболее подходящие связи между соотнесенными элементами данного шаблона. Пользователь может принять их либо установить свои.

Третий случай, когда структурные элементы шаблона соотнесены не полностью, а соответственно не все связи определены. Здесь применяется процедура полной допараметризации с учетом имеющихся соотнесенных элементов шаблона. Т.е. мы не просто добавляем новые понятия и связи, а на основе соотнесенных и добавленных элементов система выдает предположительные связи между этими элементами.

После процедур соотнесения и допараметризации, в вырезанном фрагменте онтологии могут остаться неучтенные элементы (т.е. такие понятия, которые не учитывались при разработке шаблонов). В зависимости от предпочтений пользователя, эти элементы на этапе синтеза модели могут использоваться в качестве вспомогательных переменных, несущих дополнительную информацию о шаблонах.

Таким образом, в данной работе рассмотрена процедура соотнесения шаблонов и допараметризации онтологии, которые позволяют не только получить имитационную модель на основе онтологии и шаблонов, но и расширить саму онтологию, добавляя отсутствующие в ней связи и понятия.

Литература

1. Guarino, N. Ontologies: What Are They, and Where's The Research? – Режим доступа: <http://www-ksl.stanford.edu/KR96/Panel.html>
2. Кодема, В.А. Технология распознавания концептуальных шаблонов системы автоматизации синтеза системно-динамических моделей / В.А. Кодема // Имитационное моделирование. Теория и практика” (ИИМОД-2007): сб. науч. тр. III-й Всероссийской научно-практической конф. - С-Петербург, 17-19 окт. 2007. – С.157-162.
3. Быстров, В.В. Технология концептуальных шаблонов для синтеза имитационных моделей сложных систем / В.В. Быстров, А.В. Горохов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: сб. науч. тр. IX Международной конф. - Самарский научный центр РАН. - Самара, 2007. - С.462–467.
4. Быстров, В.В. Информационная технология концептуального синтеза имитационных моделей /В.В. Быстров, А.В. Горохов // Сб. тр. II Всероссийской научной конф. ЭКОМОД 2007. – Киров, 2007. - С.69-76.

МЕТОД И ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИЙ НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ*

А.В. Маслобоев, В.В. Максимова

1. Введение

В современных условиях вопросы финансирования научных исследований и инновационных проектов стоят достаточно остро. Мировой экономический кризис значительно повлиял на отношение государственных структур, грантодателей и частных инвесторов к развитию науки и к финансированию инициативных научно-инновационных проектов. Вместе с тем, причиной сложившейся ситуации является не только отсутствие средств финансирования, но и низкий уровень доверия со стороны государственных и частных инвестиционных фондов к результатам проводимых научных исследований, эффект от внедрения которых в реальную жизнь в большинстве случаев оказывается весьма незначительным или вообще отсутствует. В связи с этим, в настоящее время практическая применимость и качество результатов реализации тех или иных научно-исследовательских программ и инновационных проектов выходит на передний план наряду с их фундаментальной значимостью. Очевидно, что в сложившейся в нашей стране ситуации, в условиях ограниченного финансирования невозможно коммерциализировать абсолютно все научно-инновационные проекты. В связи с этим возникает необходимость разработки и внедрения в практическую деятельность государственных и частных коммерческих организаций, осуществляющих финансирование инициативных научно-инновационных проектов, эффективных методов и средств оценки и отбора наиболее перспективных инноваций, базирующихся на применении современных информационных технологий, математических методов и средств моделирования. Именно поэтому, на сегодняшний день задачи прогнозирования и оценки качества результатов научных исследований, а также проблемы оценки эффективности инновационных проектов для последующего инвестирования являются крайне актуальными и требуют привлечения квалифицированных специалистов из различных областей для разработки методического и информационно - аналитического обеспечения научно – инновационной деятельности, а также создания и развития новых методов и средств управления наукой и инновационным бизнесом в условиях глобализации и современной посткризисной информационной экономики. Необходимость

разработки методов и средств оценки эффективности инноваций, которые бы учитывали их специфические особенности, отмечается в нормативных документах федерального и регионального уровней, например таких как [1, 2]. В данных документах содержатся количественные и качественные критерии оценки эффективности инвестиционных проектов, а также описывается методика их анализа и экспертизы.

Задачи оценки эффективности научных исследований, качества и полезности результатов НИР, а также эффектов от реализации инновационных проектов являются сложными и многоаспектными. В направлении их решения в настоящее время предложено множество подходов ведущими научными школами, учеными и специалистами. Существующие решения базируются на современных достижениях науки в таких областях как экономико-математическое моделирование, инновационный менеджмент, системный анализ, информационные технологии, теория принятия решений, искусственный интеллект и многих других. Основными трудностями, возникающими при решении данного класса задач, являются оценка эффективности начальных этапов жизненного цикла научно-инновационных проектов, характеризующихся высокой степенью неопределенности и неполноты информации о предполагаемых результатах, возможных рисках и социально-экономических эффектах от внедрения результатов НИР, а также определение реальных объемов финансирования, покрывающих весь период реализации проекта (его жизненный цикл) - от зарождения инновационной идеи до ее внедрения и коммерциализации.

Учитывая тот факт, что научно-инновационная деятельность, стимулирующая развитие интеллектуального потенциала страны, является одним из эффективных рычагов управления социально-экономическим развитием и обеспечивающая его безопасность, то задачи оценки эффективности и качественного отбора перспективных инициативных научно-инновационных проектов для финансирования, как уже отмечалось выше, приобретают особую актуальность. В решении этих задач заинтересованы не только руководство и отдельные представители Российской Академии наук, но и частные инвестиционные фонды, например такие широко известные как: Российский фонд фундаментальных

* Работа выполнена по программе ОНИТ РАН

"Фундаментальные основы информационных технологий и систем" (проект № 2.6).

Работа поддержана грантом РФФИ (проект № 08-07-00301-а).

исследований (РФФИ – <http://www.rfbr.ru/>), Региональный общественный фонд содействия отечественной науке (<http://www.science-support.ru/>), Российский гуманитарный научный фонд (РГНФ – <http://www.rfh.ru/>), фонд «Научный потенциал» (<http://www.hcfoundation.ru/>), Российский фонд развития высоких технологий (www.hitechno.ru), Совет по грантам президента РФ (<http://grants.extech.ru/>), Федеральный фонд поддержки малого предпринимательства (<http://ffpmp.siora.ru/>), фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (www.fasie.ru), фонд «Новая Евразия» (www.eurasia.msk.ru) и многие другие как российские, так и международные фонды. Именно эти организации, по большому счету, на сегодняшний день выступают в роли потенциальных потребителей разрабатываемых научными коллективами методов и средств поддержки принятия решений по отбору эффективных научно-инновационных проектов для инвестирования и финансового сопровождения всех на стадиях их жизненного цикла.

В работе предлагается метод комплексной оценки эффективности инноваций на начальных этапах их жизненного цикла, основанный на применении математического аппарата теории нечетких множеств. Метод реализуется в рамках информационной технологии экономического анализа эффективности научно-инновационных проектов, которая может быть использована в составе систем поддержки принятия решений при экспертизе и отборе эффективных инноваций для их последующего финансирования и коммерциализации. Разработанная технология, реализующая интеграцию методов интеллектуального анализа данных, экономико-математического моделирования, теории нечетких множеств, методов экспертной оценки обеспечивает автоматизацию процесса принятия решений при отборе эффективных инновационных проектов для финансирования, обладающих социально-экономической или научно-технической значимостью в условиях неполноты и неточности исходных данных об их практической реализуемости и эффектах внедрения.

2. Проблематика оценки результативности научных исследований и инноваций

Согласно работе [3], научные исследования и инновационные разработки представляют собой такую сферу человеческой деятельности, которая в значительно меньшей степени поддается количественному измерению, нежели, например, промышленное производство. Это, прежде всего, связано с субъективной природой формирования научных знаний. Разнообразие результатов научно-исследовательских разработок, форм их воздействия на экономику, а также сложности их непосредственной оценки обусловили необходимость применения для оценки эффективности научно-инновационной деятельности различных эвристических и эмпирических методов и

показателей, зачастую лишь косвенно характеризующих эффект научно-инновационной деятельности и базирующихся на дополнительных источниках информации, прежде всего экспертного характера.

Зарубежный опыт анализа и оценки эффективности (результативности) научных исследований, особенно фундаментальных, предполагает использование в международной практике системы библиометрических показателей, таких как количество научных публикаций и их цитируемость, а также систем подсчета межстранговых научных связей, которые измеряются показателями соавторства. Подобные оценки применяются не только для анализа динамики научных направлений и выполнения исследовательских программ, но и при принятии решений о целесообразности их финансирования [4]. Однако такой подход, в определенной степени, можно назвать целесообразным для оценки результатов проведения фундаментальных научных исследований, и он не выдерживает критики при оценке научно-производственной деятельности, т.е. при оценке прикладных научных исследований. Поэтому данные показатели можно использовать только в качестве подмножества критериев некоторой рейтинговой системы оценок.

В определенной степени количественному измерению технологических результатов научных исследований и инновационных разработок служит патентная форма сбора информации. Она базируется на данных о регистрации изобретений, являющихся результатом либо научных исследований и разработок, либо производственной деятельности. Однако и здесь возникают проблемы, насколько полученное изобретение обладает существенными различиями от имеющихся аналогов. Поэтому возникает необходимость оценки уровня новизны, обладающей существенными отличиями технического решения задачи в любой области экономики, социальной сферы, обороны, являющегося продуктом интеллектуальной деятельности, техническим воплощением идеи, направленным на удовлетворение определенной потребности общества.

Поиск интегрального критерия эффективности развития науки и выражающих ее показателей упирается в сложность, а иногда и невозможность количественного измерения результатов новых научных знаний, последствий их практической реализации в экономике и социальной сфере. Научные исследования как таковые обладают лишь потенциальным эффектом, поэтому высока степень неопределенности при выделении их доли в совокупном эффекте научно-технического прогресса. В силу отмеченных обстоятельств, приходится оперировать специальными методами, позволяющими оценить различные аспекты структурных сдвигов в экономике, связанных с внедрением и распространением научно-технических достижений, в качестве которых часто используются математические методы оценки, основанные на применении теории нечетких множеств, позволяющей формализовать субъективные данные и на этой основе получить количественные оценки.

3. Методологические основы исследования

Исследования, представленные в статье, базируются на работах отечественных и зарубежных ученых, которые внесли значительный вклад в решение проблем в области создания и развития методов и средств оценки эффективности инноваций и инновационного менеджмента: А.В. Краснова, В.В. Царева, А.И. Шинкевича, В.Е. Деметьева, Р.М. Нижегородцева, А.В. Золотухиной, А.А. Шохина, Д.С. Львова, С.Д. Ильенковой, Г.Д. Ковалева, Р.А. Фатхутдинова, П.Н. Завлина, А.В. Васильева, В.С. Лосева, А.З. Ефименко, И.В. Демкина, Ю.П. Воронова, Г.А. Мотина, В.Г. Рождественского, В.Р. Атояна, С.Я. Бабаскина, М.А. Бендикова, С.В. Валдайцева, С.В. Киселева, А.К. Казанцева, В.В. Ковалева, Л.Э. Миндели, Л.Н. Сафиуллина, А.А. Харина, Э. Мэнсфилда, Л. Брауна, М. Ландтона, В. Миллера, Б. Твисса, Ф. Янсена и других. В этих работах обосновывается необходимость выбора наиболее перспективных инноваций по совокупности эффектов, но не предлагается методов комплексного анализа и оценки эффективности, а рассмотрение проблемы оценки эффективности сосредоточено только на инновационных и инвестиционных проектах и совершенствовании существующей системы стоимостных показателей, используемой при прогнозировании результатов и затрат во времени. Однако необходимо отметить, что на ранних стадиях жизненного цикла инноваций в условиях неполноты информации и неопределенности последствий их внедрения известные методы оценки эффективности инновационных и инвестиционных проектов, основанные на системах стоимостных показателей, не подходят, так как построены на стоимостном измерении и сопоставлении результатов и затрат на протяжении срока реализации проекта. Вместе с тем, статические и динамические количественные показатели эффективности инноваций не отражают и не могут отразить в стоимостных категориях все проявления эффектов инноваций: научно-технических, производственно-ресурсных, социально-экономических, а также риска реализации инноваций на рынке.

Использование методов и подходов проведения качественной экспертизы и выбора наилучших инноваций на основе методов квалиметрии и экспертного оценивания инноваций по ограниченному числу значимых параметров рассматривается в работах Д.В. Кузовкова, Ю.В. Вертаковой, Е.П. Голубкова, Н.Л. Карданской, Б.Г. Литвака, А.С. Малина, В.Н. Мухина. Вопросы разработки методов комплексной оценки эффективности инноваций по совокупности факторов и условий их внедрения на рынке, обсуждаемые в данных работах, являются недостаточно исследованными.

Несмотря на столь широкий спектр работ в рассматриваемой проблемной области, при всей глубине и многоаспектности исследуемых проблем, связанных с инновационной деятельностью, большинство научных работ основано на анализе зарубежного опыта. Методы оценки эффективности инноваци-

онных проектов, в основном, базируются на методических рекомендациях по оценке эффективности инвестиционных проектов, изложенных в работах [2, 5]. Кроме того, недостаточно внимания уделяется математическим методам учета неопределенности инновационной деятельности и, соответственно, анализу и снижению рисков.

Между тем, такое направление математики как теория нечетких множеств получает все большее применение в гуманистических системах – системах, на поведение которых сильное влияние оказывают суждения, восприятия или эмоции человека. Обобщая работы [6-12], следует отметить, что теория нечеткой логики (или теория нечетких множеств, или Fuzzy Logic) – это новый подход к описанию бизнес-процессов, в которых присутствует неопределенность, затрудняющая и даже исключающая применение точных количественных методов и подходов.

Различным вопросам применения теории нечетких множеств для решения сложных экономических задач посвящены многочисленные работы известных ученых: А.О. Недосекина, В.Г. Чернова, Г.В. Давыдовой, А.Ю. Беликова, К.И. Воронова, О.Б. Максимова, П.В. Севастьянова, Л.Г. Дымовой, Г.С. Павлова, С.Н. Фролова, А.Е. Алтунина, М.В. Семухина, С.В. Скорохода, Б.А. Железко, С.А. Смоляка, А. Леоненкова, Л.А. Заде, Дж. Баклея, Р. Белмана, Г.Дж. Циммермана. Однако в экономической литературе не достаточно освещены методы оценки инвестиционной привлекательности инноваций на основе теории нечетких множеств.

4. Недостатки существующих методов оценки эффективности инноваций

Переход экономики к рыночным отношениям обусловил необходимость переосмысления принципов и методов определения экономической эффективности инноваций. В 1994 г. были разработаны первые методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов с учетом особенностей рыночной экономики. В 1999 г. данная методика была переработана и переиздана под названием «Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов» [2]. В научной литературе по инновационному менеджменту для оценки эффективности инноваций рекомендуются именно эти методические разработки. Данные методические рекомендации имеют следующие недостатки:

- 1) не предусматривают на первоначальном этапе реализацию процедур отсева явно бесперспективных инноваций;
- 2) не учитывают специфические особенности инноваций;
- 3) не учитывают фактор неточности исходных данных и высокую неопределенность инновационной деятельности;
- 4) не учитывают многокритериальную природу инноваций;

5) в составе эффективности декларируются качественные критерии (например, социальная эффективность), но количественных методов расчета таких критериев не дается;

6) не учитывается оценка возможных рисков при реализации инноваций;

7) не учитываются цели инновации и тип источника финансирования.

В зарубежной практике оценки эффективности инноваций наиболее распространенными являются методики: STAR (Strategic technology assesment review – методика многофакторного анализа инновационных проектов на основе экспертных оценок) [13], BSC (Balanced Scorecard – сбалансированной системы показателей для анализа приоритетности инновационных проектов - методика комплексной оценки потенциала инновационного проекта на базе двенадцати показателей-драйверов по четырем перспективам: финансовая, маркетинговая, бизнес-процессы и обучение) [14] и IRI (Industrial Research Institute Technique – методика оценки вероятности технического и коммерческого успеха инновационных проектов) [15]. Данные методики, согласно исследованиям, представленным в работах [16-20], имеют следующие недостатки методического характера:

1) в методике STAR некоторые риски дублируются, что может привести к неадекватным результатам, в методике IRI спектр оценок довольно узок и обе методики не содержат требуемых нормативными документами России критериев (например, *NPV*, *IRR*, срок окупаемости и т.д.);

2) в используемые оценки не попадают все возможные сценарии развития событий (образующие непрерывный спектр), т.е. оценки, как и ранги критериев непосредственно назначаются экспертами («точечные» оценки);

3) используемые свертки в методиках не являются оптимальными, поскольку при их применении возможно проявление «эффекта компенсации», возникающего, когда неприемлемые оценки по одним критериям могут быть компенсированы высокими оценками по другим критериям. Проявление данного эффекта возможно при аддитивной или мультипликативной свертках, но не при минимаксной;

4) если оценку осуществляет несколько экспертов (что очевидно дает наиболее объективные результаты оценки), то из данных методик не ясно, каким образом учитываются мнения разных экспертов;

5) перенос зарубежных методик в чистом виде на отечественные субъекты инновационной инфраструктуры неправомерен. Это связано с тем, что за рубежом преобладают более интерактивные модели инновационного процесса, в России - линейные модели, а это сказывается на условиях и механизмах коммерциализации инноваций. Кроме того, зарубежные методики не учитывают специфику рынка и нормативно-правового поля России.

5. Специфика задачи оценки эффективности инноваций на начальных этапах их жизненного цикла

Специфическими особенностями инноваций, которые особенно проявляются на начальных этапах их жизненного цикла, является их многоцелевая/многокритериальная сущность, высокая неопределенность и отложенность результатов (эффектов от внедрения) при их реализации. Перечисленные особенности необходимо учитывать при решении задачи оценки эффективности инноваций на начальных стадиях их жизненного цикла.

Под «многоцелевой сущностью инноваций» в существующих работах, например [8, 21], понимается достижение нескольких целей при внедрении инновации, или это может быть одна главная цель, подцели и/или ограничения. Под «многокритериальной сущностью инноваций», в контексте этих же работ, понимается необходимость оценивать инновацию по многим критериям, которые соответствуют целям, достигаемым инновацией или ограничениям.

Согласно работе [8], практическая реализация многоцелевого подхода к решению задач в инновационном планировании позволяет обеспечить:

1) повышение уровня научной обоснованности получаемых решений за счет учета сравнительно большего числа наиболее важных внешних и внутренних критериев (оценка по многим критериям);

2) получение сравнительно большего экономического эффекта от внедрения в практическую деятельность инноваций за счет реализации принципа синергизма (достижение многих целей, например, социальных, экономических, экологических и т.д.).

В работе [22] рассматривается другая важнейшая особенность инновационного процесса - его направленность в будущее. Будущее неясно, и управление протекает в условиях неопределенности относительно будущего состояния как самой инновации, так и её экономического окружения. Неопределенность - неизбежное условие хозяйствования. Очевидно, что чем выше новизна, тем выше неопределенность. Неопределенность порождает риск того, что намеченные цели не будут достигнуты. Поэтому задача минимизации риска неэффективного управления инновационной деятельностью замыкается на задачу всемерной борьбы с неопределенностью. Неопределенность является принципиальной и неотъемлемой составляющей инновационного процесса, поскольку инновации неразрывно связаны с исследованиями и поиском нового и неизведанного. Именно большое количество неопределенностей в инновационной деятельности определяют её специфику. Эти неопределенности принципиально не могут быть устранены.

В работах [23-25] обсуждаются вопросы, связанные с учетом такой не менее важной особенности любых инновационных процессов как отложенность результатов (эффектов) реализации инноваций. Для учета этой особенности авторами указанных работ предлагаются конкретные решения задач управления

инновационными процессами, основанные на применении компьютерного (имитационного) моделирования и агентных технологий с целью прогнозирования рисков и результатов реализации инновационных проектов с учетом влияния на процесс развития инноваций внешнего окружения и динамики рынка инноваций (рыночной диффузии инноваций). Результаты исследований, представленные в работах [31-33], показали, что на ранних стадиях жизненного цикла инноваций в условиях неполноты информации и неопределенности последствий их внедрения известные методы оценки эффективности инновационных и инвестиционных проектов не подходят, так как построены на стоимостном измерении и сопоставлении результатов и затрат на протяжении срока реализации проекта. Вместе с тем, статические и динамические показатели эффективности инноваций не отражают и не могут отразить в стоимостных категориях все проявления эффектов инноваций: научно-технических, производственно-ресурсных, социально-экономических, а также риска реализации инноваций на рынке.

6. Применение аппарата теории нечетких множеств для решения задачи оценки эффективности инноваций

Основу существующих методических разработок, используемых для оценки эффективности инноваций на начальных этапах жизненного цикла, составляют современные математические методы прогнозирования, такие как классическая теория вероятностей и математическая статистика, а также методы экспертных оценок, в частности аксиологическая теория вероятностей, интервальные методы и теория нечетких множеств. Данные подходы позволяют учесть многокритериальность инноваций и высокую неопределенность инновационной деятельности.

В работах [7, 8, 10, 26] отмечается, что достаточно эффективным инструментальным средством, способным учесть неточность исходных данных, следует признать математический аппарат нечетких множеств. Нечетко-множественные подходы свободны от вероятностной аксиоматики и от проблем с обоснованием выбора вероятностных весов (в отличие от аксиологической теории вероятностей), кроме того, они включают в себя все возможные сценарии развития событий. Такой подход позволяет генерировать непрерывный спектр сценариев реализации по каждому из прогнозируемых параметров инновации (в отличие от обычных интервальных подходов). Еще одним доводом в пользу выбора математического аппарата теории нечетких множеств является то, что он позволяет не только учесть неопределенность, но и формализовать и оперировать, как качественными критериями (социальная, экологическая, научно-техническая эффективность), так и количественными критериями (экономическая эффективность) оценки эффективности инноваций, привести качественные и количественные оценки к одному основанию и рассчитать интегральный показатель эффективности

инновации, зависящий от многих параметров, на основе свертки критериев.

Одним из наиболее существенных недостатков разработанных на сегодняшний день методов и средств оценки эффективности инноваций на начальных стадиях их жизненного цикла является то, что в основе их фундаментальной вычислительной модели эффективности не учитываются такие важные компоненты как социальная и научно-техническая эффективность, а всего лишь декларируются как составная часть общей эффективности. Примером таких методических разработок являются работы [4, 27, 28].

Вместе с тем, ни авторами работ [4, 27, 28], ни другими учеными-экономистами вычислительных моделей числовой оценки социального, научно-технического, экологического эффектов реализации инновационных проектов в процессе определения интегрального критерия эффективности инноваций, в том числе систем анализа начальных этапов их жизненного цикла, до сих пор предложено не было. Получение на расчетной основе числовых оценок перечисленных эффектов в существующих работах, например [29-31], не приводится. Несмотря на это, математический аппарат теории нечетких множеств позволяет получить такие оценки.

7. Постановка задачи

Эффективность инновационных проектов, как правило, характеризуется совокупностью частных критериев, находящихся зачастую во взаимном противоречии друг с другом, когда улучшение по одному из показателей ведет к ухудшению по-другому и наоборот, и удовлетворение требованиям всех критериев невозможно. Кроме того, критерии, а также ограничения, обычно сформулированы весьма неточно, нечетко. В этих условиях поиск эффективных решений невозможен без учета «нечеткой» качественной информации о предпочтениях различных критериев, о желаемом характере процессов – росте или уменьшении параметров эффективности, о диапазоне их изменения. Инновации характеризуются множеством целей и ограничений, которые невозможно сформулировать точно («четко»). В связи с этим, задача оценки эффективности инноваций – это нечеткая многокритериальная задача.

Основными проблемами при оценке эффективности инноваций на этапе НИОКР являются отсутствие количественных показателей для оценки и субъективность экспертов. Следует заметить, что при оценке инновации на начальных этапах жизненного цикла приходится оценивать ожидаемые эффекты, то есть наиболее вероятные. Для определения интегрального показателя эффективности инновации необходимо исследовать и оценить составляющие его частные показатели (далее – эффекты), такие как: экономический, научно-технический, экологический и социальный эффекты.

При рассмотрении экономического эффекта оцениваются как ожидаемая прибыль от его реализации,

так и последствия для организации, например выход на новый рынок сбыта. Социальный эффект представляет собой комплексную оценку изменения уровня благосостояния общества, качества жизни и условий труда. Научно-технический эффект предполагает оценку инновации по качественным критериям, таким как новизна, практическая ценность (полезность), техническая реализуемость и перспективность инновации с точки зрения расширения областей научного знания (фундаментальный аспект). Значимость экологического эффекта в последнее время возрастает в связи с постепенным введением в действие концепции устойчивого развития в области охраны природных ресурсов и пристального внимания общественности к экологическим проблемам. Экологический эффект можно оценить посредством сравнения варианта технологии принятого к использованию в настоящее время и альтернативного, оцениваемого варианта. В сравнении должны учитываться как устранение новым вариантом негативных для окружающей среды эффектов, например, снижение или отсутствие вредных выбросов, так и появление при его использовании дополнительных экологических преимуществ, например экономии потребляемых природных ресурсов.

К перечню наиболее значимых для оценки показателей в процессе вычисления экономического эффекта инновации можно отнести следующие:

- размер инвестиций;
- потенциальный размер прибыли;
- уровень банковской ставки и инфляции;
- себестоимость и предполагаемый объем продаж инновационной продукции;
- срок окупаемости инновационного проекта;
- виды и вероятность возникновения финансовых рисков.

Для вычисления социального эффекта инновации необходимо учитывать следующие параметры и определить уровень их изменения с внедрением инновации:

- благосостояние населения;
- условия труда;
- занятость населения;
- производительность труда;
- правовое обеспечение проекта;
- вероятная оценка проекта общественным мнением;
- вероятность возникновения правовых рисков.

При определении экологического эффекта значимыми параметрами, изменения которых необходимо учитывать, являются:

- уровень выбросов и сбросов в окружающую среду;
- ресурсоемкость и энергоемкость;
- сроки полезного использования;
- потенциальная экономия природных ресурсов;
- возможные экологические риски, степень их влияния на проект и вероятность их возникновения.

Научно-технический эффект, как правило, характеризуется такими важными показателями, как:

- новизна (фундаментальная значимость);
- практическая значимость (полезность);
- техническая реализуемость;
- уровень технологического развития;
- экономия ресурсов (трудовых, материальных и т.д.)
- временные рамки;
- научно-технические риски.

При внедрении любой инновации возникает экономия ресурсов различного типа – финансовых, производственных, природных, трудовых и других. Также возникают специфические инновационные риски. К ним можно отнести коммерческие, социально-политические, правовые и научно-технические риски. Таким образом, интегральная оценка эффективности инноваций на ранних стадиях жизненного цикла, по мнению авторов, должна базироваться на оценке уровня и соотношения трех факторов: полезного эффекта, экономии и риска (табл.).

Перейдем к постановке задачи.

Пусть имеется $BP = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ – множество инновационных проектов, которые подлежат многокритериальному анализу и оценке эффективности.

$E = \{E_{\text{эк}}, E_{\text{соц}}, E_{\text{нт}}, E_{\text{экол}}\}$ – множество частных показателей эффективности, которые используются при расчете интегрального показателя эффективности инновационного проекта с учетом оценки уровня и соотношения трех факторов: полезного эффекта U , экономии EC и риска R , где $E_{\text{эк}}$ – экономическая эффективность инновации; $E_{\text{соц}}$ – социальная эффективность инновации; $E_{\text{нт}}$ – научно-техническая эффективность инновации; $E_{\text{экол}}$ – экологическая эффективность инновации.

$C = \{C_{E_{\text{эк}}}, C_{E_{\text{соц}}}, C_{E_{\text{нт}}}, C_{E_{\text{экол}}}\}$ – множество количественных и качественных критериев, которыми оцениваются варианты,

где $C_{E_{\text{эк}}} = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ – множество качественных и количественных критериев, которыми оцениваются рассматриваемые варианты с точки зрения экономической эффективности $E_{\text{эк}}$: полезный эффект $U_{\text{эк}}$, экономия $EC_{\text{эк}}$ и риск $R_{\text{эк}}$ в процедуре расчета экономического эффекта

$$E_{\text{эк}} = f(U_{\text{эк}}, EC_{\text{эк}}, R_{\text{эк}});$$

$C_{E_{\text{соц}}} = \{C_1, C_2, \dots, C_l\}$ – множество качественных и количественных критериев, которыми оцениваются рассматриваемые варианты с точки зрения социальной эффективности $E_{\text{соц}}$: полезный эффект $U_{\text{соц}}$, экономия $EC_{\text{соц}}$ и риск $R_{\text{соц}}$ в процедуре расчета социального эффекта

$$E_{\text{соц}} = f(U_{\text{соц}}, EC_{\text{соц}}, R_{\text{соц}});$$

Основные составляющие интегральной оценки эффективности инноваций

	Экономический эффект ($E_{эк}$)	Социальный эффект ($E_{соц}$)	Научно-технический эффект ($E_{нтт}$)	Экологический эффект ($E_{экол}$)
Полезный эффект (U)	Прибыль, усиление конкурентных позиций на рынке, освоение новых рынков, экспорт	Изменение уровня благосостояния общества, занятости населения, качества жизни	Новизна, практическая польза, повышение технического уровня	Улучшение экологической ситуации в регионе, повышение рациональности природопользования, увеличение срока использования
Экономия (EC)	Сокращение финансовых затрат на производство, снижение себестоимости продукции	Сокращение трудозатрат, улучшение условий труда	Сокращение количества времени и материалов	Экономия природных ресурсов, снижение вредных выбросов и отходов, энергоёмкости
Риск (R)	Коммерческий риск	Социально-политический и правовой риск	Научно-технический риск	Экологический риск

$C_{E_{нтт}} = \{C_1, C_2, \dots, C_p\}$ - множество качественных и количественных критериев, которыми оцениваются рассматриваемые варианты с точки зрения научно-технической эффективности $E_{нтт}$: полезный эффект $U_{нтт}$, экономия $EC_{нтт}$ и риск $R_{нтт}$ в процедуре расчета научно-технического эффекта $E_{нтт} = f(U_{нтт}, EC_{нтт}, R_{нтт})$; $C_{E_{экол}} = \{C_1, C_2, \dots, C_q\}$ - множество качественных и количественных критериев, которыми оцениваются рассматриваемые варианты с точки зрения экологической эффективности $E_{экол}$: полезный эффект $U_{экол}$, экономия $EC_{экол}$ и риск $R_{экол}$ в процедуре расчета экологического эффекта $E_{экол} = f(U_{экол}, EC_{экол}, R_{экол})$.

Пусть $B = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}$ - компетентность оценок k - экспертов, проводящих экспертизу.

Можно сформулировать две взаимосвязанные задачи по определению множества эффективных инновационных проектов для финансирования.

Задача 1 состоит в том, чтобы упорядочить элементы множества BP по обобщенным частным критериям $C_{E_{эк}}, C_{E_{соц}}, C_{E_{нтт}}, C_{E_{экол}} \subset C$ из множества

C с учетом компетентности оценок экспертов.

Задача 2 состоит в том, чтобы:

1) Определить частные показатели эффективности $E_{эк}, E_{соц}, E_{нтт}, E_{экол}$ для каждого варианта из множества BP с учетом оценки уровня и соотношения трех факторов: полезного эффекта U , экономии EC и риска R на основе полученных оценок $C_{E_{эк}}, C_{E_{соц}}, C_{E_{нтт}}, C_{E_{экол}} \subset C$.

2) Рассчитать для каждого из рассматриваемых вариантов интегральный показатель эффективности E_{int} по совокупности частных показателей эффективности $E_{эк}, E_{соц}, E_{нтт}, E_{экол}$ с учетом целей инновации и типа органа, осуществляющего финансирование.

3) Определить множество эффективных инновационных проектов $BP^* \subseteq BP$.

8. Методика решения задачи 1

Для решения первой задачи предлагается использовать следующий подход. Будем рассматривать критерии

$$C = \{C_{E_{эк}}, C_{E_{соц}}, C_{E_{нтт}}, C_{E_{экол}}\}$$

как нечеткие множества, которые заданы на универсальных множествах вариантов с помощью функции принадлежности в виде треугольных или трапециевидных нечетких чисел. Применим метод анализа иерархий (МАИ) Т. Саати [34] для декомпозиции многокритериальной сложной задачи оценки эффективности инноваций на более простые составляющие части и проведем попарное сравнение критериев. Определим функции принадлежности нечетких множеств на основе экспертной информации о парных сравнениях вариантов с помощью 9-тибальной шкалы Т. Саати. Произведем ранжирование вариантов на основе пересечения нечетких множеств - критериев, которые отвечают известной в теории принятия решений схеме Беллмана-Заде [35].

При оценивании показателей эксперты задают нижние - пессимистические оценки c_1^{ijk} , верхние - оптимистические оценки c_4^{ijk} и интервалы наиболее ожидаемых (возможных) значений исследуемых параметров $(c_2^{ijk}; c_3^{ijk})$, $i = \overline{1, k}$, $j = \overline{1, n}$ где k - число экспертов, n - число рассматриваемых проектов, $\mu_{C_{ijk}}(x_k)$ - степень принадлежности нечеткому множеству в виде нечеткого трапециевидного или треугольного чисел:

$$C_{ijk}(c_1^{ijk}, c_2^{ijk}, c_3^{ijk}, c_4^{ijk}) = \begin{cases} [c_1^{ijk}; c_4^{ijk}] & 0 \leq \mu_{C_{ijk}}(x_k) < 1 \\ [c_2^{ijk}; c_3^{ijk}] & \mu_{C_{ijk}}(x_k) = 1 \end{cases},$$

$$C_{ijk}(c_1^{ijk}, c_2^{ijk}, c_3^{ijk}) = \begin{cases} [c_1^{ijk}; c_3^{ijk}] & 0 \leq \mu_{C_{ijk}}(x_k) < 1 \\ [c_2^{ijk}] & \mu_{C_{ijk}}(x_k) = 1 \end{cases}, \quad (1)$$

где $C_{ijk}(c_1^{ijk}, c_2^{ijk}, c_3^{ijk}, c_4^{ijk})$, $C_{ijk}(c_1^{ijk}, c_2^{ijk}, c_3^{ijk})$ - интервальные оценки i -го инновационного проекта k -м экспертом по j -му критерию соответственно в виде нечеткого трапециевидного и нечеткого треугольного числа; c_1^{ijk} - нижняя пессимистическая оценка; c_4^{ijk} - верхняя пессимистическая оценка; $(c_2^{ijk}; c_3^{ijk})$ - соответственно наиболее вероятный интервал и наиболее вероятная оценка; $\mu_{C_{ijk}}(x_k)$ - степень принадлежности элемента $x \in X$ нечеткому множеству \tilde{C} .

Дальнейшую обработку нечетко сформулированных мнений экспертов предлагается осуществлять путем дефазификации полученных нечетких частных оценок и дальнейшей их обработки в дефазифицированном виде.

Дефазификация – процедура преобразования нечеткого множества в четкое число. Существует множество методов дефазификации. Все они базируются на эвристических идеях, подобной следующей: «будем выбирать управляющее действие, соответствующее максимальному значению функции принадлежности».

Наиболее распространенным и апробированным на сегодняшний день является центроидный метод дефазификации (метод центра тяжести). Он может быть реализован следующим способом. Дефазификация нечеткого множества $\tilde{C} = \int_{[a; x]} \mu_C(x) / dx$

по методу центра тяжести осуществляется по формуле нахождения центра тяжести плоской фигуры, ограниченной осями координат и графиком функции принадлежности нечеткого множества [36].

$$\tilde{C} = C = \frac{\int_a^x x \mu_C(x) dx}{\int_a^x \mu_C(x) dx}. \quad (2)$$

Для трапециевидных и треугольных чисел (2) примет вид:

$$\tilde{C} = C = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu_C(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_C(x_i)}. \quad (3)$$

где $\mu_C(x_i)$ - степень принадлежности элемента $x \in X$ нечеткому множеству \tilde{C} .

Исходя из (2) и (3), дефазификацию результатов экспертной оценки, представленной в виде нечеткого трапециевидного или треугольного числа, предлагается проводить по формулам соответственно:

$$\tilde{C} = \frac{c_1 + 2(c_2 + c_3) + c_4}{6} \text{ и } \tilde{C} = \frac{c_1 + 2c_2 + c_3}{4},$$

$$\mu_{C_m}(bp_l) = \tilde{C}, \quad (4)$$

где $\mu_C(bp_l)$ - степень принадлежности элемента bp_l нечеткому множеству \tilde{C} .

Таким образом, на данном этапе мы имеем дефазифицированные оценки критериев нижних уровней иерархии оценочных критериев. Далее необходимо определить, насколько они согласованы.

Согласованность оценок экспертов определяется на основе коэффициента вариабельности по формуле [37]:

$$v = \frac{\sqrt{\frac{k * \sum_{l=1}^k x_l^2 - \left(\sum_{l=1}^k x_l\right)^2}{k * (k-1)}}}{\frac{\sum_{l=1}^k x_l}{k}}, \quad (5)$$

где v - коэффициент вариабельности;

k - количество экспертов;

x_l - значение критерия проекта, предложенное l -м экспертом;

l - номер текущего эксперта.

Если значение коэффициента вариабельности меньше 0,2, то мнения экспертов считаются согласованными. В противном случае, для получения согласованных оценок, можно воспользоваться общепринятым методом, как в зарубежной, так и в отечественной практике - методом «Дельфи» [38].

На следующем этапе эксперты определяют ранги критериев всех уровней на основе метода попарного сравнения.

Пусть W_1, W_2, \dots, W_s - коэффициенты относительной важности (или ранги) критериев $C_{E_{эк}} \cup C_{E_{соц}} \cup C_{E_{нт}} \cup C_{E_{экол}} = \{C_1, C_2, \dots, C_s\}$,

такие что $\sum_{j=1}^s W_j = 1$. Для определения коэффициентов

$W_j, j = \overline{1, s}$ предлагается использовать метод анализа иерархий Т. Саати. Для этого строится матрица попарных сравнений A^l (6) критериев по 9-ти балльной шкале Саати:

$$A^l = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_s \\ C_1 & \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1s} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2s} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1s} & 1/a_{2s} & \dots & 1 \end{bmatrix} & & & \\ C_2 & & & & \\ \vdots & & & & \\ C_n & & & & \end{matrix}, \quad (6)$$

где элемент a_{ij}^l оценивается экспертом по 9-тибалльной шкале Саати [34]; c_1, c_2, \dots, c_s - количественные и качественные критерии.

Для обеспечения согласованности матрица (6) имеет такие свойства:

- она диагональна, т.е. $a_{ij}^l = 1, i = \overline{1, s}$;
- элементы, симметричные относительно главной

диагонали связаны зависимостью $a_{ij}^l = \frac{1}{a_{ji}^l}$.

В работе [39] помимо указанных свойств, подобные матрицы наделяются еще одним свойством - транзитивности. Это позволяет определить все элементы матрицы A^l по элементам одной из строк. Если известна k -ая строка, т.е. элементы a_{kj} , то произвольный элемент a_{ij} определяется так:

$$a_{ij} = \frac{a_{kj}}{a_{ki}}, i, j, k = \overline{1, n}, l = \overline{1, s}. \quad (7)$$

Наличие данного свойства существенно упрощает работу для эксперта, обеспечивает высокую согласованность, т.к. эксперту необходимо заполнить только одну строку матрицы, а остальные строки вычисляются по формуле (7). Но данное упрощение приводит к существенной потере информации. В связи с этим, в данном случае предлагается не упрощать процедуру формирования матриц, а заполнять все элементы выше диагонали.

Из матрицы находятся искомые ранги критериев W . Согласно Т. Саати, решение для вектора рангов W получается из уравнения вида $AW = \lambda_{\max} W$, где λ_{\max} - максимальное собственное значение матрицы попарных сравнений критериев A^l . Т. Саати предложил находить собственное значение

как среднегеометрические величины каждой строки матрицы. Полученные таким образом среднегеометрические значения собственного вектора нормализуются делением на сумму средних геометрических:

$$W_i' = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^s a_{ij}}, W_i = \frac{W_i'}{\sum_{i=1}^s W_i'}$$

где W_i - ранг i -го критерия.

Следующим этапом является определение согласованности экспертов по оценкам рангов критериев.

Информативным показателем достоверности определения рангов является индекс согласованности (ИС) матрицы парных сравнений (6), который дает информацию о степени нарушения численной (кардинальной $a_{ij} = W_i / W_j$) и транзитивной

(порядковой) согласованности парных сравнений. В случае плохой согласованности рекомендуется поиск дополнительной информации и пересмотр данных, использованных при построении матрицы парных сравнений. Индекс согласованности для каждой матрицы рассчитывается на основе оценки максимальной величины собственного значения матрицы, λ_{\max} . Наибольшее собственное значение определяется по формуле:

$$\lambda_{\max} = R_1 \sum_{i=1}^s a_{i1} + R_2 \sum_{i=1}^s a_{i2} + \dots + R_i \sum_{i=1}^s a_{ij} + \dots + R_s \sum_{i=1}^s a_{is},$$

$$R = \sqrt[s]{\prod_{j=1}^s a_{ij}} \times \left(\sum_{i=1}^s \sqrt[s]{\prod_{j=1}^s a_{ij}} \right)^{-1},$$

где λ_{\max} - наибольшее собственное значение обратно симметричной матрицы; i - индекс строки матрицы A^l ; j - индекс столбца матрицы A^l ; a_{ij} - экспертные оценки; s - количество столбцов и строк матрицы.

Индекс согласованности рассчитывается по формуле:

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n-1)},$$

где λ_{\max} - наибольшее собственное значение обратно симметричной матрицы; $ИС$ - индекс согласованности; n - размерность матрицы парных сравнений. Для обратно симметричной матрицы всегда $\lambda_{\max} \geq n$.

На основе индекса согласованности $ИС$ рассчитывается показатель отношения согласованности $ОС$:

$$ОС = ИС / СС,$$

где $ОС$ - отношение согласованности; $СС$ - среднее значение согласованности.

В работе [40] на основе обобщения опыта решения большого числа многокритериальных задач утверждается, что, для того, чтобы парные сравнения

можно было считать согласованными, величина ОС должна быть менее, чем 10%. В ряде случаев приемлемой для практики согласованностью можно считать величину ОС до 20%. Если ОС выходит из этих пределов, то экспертам нужно пересмотреть задачу и проверить свои суждения.

Основным результатом реализации данного этапа является получение согласованных оценок критериев нижних уровней иерархии, согласованных рангов всех критериев всех уровней иерархии оценочных критериев.

Следующий этап - свертка оценочных критериев, с учетом их рангов и рангов экспертов, в один общий количественный критерий эффективности.

После получения функций принадлежности и рангов критериев производится их свертка. Базируясь на принципе Беллмана-Заде [35], наилучшей системой будем считать ту, которая одновременно лучшая по критериям C_1, C_2, \dots, C_s . Поэтому нечеткое множество, которое необходимо для рейтингового анализа, определяется в виде пересечения (интегральный критерий оценки систем):

$$D = C_1 \cap C_2 \cap \dots \cap C_s. \quad (8)$$

Учитывая то, что в теории нечетких множеств операция пересечения \cap соответствует \min , то выражение (8) можно записать в виде:

$$\tilde{D} = \left\{ \min_{m=1,s} (\mu_{C_m}(bp_1))^{W_m}, \min_{m=1,s} (\mu_{C_m}(bp_2))^{W_m}, \dots, \min_{m=1,s} (\mu_{C_m}(bp_i))^{W_m} \right\}, \quad (9)$$

где $BP = \{bp_1, bp_2, \dots, bp_i\}$ - множество инновационных проектов, которые подлежат многокритериальному анализу; $C = \{c_1, c_2, \dots, c_s\}$ - множество количественных и качественных критериев, которыми оцениваются варианты; $W = \{w_1, w_2, \dots, w_s\}$ - веса количественных и качественных критериев; \tilde{D} - результат свертки критериев.

Выражения (8) и (9) используется для равнозначимых критериев. Конструктивным, достаточно полно отражающим качественный характер задания предпочтений в многокритериальной задаче является подход, предложенный Р. Ягером, основанный на обобщении понятий концентрирования и растяжения [41].

Свертка Р. Ягера предназначена на случай неравнозначимых критериев, наиболее полно отражающая качественный характер задания предпочтений при формировании обобщенного показателя эффективности, по сравнению с аддитивной и мультипликативной свертками, недостатки которых изложены в работе [30].

Обобщенный критерий Ягера предлагается формировать в виде:

$$D = C_1^{W_1} \cap C_2^{W_2} \cap \dots \cap C_s^{W_s}, \quad (10)$$

$$\tilde{D} = \min_{m=1,s} \left[\mu_{C_m}^{W_m}(bp_1), \mu_{C_m}^{W_m}(bp_2), \dots, \mu_{C_m}^{W_m}(bp_i) \right],$$

где W_1, W_2, \dots, W_s - коэффициенты относительной важности (или ранги) критериев C_1, C_2, \dots, C_s . такие

$$\text{что } \sum_{j=1}^s W_j = 1.$$

В [41] показано, что возведение в степень, большую единицы, ужесточает требования к выполнению критерия, т.е. делает его более важным. Возведение в степень, меньшую единицы, наоборот, снижает требования к удовлетворению критерия. При этом сохраняются нормировки функций принадлежности всех критериев и ограничений. С одной стороны подход Ягера позволяет проводить ранжирование частных целей и ограничений в соответствии с интуитивными представлениями о задании той или иной жесткости требований к достижению целей. С другой стороны, этот подход позволяет естественным образом использовать операцию пересечения для формирования совокупности критериев [42]. Кроме того, при использовании данного вида свертки отсутствует «эффект компенсации», когда неприемлемые оценки по одним критериям могут быть компенсированы (и тем самым замаскированы) высокими оценками по другим критериям. Вместе с тем, проявление данного эффекта возможно при аддитивной или мультипликативной свертках.

Таким образом, определяется рейтинг проектов, построенный каждым экспертом в отдельности.

Следующим этапом решения задачи является определение компетентности оценок экспертов и с учетом их компетентности формирование единого (общего) рейтинга проектов. Для этого строится матрица попарных сравнений компетентности оценок экспертов, аналогичную (6), и затем определяется собственный вектор данной матрицы. Далее производится мультипликативная свертка результатов, полученных на втором этапе, умноженных на компетентность оценок экспертов, т.е. оценки экспертов корректируются на их компетентность. Наилучшей инновацией следует считать ту, для которой обобщенный результат, с учетом важности критериев и рангов оценок экспертов, является наибольшей. Предлагается определять наилучшую систему по следующей формуле:

$$\mu_C \leftarrow \max \left[\min \left\{ \begin{array}{l} b_1 \cdot \min \left(\mu_1^{W_1}, \mu_2^{W_2}, \dots, \mu_s^{W_s} \right) \\ b_2 \cdot \min \left(\mu_1^{W_1}, \mu_2^{W_2}, \dots, \mu_s^{W_s} \right) \\ \dots \\ b_k \cdot \min \left(\mu_1^{W_1}, \mu_2^{W_2}, \dots, \mu_s^{W_s} \right) \end{array} \right\} \right], \quad (11)$$

где $W_1, W_2, \dots, W_s > 0$ (ранги критериев),

$\frac{1}{s} \sum_{i=1}^s W_i = 1$, $b_1, b_2, \dots, b_k > 0$ (ранги экспертов),

$\sum_{i=1}^k b_i = 1$, μ - наилучший проект по оцениваемым критериям.

Согласно исследованиям, представленным в работе [43], максиминный подход обеспечивает гарантированный результат. Применительно к решаемой задаче это означает, что степени удовлетворения частным критериям в точке оптимума не ниже степени удовлетворения наименее значимому критерию, и решение оптимально по Парето.

Отличительной особенностью рассмотренного подхода является возможность корректно реализовать процедуру оценки эффективности инновационных проектов с учётом их высокой неопределённости, многоцелевой сущности и компетентности экспертов, оценивающих инновационные проекты, а также оценивать вклад каждого критерия в общий результат и оперировать как с качественными, так и с количественными критериями.

9. Методика решения задачи 2

На основе полученных оценок критериев $C_{E_{эк}}, C_{E_{соц}}, C_{E_{нт}}, C_{E_{экол}} \subset C$, представленных в дефазифицированном виде, рассматриваются частные показатели эффективности $E_{эк}, E_{соц}, E_{нт}, E_{экол}$ для каждого варианта из множества BP с учетом оценки уровня и соотношения трех факторов: полезного эффекта U , экономии EC и риска R .

1. Вычислительная модель показателя экономической эффективности инновации имеет вид:

$$E_{эк} = \left(U_{эк} + EC_{эк} \right) \times \left(1 - R_{эк} \right)$$

Полезный экономический эффект представляет собой ожидаемую приведенную доходность инновации на условную единицу приведенных ожидаемых затрат с учетом срока окупаемости проекта. Полезный эффект при оценке экономической эффективности инновации может быть рассчитан как:

$$U_{эк} = PI - 1,$$

где PI - индекс рентабельности инвестиции.

Упрощенно индекс рентабельности инвестиций можно вычислить по формуле:

$$PI = NPV / C_{вн},$$

где NPV - чистый приведенный доход от инвестиций в инновацию; $C_{вн}$ - затраты на внедрение инновации.

Чистый приведенный доход NPV вычисляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \left(\frac{D_t - C_{вн} - C_{еж}}{(1+r_t)^t} \right),$$

где T - период реализации проекта; D_t - ежегодный ожидаемый доход после внедрения инновации; $C_{вн}$ - себестоимость инновации после внедрения; $C_{еж}$ -

ежегодные затраты на поддержку инновации после ее внедрения; r_t - прогнозируемая учетная ставка Центрального банка РФ в период запуска и реализации проекта (ставка дисконтирования).

Если $NPV > 0$, то инновацию с точки зрения полезного экономического эффекта можно считать экономически эффективной. Далее необходимо рассчитать показатели внутренней нормы доходности IRR и период окупаемости инновационного проекта PI . Вычислительные модели этих показателей приведены в работе [31]. Если $IRR > r$ и $PI > 0$, то проект также считается экономически эффективным. Таким образом, при значении показателя $U_{эк} \leq 0$ проект выходит из дальнейшего рассмотрения как заведомо неэффективный.

При наличии сведений о себестоимости инновации до внедрения, или как разность между финансовыми затратами на выполнение функции, предположительно выполняемой нововведением, до внедрения инновации и ожидаемыми затратами после, отнесенными к затратам на внедрение, экономия может быть определена по формуле:

$$EC_{эк} = \frac{\sum_{i=1}^T D_i - D_{ал}}{\sum_{i=1}^T D_i + C_{вн}},$$

где $D_{ал}$ - ожидаемые доходы от производства без внедрения рассматриваемого инновационного проекта; $\sum_{i=1}^T D_i$ - общая сумма ожидаемых доходов от рассматриваемого проекта.

Коммерческий риск предлагается вычислять на основе общепринятого в эконометрике метода расчета среднеквадратического отклонения NPV к его ожидаемому значению. Согласно работе [45], считается, что показателем абсолютного риска является среднеквадратическое отклонение σ . Чем больше среднеквадратическое отклонение, тем выше риск.

Общая величина коммерческого риска по проекту:

$$R_{эк} = \frac{\sigma(NPV)}{NPV},$$

где $\sigma(NPV)$ - среднеквадратическое отклонение NPV ; NPV - чистый приведенный доход.

Величина среднеквадратического отклонения σ для прибыли вычисляется по формуле:

$$\sigma(P_i) = \sqrt{\sum_{i=1}^T (P_i - \bar{D})^2 \cdot P_i},$$

где $\bar{D} = \sum_{i=1}^T D_i \cdot P_i$ - ожидаемая средняя прибыль;

P_i - вероятность получения прибыли D_i в i -ом году проекта.

Величина среднеквадратического отклонения $\sigma(\overline{NPV})$ чистого приведенного дохода рассчитывается по формуле:

$$\sigma(\overline{NPV}) = \sqrt{\sum_{i=1}^T \left(\frac{\sigma(\overline{C}_i)}{1+r_i} \right)^2}$$

Вычислительные модели показателей социальной, научно-технической и экологической эффективности инновации имеют схожую структуру и представлены ниже.

2. Вычислительная модель показателя социальной эффективности инновации имеет вид:

$$E_{соц} = \overline{U}_{соц} + EC_{соц} - R_{соц},$$

где

$$\overline{U}_{соц} = \left(\sum_{i=1}^{l_1} u_i \right) / l_1 - \text{полезный эффект при}$$

оценке социальной эффективности инновации;

$$EC_{соц} = \left(\sum_{j=1}^{l_2} ec_j \right) / l_2 - \text{экономия;}$$

$$R_{соц} = \left(\sum_{k=1}^{l_3} r_k \right) / l_3 = \left(\sum_{k=1}^{l_3} \overline{C}_k \cdot P_k \right) / l_3 -$$

социально-правовой риск;

$$u_i, i = \overline{1, l_1}, ec_j, j = \overline{1, l_2}, r_k = Z_k \cdot P_k, k = \overline{1, l_3} -$$

дефазифицированные оценки критериев

$$\overline{C}_1, C_2, \dots, C_{l_1}, \overline{C}_1, C_2, \dots, C_{l_2}, \overline{C}_1, C_2, \dots, C_{l_3} \text{ и } C_{E_{соц}}$$

соответственно, полученные на этапе решения первой задачи; P_k - вероятность возникновения риска;

Z_k - степень воздействия (влияния) риска r_k на успех реализации инновационного проекта. P_k и Z_k также оцениваются экспертным путем в ходе решения первой задачи;

$l = l_1 + l_2 + l_3$ - общее количество качественных и количественных критериев, которые используются для оценки социального эффекта инновации.

3. Вычислительная модель показателя научно-технической эффективности инновации имеет вид:

$$E_{нт} = \overline{U}_{нт} + EC_{нт} - R_{нт},$$

где $\overline{U}_{нт} = \left(\sum_{i=1}^{p_1} u_i \right) / p_1$ - полезный эффект при оценке научно-технической эффективности инновации;

$$EC_{нт} = \left(\sum_{j=1}^{p_2} ec_j \right) / p_2 - \text{экономия;}$$

$$R_{нт} = \left(\sum_{k=1}^{p_3} r_k \right) / p_3 = \left(\sum_{k=1}^{p_3} \overline{C}_k \cdot P_k \right) / p_3 - \text{на-$$

учно-технический риск;

$$u_i, i = \overline{1, p_1}, ec_j, j = \overline{1, p_2},$$

$r_k = Z_k \cdot P_k, k = \overline{1, p_3}$ - дефазифицированные оценки критериев

$$\overline{C}_1, C_2, \dots, C_{p_1}, \overline{C}_1, C_2, \dots, C_{p_2}, \overline{C}_1, C_2, \dots, C_{p_3} \text{ и } C_{E_{нт}}$$

соответственно, полученные на этапе решения первой задачи; P_k - вероятность возникновения риска;

Z_k - степень воздействия (влияния) риска r_k на успех реализации инновационного проекта. P_k и Z_k

также оцениваются экспертным путем в ходе решения первой задачи;

$p = p_1 + p_2 + p_3$ - общее количество качественных и количественных критериев, которые используются для оценки научно-технического эффекта инновации.

4. Вычислительная модель показателя экологической эффективности инновации имеет вид:

$$E_{экол} = \overline{U}_{экол} + EC_{экол} - R_{экол},$$

где $\overline{U}_{экол} = \left(\sum_{i=1}^{q_1} u_i \right) / q_1$ - полезный эффект при

оценке экологической эффективности инновации;

$$EC_{экол} = \left(\sum_{j=1}^{q_2} ec_j \right) / q_2 - \text{экономия;}$$

$$R_{экол} = \left(\sum_{k=1}^{q_3} r_k \right) / q_3 = \left(\sum_{k=1}^{q_3} \overline{C}_k \cdot P_k \right) / q_3 -$$

экологический риск;

$$u_i, i = \overline{1, q_1}, ec_j, j = \overline{1, q_2}, r_k = Z_k \cdot P_k, k = \overline{1, q_3} -$$

дефазифицированные оценки критериев

$$\overline{C}_1, C_2, \dots, C_{q_1}, \overline{C}_1, C_2, \dots, C_{q_2}, \overline{C}_1, C_2, \dots, C_{q_3} \text{ и } C_{E_{экол}}$$

соответственно, полученные на этапе решения первой задачи; P_k - вероятность возникновения риска;

Z_k - степень воздействия (влияния) риска r_k на успех реализации инновационного проекта. P_k и Z_k

также оцениваются экспертным путем в ходе решения первой задачи;

$q = q_1 + q_2 + q_3$ - общее количество качественных и количественных критериев, которые используются для оценки экологического эффекта инновации.

Примечание: При оценке всех видов выше рассмотренных рисков необходимо учитывать меры нейтрализации риска, например, страхование.

Интегральный показатель эффективности

E_{int} инновационного проекта по совокупности частных показателей эффективности $E_{эк}, E_{соц}, E_{нт}, E_{экол}$ с учетом целей инновации и типа органа, осуществляющего финансирование, для каждого из

рассматриваемых вариантов вычисляется следующим образом:

$$E_{\text{int}} = \alpha_1 \cdot E_{\text{эк}} + \alpha_2 \cdot E_{\text{соц}} + \alpha_3 \cdot E_{\text{нт}} + \alpha_4 \cdot E_{\text{экол}},$$

где α_i , $i = \overline{1,4}$ - ранги частных показателей эффективности инновационного проекта (степень важности частного показателя с точки зрения типа инвестора или целей инновации).

Ранги частных показателей эффективности α_i определяются по формуле П. Фишберна [44]:

$$\alpha_i = \frac{2 \cdot (n - i + 1)}{n \cdot (n + 1)},$$

где n - количество ранжируемых по степени значимости частных показателей эффективности (в нашем случае $n = 4$).

Если $E_{\text{int}} \geq 0$, то инновационный проект считается эффективным и его можно отнести к множеству $BP^* \subset BP$.

Если же информация по уровню значимости частных показателей (эффектов) не рассматривается для всех анализируемых инновационных проектов, то этап определения ранга (их степени значимости) может быть опущен.

В любом случае, следует отметить, что инновация считается эффективной, если она экономически выгодна и не оказывает отрицательного воздействия на внешнюю среду.

10. Технология комплексной оценки эффективности инноваций на начальных стадиях их жизненного цикла

Предлагаемый метод оценки эффективности инноваций на начальных этапах жизненного цикла, основанный на применении математического аппарата теории нечетких множеств, реализуется в рамках информационной технологии комплексного анализа и оценки эффективности инноваций, в логике функционирования которой можно выделить следующие основные этапы (рис.):

Этап 1: Предварительный анализ инновационного проекта. Целью данного этапа является проверка соблюдения прав интеллектуальной собственности при появлении нового инновационного проекта (сравнение с аналогами \rightarrow определение степени отличия и выявление плагиата). Процедура проверки предусматривает семантический поиск и анализ данных, содержащихся в информационных базах и фондах, организаций занимающихся регистрацией патентованием новых разработок и результатов НИР (например, таких как РосПатент, ВНИИЦ, ИНИМ РАО и т. д.) и в сети Интернет. На этом этапе реализуются информационные технологии интеллектуального анализа данных об инновационных проектах и автоматизированные информационно-поисковые системы. Иногда для повышения точности и качества результатов, полученных на первом этапе, до

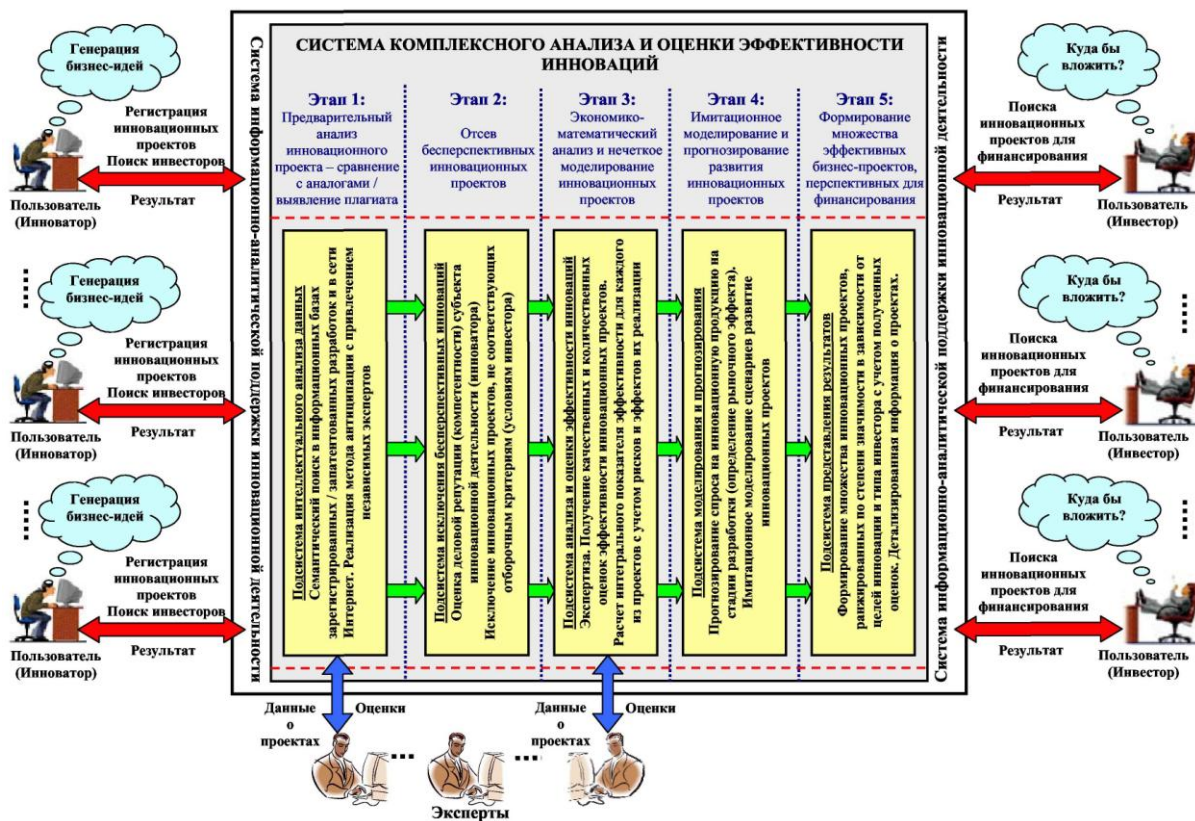
полнительно реализуется метод антиципации с привлечением независимых экспертов. Метод антиципации применяется для предварительной оценки новизны работы. Суть метода заключается в том, что результаты анализируемой работы формулируются в виде вопросов, которые задаются экспертам. Эксперты отвечают на заданные вопросы, как бы предвосхищая выводы исследования. В случае совпадения ответов экспертов и оцениваемых выводов результаты считаются известными.

Этап 2: Отсев бесперспективных инновационных проектов. Целью второго этапа является исключение из рассмотрения бесперспективных инноваций. На данном этапе реализуются методы оценки деловой репутации (компетентности) субъектов инновационной деятельности (инноваторов), выдвигающих инновационные проекты, а также процедуры проверки соответствия заявленных инновационных проектов отборочным критериям или условиям органа, осуществляющего финансирование.

Этап 3: Экономико-математический анализ и нечеткое моделирование инновационных проектов. На данном этапе осуществляется экспертиза инновационных проектов. Целью этапа является получение качественных и количественных оценок эффективности инновационных проектов в виде нечетких вычислительных моделей. На основе полученных оценок после их дефазификации рассчитываются частные показатели эффективности инноваций (социальная, научно-техническая, экологическая, экономическая эффективность).

С учетом ранжирования полученных эффектов в зависимости от целей инновации и типа инвестора вычисляется интегральный показатель эффективности для каждого из проектов. Расчет инновационных рисков (коммерческого, социально-правового, научно-технического, экологического и страхового) осуществляется на основе методов, хорошо зарекомендовавших себя в теории управления рисками (риск-менеджменте). Для оценки рисков инновационного проекта могут использоваться классические методы риск-менеджмента [45, 46], такие как метод расчета среднеквадратического отклонения NPV к его ожидаемому значению, метод среднего класса инноваций, методы экспертных оценок, а также специализированные методы, такие как метод VaR (Value-at-Risk), методический комплекс SPAN (The Standard Portfolio Analysis of Risk) или EUREX, метод SWOT-анализа [47, 48].

Этап 4: Имитационное моделирование и прогнозирование развития инновационных проектов. На данном этапе реализуются методы прогнозирования спроса на инновационную продукцию на стадии разработки с целью определения рыночного эффекта от реализации и внедрения инновации. Эффективными методами прогнозирования спроса в условиях неопределенности являются вероятностные методы [49]. Кроме того, выделяют два больших класса методов прогнозирования спроса:



Основные этапы функционирования системы комплексного анализа и оценки эффективности инноваций

1) Количественные методы прогнозирования спроса основываются на том, что тенденция развития событий в будущем связана с развитием ситуации в прошлом. К ним относятся: вероятностные методы, метод экстраполяции (анализ временных рядов, трендов), метод анализ корреляций, нормативный метод и другие.

2) Качественные методы прогнозирования спроса используются при недостатке исходной информации, либо сложности ее применения и основываются на мнении экспертов. К ним относятся: метод оценки сбытовиков, метод оценки ожидания потребителей, метод экспертных оценок (метод «Дельфи»), методы, основанные на социологических опросах и другие.

Для прогнозирования сценариев развитие инновационных проектов предлагается также использовать методы имитационное моделирования, в частности метод системной динамики [24].

Этап 5: Формирование множества эффективных бизнес-проектов, перспективных для финансирования. Целью данного этапа является формирование множества эффективных инновационных проектов, ранжированных по степени значимости в зависимости от целей инновации и типа инвестора с учетом полученных на предыдущих этапах оценок, а также сбор и представление детализированной информация о проектах и их участниках.

11. Преимущества и недостатки предлагаемого подхода к оценке эффективности инноваций

Необходимо отметить, что предложенный в работе подход комплексной оценки эффективности инноваций на ранних стадиях жизненного цикла не противоречит существующим в отечественной практике, а лишь дополняет и улучшает их.

Предложенный авторами метод комплексной оценки эффективности инноваций обеспечивает возможность анализа эффективности как инновационных идей, не содержащих описание бизнес-плана проекта, так и детализированных инновационных проектов, включающих бизнес-план и примерную схему реализации основных этапов проекта. Вместе с тем, метод имеет следующие преимущества:

1) возможность проверки соблюдения прав интеллектуальной собственности при появлении инновации (интеллектуальный анализ данных об инновационных проектах и сравнения с существующими аналогами);

2) возможность исключения бесперспективных инноваций на предварительном этапе анализа, не соответствующих отборочным критериям (условиям инвестора), с учетом деловой репутации (компетентности) субъекта инновационной деятельности (инноватора);

3) возможность оценки инновации по многим критериям (учёт многокритериальной сущности инновационных проектов), в том числе и качественным, учитывать различную значимость критериев, вклад каждого критерия в общую эффективность и антагонистичность критериев;

4) возможность учёта многокритериальной сущности инновационных проектов;

5) возможность учёта неопределенности при оценке инновационных проектов;

6) возможность количественной оценки качественно сформулированных мнений независимых экспертов;

7) возможность учета рисков реализации инноваций;

8) возможность сравнения различных проектов по единой шкале критериев, охватывающих все ключевые аспекты эффективности и значимости с точки зрения субъекта, принимающего решение;

9) возможность ранжирования инновационных проектов в зависимости от целей инноваций и типа источника финансирования;

10) невозможность проявление «эффекта компенсации», когда неприемлемые оценки по одним критериям могут быть компенсированы высокими оценками по другим критериям;

11) возможность формализованного анализа компетентности экспертов;

12) прозрачность процедуры оценки.

Основным недостатком предложенного подхода, как и большинства существующих, является то, что его основу составляют экспертные оценки, соответствующие данному подходу присущи все недостатки, присущие экспертным методам: сложность согласования мнений экспертов; субъективизм мнений экспертов; ограниченность их суждений.

12. Заключение

Развитие инновационной деятельности является одним из путей преодоления последствий мирового экономического кризиса, как на национальном, так и на региональном уровнях. Поэтому научные исследования, направленные на разработку эффективных методов и средств управления инновационными процессами, имеют высокую практическую значимость и способствуют развитию теории и практики управления инновационной деятельностью.

Формирование открытой расширяемой информационной инфраструктуры научно-инновационной деятельности вкупе с развитием методов и технологий ее информационно-аналитического обеспечения во многом определяют ее результативность, как в рамках отдельных территорий, так и в стране в целом.

В работе предложен метод и технология комплексного анализа и оценки эффективности инноваций. Метод основан на теории нечетких множеств и позволяет учитывать многокритериальную сущность и высокую неопределенность инноваций на начальных этапах их жизненного цикла.

Рассмотрена проблематика оценки эффективности инноваций на начальных стадиях их жизненного цикла. Описаны специфические особенности применения современных методов и подходов к анализу и оценке эффективности инновационных проектов, общепринятых в отечественной и зарубежной практике. Предложена многоуровневая система качественных и количественных критериев для оценки эффективности инновационных проектов, включающая рисковую составляющую для оценки их реализации. Разработаны нечеткие вычислительные модели частных показателей эффективности инноваций, таких как экономическая, социальная, научно-техническая и экологическая эффективность. В качестве эффективного средства для программной реализации созданных моделей может быть использована среда MATLAB со встроенным инструментарием разработки нечетких моделей FuzzyTech [50]. Предложен алгоритм вычисления интегрального показателя эффективности инноваций, базирующегося на оценке уровня и соотношения трех факторов: полезного эффекта, экономии и риска по совокупности выше указанных эффектов.

Практическая значимость представленных в статье результатов состоит в том, что они могут быть использованы не только отдельными субъектами инновационной деятельности, но и целыми научными, промышленными и коммерческими организациями, занимающимися разработкой и реализацией инновационных проектов, при оценке эффективности инноваций с целью создания малых инновационных предприятий, при анализе и отборе для финансирования альтернативных вариантов инновационных проектов, при разработке новых и совершенствовании существующих программных продуктов для оценки эффективности инноваций. Разработанное методическое обеспечение может также применяться и такими специальными видами организаций, как: центры трансфера технологий, инновационно-технологические центры, инновационные инкубаторы, технопарки и т. п.

Практическое применение предложенного в статье подхода к комплексной оценке эффективности инноваций на ранних стадиях их жизненного цикла обеспечивает возможность автоматизации процесса поддержки принятия решений по отбору эффективных инновационных проектов для финансирования в условиях неопределенности и неполноты информации о возможных результатах их реализации.

Литература

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 12.08.2008 г. № 590 «О порядке проведения проверки инвестиционных проектов на предмет эффективности использования средств федерального бюджета, направляемых на капитальные вложения».

2. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / Мин-во экон. РФ, Мин-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. Кол.: Косов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: ОАО НПО Изд-во «Экономика», 2000. - 421 с.
3. Тумина, Т.А. Методология оценки эффективности инновационной деятельности / Т.А. Тумина // Транспортное дело России. - 2009. - №1.- С.46-49.
4. Алиева, Т.М. Проблемы и особенности оценки результативности научных исследований и инноваций / Т.М. Алиева, Н.М. Гасанова // Транспортное дело России.- 2009.- №1.- С.64-66.
5. Валдайцев, С.В. Оценка бизнеса и инноваций / С.В. Валдайцев.- М.: Филинь, 1997. - 516 с.
6. Заде, Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений: Математика сегодня / Л.А. Заде. – М.: Дрофа, 2000.
7. Недосекин, А.О. Применение теории нечетких множеств к задачам управления финансами / А.О. Недосекин // Аудит и финансовый анализ.- 2000.- №2.- Режим доступа: <http://www.cfin.ru>
8. Царев, В.В. Оценка экономической эффективности инвестиций / В.В. Царев.- СПб.: Питер, 2004. - 464 с.
9. Клементьева, С.В. Применение теории нечетких множеств для измерения и оценки эффективности реализации наукоемкой продуктовой инновации / С.В. Клементьева // Заводская лаборатория. Диагностика материалов.- 2006. - Т.72. - №11. - С.65-69.
10. Гареев, Т.Ф. Применение теории нечетких множеств при анализе инвестиционных проектов / Т.Ф. Гареев // «Общество, государство, личность: проблемы взаимодействия в условиях рыночной экономики»: Мат. VI межвуз. научно-практич. конф. студентов и молодых ученых. – Казань: Академия управления «ГИСБИ», 2005. – С.203-206.
11. Zimmerman, H.-J. Fuzzy Set Theory and its Applications / H.-J. Zimmerman.- Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.- 315 p.
12. Чернов, В.Г. Модели поддержки принятия решений в инвестиционной деятельности на основе аппарата нечетких множеств / В.Г. Чернов.- М.: Горячая линия-Телеком, 2007.- 312 с.
13. Mc'Grath, R.E. Assessing Technology Projects Using Real Option Reasoning / R.E. Mc'Grath, I.C. Mc'Millan // RTM.- 2000.- Vol.43.- No.4.
14. Davis, J. Determining a projects probability of success / J. Davis, A. Fusfeld, E. Scriven, G. Tritle // RTM.- 2001.- Vol.44.- No.4.
15. Kaplan, R.S. Using the Balanced Scorecard as a Strategic Management System / R.S. Kaplan, D.P. Norton // Harvard Business Review, 1996.
16. Жданкин, С.Н. Интегральный показатель эффективности инновационного проекта / С.Н. Жданкин // Микроэкономика.- 2009.- Т.3.- С.47-55.
17. Гольдштейн, Г.Я. Стратегический инновационный менеджмент: Учебное пособие / Г.Я. Гольдштейн. - Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. - 267 с.
18. Виленский, П.Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов: Теория и практика: Учеб. пособие. - 2-е изд. перераб. и доп./ П.Л. Виленский, В.Н. Лившиц, С.А. Смоляк.- М.: Дело, 2002. - 888 с.
19. Шохин, А.А. Методы оценки эффективности инвестирования инновационных проектов: Мат. междунар. научно-практич. конф. «Управление инновациями - 2009». - М.: УРСС, 2009.
20. Карминский, А.М. Оценка эффектов инноваций и экономической эффективности управления инновационными процессами / А.М. Карминский, С.Г. Фалько.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.- 59 с.
21. Маренков, Н.Л. Инноватика. Изд. 2 / Н.Л. Маренков.- М.: УРСС, 2009. - 304 с.
22. Гареев, Т.Ф. Методы учета неопределенности при оценке эффективности инвестиций в инновации / Т.Ф. Гареев // Вестник Академии управления «ГИСБИ».- 2007.- Казань: Академия управления «ГИСБИ», 2007. - №1.- С.3-13.
23. Информационные технологии поддержки инноваций / А.Г. Олейник и др.- М.: Эдиториал УРСС, 2010.- 503 с.
24. Шишаев, М.Г. Имитационное моделирование рыночной диффузии инноваций / М.Г. Шишаев, С.Н. Малыгина, А.В. Маслобоев // Инновации.– 2009. – №11(133) – С.82-86.
25. Маслобоев, А.В. Проблематика информационной поддержки регионального инновационного развития / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов // Качество. Инновации. Образование.– 2007. – №6(28) – С.57-63.
26. Преимущества применения теории нечетких множеств в решении различных задач экономики и финансов.- Режим доступа: <http://iebooks.ru>
27. Методические рекомендации по оценке экономической эффективности финансирования проектов, имеющих своей целью коммерциализацию результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.- М.: Инновационное Агентство, 2005.
28. Котельников, В.А. Методическое руководство по заполнению заявок на инновационные конкурсы / В.А. Котельников, Ф.А. Мухаметшин, Е.С. Леготина.- Апатиты: "КаэМ", 2008.- 67 с.
29. Недосекин, А.О. Финансовый менеджмент на нечетких множествах / А.О. Недосекин.- М.: Аудит и финансовый анализ, 2003. - 104 с.
30. Кузовков, Д.В. Применение экспертно-квалиметрического подхода к оценке эффективности инноваций и выбору поставщика оборудования в сфере телекоммуникаций / Д.В. Кузовков // Век качества, 2009. - №1. - С.30-33.
31. Маслобоев, А.В. Математические модели и методы оценки экономической эффективности инновационных структур / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов // Информационные технологии в региональном развитии. - Апатиты, 2009.- Вып. IX. - С.6-16.

32. Аньшин, В.М. Применение теории нечётких множеств к задаче формирования портфеля проектов / В.М. Аньшин и др. // Проблемы анализа риска.- Т.5.- №3.- М.: Финансовый издательский дом "Деловой экспресс", 2008.- С.8-21.
33. Богацкий, Р.О. Технология волшебство Исследования и оценка эффективности инноваций / Р.О. Богацкий // Креативная экономика, 2010. - №3.- С.70-74.
34. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. - М.: Радио и связь, 1993. - 370 с.
35. Беллман, Р. Принятие решений в расплывчатых условиях / Р. Беллман, Л. Заде.- В кн.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений. - М.: Мир.- 1976. - С.172-215.
36. Штовба, С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. - Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/>
37. Железко, Б.А. Методика многокритериальной экспертизы бизнес-планов инвестиционных проектов / Б.А. Железко, О.Ю. Дударкова, Т.Н. Подобед. – Режим доступа: <http://sedok.narod.ru>
38. Архангельский, Н.Е. Экспертные оценки и методология их использования / Н.Е. Архангельский, С.А. Валуев, В.А. Половников, А.М. Черногорский.– М: Изд-во МЭСИ, 1974. - 125 с.
39. Rotshtein, A. Modification of Saaty Method for the Construction of Fuzzy Set Membership Functions / A. Rotshtein // FUZZY'97 - International Conference «Fuzzy Logic and Its Applications». in: Zichron, Israel, 1997. - P. 125-130.
40. Саати, Т. Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Кернс.- М.: Радио и связь, 1991.- 224 с.
41. Yager, R. Multiple objective decision-making using fuzzy sets / R. Yager // Int. J. Man-Mach. Stud.- 1979.-Vol. 9.- № 4. -P.375-382.
42. Дилигенский, Н.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология / Н.В. Дилигенский, Л.Г. Дымова, П.В. Севастьянов. - М.: Изд-во Машиностроение, 2004. -№ 1.- 250 с.
43. Гермейер, Ю.Б. Введение в теорию исследования операций / Ю.Б. Гермейер.- М.: Наука, 1971. - 220 с.
44. Фишберн, П. Теория полезности для принятия решений. Пер. с англ. / П. Фишберн.- М.: Наука, 1978.- 352 с.
45. Шапкин, А.С. Теория рисков и моделирование рискованных ситуаций: учебник / А.С. Шапкин, В.А. Шапкин.- М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К^С», 2005. - 880 с.
46. Демкин, И.В. Методология управления инновационным риском (методы, модели, инструменты) / И.В. Демкин.- М.: Изд-во МАТИ, 2008.- 430 с.
47. Долматов, А.С. Математические методы риск-менеджмента: учебник для вузов / А.С. Долматов.- М.: Экзамен, 2007. - 320 с.
48. Кудрявцев, А.А. Интегрированный риск-менеджмент: учебник / А.А. Кудрявцев.- СПб.: Изд-во: СПбГУ, 2010. - 655 с.
49. Черемушкин, С.В. Прогнозирование спроса и количественная оценка эффективности методов стимулирования продаж / С.В. Черемушкин // Управление продажами.-2009. -Ч.2. - №6. - С.342-357.
50. Леоненков, А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTech / А. Леоненков.- СПб.: БХВ-Петербург, 2003.- 736 с.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МАЛОГО ИННОВАЦИОННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Д.Н. Халиуллина

Введение

Проблема перехода на инновационный путь развития чрезвычайно актуальна для современной России. Сырьевая направленность экспорта и преобладание топливно-энергетического комплекса в структуре отечественной промышленности, позволяют, так или иначе, решать текущие народнохозяйственные задачи, однако в стратегической перспективе именно инновации позволят повысить производительность труда, эффективность использования ресурсов, создавать новые продукты.

Эффективность деятельности организации во многом зависит от того, насколько она адаптирована к внешней среде, в какой мере гибки, подвижны ее структуры, в какой мере она способна к нововведениям. В настоящее время необходимость преобразований осознана большинством производственных организаций. Некоторые уже провели необходимые преобразования, хотя для них остается актуальной задача приспособления к быстро меняющейся экономической и политической ситуации. В тоже время авторы новых идей испытывают потребность в компактных, наглядных, удобных для практического использования методических рекомендациях по созданию малых предприятий, базирующихся на реализации инновационных идей, а также по управлению их развитием [1].

Развитие инновационной деятельности даст возможность использовать творческий потенциал научных работников, накопленный в университетах, НИИ, и до настоящего времени мало востребованный промышленностью.

Инновационный процесс

В инновационном процессе можно выделить два крупных этапа: развитие инновационной идеи до уровня инновационного предприятия и развитие инновационного предприятия.

На первом этапе инновационного процесса происходит оценивание инновационной идеи. Процесс оценки и селекции инновационных идей проходит в несколько этапов (рис. 1):

1. Предварительный отбор инновационных идей.
2. Окончательный отбор.
3. Разработка технико-экономического обоснования реализации выбранной идеи.
4. Реализация выбранной идеи.

Цель предварительного отбора – отсеять заведомо бесперспективные с точки зрения коммерциализации инновационные идеи и оставить для

дальнейшего рассмотрения о возможности самостоятельной реализации идеи с бизнес – потенциалом.

Методика предварительного отбора строится на сопоставление личных возможностей автора с возможностями рынка продукта или услуги, которые будут результатом реализации данной инновационной идеи.

Методика определения потенциала инновационной идеи рассматривает накопленный потенциал инновационного развития, выполненного автором к моменту практической реализации инновации.

Заключительный этап процесса отбора инновационных идей – технико-экономическое обоснование.

Если идея прошла все этапы, то одним из вариантов ее дальнейшего развития является формирование инновационного предприятия [2].

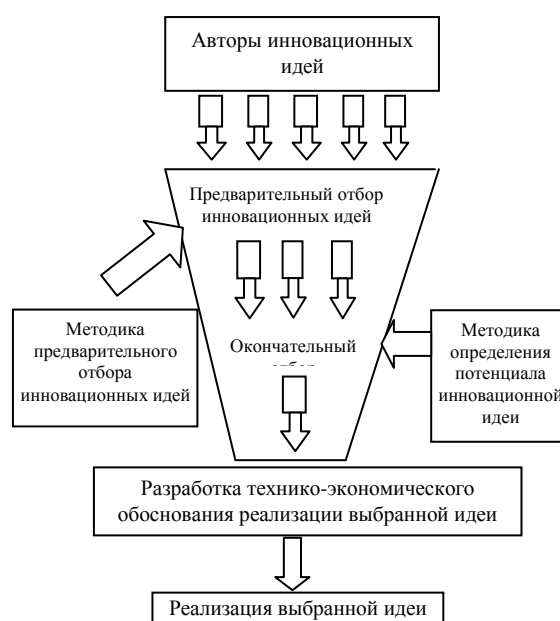


Рис.1. Оценка инновационных идей

Предприятие – это самостоятельный хозяйствующий субъект, созданный в порядке, установленном законодательством о предприятиях и предпринимательской деятельности для производства продукции, выполнения работ и оказания услуг в целях удовлетворения общественных потребностей и получения прибыли. Инновационное предприятие отличается от обычного тем, что больше 70% объема его продукции (в денежном выражении) за отчетный налоговый период является инновационными продуктами и/или инновационной продукцией.

Развитие предприятия не может идти только по-ступательно, в жизни растущей компании неизбежно возникают проблемы, противоречия, вследствие чего периоды стабильного развития сменяются кризисами, разрешение которых является, в свою очередь, базой для дальнейшего роста. Анализируя последовательное развитие инновационного предприятия и проблемы роста, можно выделить фазы его развития (рис. 2).

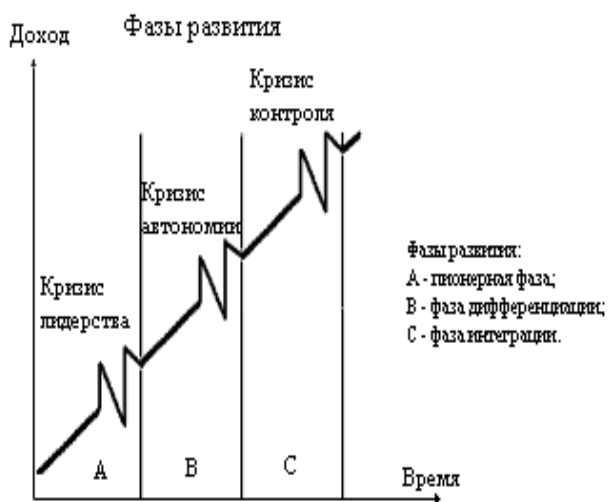


Рис.2. Фазы развития предприятия

Каждая фаза развития предприятия по-своему уникальна. Так, смыслом существования организации в пионерной фазе выступает максимально полное удовлетворение требований конкретного и немногочисленного клиента. Организация приспособлена под личностные качества руководителя и зависит от тех нужд потребителей, которые он намерен удовлетворить.

По мере роста организация вступает в фазу дифференциации. Одной из главных задач становится создание и совершенствование структуры управления. В дальнейшем такое предприятие либо «исчезает», и его ресурсы будут использованы для создания «пионерных» предприятий, либо оно переходит в следующую фазу – «интеграции».

На стадии интеграции определяющим фактором развития становится коллектив совместно работающих людей, что позволяет обновить организацию и достигнуть поставленных целей.

После стадии интеграции предприятие вступает в ассоциативную фазу, которая является фазой партнерства и кооперации. Главным процессом в такой организации становится процесс индивидуального обучения и развития человека [3].

Для научно-инновационного предприятия характерно, что на начальных этапах оно не приносит большого дохода, но, начиная с интеграционной фазы развития, оно начинает давать доход больше, чем обычное промышленное предприятие. Поэтому необходимо определить, в какой момент времени выгоднее всего начинать вкладывать капитал в это предприятие.

Модель малого инновационного предприятия

Модель предприятия разрабатывалась средствами AnyLogic 5.4. Она состоит из основных блоков:

1. Market – класс, в котором происходит оценивание инновационной идеи с позиции рынка. Обменивается данными с классом IdeaValuation.

2. IdeaValuation – класс, в котором происходит оценивание инновационной идеи с позиции авторов идеи, вычисляется общий потенциал данной идеи. Взаимодействует с классами Market, Balance, Production, Expenditure и агентом Bank.

3. Personnel – класс, который отвечает за прием нового персонала в штат, его увольнение и т.д. Передает данные классу Expenditure о заработной плате работников и учредителей.

4. Expenditure – класс, который отвечает за расходы на предприятии. Рассматривает постоянные и переменные затраты, получает данные:

- от класса Personnel о заработной плате работников и учредителей,
- от класса Production о затратах на производство продукции,
- от класса IdeaValuation о начале работы инновационного предприятия.

А также передает данные:

- агенту Bank об уплаченных процентах по кредиту, если таковой был взят;
- классу Balance о суммарных расходах.

5. Production – класс, отвечающий за производство инновационного продукта. Получает данные о запуске инновационного предприятия от класса IdeaValuation. Передает данные:

- классу Balance о доходах с продажи продукции,
- классу Expenditure о затратах на производство продукции.

6. Balance – содержит в себе данные о расходах, доходах и балансовой наличности предприятия. Получает данные:

- от агента Bank о взятых кредитах,
- от класса Production о доходах с продаж,
- от класса Expenditure о суммарных расходах.

7. Bank – агент. Получает запрос на выдачу кредита, оценив потенциал идеи и кредитную историю данного предприятия, выделяет либо не выделяет требуемую сумму.

8. Main – класс, который содержит все выше перечисленные объекты и связи между ними. В данном случае практически все объекты соединены с помощью, так называемых портов, которые предназначены для обмена сообщениями между объектами.

Схема взаимодействия классов представления на рис. 3.

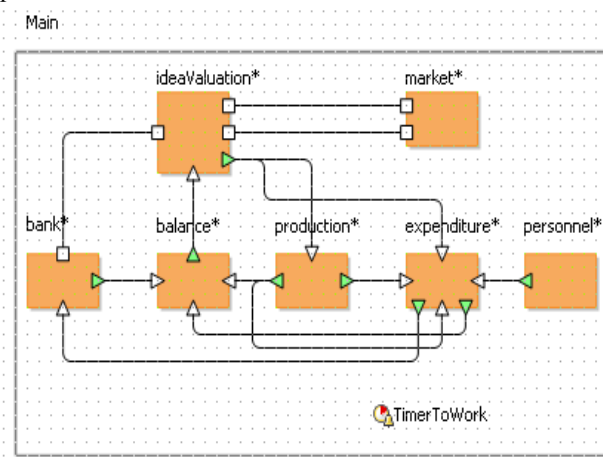


Рис.3. Схема взаимодействия классов

Функционирование модели

На первом этапе инновационного процесса происходит оценивание инновационной идеи с позиции авторов данной идеи, а также с позиции рынка. Изначально работают только 2 класса IdeaValuation и Market. Далее по полученным данным определяется общий потенциал идеи, и если он находится на допустимом уровне, то происходит оценка необходимого капитала для дальнейшего формирования инновационного предприятия. Если у создателей идеи имеется в наличие требуемая сумма, то происходит формирование инновационного предприятия и в работу включаются

классы Balance, Production, Expenditure и Personnel. Если собственных средств у учредителей не хватает, то они обращаются за помощью к сторонним организациям, в данном случае – к банкам (агенты Bank). Те в свою очередь рассматривают заявку и выдают, либо не выдают кредит на развитие малого бизнеса.

Далее происходит развитие инновационного предприятия. Постепенно развиваясь, увеличивая штат сотрудников и материальную базу, предприятие проходит пионерную фазу.

В результате получаем вариант развития инновационной идеи до малого инновационного предприятия, которое проходит первую фазу своего развития до момента кризиса.

Литература

1. Зайцева, О.А. Основы менеджмента. – Режим доступа: <http://www.booksshare.net>
2. Руководство для менеджеров инновационных МСП / А.В. Козлов и др. // СПб.: РИКОН, 2004. – С.13 – 23.
3. Менеджмент третьего тысячелетия: системно-эволюционный подход к развитию организации / А.В. Павлуцкий и др. – Режим доступа: <http://www.hrm.ru/db/hrm/6FDE155AF0FF74B4C3256AAB0042CAC3/print/1/category.html>

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СЕТЕЙ ТИПА AD-HOC И ВОЗМОЖНЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ОДНОРАНГОВЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ НА БАЗЕ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ МАЛОГО РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ*

М.Г. Шишаев, С.А. Потаман

Введение

Одной из перспективных современных технологий передачи данных являются беспроводные сети типа «ad-hoc». Отличительной особенностью беспроводных сетей ad-hoc (от лат. ad hoc — «для этого»), или самоорганизующихся динамических сетей является то, что узлы сети соединяются «на лету». Если при этом сеть является телекоммуникационной, то есть предназначенной для передачи данных на значительные расстояния, превосходящие радиус действия используемых приемопередающих устройств, то для передачи данных необходимо использовать принцип «возьми и передай дальше». Важным обстоятельством является то, что узлы такой сети независимы друг от друга и могут включаться и выключаться из нее в любой момент, что предопределяет случайный характер структуры сети. Кроме того, узлы сети типа ad-hoc полностью или частично функционально идентичны, то есть могут выступать как в роли хоста, так и в роли шлюза, пользуясь терминологией IP-сетей. Последняя особенность позволяет отнести ad-hoc сети к разновидности одноранговых (peer-to-peer) коммуникационных систем.

Привлекательность технологий ad-hoc сетей обусловливается многими факторами. Во-первых, подобные сети позволяют эффективно использовать бездействующий большую часть времени коммуникационный ресурс вычислительных систем, оснащенных интерфейсами беспроводной связи, аналогично тому, как это делается в отношении вычислительного ресурса в grid-системах [1]. Кроме того, одноранговый принцип организации динамических сетей обуславливает их высокую отказоустойчивость за счет исключения проблемы уязвимости центрального звена, характерной для систем с асимметричной функциональностью. В случае коммуникационных сетей таким звеном являются шлюзы или маршрутизаторы. Поскольку в ad-hoc сети каждый узел обязан выполнять роль маршрутизатора, то отказ любого из них не является критичным для работоспособности сети в целом. Кроме того, симметричность функциональности узлов сети создает предпосылки для придания ей свойства самоорганизации, что делает сеть не только отказоустойчивой, но и хорошо масштабируемой и наращиваемой. Минимальное конфигурирование и быстрое развёртывание позволяет применять самоорганизующиеся сети в чрезвычайных ситуациях, таких как природные катастрофы и военные

конфликты. Данные преимущества заставляют современных разработчиков активно развивать технологии ad-hoc сетей, несмотря на относительно высокую, в общем случае, сложность их реализации.

Основной проблемой организации ad-hoc сети является обеспечение эффективной маршрутизации передаваемых блоков данных. Сложность этой задачи обусловлена динамичным, а в некоторых реализациях – и случайным, характером структуры сети. Проблема становится еще более сложной, если в качестве узлов сети используются мобильные устройства. Однако, широчайшее распространение мобильных устройств – мобильных телефонов, карманных компьютеров, и т.п., оснащенных средствами беспроводной связи малого и среднего радиуса действия, делает весьма привлекательной идею использования их в основном бездействующего коммуникационного ресурса для передачи данных по принципу «возьми и передай дальше». Ключевой проблемой динамических сетей на базе мобильных устройств становится определение местоположения того или иного узла относительно других. В ситуации, когда узлы беспроводной сети могут свободно перемещаться в пространстве обеспечить надежную и, вместе с тем, эффективную с точки зрения затрат коммуникационного ресурса маршрутизацию блоков данных не представляется возможным. В этом случае практически реализуемым решением становится лишь маршрутизация блока данных в направлении наиболее вероятного местонахождения получателя.

В данной работе рассмотрены современные технологии и примеры реализации ad-hoc сетей, а также предложены возможные варианты решения проблемы маршрутизации блоков данных для динамических телекоммуникационных сетей на базе мобильных устройств.

Современные технологии сетей ad-hoc

Сегодня существует довольно значительное количество технологий и практических реализаций сетей, которые могут быть отнесены к категории ad-hoc. Наиболее распространены сети, использующие в качестве технологии передачи данных протоколы Wi-Fi (стандарт IEEE 802.11). Отдельную, довольно крупную и активно развивающуюся группу технологий динамических сетей, базирующихся на Wi-Fi, составляют так называемые mesh-сети.

Наиболее общее определение для Mesh-сети звучит как: «Mesh – сетевая топология, в которой устройства объединяются многочисленными (часто избыточными) соединениями, вводимыми по стратегическим соображениям» [2]. Несмотря на созвучие наименования технологии с полносвязной топологией сетей (mesh-топологией), Mesh-сети не обязательно являются полносвязными. Сеть можно представить в виде узлов, которые не только предоставляют возможность связи с сетью, но и выполняют функции маршрутизаторов/ретрансляторов для других узлов этой же сети. Благодаря этому появляется возможность создания самоустанавливающейся и самовосстанавливающейся сети. Mesh-сети строятся как совокупность кластеров. Территория покрытия разделяется на зоны, число которых теоретически не ограничено. В зависимости от конкретного решения узлы сети могут выступать в роли ретранслятора (транспортный канал) либо ретранслятора и абонентской точки доступа.

Если рассматривать существующие реализации Mesh-сетей, то можно заключить, что отличительной особенностью технологии Mesh от других технологий динамических сетей является пространственная стационарность узлов сети. Это существенно упрощает решение задачи маршрутизации потоков данных, поскольку динамика структуры сети проявляется лишь в том, что узлы могут выходить из состава сети, что приводит к терминированию проходящих через них маршрутов. Статичность узлов Mesh-сети обуславливает ограниченное для отдельно взятого узла число соседей и, тем самым, позволяет формировать и хранить на узлах полную топологию сети или ее отдельные фрагменты. Это обстоятельство позволяет реализовывать в Mesh-сетях довольно изощренные алгоритмы маршрутизации, в том числе – использование для передачи данных нескольких параллельных маршрутов одновременно [3]. В некоторых реализациях Mesh-сетей используются специальные протоколы, позволяющие каждому узлу создавать таблицы абонентов сети с контролем состояния транспортного канала и поддержкой динамической маршрутизации трафика по оптимальному маршруту. При отказе какого-либо из узлов, происходит автоматическое перенаправление трафика по другому маршруту, что гарантирует не просто доставку трафика адресату, а доставку за минимальное время.

Следует отметить, что большинство реализаций Mesh-сетей предполагают разделение узлов на две категории: хост (или абонентские) узлы и узлы-ретрансляторы. Последние, как правило, совмещают функции узлов обоих типов. Такое разделение функций в определенной степени дистанцирует Mesh-сети от полностью одноранговых коммуникационных систем. Узлы, выполняющие роль ретрансляторов, образуют своеобразное ядро сети, от которого полностью зависит работоспособность коммуникационной среды в целом.

В отличие от Mesh-сетей, мобильные ad-hoc сети, которые принято относить к категории MANET (mobile ad-hoc network), строятся на базе перемещающихся в пространстве узлов. Каждый узел такой сети должен играть роль как хоста, так и маршрутизатора. При этом, вследствие динамичности структуры сети, следующей из мобильности и негарантированной доступности узлов, вопрос выбора маршрутов доставки данных в таких сетях становится первостепенным.

Одним из наиболее активно развивающихся направлений применения сетей класса MANET являются сети на базе движущихся транспортных средств. Такие сети получили название «Vehicular Ad Hoc Networks» или «VANET». VANET объединяет в единую сеть множество перемещающихся автомобилей или иных транспортных средств. Каждое участвующее в сети транспортное средство играет роль как хоста, так и маршрутизатора, обеспечивающего подключение к сети других узлов, находящихся в радиусе 100-300 метров. Транспортные средства могут свободно выходить из сети (в том числе – из за перемещения за пределы радиуса действия приемопередающих устройств), но за счет постоянного появления новых узлов и их высокой плотности на территории (как правило – это некоторая транспортная магистраль) сеть не теряет связности. Первыми применениями сетей VANET были сети полицейских и пожарных автотранспортных средств, взаимодействующих друг с другом во время чрезвычайных ситуаций [4].

Разновидностью сетей VANET являются интеллектуальные ad-hoc сети на базе мобильных узлов – Intelligent vehicular ad hoc networks. Такие сети используются для определения взаимного территориального расположения транспортных средств, на основании которого появляется возможность, например, более эффективно планировать и регулировать дорожный трафик [5].

В качестве примера сети MANET общего назначения можно привести проект шведской компании TerraNet AB. Технология TerraNet предназначена для формирования распределенных сетей мобильной связи на территориях, находящихся вне зон покрытия базовых станций традиционных мобильных сетей. TerraNet реализует полностью одноранговую архитектуру сети: все узлы имеют аналогичную функциональность. Появляясь в зоне действия сети TerraNet, мобильное устройство (телефон) автоматически подключается к сети. Данные (речевой трафик) могут передаваться напрямую от телефона к телефону, минуя базовую станцию. Если взаимодействующие устройства находятся на дистанции, превышающей радиус действия их приемопередающих устройств, то передача осуществляется по принципу «возьми и передай дальше» с числом ретрансляций не превышающим семи [6]. Поскольку все узлы сети TerraNet имеют одинаковую функциональность, достаточно лишь пары узлов для того, чтобы сеть начала функционировать.

Возможные подходы к организации мобильных сетей ad-hoc

Как отмечалось ранее, основной проблемой организации динамической самоорганизующейся сети на базе мобильных устройств является определения маршрута передачи данных. Поскольку топология сети и, более того – местонахождение ее узлов непостоянны, определить направление, в котором находится узел-получатель становится весьма затруднительно. Для решения этой проблемы можно предложить несколько подходов, отличающихся сложностью реализации с одной стороны, и эффективностью доставки данных – с другой. Далее рассмотрены следующие подходы к передаче данных, адресованные статичному и мобильному узлу:

1) статичному узлу при помощи устройств не поддерживающих GPS;

2) статичному узлу при помощи устройств, имеющих модуль GPS;

3) статичному узлу основываясь на статистических данных об относительном местоположении узлов сети;

4) динамическому узлу при помощи устройств не поддерживающих GPS;

а. с использованием дополнительного канала для передачи координат конечного узла;

б. с использованием статистической информации;

5) динамическому узлу при помощи устройств, имеющих модуль GPS;

а. с использованием дополнительного канала для передачи координат конечного узла;

б. с использованием статистической информации об относительном местоположении узлов сети;

б) широковещательная передача.

Эффективность этих подходов была проверена экспериментально с помощью натурального эксперимента: программное обеспечение, реализующее передачу блока данных, устанавливалось на несколько мобильных телефонов и карманных ПК, принадлежащих пользователям, живущим в одном небольшом городе (в данном случае – г. Апатиты Мурманской области). В ходе экспериментов на физическое время доставки блока данных передачи (БДП) не накладывалось ограничений, однако длина цепочки промежуточных устройств, задействованных в передаче блока данных от отправителя к получателю, ограничивалась параметром «время жизни», декрементируемом при каждой ретрансляции. По аналогии с принятым способом классификации операционных систем с точки зрения их реактивности, рассматриваемые результаты соответствуют случаю «пакетного режима» работы сети, то есть скорость передачи не имеет решающего значения: задача состоит в передаче данных «рано или поздно». Несмотря на нетипичность такого подхода к организации передачи данных с точки зрения традиционных критериев эффективности работы коммуникационных сетей, «пакетный режим» может быть востребо-

ванным для некоторых приложений, например – для файлообменных систем.

Наиболее простым для реализации среди обозначенных подходов является *широковещательная передача* (в том числе – и в ходе ретрансляции) блока данных всем узлам сети, находящимся в зоне досягаемости данного. Основным достоинством данного подхода, кроме простоты реализации, является то, что он без изменений подходит для случаев как статичного, так и мобильного узла-адресата.

Проблемы данного подхода:

1. Большое количество передаваемой избыточной информации.

2. Сложность в выборе «времени жизни» БДП (большое число позволит плодить избыточные копии, малое снизит шанс доставки файла узлу).

Передача статичному узлу с ориентированием по базовым станциям сети сотовой связи. Метод основан на возможности передачи каждому устройству, подключенному к сети стандарта GSM, набора параметров текущей сети, в том числе – идентификатора сотовой сети, базовой станции и gsm-репитера (ретранслятора). Зная территориальное расположение базовых станций и репитеров сотовых сетей, развернутых в области действия сети ad-hoc, мы можем, таким образом, позиционировать мобильное устройство стандарта GSM в пространстве, определяемом сетью базовых станций и ретрансляторов. Теоретическая зона покрытия базовой станции составляет порядка 120 км и каждая станция способна поддерживать до 12 передатчиков, каждый из которых способен обеспечивать связь с 8 активными (общающимися) абонентами. В зоне городов плотность базовых станций значительно больше, в связи с большей плотностью пользователей GSM сетей. Радиус зоны покрытия городской базовой станции с мощностью порядка 10 Ватт (+40дБмВт) на сектор равен примерно 2 км. С учетом «площади перекрытия», обеспечивающей неразрывную связь в момент перехода из зоны действия одной базовой станции к другой, возможная точность определения местоположения устройства составляет, таким образом, около 1 км. Возможным способом увеличения точности определения местоположения узла, может быть измерение уровня сигнала, однако в рамках описываемых здесь экспериментов данный способ не реализовывался.

Таким образом, сохраняя в памяти «историю» позиций мобильного устройства, мы получаем возможность определять направление перемещения устройства в текущий момент времени и делать предположения о его будущем направлении. Если при этом передача данных осуществляется в адрес статичного узла, позиция которого относительно базовых станций известна, начальная передача и ретрансляция БДП осуществляется в адрес узлов, направление передвижения которых наиболее близко к направлению местонахождения узла-адресата.

Преимущества данного подхода:

1. Доступность данного способа передачи для большинства устройств.
2. Потенциально более высокая эффективность с точки зрения доли полезных передач в общем объеме трафика.

Проблемы данного подхода:

1. Низкая точность позиционирования узлов.
2. «Плавающие» точки перехода от одной станции к другой (наличие зданий на пути сигнала, погода, помехи иного рода).
3. Сложность в выборе времени жизни БДП (большое число позволит плодотворно использовать избыточные копии, малое снизит вероятность успешной доставки).
4. Необходимость наличия на территории резервирования сети (-ей) стандарта GSM.
5. Для работы сети необходима информация о базовых станциях и ретрансляциях сети GSM.

В случае, когда узел-адресат может перемещаться в пространстве, для того, чтобы избежать широковещания необходимо каким-либо образом определить местоположение адресата до начала передачи. Это возможно при существовании некоторого вспомогательного канала связи. Такой подход оправдан в тех случаях, когда использовать вспомогательный канал в качестве основного нецелесообразно по экономическим причинам или же по причине его высокой загрузки. В качестве вспомогательного канала для определения местоположения узла-адресата может использоваться, например, SMS-сообщение. В этом случае, узел-источник предваряет передачу БДП запросом местоположения узла-адресата. По получению данных об этом местоположении передача ведется аналогично рассмотренному выше случаю, в предположении, что за время передачи БДП местоположение адресата существенно не меняется. Для того, чтобы повысить вероятность достоверности этого предположения можно распространить процедуру предварительного запроса и на процесс ретрансляции блока данных, однако в этом случае возрастает нагрузка на вспомогательный канал передачи данных.

Достоинства и недостатки данного подхода те же, что и в предыдущем случае. Кроме того, к недостаткам добавляется требование существования альтернативного канала передачи данных.

Передача с ориентированием при помощи GPS-приемника обеспечивает более высокую точность позиционирования мобильных устройств в пространстве и, за счет этого – более высокую эффективность передачи с точки зрения доли полезного трафика в общем объеме передаваемых данных, а также, потенциально, и с точки зрения скорости доставки данных адресату. В проведенных экспериментах использовался следующий алгоритм: при попадании устройства-приемника в область действия передающего устройства, принимающее устройство передавало направление движения (азимут) за последние 2 минуты. Такой период выбран исходя из необходимости отсева «флуктуаций» в направлении движения мобильного узла: случайных поворотов, обхода человеком препятствий, а также погрешно-

стей измерений, обусловленных неточностью GPS-приемника. Получая азимут и имея в наличии собственные координаты и координаты конечного узла, передающая сторона имеет возможность определить наиболее эффективное направление передачи.

Основным ограничением данного подхода является необходимость наличия GPS-приемника на каждом узле мобильной динамической сети. Однако, в противовес этому, наибольшая точность позиционирования открывает возможности для наиболее эффективной передачи блока данных узлу-адресату.

Передача данных статичному и мобильному узлу, основываясь на статистических данных. Еще один возможный способ определения вероятного местонахождения получателя блока данных опирается на предположение о том, что маршруты передвижения мобильных устройств, входящих в сеть, относительно однообразны. Из этого предположения следует, что устройство, неоднократно попадавшее в зону действия приемо-передающей аппаратуры некоторого узла, с высокой вероятностью попадет в эту зону снова. Таким образом, данное предположение позволяет построить помеченный граф, отражающий возможное местоположение устройств. Вершины графа соответствуют узлам сети, а их метки представляют собой множества пар (идентификатор узла; показатель частоты вхождения в зону покрытия). Располагая данной информацией, мы получаем возможность организовать маршрутизацию потоков данных по вектору расстояния (distant-vector), при этом в качестве метрики маршрутов используется показатель частоты вхождения узла в зону покрытия.

К достоинствам данного подхода следует отнести, прежде всего, то, что для его реализации узлу не требуется никаких дополнительных коммуникационных возможностей, а также то, что он без изменений может использоваться для работы как со статичными, так и с мобильными узлами. Кроме того, маршрутизация по вектору расстояния, несмотря на известные недостатки, является хорошо проверенным довольно эффективным методом определения направления передачи данных [7]. К недостаткам подхода, кроме известных проблем маршрутизации по вектору расстояния (большой объем служебного трафика и проблема бесконечного счета), следует отнести то, что он работоспособен лишь при достаточно высокой территориальной плотности мобильных устройств.

Результаты экспериментальной оценки работоспособности предложенных подходов и выводы

Для первичного оценивания эффективности рассмотренных подходов к реализации маршрутизации потоков данных в динамических телекоммуникационных сетях на базе мобильных устройств малого радиуса действия была проведена серия натурных экспериментов. Для этого была написана специализированная программа, реализующая как функции изначальной генерации передаваемого блока данных,

так и функции его передачи и ретрансляции. Данные статичного конечного узла были «вшиты» в программу изначально, тогда как идентификатор мобильного конечного узла генерировался устройством вместе с блоком передаваемых данных. Программа была установлена на 20 смарт-фонов, каждая копия программы генерировала 8 БДП и передавала каждый из них тем или иным методом. Также вместе с

блоком данных протокола передавался и идентификатор типа метода, дабы узлы-ретрансляторы использовали заданный метод для передачи.

Результаты экспериментов, в виде относительной доли успешно доставленных блоков данных при использовании различных методов передачи представлены в таблице.

Результаты оценки эффективности различных подходов к организации динамической сети мобильных устройств

Метод позиционирования	Статичный адресат	Мобильный адресат	
		Позиционирование по статистике вхождений в зону покрытия	Позиционирование с использованием дополнительного канала
На основе статистики	45%	н/д	н/д
По базовым станциям	65%	50%	75%
С помощью GPS	90%	65%	40%
Широковещательная передача	100%		

Таким образом, все из представленных в данной работе методов решения проблемы маршрутизации потоков данных в динамических телекоммуникационных сетях на базе мобильных устройств малого радиуса действия продемонстрировали свою работоспособность. Наиболее эффективным с точки зрения доли успешно доставленных блоков данных является, как и ожидалось, подход на основе широковещательной передачи. Однако существенным ограничением данного подхода является чрезвычайно большой объем избыточно передаваемых данных. Следует также отметить, что проведенные эксперименты осуществлялись в идеализированных условиях малого суммарного количества устройств, использующих исследуемую технологию. В случае большего количества устройств одновременно использующих широковещательную передачу неизбежно возникает проблема разделения канала связи, естественным образом отражающаяся на эффективности передачи данных в сети.

В этой связи представляются более перспективными подходы, исключающие широковещание. Первичная оценка эффективности таких подходов показывает их принципиальную работоспособность и открывает перспективы для дальнейших исследований и разработок в данной области, направленных на улучшение качественных показателей функционирования динамических самоорганизующихся сетей, использующих различные способы маршрутизации потоков данных.

Литература

1. Путилов, В.А. Функционально-целевая технология подготовки задач к развертыванию в GRID-среде / В.А. Путилов, М.Г. Шишаев // Информационные технологии в управлении жизненным циклом изделий: Материалы междунар. конф. 25-26 ноября 2003 г. СПб: Центр печати «Север-Росс», 2003. - С.17-19.
2. Сайт организации Z-Wave Russia. Режим доступа: <http://www.z-wave.ru/o-tehnologii-z-wave/mesh-seti.html>
3. Ляхов, А.И. Многоканальные mesh-сети: анализ подходов и оценка производительности / А.И. Ляхов, И.А. Пустогаров, С.А. Шпилев // Информационные процессы. -2008. -Т.8, №3. - С.173-192.
4. «The Theory of Vehicular Ad-Hoc Network». TechViewz.Org. 2008-02-12. – Режим доступа: <http://techviewz.org/2008/02/theory-of-vehicular-ad-hoc-network.html>
5. Thangavelu, A. Location Identification and Vehicular Tracking for Vehicular Ad-Hoc Wireless Networks / A. Thangavelu, S. Sivanandam // IEEE Explorer. – 2007. - № 1 (2). – P. 112–116.
6. Сайт проекта TerraNet AB. Режим доступа: <http://www.terranet.se/>
7. Столингс, В. Современные компьютерные сети / В. Столингс. - СПб.: Питер, 2003. -783 с.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СРЕДА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ОДНОРАНГОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ*

М.Г. Шишаев, З.В. Широкова

Одноранговые информационные сети, характеризующиеся симметричной функциональностью узлов (в отличие от систем с выделенным сервером, где по выполняемым функциям узлы делятся на два вида – серверные и клиентские), являются в настоящее время предметом довольно интенсивных исследований и разработок [1]. Наиболее привлекательной характеристикой одноранговых сетей является их высокая отказоустойчивость и теоретически неограниченная масштабируемость и наращиваемость. «Платой» за эту привлекательность является относительно высокая сложность алгоритмов функционирования сети. При этом, в силу непредсказуемости поведения отдельно взятых узлов (включение/выключение узла из сети, активность использования узлом функций сети, и т.д.), оценка возможных состояний одноранговой сети становится сложной задачей. Вместе с тем, качество алгоритмов работы узлов одноранговой сети (пиров) определяет ключевые потребительские характеристики сети: связность, показатель доступности, скорость обслуживания запросов, доступная пропускная способность, и другие. В условиях, когда количество и поведение узлов одноранговой сети в каждый момент времени невозможно точно рассчитать, эффективным средством оценки качества функционирования некоторого нового алгоритма работы сети является имитационное моделирование. Работа над созданием и совершенствованием алгоритма заключается в этом случае в вычислительном эксперименте, сопряженном с многоразными прогонами имитационной модели одноранговой сети при различных начальных условиях, в том числе – различных параметрах алгоритма работы пиров, а также и при различных собственно алгоритмах. Для осуществления подобного моделирования требуется, таким образом, многократная перенастройка имитационной модели, выражающаяся не только в настройке имеющихся в модели переменных и констант, но и в существенном изменении алгоритмической составляющей модели. Вместе с тем, при изменении алгоритмов функционирования пиров, составляющих сеть, в ходе работы одноранговой сети сохраняется некоторая обобщенная логика ее работы: узлы сети должны располагать некоторыми данными и обеспечивать

выполнение некоторого набора обязательных функций, независимо от конкретной реализации сети. Это дает принципиальную возможность создания унифицированной имитационной модели одноранговой сети, независимой от конкретных алгоритмов функционирования узлов. Разработка такой модели облегчила бы задачу исследователей, поскольку отпала бы необходимость создания модели «с нуля» для каждой последующей реализации сети.

Одноранговая сеть – сложная динамичная система, все объекты которой функционируют в собственном уникальном режиме. Поведение каждого отдельно взятого узла нельзя предугадать заранее, как и общую динамику развития такой сети. Кроме того, существует множество алгоритмов функционирования одноранговых сетей. Все это делает задачу построения универсальной (подходящей для большинства реализаций) модели достаточно сложной. Однако можно попытаться учесть некоторые типовые задачи, решаемые узлами в любой одноранговой сети, а также наборы данных, хранимых на узлах-участниках пиринговой сети. Диаграмма последовательности, описывающая типовую логику функционирования узла одноранговой сети, представлена на рис.1.

Среди таких «типичных» задач можно выделить следующие:

- регистрация нового узла в сети;
- транслирование адресных баз;
- формирование базы локально хранимых ресурсов;
- генерация и обслуживание запросов на поиск какого-либо ресурса;
- выход узла из сети.

Поскольку каждый алгоритм может, помимо описанных выше, реализовывать некоторые дополнительные функции, необходимо предусмотреть возможность расширения данного перечня задач так, чтобы при реализации конкретного алгоритма можно было воспользоваться заготовленным шаблоном. Так, например, для класса децентрализованных сетей на основе DHT (Distributed Hash Table) [2], поисковый сервис в которых реализован с помощью таблицы хешей, можно выделить подзадачу получения хеш-ключа данного ресурса (примерами таких сетей являются Freenet, Chord, BitTorrent).

Описанная совокупность функций будет формировать алгоритмическую (функциональную) составляющую модели узла.

* Работа выполнена по программе ОНИТ РАН «Фундаментальные основы информационных технологий и систем» (проект № 2.6). Работа поддержана грантом РФФИ (проект № 08-07-00301-а).

Среди данных, которые обязательно присутствуют на узлах в любой реализации пиринговых сетей, можно выделить следующие:

- адрес данного узла (в физической или оверлейной сети – в зависимости от реализации);
- адресная база;
- база локально хранимых данных.

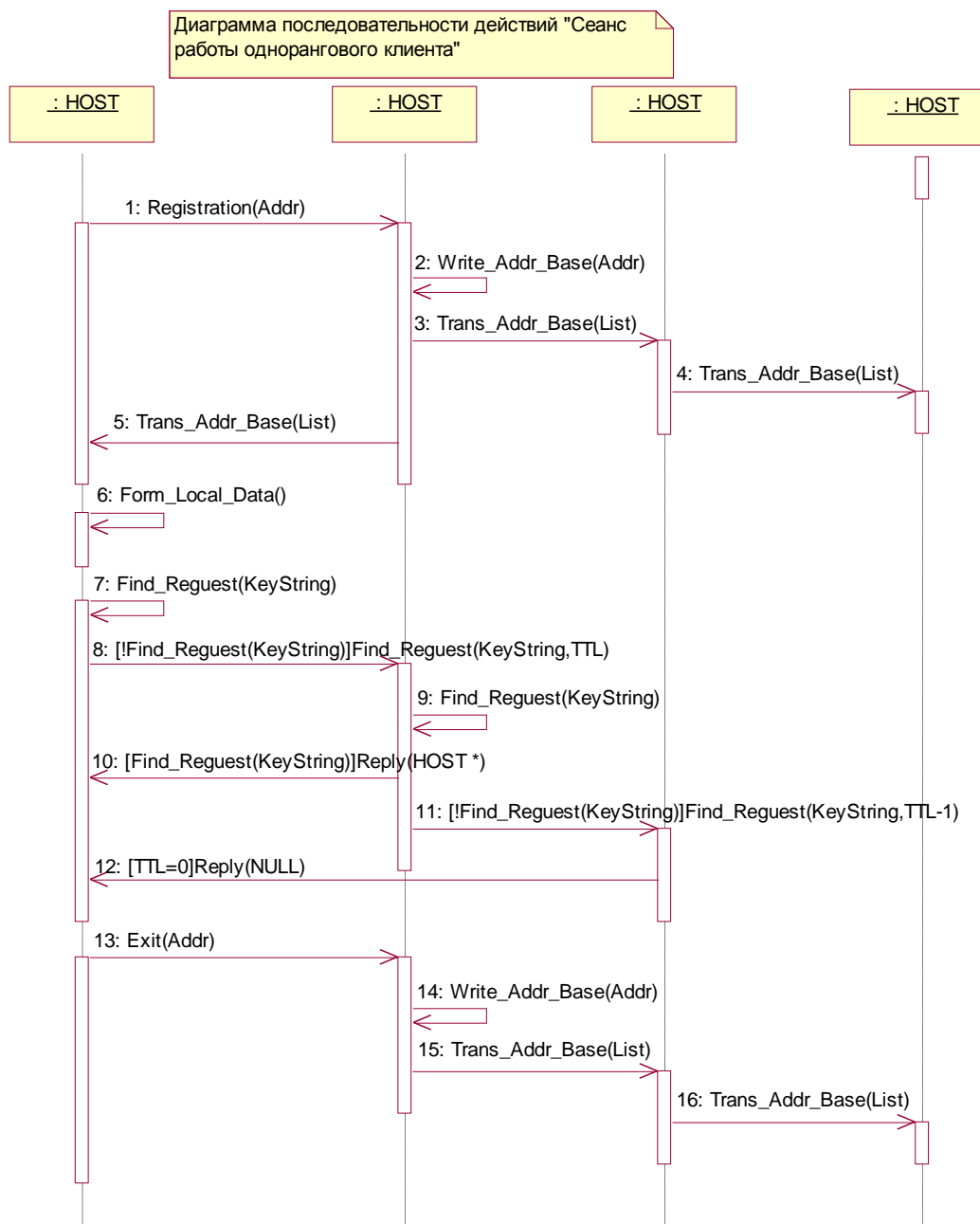


Рис.1. Типовая последовательность действий узла одноранговой сети

Аналогично для расширения возможностей данной модели необходимо ввести дополнительные атрибуты. Такими атрибутами могут быть, например, количество узлов в данном сегменте для сети Netsukuku [3], или маркер проблемной ориентации узла для проблемно-ориентированных сетей, основанных на позиционировании узлов и запросов в семантическом пространстве ключей [1, 4, 5]. Также необходимо ввести поля для хранения наблюдаемых характеристик моделируемой одноранговой сети. Такими полями являются:

1. Величина генерируемого трафика (как «полезного», так и служебного).
2. Общее количество инициированных данным узлом поисковых запросов.
3. Количество успешных поисковых запросов.
4. Среднее количество ретрансляций («хопов») для каждого из успешных запросов.

Объединяя структуру данных узла с его алгоритмической составляющей, получаем формальное описание узла как активного члена сети, имеющего свои параметры и алгоритмы функционирования.

Рассматриваемая инструментальная среда подразумевает агентный подход к имитационному моделированию динамики одноранговой сети. Соответственно, в рамках данной работы каждый узел сети представляется в виде обособленного агента. Программно он реализован как объект класса Host, в котором объявлены следующие свойства и методы:

- собственно адрес данного узла MyAddress;
- адресная база (структура, содержащая список адресов узлов, известных данному) – AddressBase (две данные структуры описываются в зависимости от конкретной реализации);
- база локально хранимых данных – LocalData;
- величина генерируемого трафика – служебного SerTrafValue и полезного EffTrafValue;
- дополнительные переменные для использования в рамках конкретных алгоритмов, представленные в виде связанного списка {AddVar1, AddVar2, ...};
- метод, реализующий запрос на добавление данного узла в сеть Add();
- метод, реализующий запрос на исключение данного узла из сети Del();
- метод, реализующий пополнение адресных баз Distribute();
- метод, реализующий поисковый запрос Find();
- метод, реализующий вычисление ключа для сетей DHT GetKey();
- дополнительные методы для использования в рамках конкретных алгоритмов AddFunc1, AddFunc2,

Класс имеет лишь одно скрытое поле (LocalData), обращение к нему возможно только через функцию Find(). Методы Add() и Distribute() объявлены как чисто виртуальные, поскольку в каждом конкретном алгоритме существует своя реализация данного метода, и они могут существенно отличаться друг от друга. Соответственно, класс Host является абстрактным и для работы с ним необходимо создавать класс-наследник, который будет являться реализацией конкретного алгоритма и в нем будут реализованы все виртуальные функции. Следует, однако, отметить, что если узел будет включаться в оверлейную сеть, то он получает адрес в рамках метода Add(). Метод Find() объявлен как виртуальный, т.к. во многих алгоритмах присутствует величина TTL, показывающая количество ретрансляций данного поискового запроса. Значение TTL является первым, передаваемым в функцию параметром. Вторым параметром является строковое значение FindString, означающее непосредственно текст запроса (либо имя файла, либо ключевое слово для поиска). Исходное значение TTL выставляется равным TTL_0 (у первичного запроса). Каждый узел, получивший данный запрос, осуществляет поиск FindString в LocalData. Если поиск завершен со значением true, узел обслуживает запрос, т.е. передает запрошенный ресурс узлу-источнику и уничтожает запрос. Если же поиск не дал результата, то узел передает в соответствии с конкретным алгоритмом другим узлам из AddressBase, причем с каждым

последующим переходом значение TTL уменьшается на 1 (т.е. ретранслированный запрос всегда имеет TTL, меньший TTL_0). При достижении значения $TTL=0$ запрос уничтожается.

Общим требованием к функциональности конкретных реализаций перечисленных выше методов является необходимость учета трафика, генерируемого каждым видом запросов (служебный или полезный в зависимости от типа запроса), путем инкрементирования соответствующего свойства класса значением, определяемым особенностями используемого алгоритма работы пиров.

На этапе инициализации нового узла-агента, конструктор класса заполняет соответствующие поля инстанцируемого экземпляра. Адресная база на данном этапе содержит только один адрес – свой собственный. В зависимости от реализации конкретного алгоритма может использоваться либо физический ip-адрес, либо присвоенный поверх сетевой инфраструктуры адрес оверлейной сети.

Блок-схемы обобщенных алгоритмов инициализации узла и обработки поискового запроса представлены на рис. 2 и 3, соответственно.



Рис.2. Процедура инициализации узла

Для описания высокоуровневого объекта (одноранговой сети), в рамках которого функционируют все агенты, используется класс P2PNet. Среди полей этого класса – поле int NumberNodes, определяющее среднее количество экземпляров класса Host инстанцируемых в рамках сеанса моделирования одноранговой сети.

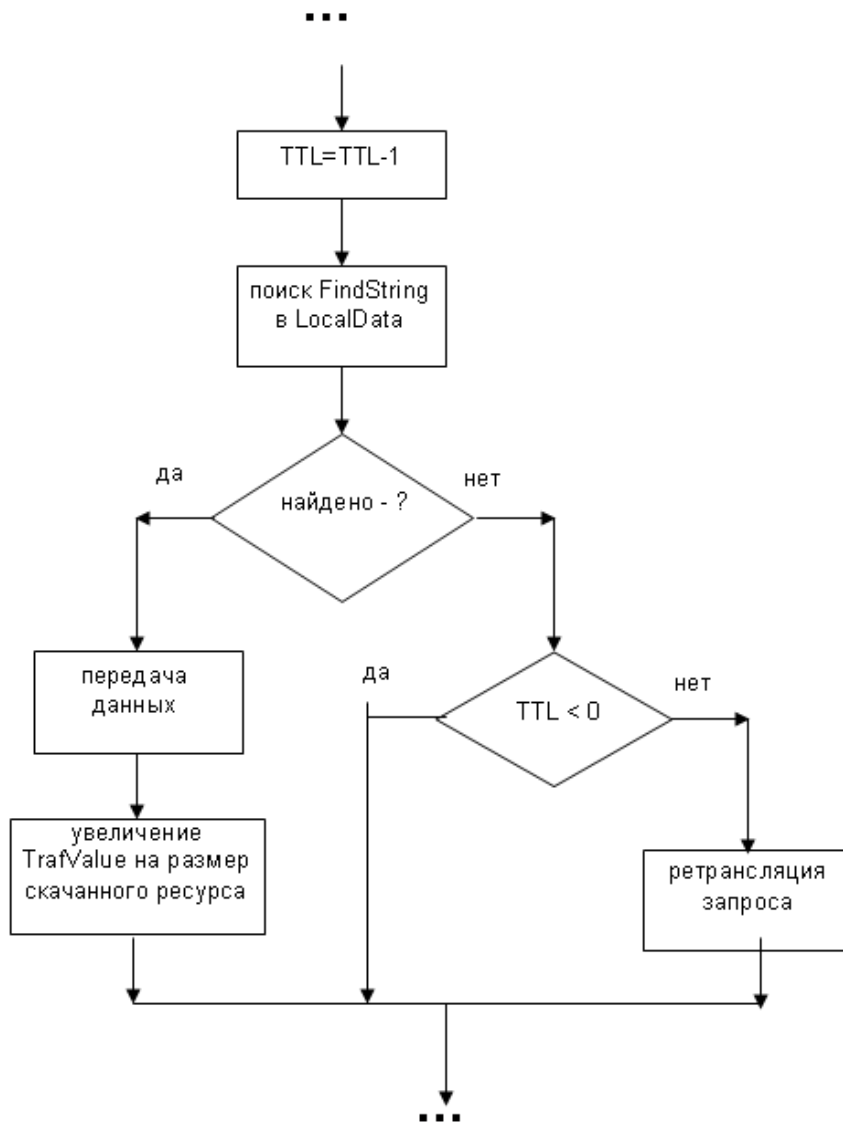


Рис.3. Обобщенная процедура обработки поискового запроса

Данная величина может изменяться со временем в соответствии с заданным законом. Также в рамках класса объявлены поля:

- количество поисковых запросов в единицу времени – float NumberFind,
- средний объем запрашиваемых ресурсов – float AverageVolume,
- пропускная способность сети – int Broadcast,
- вероятность нахождения узла в активном состоянии – float ProbabilityOn.

Как и в случае класса HOST, для программного описания одноранговой сети в целом необходимо обеспечить возможность расширения набора полей в соответствии с требованиями конкретных реализаций алгоритмов. Например, такой переменной может быть максимальное отклонение маркера проблемной ориентации запросов, инициированных данным агентом, от медианы – float MarkerVariation.

Далее представлены краткие описания методов класса P2PNet, реализующих функциональность модельного представления одноранговой сети в целом.

Метод AnalyzeTraf служит для оценки объема служебного (SER) и полезного (EFF) трафика, генерируемого одним узлом в единицу времени, и определяет его долю в общей пропускной способности сети. Метод AverageHops определяет среднее количество «хопов», необходимое для выполнения поисковых запросов (определяется по успешным запросам как $(TTL_0 - TTL)$). Для этого в качестве возвращаемого параметра в методе Find(int, char*) присутствует целочисленное значение, означающее количество «хопов» от узла-инициатора запроса до узла с искомым ресурсом. Метод SuccessRequests определяет процент успешных запросов от общего их числа. Также в рамках класса объявлены дополнительные методы, которые переопределяются для конкретной сети.

Инструментальная среда имеет модульную структуру. Основным модулем является ядро системы, реализующее общие функции имитационного моделирования динамики одноранговой сети:

- инициализация и завершение агентов-узлов;
- генерация поисковых запросов;
- ведение счетчиков количественных показателей функционирования одноранговой сети;
- визуализация результатов моделирования;
- сервисные функции инструментальной среды.

Реализация конкретных алгоритмов функционирования одноранговых узлов вынесена в отдельные программные модули, оформляемые в виде СОМ-сервера. При этом интерфейс сервера обеспечивает доступ к объектным методам, реализующим функциональность агента-узла.

Таким образом, рассмотренная в данной работе инструментальная среда обеспечивает существенное снижение трудозатрат на создание и исследование эффективности различных алгоритмов работы одноранговых сетей. Это достигается за счет повышения степени повторного использования программных реализаций типовых компонентов одноранговой сети.

Литература

1. Шишаев, М.Г. Одноранговые технологии распределенных ИС инноваций / М.Г. Шишаев // Информационные технологии в региональном развитии. - Апатиты, 2008. - Вып. VIII. - С.45-52.
2. Описание DHT протокола. - Режим доступа: http://www.bittorrent.org/beps/bep_0005.html
3. Netsukuku Community. – Режим доступа: <http://www.netsukuku.org>
4. Шишаев, М.Г. Технология поддержки распределенного адресного реестра в одноранговых системах с неявной иерархической организацией / М.Г. Шишаев // Информационные технологии в региональном развитии. - Апатиты, 2008. - Вып. VIII. - С.53-56.
5. Стохастическая имитационная модель динамики одноранговой коммуникационной сети / Шишаев М.Г. и др. // Информационные технологии в региональном развитии. - Апатиты, 2009. - Вып. IX. - С.67-69.

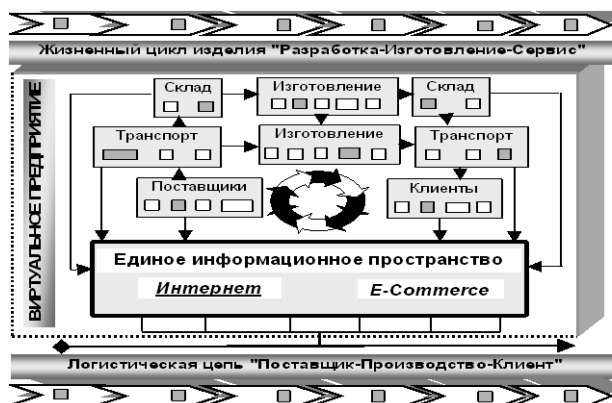
СИТУАЦИОННЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ СТРУКТУРНОЙ ДИНАМИКОЙ В ЦЕПЯХ ПОСТАВОК ВИРТУАЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ*

Б.В. Соколов¹, А.Я. Фридман, О.В. Фридман, Е.Г. Цивирко²

Современный рынок характеризуется ориентацией на полное удовлетворение потребностей клиентов и индивидуализацией продуктов, глобализацией и интеграцией бизнеса, сокращением времени внедрения инноваций и жизненного цикла изделий, информатизацией. Это приводит к развитию интегрированных производственных и логистических систем, адекватных динамике современного рынка и построенных на принципах стратегического взаимодействия, специализации и кооперации с использованием информационных технологий. В подобных условиях на рынке конкурируют уже не столько отдельные предприятия, сколько продукты или услуги, как следствие, конкуренция перемещается из сферы предприятий в сферу логистических цепей (supply chains), производящих продукцию и предлагающих ее на рынке [13]. Логистическую цепь (ЛЦ) можно определить как совокупность последовательно выполняемых различными предприятиями производственных и логистических бизнес-процессов (ПЛБП) для изготовления и реализации конечного продукта или услуги. Основная идея концепции SCM (Supply Chain Management – управление логистическими цепями) заключается в интеграции всех участников процесса создания конечного продукта (в западной терминологии – процесса создания стоимости) в единую цепь на основании отношений «поставщик-потребитель». SCM – это системный подход к интегрированному планированию и управлению всем потоком информации, материалов и услуг от поставщиков сырья через предприятия и склады до конечного потребителя. Учитывая сложность и комплексность бизнес-процессов в ЛЦ, а также ключевую роль координации и взаимодействия в концепции SCM, важной составной частью идеологии управления ЛЦ является информационная поддержка в виде интегрированных систем управления классов ERP, APS, MES и SCM, а также Интернет-технологий B-2-B, E-Commerce, C-Commerce.

Модель ПЛБП, представленная в [8], может быть расширена на задачу комплексного планирования в пространственно распределенной системе реальных предприятий с целью создания виртуальных

предприятий (ВП) [7]. Эта задача рассматривается в классе задач управления структурной динамикой ПЛБП и требует многокритериальной оптимизации производительности ПЛБП, а также перераспределения функций управления ПЛБП между вершинами продукционной сети. Виртуальное предприятие – это динамическая открытая бизнес-система (рис.), построенная на основе интернет-технологий и технологических ресурсов (компетенций), временно объединенных на принципах кооперации в рамках единого информационного (виртуального) пространства и принадлежащих автономным экономическим агентам (реальным предприятиям) [1]. На основании кооперации, координации и оперативного распределения этих ресурсов предприятия способны производить конечный продукт или услугу. Основное предназначение виртуальных предприятий состоит во временном совместном динамическом использовании определенным кругом физических и юридических лиц части своих ресурсов с целью получения прибыли от реализации общей задачи.



Обобщенное описание структуры виртуального предприятия

Состояние исследований рассматриваемой проблемы

К основным тенденциям развития концепции SCM относятся стандартизация, виртуализация и интеллектуализация.

В настоящее время происходит эволюция ЛЦ с уровня «обычной» системы (для которой структура и характер взаимодействий между предприятиями являются статическими) до уровня «интеллектуальной» (где эти структуры и взаимодействия являются динамическими).

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 09-07-00066), Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН (проект 2.3 в рамках текущей Программы фундаментальных научных исследований) и Президиума РАН (проект 4.3 Программы №3).

¹С-Петербургский Институт информатики и автоматизации РАН.

²Администрация, г. С-Петербург.

Структура и функции ЛЦ в ВП формируются динамически в соответствии с требованиями клиентов и потенциальными возможностями предприятий-участников ВП. На содержательном уровне суть проблемы структурно-функционального синтеза ЛЦ в ВП состоит в нахождении наиболее предпочтительного варианта структуры ЛЦ с необходимыми функциональными возможностями (компетенциями) в соответствии с параметрами заказа клиента.

Современные концепции структурирования ВП основаны на идеи комплексирования элементарных автономных элементов, происхождение которых базируется на концепциях систем производственных «ячеек» [11] и холостических производственных систем [16]. Указанные концепции исходят из того, что совокупность взаимодействующих автономных элементов (ячеек, агентов, холонов) способна реализовывать не только процессы оперативного планирования и управления в ЛЦ, но и процессы формирования структуры ЛЦ. Это означает, что при функционировании агенты способны накапливать некоторые знания, которые используют в дальнейшем для улучшения структуры выполняемых процессов. Применительно к ВП, подобные элементы получили название компетенц-единиц, а их функциональные возможности – компетенций [15]. Структура ЛЦ формируется в результате взаимодействия различных компетенц-единиц, которые определяются их индивидуальными целями с учетом имеющихся функциональных возможностей (компетенций) и ограниченных ресурсов. В последние годы были разработаны методы, модели и алгоритмы для таких задач, как моделирование динамики ЛЦ [14], гибкое структурирование ЛЦ [17], координация в ЛЦ в ВП [10], распределенное динамическое оперативно-календарное планирование ЛЦ [12], взаимодействие информационных ресурсов в ЛЦ [2]. В этих исследованиях, однако, основное внимание было уделено технико-информационным аспектам функционирования ВП. Кроме того, структурная и функциональная стадии синтеза ЛЦ в ВП рассматривались отдельно, на основе различных, не связанных друг с другом методов и моделей. При таком решении задач структурно-функционального синтеза ЛЦ в ВП требуется каждый раз проводить оценивание погрешностей, вызванных такого рода декомпозицией. В указанных условиях особую значимость приобретают вопросы обобщенного описания рассматриваемой проблемы.

Формальное описание проблемы

Предлагаемая общая технология оперативно-тактического планирования и управления структурной динамикой цепей поставок для функционирования ВП включает следующие этапы:

- структурно-функциональный синтез конфигураций ЦП, планов и расписаний;

- структурную и параметрическую адаптацию моделей и алгоритмов планирования к прошлым и текущим состояниям ЦП и окружающей среды;

- составление расписаний ЦП, конструирование программ управления структурной динамикой ЦП, имитацию возможных сценариев функционирования ЦП по разработанным расписаниям, структурную и параметрическую адаптацию последних к предсказанным имитационными моделями [3, 4] состояниям ЦП и окружающей среды.

К особенностям ЦП относятся множественность структуры и изменчивость структурных характеристик под влиянием объективных и субъективных факторов на различных стадиях жизненного цикла ЦП. Это требует исследования ЦП как мультиструктурного процесса.

Согласно теории управления структурной динамикой [3], оно включает управление, как состояниями, так и структурой объекта. Предлагаемый подход к решению проблемы управления ЦП в общем контексте управления структурной динамикой позволяет:

- непосредственно связывать общие цели функционирования ВП с целями реализуемых внутри ЦП процессов управления;

- обосновывать выбор адекватной последовательности задач, которые необходимо решить, и операций, которые требуется выполнить, для реализации нужной структурной динамики (иными словами, синтез и развитие метода управления ЦП);

- находить компромиссные решения по распределению ограниченных ресурсов для произвольного управления структурной динамикой.

Основная идея управления структурной динамикой заключается в функционально-структурном подходе к описанию объектов различной природы. В то же время, задачи управления структурной динамикой представляют собой обобщение задач структурно-функционального синтеза, которые традиционно формулируются в области автоматизации сложных организационно-технических комплексов.

Рассматриваемые комплексные модели управления ВП обеспечивают унифицированную технологию анализа и оптимизации разнородных процессов, касающихся планирования и реализации ЦП. Основное преимущество этих моделей состоит в том, что структурные и функциональные ограничения на управление ЦП задаются в явном виде. Общий концептуальный базис способствует конструированию комплекса унифицированных динамических моделей для управления ЦП, которые описывают функционирование ЦП с учетом процессов производственного сотрудничества. Единое описание разнообразных процессов управления позволяет одновременно синтезировать различные структуры ЦП и, более того, устанавливать отношения зависимости между технологией управления, применяемой к ЦП, и целями управления. Важно отметить, что предлагаемый подход распространяет новые научные и практические результаты, полученные современной теорией управления, на область управления ЦП.

Для формального описания проблемы структурно-функционального синтеза логистических цепей в виртуальном предприятии введем следующие множества:

$B = \{B_i, i \in M = \{1, \dots, m\}\}$ – множество реальных предприятий (ПП) (объектов первого типа);
 $\bar{B} = \{\bar{B}_i, i \in \bar{M} = \{1, \dots, \bar{m}\}\}$ – множество заказов (множество объектов второго типа), выполняемых виртуальным предприятием, образованным на основе ресурсов (каналов) ПП; $\bar{B} = B \cup \bar{B}$ – множество объектов, рассматриваемых при структурно-функциональном синтезе логистических цепей в ВП;
 $C = \{C_\lambda^{(i)}, \lambda \in \Lambda_i, i \in M\}$ – множество каналов (аппаратно-программных и технико-технологических средств), имеющих на ВП и используемых при выполнении соответствующих заказов;
 $\bar{C} = \{\bar{C}_\lambda^{(i)}, \lambda \in \bar{\Lambda}_i, i \in \bar{M}\}$ – множество атрибутов, параметров выполняемых заказов;
 $D = \bigcup_{i \in M} \{D_{\alpha}^{(i)}\} \cup \{D_{\alpha}^{(o)}\}, i, j \in M, \alpha \in K_i^{(o)}\}$ – множество макро-операций и операций, выполняемых в ВП;
 $D^{(i)} = \bigcup_{\alpha \in K_i^{(o)}} \{D_{\alpha}^{(i)}\}, \alpha \in K_i^{(o)} = \{s_1, \dots, s_i\}\}$ – множество операций, входящих в состав соответствующей ЛЦ и выполняемых при реализации \bar{B}_i заказа;
 $D^{(c,1)} = \bigcup_{\eta_1 \in NH_1} \{D_{\eta_1}^{(c,1)}\} \cup \{D_{\eta_1}^{(c,2)}\} \cup \{D_{\eta_1}^{(c,3)}\},$
 $\eta_1 \in M, w \in NW^{(i)}, f \in NF^{(w)}, \eta_1 \in NH_1$ – множество макро-операций, выполняемых при функционировании сети ВП; $\{D_{\eta_1}^{(c,1)}\}$ – множество макро-операций, описывающих процесс функционирования ВП B_i в макро-состоянии S_{η_1} на η_1 -м цикле управления;
 $M = \{1, \dots, m\}, NW^{(i)} = \{1, \dots, K_W^{(i)}\}, NF^{(w)} = \{1, \dots, K_F^{(w)}\}, NH_1 = \{1, \dots, E_1\}$ – соответственно множества номеров ВП, номеров макро-состояний объекта ВП B_i , номеров мест ВП B_i в макро-состоянии с номером «w», номеров циклов управления ВП B_i ; $\{D_{\eta_1}^{(c,2)}\}$ – множество вспомогательных макро-операций; $\{D_{\eta_1}^{(c,3)}\}$ – множество макро-операций, описывающих процесс перехода ВП B_i из текущего макро-состояния S_{η_1} в требуемое макро-состояние S_{η_1} ;
 $\Phi = \bigcup_{\pi \in K_i^{(p,1)}} \{\Phi S_\pi^{(i)}\} \cup \{\Phi N_\mu^{(i)}\}, i \in M, \pi \in K_i^{(p,1)} = \{1, \dots, k_i^{(p,1)}\},$
 $\mu \in K_i^{(p,2)} = \{1, \dots, k_i^{(p,2)}\}$ – множество ресурсов, используемых в ВП при выполнении соответствующих заказов; $\Phi S_\pi^{(i)} = \bigcup_{\pi \in K_i^{(p,1)}} \{S_\pi^{(i)}\}, \pi \in K_i^{(p,1)}$ – множество не складываемых ресурсов, используемых на ВП $B^{(i)}$;
 $\Phi N_\mu^{(i)} = \bigcup_{\mu \in K_i^{(p,2)}} \{N_\mu^{(i)}\}, \mu \in K_i^{(p,2)}$ – множество складываемых ресурсов, используемых на ВП $B^{(i)}$;
 $P = \bigcup_{\alpha \in K_i^{(o)}} \{P_{\alpha}^{(i)}\} \cup \{P_{\alpha}^{(j)}\}, i \in M,$
 $\alpha \in K_i^{(o)}, \alpha \in K_{i,j}^{(o)}, \rho \in K_i^{(n)}$ – множество потоков, образующихся при функционировании сети ВП;
 $P^{(i)} = \bigcup_{\alpha \in K_i^{(o)}} \{P_{\alpha}^{(i)}\}, i \in M, \alpha \in K_i^{(o)}, \rho \in K_i^{(n)}$ – множество внутренних потоков (энергетических, вещественных, информационных), образующихся при функциони-

ровании ВП $B^{(i)}$; $P^{(i,j)} = \bigcup_{\alpha \in K_{i,j}^{(o)}} \{P_{\alpha}^{(i,j)}\}, i, j \in M, \bar{M}, \rho \in K_i^{(n)}$ – множество потоков (энергетических, вещественных, информационных), образующихся при выполнении заказа \bar{B}_i на ВП $B^{(j)}$; $G = \bigcup_{\chi \in NS} \{G_\chi\}, \chi \in NS$ – множество возможных типов структур как ЛЦ, так и ВП, среди которых, в первую очередь, выделяются топологическая, технологическая (функциональная), организационная и техническая структуры, структуры программно-математического и информационного обеспечения.

Для связи перечисленных множеств друг с другом используется динамический альтернативный мультиграф, описанный в [6]. *Графовая интерпретация* рассматриваемых задач управления структурной динамикой ЛЦ в ВП в этом случае сводится к поиску такого многоструктурного состояния $S_\delta^* \in \{S_1, S_2, \dots, S_{K_A}\}$ и такой последовательности (композиции) выполнения операций отображения многоструктурных состояний сети ВП друг на друга во времени, при которых обеспечивается выбор и реализация оптимальной (с точки зрения обобщенного показателя эффективности [6]) программы управления структурной динамикой ЛЦ в ВП, обеспечивающей переход всей динамической системы ВП из заданного в требуемое многоструктурное состояние.

С целью учета возможных отказов и опасных ситуаций мы выдвигаем гипотезу, что их моделирование следует базировать на модели нормального функционирования ПЛБП, поскольку опасности возникают из обычных режимов работы либо при выходе некоторых параметров за допустимые пределы, либо при появлении запрещенного сочетания параметров. Моделирование производится в обобщенном дискретном пространстве, метрика которого формируется экспертным путем и позволяет исследовать как числовые, так и шкалированные переменные [9]. В такой постановке общая степень опасности для некоторого объекта (ситуации) может быть оценена как взвешенная сумма весов опасных значений ресурсов, связанных с этим объектом (ситуацией), с применением того же критерия и алгоритмов, которые используются для классификации ситуаций [5]. Для предупреждения возникновения и минимизации последствий техногенных аварий авторами разработана информационная технология поддержки принятия решений о модификации структуры ПЛБП, обеспечивающая автоматизированный синтез сценариев аварий и оценку риска с учетом природно-климатических воздействий и человеческого фактора [4]. Вопросы координации локально организованной иерархической системы динамических объектов исследованы в [5].

Указанный подход позволяет унифицировать программную среду исследования нормальных и критических режимов ПЛБП, а также повысить степень детальности анализа опасных ситуаций и сценариев до отдельного ресурса, что увеличивает возможность выявления многократных и комбиниро-

ванных отказов, приводящих, как показывает практика, к наиболее тяжелым последствиям.

К настоящему времени предложено несколько направлений конкретизации разработанной теоретико-множественной модели управления структурной динамикой применительно к сложным техническим системам. Предварительный анализ показывает, что указанные научно-практические результаты можно использовать при решении проблемы структурно-функционального синтеза ЛЦ в ВП.

В целом, применение ситуационного подхода к моделированию промышленных бизнес-процессов и цепей поставок посредством многокритериального операционного планирования в контексте управления структурной динамикой виртуального предприятия обладает следующими преимуществами: динамическая интерпретация оперативного планирования для виртуального предприятия обеспечивает детальное описание и исследования взаимоотношений и взаимодействий бизнес-процессов с процессами обработки, хранения и обмена информацией; цели планирования могут быть непосредственно соотнесены с целями бизнес-процессов, что обосновывает выбор операций структурной динамики (технологии управления виртуальным предприятием); могут быть найдены эффективные компромиссные решения по распределению управляющих функций среди элементов цепей поставок, в том числе с учетом реконфигурации в случае отказов.

Литература

1. Иванов, Д.А. Виртуальные предприятия и логистические цепи: комплексный подход к организации и оперативному управлению в новых формах производственной кооперации / Д.А. Иванов. - СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2003. - 86 с.
2. Некрасов, А.Г. Взаимодействие информационных ресурсов в логистических цепочках поставок (на примере транспортной отрасли) / А.Г. Некрасов. - М.: Изд-во «Техполиграфцентр», 2002. - 205 с.
3. Охтилев, М.Ю. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов / М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов, Р.А. Юсупов. - М.: Наука, 2006. - 410 с. ISBN 978-1-84882-951-0.
4. Соколов, Б.В. Комплексное моделирование катастрофоустойчивых информационных систем / Б.В. Соколов, А.Я. Фридман // Теория и практика системной динамики: тр. III-ей Всерос. научной конф. г. Апатиты, 30 марта - 2 апреля 2009. - Апатиты: КНЦ РАН, 2009. - С.41-47.
5. Фридман, А.Я. Достаточные условия координируемости локально организованной иерархии динамических систем / Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы (ИИ-2009): материалы X Междунар. научно-технической конф. - Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. - С.115-117.
6. Фридман, А.Я., Фридман, О.В. Моделирование безопасности на основе модели нормального функционирования / А.Я. Фридман, О.В. Фридман // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: тр. Междунар. науч. школы МАБР - 2007, 4-8 сентября 2007 г. - СПб: Изд-во ГУАП, 2007. - С.165-170.
7. Arkhipov, A. Intelligent supply chain planning in 'virtual organization' / A. Arkhipov, D. Ivanov, B. Sokolov // Proceedings of 5th IFIP Working Conference on Virtual Enterprises (PRO-VE'04), Toulouse, France, August 22-27, 2004. - Vol.8, part 8. - P.215-224
8. Sokolov, B., Fridman A. Integrated Situational Modelling of Industry-Business Processes for Every Stage of Their Life Cycle // Proceedings of 4th International IEEE Conference "Intelligent Systems" (IS 2008), Varna, Bulgaria, September 6-8, 2008, Vol.1. - P.8-40.
9. Fridman, A., Fridman O. Situative Approach to Modelling of Performance and Safety in Nature-Technical Complexes // Applied Information Technology Research - Articles by Cooperative Science Network (ed. by Juha Lindfors): University of Lapland, Finland, 2007. - P.44 - 59. ISBN 952-484-046-4. ISSN 1796-4474.
10. Gangli, Q., Jiaben Y. Temporal Decentralized Co-Evolutionary Learning Agent Model for Enterprises Collaborative System // In Proceedings of the 13th International Conference on flexible Automation & Intelligent Manufacturing, Tampa, USA, 2003, - P.679-687.
11. Shaw, M.J.P. Dynamic scheduling in cellular manufacturing systems: a framework for networked decision making / International Journal of Production Research, 1987, №7. -P.83-94.
12. Silva, C.A, Runkler T., Sousa J.M., Palm R. Optimization of logistic processes using ant colonies. Proceedings of Agent-Based Simulation, №3. -P.143-148.
13. Supply Chain Council (2000): SCOR Operations Reference-Model. Overview of SCOR Version 6.0, <http://www.supply-chain.org>.
14. Swaminathan, J.M, Smith S.F, Sadeh N.M. Modeling Supply Chain Dynamics: A Multiagent Approach // Decision Science, 1998, № 29(3). -P.607-632.
15. Teich, T. Extended Value Chain Management (EVCM) - Ein Konzept zur Koordination von Wertschöpfungsnetzen // Habilitationsschrift, TU Chemnitz, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Februar 2003.
16. Wang, L., Norrie D.H. Process Planning and Control in a Holonic Manufacturing Environment. Journal of Applied Systems Studies, 2001, №2(1). -P.106-126.
17. Zeng, D.D., Sycara K.P. Agent-Facilitated Real-Time Flexible Supply Chain Structuring // Proceedings of Workshop on Agent Based Decision-Support for Managing the Internet-Enabled Supply-Chain, Seattle, Washington, 1999. -P.21-28.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ ПРОДВИЖЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ УСЛУГИ*

А.С. Шемякин

Введение

Отечественная бюджетная система высшего образования постепенно переходит на платную основу. В стране появились многочисленные университеты, которые предлагают потенциальным студентам самые разнообразные пакеты образовательных услуг на самых разнообразных финансовых и временных условиях. Среди этих учебных заведений существует конкуренция за привлечение в стены своих заведений потенциальных студентов. В результате таких перемен проблема продвижения образовательных услуг стала актуальной [1].

В данной работе предлагается модель, с помощью которой можно оценить востребованность какой-либо услуги на рынке образовательных услуг при различных маркетинговых стратегиях. Рассмотрено продвижение образовательной услуги на рынке образовательных услуг, на котором действуют несколько ВУЗов. В каждый момент времени, задачей каждого ВУЗа является зачисление и подготовка максимально возможного количества специалистов. Однако зачисление «по максимуму» может быть осложнено тем, что малое количество абитуриентов заинтересуется в поступлении в данное учебное заведение. Это может быть вызвано как относительно малым общим количеством абитуриентов, так и сильной конкуренцией на образовательном рынке. Дополнительным фактором, сдерживающим «объявление по максимуму» является то, что в этом случае велика вероятность недобора, что негативно сказывается на рейтинге ВУЗа и, соответственно, ухудшении его позиции на рынке образовательных услуг.

Для облегчения принятия решения о стратегии продвижения образовательной услуги, была разработана программная модель, которая позволяет оценить привлекательность использования той или иной стратегии. В модели имитируются действия конкурентов. Конкуренты могут придерживаться следующих стратегий:

- объявление фиксированного набора в каждый момент времени, не обращая внимание на изменения на рынке образовательных услуг;
- объявление набора в зависимости от собственной репутаций относительно других (иными словами, чем выше рейтинг данного ВУЗа, тем

больше он может объявить набор в данный момент времени);

- объявление набора по остаточному принципу (объявлять набор с расчетом на то, что те абитуриенты, которые не поступят в другие ВУЗы, будут поступать в данный);
- объявление набора на основе исторических данных (на основе исторических данных строятся прогнозы объявляемого набора конкурентов и в зависимости от этого, объявляется собственный набор).

В работе исследуется привлекательность использования каждой стратегии и выбор стратегии, которая позволяет зачислить наибольшее количество абитуриентов и при этом максимально увеличить рейтинг ВУЗа.

Описание модели

Пусть имеется несколько вузов, осуществляющих свою деятельность в регионе. Каждый из вузов заинтересован в зачислении студентов. Задачей является в определенный момент времени объявить набор, т.е. то количество абитуриентов, которое ВУЗ готов зачислить в качестве студентов на факультеты.

При объявлении набора необходимо учитывать тот факт, что при слишком высоком объявленном наборе велика вероятность «недобора», что может в конечном итоге приводить к перерасходу средств. При низком объявленном наборе вероятность «недобора» снижается, но в таком случае упускается возможная прибыль, т.к. на каждого студента выделяется некоторая сумма денег, большая часть которых расходуется на заработную плату преподавателям и коммунальные платежи. Но тем не менее в выделенной сумме предусмотрена некоторая доля, которую ВУЗ вправе потратить по своему усмотрению: улучшение материально-технической базы, закупка учебной литературы, стимулирующие выплаты преподавателям и т.п. (имеется в виду финансирование студента-бюджетника, в случае студента-«платника», эта доля в принципе не ограничена, но чрезмерный рост стоимости обучения сдерживается конкуренцией со стороны других вузов). Эту долю будем называть свободными средствами. Сами по себе, свободные средства, выделяемые на одного студента, малы. Однако, если просуммировать свободные средства для всех студентов одного потока, то может получиться существенная сумма, и появляется больше

* Работа поддержана грантом РФФИ 09-08-98800 «Разработка информационной системы с распределенным доступом для комплексной поддержки организационного управления региональной системой профессионального образования».

перспектив для улучшения условий обучения, а как следствие, повышается конкурентоспособность учреждения.

В силу факторов, описанных выше, задача «угадывания» количества студентов становится актуальной. Для получения обоснованных решений по объявлению набора на факультеты ВУЗа целесообразно иметь модель, с помощью которой можно оценить различные варианты принимаемых решений.

Данную модель лучше представить в виде мультиагентной системы: сценой (средой) будет являться пул абитуриентов (то количество абитуриентов, которые заинтересованы в поступлении в один из вузов рассматриваемой группы), а агентами будут являться ВУЗы рассматриваемой группы. Целью каждого агента является зачисление (и последующая подготовка) как можно большего количества студентов.

Сцена имеет единственный атрибут:

$$Sc = \langle N \rangle, \quad (1)$$

где Sc — сцена (среда);

N — количество абитуриентов, желающих поступать в ВУЗы рассматриваемой группы (пул абитуриентов).

Агент имеет следующие атрибуты:

$$Ag = \langle r, Acc, \{F\} \rangle, \quad (2)$$

где Ag — агент;

r — рейтинг ВУЗа;

Acc — общее количество зачисленных студентов

{F} — список факультетов, существующих в данном вузе.

Атрибуты факультета перечислены ниже:

$$F = \langle E, El, P, Pl, W, Max_{st} \rangle, \quad (3)$$

где F — факультет;

E — количество заявок в текущем году;

El — количество заявок в прошлом году;

P — объявляемый набор в текущем году;

Pl — объявляемый набор в прошлом году;

W — свободные средства факультета;

Max_{st} — максимально возможное количество студентов, которое можно зачислить.

При моделировании приемной кампании вузов, существенным является закон распределения абитуриентов между вузами. В данной работе считается, что абитуриенты распределяются между вузами пропорционально рейтингам. Рейтинг определяется по следующей формуле:

$$r = \frac{P}{N} + \frac{E}{P} + \frac{Acc}{avg(N)}, \quad (4)$$

где r — рейтинг ВУЗа;

P — объявляемый набор;

N — размер пула абитуриентов в текущем году;

E — количество заявок в данный момент времени;

Acc — общее количество зачисленных студентов за предыдущие годы;

avg(N) — средний размер пула абитуриентов по итогам предыдущих лет [2].

Основные допущения, сделанные в модели

Все абитуриенты объединяются в единый пул, который потом распределяется между ВУЗами, действующими на рынке. Приблизительный размер пула абитуриентов известен каждому ВУЗу на несколько шагов вперед. Точный размер пула определяется на каждом модельном шаге и отличается на некоторую случайную величину от той, которая известна ВУЗам. Задачей каждого ВУЗа является обучение как можно большего количества студентов, а соответственно — зачисление максимально возможного количества абитуриентов.

В приемной кампании существуют следующие ограничения:

1. Нельзя зачислить студентов больше, чем объявлено.

2. Нельзя зачислить студентов больше, чем ВУЗ физически может обучать.

3. Предполагается, что абитуриенты, не поступившие в один ВУЗ, будут поступать в другой.

4. Каждому ВУЗу известно приблизительное количество абитуриентов, которые могут подать заявления в данный ВУЗ. Однако фактическое количество заявлений может значительно отличаться от предполагаемого количества.

5. В модели вводится искусственный штраф за недобор, т.е. ВУЗ получает штраф, если количество зачисленных абитуриентов меньше объявленного набора.

Стратегии, используемые агентами в модели

1. Объявление фиксированного набора в каждый момент времени, не обращая внимания на изменения на рынке образовательных услуг.

2. Объявление набора в зависимости от собственной репутации относительно других (иными словами, чем выше рейтинг данного ВУЗа, тем больше он может объявить набор в данный момент времени).

3. Объявление набора на основе исторических данных (на основе исторических данных строятся прогнозы объявляемого набора конкурентов и в зависимости от этого, объявляется собственный набор).

4. Смешанные стратегии. Все агенты используют различные стратегии.

Обзор результатов моделирования

Ниже приведены результаты прогона модели, в которой участвуют 4 агента, 3 агента действуют в соответствии с одной из стратегий, перечисленных выше. Интервал моделирования составлял десять лет. В ходе работы модели, пользователь мог управлять одним из агентов (на диаграммах - «Ваш ВУЗ»).

Фиксированный набор

Результаты прогона модели, в которой агенты используют стратегии фиксированного набора, приведены на рис. 1. Различные агенты используют различные значения фиксированного набора. На рисунке видно, что если на рынке услуг все используют стратегию фиксированного набора (в зависимости от того, сколько студентов ВУЗы могут обучать физически), то оптимальной стратегией

является объявление максимально допустимого набора (т.е. попытаться зачислить максимально возможное для данного ВУЗа количество студентов).

Хотя такая стратегия в долгосрочной перспективе приводит к снижению рейтинга, это позволяет добиться главной цели — обучение как можно большего количества студентов.

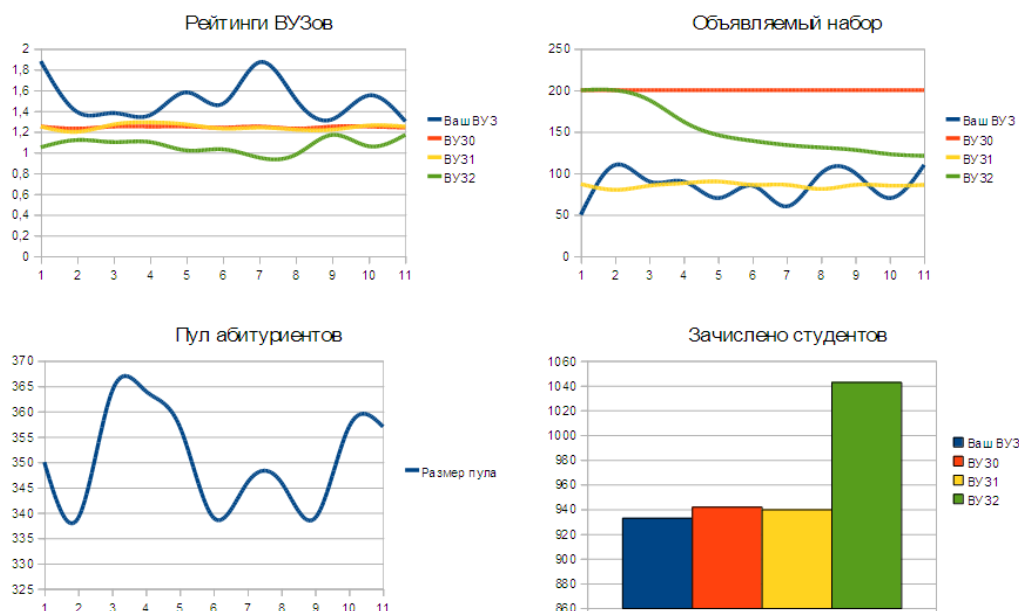


Рис.1. Результаты прогона модели, где агенты используют стратегию фиксированного набора

Набор на основе рейтингов агентов в модели

Результаты прогона модели, в которой агенты объявляют набор на основе рейтингов агентов, приведены на рис. 2. На рисунке показано, что в

случае, если в первоначальный момент времени у всех агентов одинаковый рейтинг, то использование этой стратегии не дает никакого преимущества.

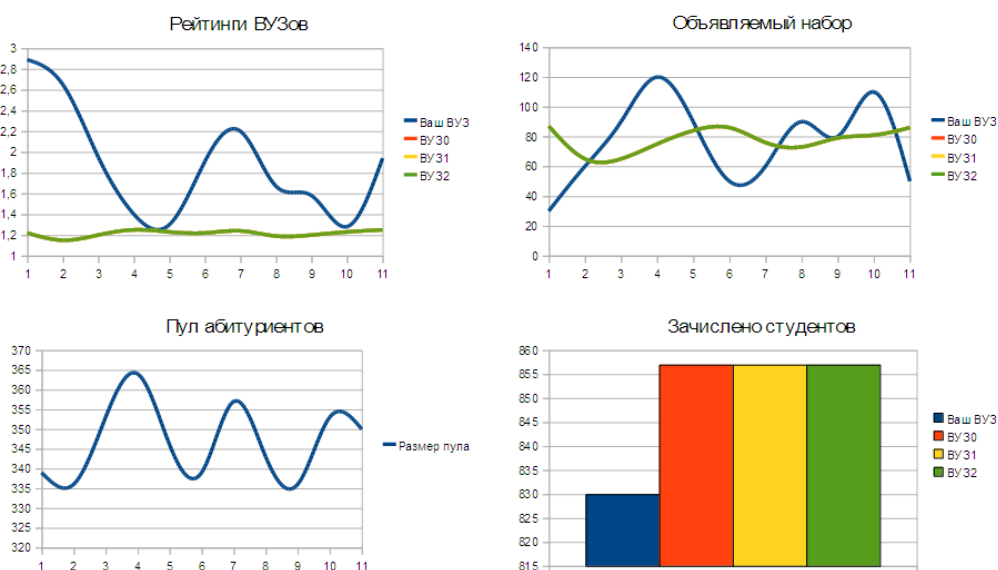


Рис.2. Результаты прогона модели, где агенты используют стратегию объявления набора на основе рейтингов

Набор на основе исторических данных

Результаты прогона модели, в которой агенты объявляют набор на основе исторических данных, приведены на рис. 3. На рисунке видно, что в результате прогона, один из агентов получает значительное преимущество по количеству зачисленных

абитуриентов. Это стало возможным благодаря тому, что это агент получил незначительное преимущество (вполне вероятно, что случайное) в начальный момент времени.

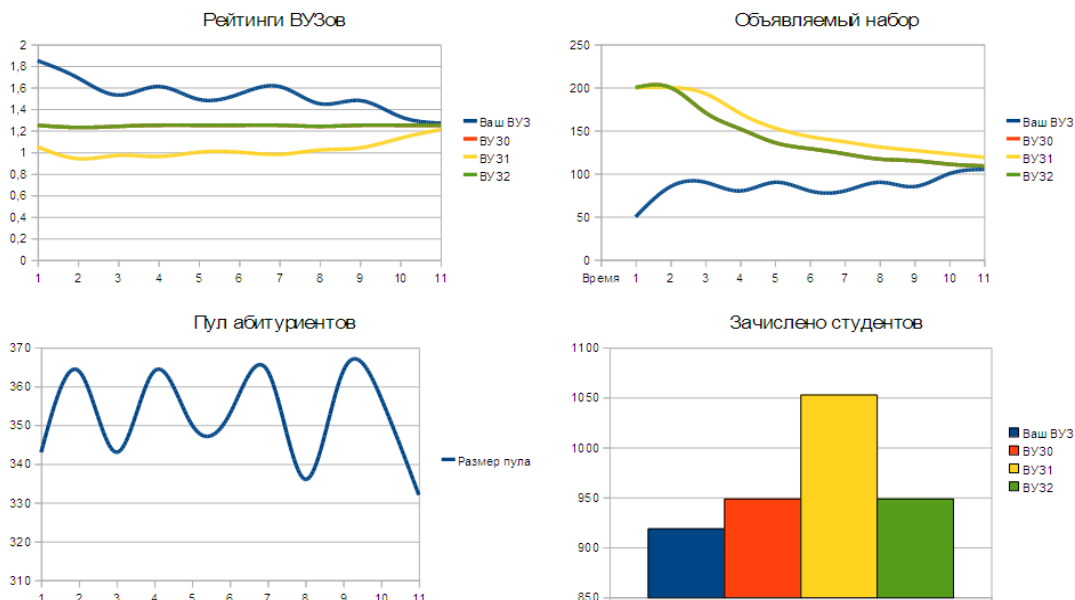


Рис.3. Результаты прогона модели, где агенты объявляют набор на основе исторических данных

Смешанные стратегии

В данном прогона модели агенты использовали различные стратегии: ВУ30 - объявлял фиксированный набор на протяжении всего моделирования, ВУ31 - набор на основе рейтингов, ВУ32 - на основе

исторических данных. Результаты прогона модели приведены на рис. 4. На рисунке видно, что при использовании агентами различных стратегий, оптимальным является объявление набора на основе исторических данных.

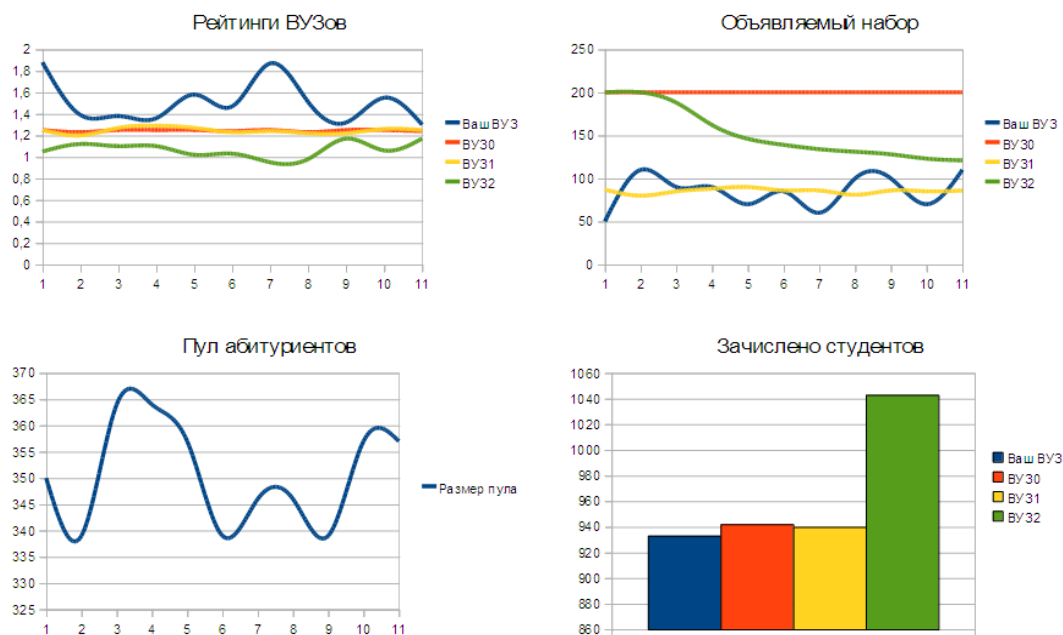


Рис.4. Результаты прогона модели, где агенты используют различные стратегии

Заключение

В данной работе предлагается модель, с помощью которой можно оценить востребованность какой-либо услуги на рынке образовательных услуг при различных маркетинговых стратегиях. Рассмотрено продвижение образовательной услуги на рынке образовательных услуг, на котором действуют несколько ВУЗов.

При объявлении набора агенты могли использовать различные стратегии (выбор стратегии был фиксированным на протяжении одного прогона): объявление фиксированного набора в каждый момент времени; объявление набора в зависимости от собственной репутации относительно других; объявление набора на основе исторических данных. В пределах одного прогона, агенты могли использовать какую-то одну стратегию, либо агенты использовали различные стратегии.

В результате исследований модели было выявлено, что выбор оптимальной стратегии продвижения услуги зависит от того, какие стратегии используют другие агенты. Так же интересно отметить, что при определенных условиях, незначительное преимущество на начальных этапах позволяет получить значительное преимущество на заключительных этапах. В случае, если все агенты используют различные стратегии, то оптимальной стратегией является объявление набора на основе исторических данных.

Литература

1. Новаторов, Э.В. Маркетинговая концепция качества образовательной услуги и методика ее измерения //Десятый симпозиум. Квалиметрия в образовании: методология и практика, 2002. - С.190-205.
2. Шемякин, А.С. Реализация модели приемной кампании ВУЗов и распределения бюджетных средств /А.С. Шемякин //Спрос и предложение на рынке труда и рынке образовательных услуг в регионах России: сб. докл. 6-й Всерос. научно-практ. Интернет-конференции, 28 - 29 октября 2009 г. Кн. 1.-Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2009. - С.313-320 с.

**МЕТОД СТРУКТУРНОЙ АНАЛОГИИ КАК СПОСОБ ОРГАНИЗАЦИИ
ЭФФЕКТИВНОГО КАДРОВОГО МЕНЕДЖМЕНТА**

А.Ю. Суворов

Введение

Производство товаров, кадров, услуг в настоящее время сформировано точно, так что в одних регионах появляется переизбыток, а в других недостаток данного вида товара (услуги, кадров). Отсутствие необходимого качественного предложения создает дисбаланс на рынке труда, рынке товаров и услуг. Одним из вариантов решения данной проблемы может быть перенос производства данного вида объекта в конкретный регион, область и т. д. Однако такое точечное распределение не сможет покрыть потребности всех регионов; более того, такой перенос приводит к огромным материальным затратам. Еще одно решение – закупка данного объекта из других регионов; финансовый вопрос в этом случае также играет ключевую роль [1].

Похожая ситуация коснулась и кадровый менеджмент – требуемого специалиста найти достаточно сложно, а порой и невозможно в пределах данного региона. Переобучение специалиста, обладающего определенным уровнем знаний в требуемой области, может послужить выходом из сложившейся ситуации. Для получения максимального результата за наименьшее время необходимо выбрать специальность, наиболее «близкую» к требуемой.

Описание метода

Подход к формированию графовых структур и анализа смежных специальностей, при котором сопоставляется количество часов, затраченных на изучение той или иной дисциплины, обладает существенными недостатками, которые при определенных критериях не позволяют правильно определить наиболее близкую к «эталонной» специальность. В результате чего прежняя модель [4] была пересмотрена и приведена к более формализованному виду.

Новый подход не предполагает полный отказ от ранее рассмотренного метода.

Будем рассматривать задачу нахождения ближайшего элемента на следующей структуре: рассмотрим классы объектов G и S , $G = \{ \langle g_j, v_j \rangle, j = \overline{1, n} \}$, где v_j - вес g_j элемента во множестве G , n – определяется точностью формируемого множества, а элементы множества S составлены из группы элементов множества G : $s = \{ \langle g_j, v_j \rangle, j = \overline{1, l} \}$, где $l \leq n$. Сформируем покрытие множества S по следующему принципу:

образуем множества S_i в зависимости от критерия $K_i(s) = z_i$, где K_i – критерий, согласно которому определяется покрытие множества S . Следует отметить, что один и тот же элемент множества S может оказаться более чем в одном множестве.

Для образовавшихся множеств поставим задачу поиска наиболее близкого элемента к некоторому элементу $R = \{ \langle r_i, h_i \rangle, i = \overline{1, x} \}$; количество элементов x зависит от степени точности в сравнении элементов, которую мы хотим получить на выходе. Видно, что R имеет ту же структуру, что и S_i . С помощью введенного критерия определим принадлежность элемента R множеств разбиения: $K(R)$. Поиск ближайшего схожего элемента будет осуществляться внутри отобранных множеств. Сравним структурные элементы R с элементами S_i , начиная с наибольшего по весу элемента. Введем функцию предпочтения f и отношение предпочтения Z такие, что для любых R и S_i : $f(R) \geq f(S_i)$, когда $R Z S_i$ (R предпочтительнее S_i). Функция f может быть выбрана как сумма весов совпавших структурных компонентов.

В более сложном случае внутренние элементы S_i могут иметь иерархическую зависимость между собой, в таком случае иерархия определяется весами – в порядке уменьшения веса элементы с одинаковыми весами располагаются на одном уровне. Веса элементов распределяются следующим образом: элементы, имеющие наибольшее количество зависимостей, получают наибольший вес.

Таким образом, для выявления наиболее близких объектов по целевому назначению необходимо:

- произвести классификацию объектов по целевому назначению;
- определить структуру рассматриваемых объектов;
- ранжировать структуру объекта по степени «вклада» каждого элемента в общую структуру (для сложных объектов построить иерархию внутренних элементов);
- ввести критерий точности сравнения объектов (по всем внутренним элементам, до определенного уровня и т. д.);
- выбрать функцию предпочтения и выявить наиболее схожий объект.

Применение метода в кадровом менеджменте

Построенную модель можно отобразить на различные отрасли: кадровый менеджмент, медицина, экономика. Если для медицины это может быть поиск наиболее близкого препарата к данному, учитывая различные критерии: состав (даже если действие препарата одинаково, состав может иметь значение – аллергия на вещество), цена, производитель и т.д. То для кадрового менеджмента – поиск или подготовка специалиста с учетом дефицита кадров данного вида на рынке труда в регионе.

Более подробно рассмотрим данную архитектуру на примере кадрового менеджмента. На первом этапе необходимо объединить все специальности по группам «схожести», по направлениям – гуманитарные специальности, естественно-научные и т. д. Сформированные объединения зададут множества в пределах, в которых мы будем искать подобную «эталонной» специальности; поиск в соседних множествах также возможен, однако специальности, включенные в них, априори менее схожи, чем специальности из одного и того же множества. Кроме того, в специальностях, среди которых происходит поиск, следует выделить дисциплины, входящие в ОПФ и СД как наиболее ключевые для данной профессии.

В подходе предлагается строить граф-схему ГО-Сов не двух сравниваемых специальностей, а только одной, состоящей из дисциплин «эталонной» специальности. Построение производится по следующему принципу: на самом нижнем уровне (листья) располагаются те предметы, которые служат базой для вышестоящих дисциплин. Определим зависимости между предметами - межпредметные связи. Каждому элементу уровня присваивается вес, равный сумме весов смежных с ним элементов предыдущего (нижестоящего) уровня плюс один (дополнительный ранг за уровень). Логика построения такого ранжирования основана на том, что, зная наиболее сложный предмет, специалист знает и предметы, которые располагаются уровнем ниже в той же ветке в требуемом объеме. Таким образом, установленный вес для каждого элемента отображает количество предметов, теоретически уже изученных претендентом на переобучение. Важно отметить, что ранжировать необходимо только «эталонную» специальность; иначе возможны ошибки при определении межпредметных связей (в одной дисциплине эксперт определяет зависимость диф. уравнения \rightarrow ур. мат. физики, в другой ур.мат.физики \rightarrow диф. уравнения), что в конечном итоге приведет к неудовлетворительному конечному результату.

Следующий этап отбора «кандидата» состоит в том, чтобы отсеять избыток информации. Для этого предлагается рассматривать только ОПД и СД федерального компонента; остальные дисциплины имеют смысл рассматривать, если анализ ОПФ и СД не выявил совпадений или они не существенны.

Поиск наиболее близкой специальности происходит по построенному графу в пределах специальностей, принадлежащих одному множеству (одному направлению): необходимо произвести сравнение дисциплин, входящих в эталонную специальность, и дисциплин кандидата. Анализ осуществляется по принципу «сверху вниз», учитывая следующее условие: если предмет в графе «эталонной» специальности найден в ОПД или СД кандидата, то предметы, стоящие уровнем ниже в той же ветке, не рассматриваются. В случае обнаружения совпадений дисциплине в специальности-кандидате присваивается тот же вес, что и у дисциплины в «эталонном» графе. Произведя, таким образом, анализ представленных графов и учитывая сумму весов предметов по каждому из них, получим числовой показатель сходства. Наибольший показатель укажет на ближайшую специальность. Таким образом, получаем ранжирование сравниваемых специальностей по мере их сходства с эталонной.

Для успешного построения граф-схемы специальности необходимо определить межпредметные связи дисциплин [3,4]. Выявление этих связей производится экспертным методом. Однако в этом случае значительную роль в построении графа играет «человеческий» фактор – возможность допущения ошибки экспертом. Так как граф строится однократно, а затем служит основой для принятия дальнейших решений, то даже незначительные погрешности и ошибки, допущенные на начальном этапе, могут впоследствии привести к неудовлетворительному результату. Для повышения точности ранжирования можно привлечь нескольких экспертов. В качестве одного из критериев проверки правильности построенного ранжирования может послужить то, что предметы, входящие в ОПФ и СД, как правило, находятся вверху дерева и имеют наибольшие ранги. Таким образом, рассматривая любую специальность, можно говорить о некоторой степени сходства с «эталонной» специальностью, частичном или полном совпадении по ключевым показателям («однонаправленные», совпадение ОПД и СД).

С помощью полученного графа построим матрицу логических связей учебных элементов, отношений их очередности и последовательности изучения и определим с ее помощью близость специальности-кандидата к эталонной.

Матрица отношений очередности - матрица, показывающая, в какой последовательности должны изучаться учебные элементы (дисциплины). Матрица является квадратной. Размер равен количеству учебных элементов. Строки и столбцы нумеруются в соответствии с номерами учебных элементов (или вписываются названия дисциплин). Далее выполняется строчное заполнение ячеек матриц нулями и единицами. При заполнении ячеек матрицы отношений очередности анализируют отношения очередности между двумя учебными элементами.

Единицу ставят в ячейку, если учебный элемент, указанный в номере строки, должен изучаться после учебного элемента, указанного в номере столбца. Противоположное отношение очередности обозначают нулем или оставляют соответствующую ячейку матрицы пустой. Все ячейки главной диагонали матрицы отношений очередности заполняют единицами. Ячейки матрицы, симметричные относительно главной диагонали, должны иметь противоположные значения. Поэтому анализ парных отношений очередности можно проводить лишь для левого нижнего или для правого верхнего треугольника матрицы, заполняя ее оставшуюся часть на основе свойства антисимметрии (табл.).

Последовательность изучения учебных элементов в пошаговой процедуре обучения определяют в процессе обработки матрицы отношений очередности, суммируя коэффициенты каждой строки матрицы. Чем больше сумма, тем позже должен изучаться соответствующий учебный элемент.

Фрагмент матрицы отношений очередности для специальности «Информационные системы»

	Системное ПО	Поток программ	ОС
Системное ПО	1	0	0	1
Поток программ	0	1	1	0
ОС	0	0	1	0
.....	0	1	0	1

Процесс сравнения двух специальностей состоит из нескольких этапов:

- Построим матрицу отношений очередности согласно предложенному алгоритму для «эталонной» специальности. Назовем её $A[N \times N]$, где N – количество дисциплин, входящих в ОПД и СД.
- Проведем анализ ГОСов специальности-кандидата. Первоначально выделим из сформированной матрицы отношений те предметы, суммы коэффициентов строк которых наибольшие. Поиск дисциплины в ГОСе специальности-кандидата следует проводить по дисциплинам в «эталоне» в порядке уменьшения их ранга (сумма строки), причем дисциплины с рангом 0 игнорируются.
- Для специальности-кандидата заведем матрицу $B[N \times N]$ той же размерности, что и у эталонной, причем $B[N \times N]$ – нулевая матрица. Порядок дальнейшего формирования матрицы B состоит из следующих этапов:

1. В случае обнаружения какой-либо дисциплины из эталонной специальности в специальности-кандидате в матрице B строка, соответствующая этой дисциплине, заполняется аналогично соответствующей строке матрицы A .

2. Строки в матрице A , отвечающие за те дисциплины, от которых зависит совпадающая дисциплина, зануляются (дисциплины, которые соответствуют коэффициенту 1 в строке с найденной специальностью).

3. Процедура повторяется для следующей дисциплины, сумма коэффициентов (по строке) которой наибольшая. Поиск осуществляется до тех пор, пока есть дисциплины, для которых сумма элементов строки не равна 0.

Подсчитаем суммы рангов каждой специальности по следующему принципу: для матрицы B суммируются все ранги (суммы строк), которые не равны нулю. Для матрицы A суммируем ранги тех дисциплин, которые не являются подчиненными для любой другой дисциплины, т.е. столбцы для которых заполнены нулями (кроме главной диагонали).

По полученному коэффициенту можно определить близость одной специальности относительно другой, причем разность коэффициентов определит количество предметов, которые необходимо изучить для полного совпадения.

Из полученных коэффициентов эталонной специальности и специальностей-кандидатов (если их несколько), наибольшим будет коэффициент эталона. Отобразим множество полученных коэффициентов и связанных с ними специальностей на отрезок $[0,1]$.

Пусть k – коэффициент эталона. Рассмотрим множество $D = \{B_i, \mu_i, A, k\}$, где B_i – матрица соответствующей специальности-кандидата, а A – матрица эталона. Коэффициент будем рассчитывать по формуле $k_i = \sum_j \sum_k b_{j,k}$, а коэффициент $k = \sum_j \sum_k a_{j,k}$, причем функция $\mu(x): U \rightarrow [0,1]$.

Будем говорить, что элемент полностью принадлежит множеству D , если $\mu(x)=1$, в ином случае будем говорить, что рассматриваемый элемент принадлежит множеству D со степенью $\mu(x)$. Функцию $\mu(x)$ будем выбирать таким образом, что для матрицы A $\mu(A)=1$, таким образом функция

$$\mu(A) = \frac{\sum_{j,k} a_{j,k}}{\sum_{j,k} a_{j,k}}, \text{ а в общем случае } \mu(x) = \frac{F(x)}{\sum_{j,k} a_{j,k}}.$$

Функция $\mu(x)$ может быть выбрана как функция предпочтения. Имея функцию предпочтения, а по сути, и функцию принадлежности, можно расположить выбранные специальности на шкале порядка $[0,1]$.

Зная наиболее важные аспекты понятий, с помощью которых можно описать сферу кадрового менеджмента, опишем представленную иерархию объектов с помощью классов, свойств и методов, необходимых для решения задачи нахождения наиболее близкого элемента.

Определим ключевой класс «специальность» (Speciality):

```
Class Speciality {
    static int [] namespaces;
    //учитывая, что специальность может принадле-
    жать более чем одному направлению.
    Gos discipline;
    float getCompire(Speciality object, int level);
}
```

namespaces – свойство отвечающее за принадлежность специальности к определенному направлению (учитывая, что специальность может принадлежать более чем одному направлению, указан массив int) и не зависит от экземпляра (static).

discipline – свойство, содержащее структуру ГОС и имеющее пользовательский тип gos.

getCompire(Speciality object, int level) – метод, производящий сравнение текущей специальности со специальностью object и выдающий на выходе степень сходства на шкале порядка [0,1]. Переменная level указывает «глубину» элементов иерархии (начиная сверху) в текущей специальности, по которым будет производиться анализ сходства.

```
Class Gos{
    String [][] gos;
    String[][] get_OPD_SD(String [][] gos);
}
```

Класс Gos описывает структуру государственного стандарта специальности.

Матрица gos содержит перечень дисциплин, которые изучаются в рамках данной специальности.

Функция get_OPD_SD() возвращает матрицу, состоящую только из специальностей, входящих в ОПД и СД.

Заключение

Поиск высококвалифицированного специалиста всегда являлся одной из ключевых задач кадрового менеджмента. Сложность решения таких задач зависит, как правило, от ВУЗов: на подготовку каких кадров ориентированы ВУЗы, расположенные в регионе. Таким образом, образуется вакуум на рынке труда. В регионах, где набор выпускаемых ВУЗами специальностей ограничен, а приток кадров «извне» незначителен, огромную роль в решении проблемы переизбытка и дефицита специалистов играет пере-квалификация персонала.

Чрезвычайно важной становится проблема выбора специалиста, переобучение которого будет наименее затратным. Поиск наиболее близкого к требуемому объекту выглядит наиболее выгодным с финансовой и временной точки зрения.

В данной статье рассматривается метод структурной аналогии как способ организации эффективного кадрового менеджмента.

Подход предполагает определение и анализ внутренней структуры ГОСов с целью выявления внутренних связей и структурных аналогий, с помощью которых строятся критерии, позволяющие определить степень подобия специальностей.

Литература

1. Формализация задач идентификации информационных структур обучения / В. В. Эпп и др // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации, бизнесе: материалы XXXIV Международ. конф. (Приложение к журналу “Открытое образование”). Украина, Крым, Ялта–Гурзуф, 5–15 октября 2006 г. – Запорожье: Запорож. нац. ун-т, 2006. – С.22–24.
2. Варшавский, П.Р. Механизмы правдоподобных рассуждений на основе прецедентов (накопленного опыта) для систем экспертной диагностики /П.Р. Варшавский // Труды 11-й национальной конф. по искусственному интеллекту с междунар. участием, г. Дубна, 28 сент. – 3 окт. 2008 г.). – М: URSS, 2008. – Т.2. – С.106-113.
3. Геловани, В.А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нестандартных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды / В.А. Геловани и др. – М.: Эдиториал УРСС, 2001.
4. Суворов, А.Ю. Онтологический подход к кадровому менеджменту /А.Ю. Суворов, А.Г. Олейник //Информационные технологии в региональном развитии : сб науч. тр. Апатиты: КНЦ РАН, 2009. - Вып.IX. – С.142-146.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ: МЕТОДЫ И ОПЫТ***М.В. Мальков, А.Г. Олейник, А.М. Федоров***

Настоящая работа носит обзорный характер. В ней представлены общие подходы к моделированию технологических процессов, рассмотрены этапы создания математических моделей и компьютерное моделирование технологических процессов. Приведены примеры работ, выполняемых Институтом информатики и математического моделирования технологических процессов КНЦ РАН в данном направлении.

Основу современных производств составляют технологические системы, имеющие сложную структурно-функциональную организацию. Как правило, объектом управления в этих системах являются конкретные технологические процессы. Если абстрагироваться от конкретного типа и вида технологического процесса, то любой технологический процесс можно представить в виде множества действий, условий и связей. Вообще говоря, любое производство состоит из стадий (этапов), на каждой из которых производится определенное воздействие на материальные потоки и превращение энергии. Последовательность стадий обычно описывается с помощью технологической схемы, каждый элемент которой соответствует определенному технологическому процессу. Соединения между элементами технологической схемы отражают материальные и энергетические потоки, протекающие в системе [1]. Система характеризуется алгоритмом функционирования, направленным на достижение определенной цели.

С позиций системного подхода, технологический процесс - это сложная динамическая система, в рамках которой взаимодействуют: оборудование, средства контроля и управления, вспомогательные и транспортные устройства, обрабатывающий инструмент или среды, находящиеся в постоянном движении и изменении, объекты производства, люди осуществляющие процесс и управляющие им. С целью анализа сложный технологический процесс можно разделить на подсистемы различных уровней. Декомпозиция системы на подсистемы позволяет вскрыть иерархию структуры и рассматривать систему на разных уровнях ее детализации.

Работа не с самим объектом (явлением, процессом), а с его моделью во многих случаях дает возможность относительно быстро и без существенных материальных затрат исследовать его свойства и поведение в любых ситуациях. Математическое моделирование в данной области – это процесс создания абстрактной модели в виде формального описания объекта исследований на «математическом языке» и оперирование этой моделью с целью получения необходимых сведений о реальном или проектируемом технологическом

объекте. В зависимости от уровня знаний об объекте исследований построение моделей может осуществляться на основе различных принципов и методик: фундаментальных законов природы, вариационных методов, аналогий, иерархических цепочек и др. Довольно часто построение модели, позволяющей получить практически значимые результаты, требует комплексного использования различных методов моделирования. Обязательным этапом моделирования является оценка адекватности модели - соответствие сконструированного формального описания реальному объекту и сформулированным предположениям с учетом целей исследования. Модель изучается всеми доступными методами в интересах достижения поставленной цели.

В теории управления создаются и применяются математические модели двух основных типов (хотя в различных разделах теории эти типы определяются по-разному). Первый тип моделей - аналитические модели (феноменологические или модели данных). Эти модели не требуют, не используют и не отображают каких-либо гипотез о физических процессах, в которых эти данные получены. Второй тип - системные модели (или модели систем). Это математические модели, которые строятся в основном на базе физических законов и гипотез о том, как система структурирована и, возможно, о том, как она функционирует [10]. В классическом понимании к моделям данных относятся все модели математической статистики. Однако именно системные модели допускают возможность работы в разнообразных системах реального времени (операторские, инженерные, биомедицинские интерфейсы, разнообразные системы диагностики и т.д.). Поэтому можно ожидать, что именно системные модели составят ядро современного этапа в развитии математического моделирования, хотя в настоящее время во многих приложениях используются и типичные модели данных [10].

Каждый из двух отмеченных выше типов моделей имеет свои традиционные области применения. В практике управления отдельными технологическими процессами широко используются феноменологические модели. Простые по структуре, такие модели (обычно при числе переменных менее 10) достаточно хорошо отражают истинное поведение объекта в окрестности отдельных режимов работы. В задачах управления, где цель управления часто состоит в компенсации возмущающих воздействий, уводящих процесс от желаемой рабочей точки, это вполне допустимо [10]. Во многих задачах принципиально применимы только системные модели.

Одной из основных целей математического моделирования технологических систем является прогнозирование на этапе их проектирования основных характеристик и особенностей их функционирования в реальных условиях промышленного производства. Действующих производств средствами моделирования определяются условия реконструкции, переоборудования, изменения технологических режимов и регламентов для решения задач оптимизации производственных процессов. Отсюда вытекают требования к достоверности полученных результатов, поскольку ошибки чреваты серьезными убытками или аварийными ситуациями. Практически всем технологиям свойственны экстремальные режимы функционирования. Затраты на исправление выявленной ошибки возрастает на порядок, если эта ошибка выявлена не на этапе проектирования, а на этапе создания экспериментального образца и еще на порядок при серийном выпуске. Поэтому современные принципы обеспечения качества продукции предусматривают проведение основных действий по достижению качества – 75% на начальных этапах жизненного цикла. Показательно, что на контроль производственных процессов американские специалисты затрачивают 20% усилий и только 5% – на приемку готового изделия; а в Японии на приемку изделия затрачивают лишь 1%.

Современное понимание проблемы адекватности предполагает проверку выполнения следующих критериев:

- непротиворечивость - дает ли модель результаты, которые не противоречат логике при изменении величин важнейших параметров;
- чувствительность - соответствуют ли относительные изменения выходных параметров модели небольшим изменениям ее входных параметров;
- реалистичность - соответствует ли модель частным случаям, для которых имеются экспериментальные данные.

Именно критерий реалистичности рассматривается в большинстве случаев в качестве основного. На его основе построены современные процедуры идентификации параметров математических моделей, после чего только и выполняется собственно моделирование.

Сейчас появляются новые требования адекватности модели - адекватность понимается как макро характеристика всего моделирующего комплекса.

Сравнение методов математического и физического моделирования не даёт однозначного ответа в оценке их преимуществ. Абсолютно точную модель сложного процесса построить невозможно. По этой причине, если удастся удовлетворить все условия критериального или геометрического подобия, прибегают к физическому моделированию. В теории автоматического регулирования имеется специальный термин - пилотное устройство, т.е. устройство, в котором параллельно основному процессу происходит его физическое моделирование

и на основании этого производится оперативное управление всей технологической системой. Но чаще всего, создание подобных устройств либо невозможно, либо очень дорого. В таком случае преимуществом обладает математическое моделирование.

Математическая формализация оценки эффективности технологического процесса возможна только в том случае, когда сформулирован и стандартизирован механизм описания моделей технологических цепочек. Математическое моделирование может предсказать результат эксперимента. С помощью моделирования технологического процесса можно определить оптимальные условия для производства какого-либо прибора или устройства, не прибегая к многочисленным экспериментам, которые требуют времени и материальных затрат. Моделирование позволяет учитывать множество различных факторов, влияющих на ход технологического процесса. При построении системных моделей, как правило, формируется явное математическое описание физических процессов, происходящих в реальном объекте, в виде систем дифференциальных, алгебраических и логических уравнений. Современные инструментальные средства позволяют строить модели имитационного типа путем описания системы причинно-следственных связей, имеющих место в моделируемом объекте. При этом соответствующие системы уравнений синтезируются автоматически средой моделирования на основе заданных описаний [12]. При определении параметров модели необходимо учитывать технологические характеристики оборудования и экспериментальные данные о работе объекта. Допущения, принимаемые при построении моделей, должны обеспечивать воспроизведение качественно верной физической картины, происходящих в объекте процессов работы объекта. Должна также обеспечиваться необходимая полнота моделирования, т.е.: моделироваться все необходимые режимы работы, контролируемые параметры и органы управления объекта моделирования; воспроизводится набор возможных аварий и отказов в работе технологического оборудования и устройств автоматики. Модель должна обеспечивать достаточную точность результатов. В идеале отклонение в поведении моделируемых параметров от поведения реальных параметров должно быть настолько мало, что им можно пренебречь [7].

Наиболее содержательным является этап проектирования математической модели. На этом этапе исследуются закономерности, лежащие в основе технологии. Их математическое описание обычно основывается на дифференциальных уравнениях математической физики, теории цепей, термодинамики и т.д. Для обобщения результатов привлекаются методы теории планирования эксперимента. Результатом анализа технологического процесса, являются соотношения, полученные в результате решения дифференциальных уравнений. Таким образом, стадия

анализа технологического процесса позволяет определить основные элементы математической модели и структуру процесса моделирования [5].

В природе объективно существуют процессы, качественно разнородные по своей сущности, но описываемые одними и теми же системами дифференциальных или алгебраических уравнений, т.е. обладающие однотипными математическими моделями. Такое явление называется принципом изоморфности математических моделей. Для того чтобы быть изоморфной, модель должна удовлетворять двум условиям:

1. должно существовать однозначное соответствие между элементами модели и элементами представляемого объекта;
2. должны быть сохранены точные соотношения или взаимодействия между элементами.

Степень изоморфизма модели относительна и большинство моделей скорее гомоморфны, чем изоморфны. Под гомоморфизмом понимается сходство по форме при различии основных структур. Причем имеет место лишь поверхностное подобие между различными группами элементов модели и объекта. Гомоморфные модели являются результатом процессов упрощения и абстрагирования.

Классификация видов моделей в современной теории моделирования разнообразна. Модели могут быть: детерминированные и стохастические, статические и динамические, непрерывные и дискретные, аналитические, физические, информационные и т.д. Но в любом случае адекватность является доминирующим требованием к математической модели.

Важную роль при исследовании технологических процессов играет выбор между использованием детерминированных или стохастических моделей. В детерминированных моделях процесс или действие объекта описывается аналитическими выражениями, чаще всего системами дифференциальных или алгебраических уравнений. Детерминированные модели применяют в тех задачах, в которых можно пренебречь флуктуациями значений параметров и результатов их измерений. В стохастических моделях процесс или действие объекта описывается стохастическими уравнениями и физический смысл имеют не отдельные реализации процесса, а совокупность реализаций и их параметры (математическое ожидание, дисперсия, корреляционные зависимости и т.д.). Эффективность стохастических моделей в значительной степени определяется качественным выполнением всех этапов эксперимента (выдвижение гипотезы, планирование, обработка результатов и т.д.).

Следует помнить, что в технологических исследованиях имеются:

- факторы, не допускающие целенаправленного изменения их в ходе исследования (состав, структура материала и т.п.);

- управляемые факторы, с помощью которых реализуется заданные условия работы объекта (характеристики оборудования и т.п.);

- неконтролируемые входные или независимые факторы, характеризующие действующие на объект возмущения.

При моделировании могут использоваться следующие подходы:

- моделирование в стационарном режиме, т.е. процесс рассматривается в определенный момент времени;

- моделирование в динамическом режиме, т.е. процесс рассматривается некотором временном интервале;

- моделирование в интегрированном режиме: включает в себя оба выше описанных режима [8].

Еще одним вариантом классификации является разделение моделей на дескриптивные и прескриптивные. Дескриптивные модели предназначены для осмысления действительности - объяснения и описания наблюдаемых фактов, общения, обучения человека, реализации эксперимента, инструмента прогнозирования. Прескриптивные модели предназначены для нахождения желательного состояния объекта [7].

В России математическое моделирование активно развивается с конца 1950-х - начала 1960-х гг. [10]. Многочисленные модели физиологических процессов охарактеризовали приход второго поколения моделей - системных моделей процессов жизнедеятельности, использовавшихся для исследования процессов управления искусственными органами. Развитие тренажерных моделей (в том числе - мультимедийных) характеризует начало третьего этапа. Модели третьего поколения по своей математической сущности могут быть как феноменологическими, так и системными. В настоящее время начинается переход к очередному поколению математических моделей - моделям виртуального мира. Виртуальное моделирование можно определить как воспроизведение трехмерного мира компьютерными средствами. При этом резко возрастает объем обрабатываемой и производимой информации.

Говоря о моделировании, наиболее часто используют термины: состояние, событие и объект. Состояние в моделировании примерно отвечает понятию состояния в теории управления - это совокупность переменных модели, описывающих систему в каждый момент времени. События - это действия, приводящие к изменению состояния системы. Объектами в модели могут быть как действительные сущности (объекты реального мира), так и виртуальные (физически не существующие) объекты. Для них определяется состояние и на них производятся воздействия [10].

Следует помнить, что в задаче моделирования кроме объекта моделирования и модели, обязательно присутствует субъект моделирования - лицо, усилиями и в интересах которого реализуется модель.

Роль субъекта моделирования оказывается решающей, ибо именно его цели, интересы и предпочтения формируют модель.

Общепринятым в настоящее время является подход, согласно которому на различных уровнях и этапах моделирования используют различные модели. Это обеспечивает достижение разумного компромисса: сложность модели – точность моделирования. Кроме того, такой подход позволяет достаточно гибко и оперативно проводить сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными и уточнять исходные значения, т. е. осуществлять итерационный процесс совершенствования структур с учетом заданных параметров и принятых ограничений. Этот подход позволяет также соразмерять возможности численного моделирования по точности с точностью исходных данных. Совокупность моделей образует систему, взаимосвязи в которой определяются иерархическим принципом. Модели, используемые на каждом последующем более высоком уровне проектирования, отличаются большей степенью абстрагирования. Результаты моделирования на более низком уровне используются как исходные данные для моделирования на более высоком уровне. Для каждого уровня характерна своя теоретическая основа и математический аппарат для синтеза и анализа моделей [6].

Как правило, от состава средств моделирования отдельных процессов зависят функциональные возможности всей моделирующей системы. Любая задача моделирования эквивалентна большой системе нелинейных одновременно решаемых уравнений. В принципе, возможно решение всех этих уравнений одновременно, но в моделирующих системах обычно используется другой подход: каждый элемент схемы решается с применением наиболее эффективных алгоритмов, разработанных для каждого случая.

Достаточно часто при описании технологических процессов, и, в первую очередь, когда природа физических явлений, их сопровождающих, не ясна, используют полиномиальные модели. Если для исследуемых процессов существуют репрезентативные наборы статистических данных, то эффективно применение корреляционно-регрессивного анализа [8].

Моделирование многих технологических объектов можно выполнять на микро, макро и мегауровнях, различающихся степенью детализации рассмотрения процессов в объекте.

Математической моделью технологических объектов на микроуровне является обычно система дифференциальных уравнений с заданными краевыми условиями, но точное решение подобных систем удается получить лишь для частных случаев, поэтому первая задача состоит в построении приближенной дискретной модели для численных исследований.

Математической моделью технологического объекта на макроуровне является также система дифференциальных уравнений с заданными

начальными условиями, построенными на основе сочетания компонентных уравнений отдельных элементов технологического процесса с топологическими уравнениями, вид которых определяется связями между элементами. Для сложных технологических объектов с большим числом элементов приходится переходить на мегауровень.

На мегауровне моделируют в основном две категории технологических объектов: объекты, являющиеся предметом исследования теории динамических систем, и объекты, являющиеся предметом теории массового обслуживания, в том числе и других стохастических методов. Для первой категории объектов возможно использование детерминированного или стохастического математического аппарата макроуровня, для второй используют стохастические методы событийного моделирования.

Одной из адекватных моделей описания причинно-следственных связей, возникающих в технологическом процессе и представленных множествами действий и условий, является сеть Петри – мощный инструмент исследования дискретных систем. Функциональная схема технологического процесса, описываемая в терминах сетей Петри, выражает состав и определенную последовательность операций. Моделирование технологического процесса дает возможность получить новые значения. Динамика работы модели технологического процесса находит свое отражение в совокупности срабатываний переходов в сети и в изменении соответствующих разметок, что позволяет анализировать интересующие свойства исходной сети Петри. Одна из важнейших особенностей сетей Петри состоит в том, что понятие времени выполнения всего технологического процесса или его части заменено причинно-следственными связями между действиями (переходами) сети [9].

Достаточно часто модель может входить в систему управления в форме блока, вычисляющего выходы некоторого объекта по ее входам. В этом случае речь идет о развитии так называемого имитационного моделирования – динамическом моделировании объекта. Динамическое моделирование характерно для различных задач реального времени

Способы использования математических моделей в задачах управления могут быть различными. Вплоть до недавнего времени математические модели использовались в практике управления только как источник входных данных для систем управления. Однако развитие техники (прежде всего – появление компьютерных технологий) во многих дисциплинарных областях сделало возможным непосредственное включение моделей в работающие системы.

Информационные технологии позволяют автоматизировать технологический процесс. Автоматизация технологического процесса – это совокупность методов и средств, предназначенная

для реализации системы, позволяющих осуществлять управление производственным процессом без непосредственного участия человека. Как правило, в результате автоматизации технологического процесса, создаётся автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП).

Процесс компьютерного моделирования включает и конструирование модели, и ее применение для решения поставленной задачи: анализа, исследования, оптимизации или синтеза технологических процессов. Вычислительные (имитационные) эксперименты с моделями объектов не редко позволяют изучать объекты в полноте, недоступной чисто теоретическим подходам. При этом выбор вычислительных алгоритмов – важный этап работы с моделью, а разработка программ завершает создание рабочего инструмента исследователя.

Основой успешной методики компьютерного моделирования должна быть тщательная проработка моделей. Аналогии и ассоциации с хорошо изученными структурами играют важную роль в определении отправной точки процесса совершенствования и уточнения деталей. Целесообразно обеспечить взаимодействие между процессом модификации модели и процессом анализа данных, генерируемых реальным объектом. Искусство моделирования состоит в способности анализировать проблему, выделять из нее путем абстрагирования ее существенные черты, выбирать и должным образом модифицировать предположения, характеризующие систему, а затем совершенствовать модель до тех пор, пока она не станет давать полезные для практики результаты.

В процессе компьютерного моделирования исследователь имеет дело с тремя объектами: системой (реальной или проектируемой), математической моделью и программой ЭВМ, реализующей алгоритмы преобразования данных с целью получения «выходов» модели. Исходя из того, что компьютерное моделирование применяется для исследования, оптимизации и проектирования реальных технологических объектов, можно выделить следующие этапы этого процесса:

- определение объекта – установление границ и ограничений эффективности функционирования объекта;

- построение модели – переход от реального объекта к его абстрактному описанию на математическом языке (или специализированном языке среды моделирования);

- стратегическое планирование – планирование вычислительного эксперимента;

- разработка моделирующего алгоритма (при использовании «готовой» инструментальной среды моделирования данный этап может заключаться в выборе или настройке встроенных алгоритмов);

- подготовка данных;

- оценка адекватности модели (тестовые эксперименты и сопоставление их результатов с известными реальными данными);

- тактическое планирование – определение способа проведения каждой серии испытаний, предусмотренных планом эксперимента;

- экспериментирование – процесс осуществления имитации с целью получения «новых» данных и анализа чувствительности;

- интерпретация – построение выводов на основе данных, полученным путем имитации;

- практическое использование результатов моделирования.

Перечисленные этапы создания и использования модели определены в предположении, что задача может быть решена наилучшим образом с помощью компьютерного моделирования. В ряде случаев, когда задача сводится к модели, позволяющей получить аналитическое решение, нет нужды в компьютерном моделировании и имитации.

В рамках «классической» схемы вычислительного эксперимента [22], которую упрощенно (опустив обратные связи) можно представить цепочкой: «объект исследований» → «математическая модель» → «численный метод» → «программирование для ЭВМ» → «проведение вычислений» → «анализ результатов», основные требования предъявляются к адекватности математической модели и наилучшему выбору численного метода. Непосредственным результатом вычислительного эксперимента в этом случае являются, как правило, численные значения характеристик исследуемой системы, полученные при варьировании входных данных модели. Несмотря на то, что современные информационные технологии существенно расширили когнитивные возможности компьютерного моделирования, данная схема продолжает эффективно использоваться при моделировании технологических процессов. Схема процесса компьютерного моделирования [3], основного на триаде: модель – алгоритм – программа, представлена на рисунке.

На первом этапе построения математической модели (ММ) выбирается эквивалент технологического процесса, отражающий в математической форме важнейшие его свойства – законы, которым он подчиняется, связи, присущие составляющим его элементам и т.д. Математическая модель исследуется теоретическими методами, что позволяет получить предварительные знания об объекте.

Второй этап связан с разработкой метода расчета сформулированной математической задачи. Фактически он представляет собой совокупности формул, по которым ведутся вычисления, и логических условий, позволяющих установить нужную последовательность применения этих формул. Вычислительные алгоритмы не должны искажать основные свойства модели и, следовательно, исходного технологического объекта, быть экономичными и адаптируемыми к особенностям решаемых задач и используемых компьютеров.

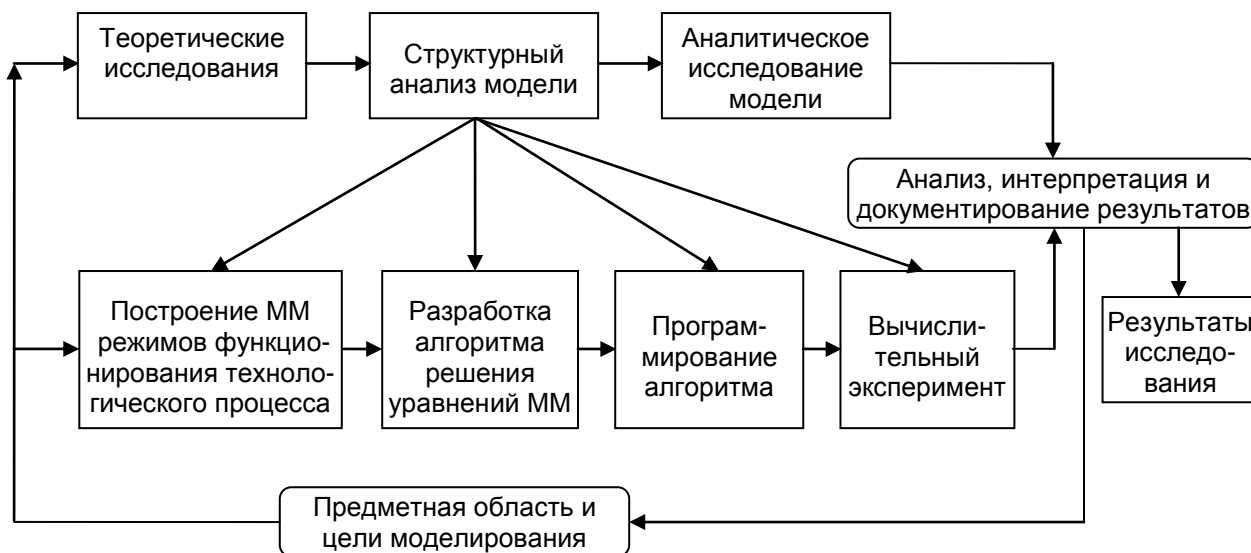


Схема организации процесса компьютерного моделирования

Как правило, для одной и той же математической задачи можно предложить множество вычислительных алгоритмов. Однако требуется построение эффективных вычислительных методов, которые позволяют получить решение поставленной задачи с заданной точностью за минимальное количество действий (арифметических, логических), то есть с минимальными затратами машинного времени.

Вычислительный эксперимент имеет «многовариантный» характер. Действительно, решение любой прикладной задачи зависит от многочисленных входных переменных и параметров. Получить решение математической задачи в виде формулы, содержащей явную зависимость от переменных и параметров, для реальных задач, как правило, не удастся. При проведении вычислительного эксперимента каждый конкретный расчет проводится при фиксированных значениях переменных и параметров. Определяя в пространстве переменных и параметров точку, соответствующую оптимальному режиму, приходится проводить большое число расчетов однотипных вариантов задачи, отличающихся значениями некоторых переменных или параметров. Поэтому очень важно опираться на эффективные численные методы.

Третий этап – создание программы для реализации разработанного моделирующего алгоритма. В процессе исследования реальных систем часто приходится уточнять модели, что влечет за собой перепрограммирование моделирующего алгоритма. Ясно, что процесс моделирования в этом случае не будет эффективным, если не обеспечить его гибкости. Для этой цели можно использовать формальные схемы, описывающие классы математических моделей из определенной предметной области, поскольку программировать тогда нужно функционирование данной схемы, а не описываемые ею частные модели.

Важное место в вычислительном эксперименте занимает обработка результатов расчетов, их всесторонний анализ и формирование выводов. Эти выводы бывают в основном двух типов: или становится ясна необходимость уточнения модели, или результаты, пройдя проверку, передаются заказчику. При оптимизации или проектировании технологического объекта из-за сложности и высокой размерности математической модели проведение расчетов может оказаться дорогим. И тогда идут на упрощение модели.

Говоря о технологии моделирования, следует отметить два важных аспекта:

1) методологическую составляющую технологии как науки, занимающейся выявлением закономерностей, применение которых на практике позволяет находить наиболее эффективные и экономичные приемы компьютерного моделирования объектов на ЭВМ;

2) прикладные цели и задачи технологии как искусства, мастерства, умения достигать в ходе компьютерного моделирования сложных объектов практических результатов [3].

Использование микропроцессоров для управления разнообразными техническими, технологическими системами и их оптимизация становится возможным, если основные условия их работы связаны с критериями функционирования многофакторных математических моделей.

За последние десятилетия произошел качественный скачок в разработке моделей, их верификации, в создании и использовании модельно-обоснованных методов исследования, в способах анализа и представления результатов моделирования. Академическое понимание и узко-профессиональное использование методов моделирования уступает место широкому использованию имитационных моделей в самых разных областях [10].

Моделирование различных технологических процессов является одним из основных инструментов, используемым Учреждением Российской академии наук Институтом информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН (далее Институт) в своих научных исследованиях.

С учетом тенденций и трендов в научной сфере вообще, преобразований и изменений в Российской академии наук в частности, на текущий момент Институт в своей работе руководствуется следующими основными направлениями научной деятельности:

- информационные технологии и распределенные системы управления устойчивым инновационным развитием региона;

- математические модели, методы и системы информационного обеспечения жизненного цикла и снижения риска прогрессивных технологий.

Основные направления научной деятельности Института скоординированы в соответствии с направлениями Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2008-2012 годы [11] и Основными научными направлениями исследований профильного Отделения нанотехнологий и информационных технологий Российской академии наук, утвержденным постановлением Президиума РАН от 28 апреля 2009 г. № 122:

- когнитивные системы и технологии, нейроинформатика и биоинформатика, системный анализ, искусственный интеллект, системы распознавания образов, принятие решений при многих критериях (соответствует п.28 Программы);

- проблемы создания глобальных и интегрированных информационно-телекоммуникационных систем и сетей. Развитие технологий и стандартов GRID (соответствует п.31 Программы).

Вместе с классическими технологическими процессами, к которым, например, относится химическое производство, добыча и переработка минеральных ресурсов, в настоящее время Институт активно исследует средствами компьютерного моделирования и социально-экономические процессы.

Для работы с этими разнотипными объектами исследования применяются единые методы и технологии, позволяющие эффективно решать поставленные задачи. Для этих целей в Институте разработаны и используются методы единого формализованного представления процессов, объектов и задач регионального управления и информационно-вычислительных ресурсов, необходимых для решения этих задач. Для реализации этих методов Институтом предложена технология интеграции моделей различных типов в единую модель сложной системы, развиты методы синтеза спецификации распределенной исполнительной среды для поддержки задач регионального управления; отработана технология автоматизированного синтеза системно-динамических моделей [12]

Модели являются составной частью разрабатываемых информационных технологий и основанных на них программных продуктов и систем. Сами по себе разрабатываемые модели являются специфическими продуктами, требующими особого квалифицированного обращения. Программная же система, обеспечивающая использование модели в прикладных целях, должна быть максимально ориентирована на конечного пользователя. Поэтому она инкапсулирует в себе детали реализации, предоставляя удобный и интуитивно понятный пользовательский интерфейс для практического использования «заложенных» в систему моделей.

В рассмотренных ниже примерах использования технологий и средств моделирования в рамках основных направлений научной деятельности Института в понятие «технологический процесс» включаются не только процессы, связанные с промышленными технологиями, но и процессы, реализуемые с помощью технологий иного типа.

В Институте разработана информационная технология среднесрочного прогнозирования нагрузки трафика на узлы информационно-коммуникационной среды. Одним из центральных элементов технологии является концептуальная модель информационного взаимодействия объектов в сети. На основе задаваемых исходных данных имеется возможность рассчитать предельные объемы нагрузки на сетевые узлы, а также построить прогноз такой нагрузки в случае возникновения различных нештатных ситуаций. Особенностью используемой модели является специфическое соединение технологических процессов приема-передачи данных по сети и социально-экономических процессов региона, которые оказывают прямое и косвенное воздействия на процессы такого рода. В силу указанной специфики модель позволяет производить расчеты как на микроуровне, при рассмотрении процессов трафикообразования, так и на макроуровне, при выборе участвующих в коммуникационных процессах социально-экономических групп пользователей [13].

Одно из направлений исследований Института в последние годы связано с решением задач информационной поддержки инновационной деятельности. Разработаны методы и технологии комплексного информационного обеспечения управления инновационным развитием региональной экономики. В основе полученных результатов лежит концептуальная модель виртуальной бизнес среды инноваций, которая позволяет проводить синтез и анализ инновационных структур. Формирование инновационных цепочек представляет собою специфический технологический процесс, результатом которого являются спецификации бизнес-структур, обеспечивающих получение необходимого инновационного продукта. Особенностью такой модели является учет и управление неопределенностями, которые возникают в процессе подбора, согласования и координации действий бизнес-посредников в процессе работы по созданию новой продукции (инновации) [14].

Другой специфической областью применения моделей и методов, характерных для моделирования технологических процессов, является система подготовки специалистов (система образования) региона. Для интерпретации развития системы образования региона с помощью дифференциальных уравнений была использована аналогия данной системы с технологической системой «смеситель – конвейер». В рамках используемой аналогии зачисление абитуриентов в учебные заведения интерпретируется как процесс «смещения» абитуриентов, прошедших по конкурсу, и финансирования, выделяемого учебным заведениям. Используя метод разделения состояний, широко применяемый для технологических объектов, полученная система дифференциальных уравнений была записана в упрощенном виде. Таким образом, для значения переменных состояния системы образования, описывающих необходимую концентрацию абитуриентов по определенным специальностям и размеры необходимого финансирования, была получена система неравенств, решение которой позволило определить необходимый объем финансирования для обеспечения требуемого уровня выпуска специалистов [15].

Одной из задач, для решения которой создавался Институт, было информационное обеспечение классических производств и производственных процессов. С учетом региональной специфики Мурманской области особое внимание по этому направлению уделяется производственным процессам добычи и переработки минеральных ресурсов и развития химического производства.

В тесном сотрудничестве с Горным институтом КНЦ РАН разработан ряд информационных технологий и инструментальных средств для моделирования обогатительных процессов с целью определения эффективных режимов их реализации и совершенствования конструкций разделительных аппаратов. На основе анализа обобщенной структуры параметров процессов разделения минеральных компонентов предложены структура, состав и принципы реализации системы информационной поддержки синтеза оптимальных (с точки зрения заданного критерия) схем и циклов процессов обогащения минерального сырья [16]. Синтез схем процессов обогащения и определение их оптимальных параметров разделительных процессов осуществляется на основе проведения вычислительного эксперимента над их математическими моделями. Модели процессов разделения синтезируются специальным блоком системы на основе экспериментальных данных, априорно известных зависимостей и взаимосвязей (если таковые имеются), а также неформальных представлений специалистов о свойствах объекта моделирования. Разработана агрегированная математическая модель процессов разделения минеральных компонентов, которая описывает общие закономерности движения минеральных частиц в рабочих зонах разделительных аппаратов и

позволяет определить функцию распределения фаз минерального комплекса и сепарационную характеристику аппарата [17]. Создан алгоритм формирования и анализа вариантов реализации процессов разделения минеральных компонентов. Алгоритм обеспечивает синтез аналитических моделей конкретных разделительных аппаратов на основе агрегированной модели процессов сепарации и расчет по данным моделям матрицы сепарационных характеристик аппаратов, реализующих конкретный метод разделения. Последующий анализ матрицы сепарационных характеристик и параметров, при которых получена каждая характеристика, позволяет выбрать аппарат и условия разделения наилучшим образом удовлетворяющие задаваемому набору ограничений [18].

Использование мощных современных программных пакетов, включающих инструменты решения уравнений различного типа, позволяет снизить трудозатраты на разработку средств информационной поддержки задач совершенствования технологий и аппаратов обогащения минеральных полезных ископаемых. В частности, с использованием пакета FEMLAB была реализована компьютерная модель, обеспечивающая визуализацию результатов аналитического моделирования гидродинамики течений неньютоновских жидкостей в сепарационных аппаратах. Результаты компьютерного моделирования позволили выработать рекомендации по совершенствованию конструкции магнитно-гравитационных сепараторов [19].

Технология имитационного моделирования используется Институтом для развития методов диагностики состояний технологических процессов на основе оценок безопасности. Применение современных информационных технологий позволило разработать специализированные информационные системы технологической безопасности. Основными компонентами разработанных технологий являются математические модели, используемые в решении задач определения аварийных состояний, алгоритмы поиска источников нарушений, методы прогноза аварийных состояний с учетом неопределенности функционирования технологического процесса. На их основе разработаны специализированные системы поддержки принятия решений в области управления технологическими процессами. Также для поддержки выбора сценариев реализации инноваций в химико-технологических процессах в Институте разработан метод оценки финансовых рисков, основанный на аппарате нечеткой логики. Метод позволяет проводить оценку рисков на различных этапах технологической инновации, а также формировать сценарии ее реализации, характеризующиеся приемлемыми значениями риска [20].

Отдельное направление работ Института – разработка паспортов безопасности технологических объектов и планов ликвидации аварийных ситуаций. Здесь предметом исследований служат аварийные ситуации, периодически возникающие на опасных технологических производствах и объектах, и про-

цессы, связанные высоким риском для жизни людей и пагубным воздействием на окружающую среду. Концептуальное и имитационное моделирование в рамках данных работ ставить своей целью выявление аварийных ситуаций, изучение хода их развития во времени и построение адекватных данным ситуациям планов противодействия их развитию и ликвидации их последствий с учетом минимизации ущерба [21].

Приведенные в данной статье классификации моделей технологических процессов и примеры практической реализации таких моделей наглядно демонстрируют огромный потенциал, который несет моделирование не только в отношении классических технологических производств, но и связанных с ними процессов социально-экономической природы. При сравнительно небольших доработках известные методики моделирования технологических процессов могут быть применены в отношении новых, ранее не рассматриваемых, областей, таких, например, как эффективное управление продуктовыми и технологическими инновациями.

Литература

1. Моделирующие программы для нефтяной и газовой промышленности. – Режим доступа: <http://www.gibbsim.ru/reviews/>
2. Вопросы моделирования технологических процессов и поддержки инноваций. – Режим доступа: <http://belisa.org.by/ru/izd/other/>
3. Компьютерное моделирование технологических процессов. – Режим доступа: <http://tstu-isman.tstu.ru/pdf/>
4. Информационное обеспечение технологических процессов. – Режим доступа: <http://n-t.ru/sp/lesmi/>
5. Теоретические основы организации и функционирования технологических систем. – Режим доступа: <http://library.distudy.ru/books/>
6. Физико-топологическое моделирование структур элементов БИС. – Режим доступа: <http://www.fos.ru/radio/>
7. Нормативно-технические требования и современная реализация тренажеров для обеспечения надежности оперативного персонала электроэнергетических установок. – Режим доступа: <http://www.testenergo.ru/>
8. Моделирование технологических процессов. – Режим доступа: <http://wwwcdl.bmstu.ru/mt3/>
9. Использование апостериорной информации при математическом моделировании. – Режим доступа: <http://library.mephi.ru/data/scientific-sessions/>
10. Математическое моделирование в век компьютеров. – Режим доступа: <http://1gkb.kazan.ru/>
11. Программа фундаментальных научных исследований государственных академий на 2008-2012 годы. – Режим доступа: <http://www.ras.ru/scientificactivity/>
12. Информационные технологии регионального управления / С.В. Емельянов и др. // Монография. – Москва: Эдиториал УРСС, 2004. – 392 с.
13. Датьев, И.О. Метод и технология системно-динамического моделирования нагрузки на региональные информационно-коммуникационные сети / И.О. Датьев, В.А. Путилов, А.М. Федоров // Труды Института системного анализа РАН // Под ред. Попкова Ю.С., Путилова В.А. – М: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2008. – Т.39. – С.220-231.
14. Шишаев, М.Г. Имитационное моделирование рыночной диффузии инноваций / М.Г. Шишаев, С.Н. Малыгина, А.В. Маслобоев / Инновации. – 2009. – №11(132). – С. 82-86.
15. Кириллов, И.Е. Оценка устойчивости региональной системы образования / И.Е. Кириллов, В.Н. Богатиков, А.Г. Олейник // Информационные технологии в региональном развитии. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2009. – Вып. IX. – С.121-128.
16. Автоматизированная система синтеза оптимальных схем и циклов процессов обогащения / А.Ш. Герценкоп, и др. // Имитационное моделирование в исследованиях проблем регионального развития. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1999. – С.101-107.
17. Олейник, А.Г. Агрегированная математическая модель процессов разделения минеральных компонентов / А.Г. Олейник, А.А. Шалатонова // Информационные технологии в региональном развитии: концептуальные аспекты и модели. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. – С.71-74.
18. Олейник, А.Г. Алгоритм анализа вариантов реализации сепарационного процесса / А.Г. Олейник, А.А. Шалатонова // Информационные технологии в региональном развитии. – Апатиты, 2003. – Вып. III. – С.82-85.
19. Бирюков, В.В. Применение системы Femlab для моделирования гидродинамики течений в обогащательных аппаратах / В.В. Бирюков, А.Г. Олейник // Информационные ресурсы России. – 2007, № 3 (97). – С.30-32.
20. Модель управления безопасностью функционирования технологического процесса / И.Н. Морозов и др. // Информационные технологии в региональном развитии. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2009. – Вып. IX. – С.90-93.
21. Яковлев, С.Ю. Информационная поддержка принятия решений по предупреждению и ликвидации последствий аварий на объектах нефтепереработки / С.Ю. Яковлев, А.А. Рыженко, Н.В. Исакевич // Труды Института системного анализа РАН / Под ред. Попкова Ю.С., Путилова В.А. – М: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2008. – С.417-422.
22. Самарский, А.А. Численные методы / А.А. Самарский, А.В. Гулин. – М.: Наука, 1988. – 440 с.

ЭЛЕМЕНТЫ И³-ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНКИ РИСКА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

С.Ю. Яковлев, А.А. Рыженко, Н.В. Исакевич

Введение

В последние годы на крупных и мелких производителей России обрушивается вал обязательной документации по промышленной безопасности. Речь идёт, прежде всего, о планирующих документах, содержащих, в той или иной степени, оценку риска чрезвычайных ситуаций (ЧС). Это разнообразные планы, декларации, паспорта. Многие документы подлежат государственной экспертизе, проходят длительную процедуру согласования и утверждения. Эта деятельность осуществляется под эгидой МЧС России, Ростехнадзора, Госпожнадзора, Минприроды и других государственных ведомств. Увеличивается сложность, наукоёмкость выходных документов, разбухает нормативно-правовая база их разработки. Список источников, регламентирующих состав и содержание обязательной документации, включает в себя сотни наименований. Это законы, постановления, стандарты. В то же время научно-методическое обеспечение следует признать неудовлетворительным. Приходится использовать методики из смежных областей и/или формировать собственные. Всё это делает актуальной задачу унификации, структурирования, внедрения информационных технологий в практику управления безопасностью.

Концепция И³-технологий (И-куб-технологий) в экономике выдвинута проф. Соложенцевым Е.Д. (например, [1]). И³-технология с логико-вероятностными моделями риска и базами знаний, согласно [1], является:

- информационной, т.к. используются базы данных и производится автоматическая обработка данных;
- интеллектуальной, т.к. используются базы знаний в виде системы логических уравнений, что позволяет получать новые знания для управления по критериям риска и эффективности;
- инновационной, т.к. используются новые логико-вероятностные методы и модели.

Таким образом, И³-технологии анализа риска ориентированы, опираются именно на логико-вероятностное исчисление. Основоположником логико-вероятностных методов моделирования надёжности и безопасности является проф. Рябинин И.А. (например, [2]). Однако существуют и другие методологические подходы к оценке риска (например, [3]). Поэтому было бы правомерно, на наш взгляд, не ограничивать концепцию И³-технологий логико-вероятностной парадигмой. Тогда можно предложить следующее, более широкое определение.

И³-технология анализа риска является:

- информационной, т.к. использует разнообразные информационные ресурсы и технологии;
- интеллектуальной, т.к. использует разнообразные интеллектуальные ресурсы и технологии обработки знаний;
- инновационной, т.к. подразумевает разработку и внедрение в практику управления безопасностью новых методов и моделей оценки риска.

В рамки такого толкования вписывается и тематика настоящей статьи. Выражения "анализ, оценка риска" и "анализ, оценка безопасности" в настоящей работе предполагаются синонимичными. Это же замечание относится к словам "чрезвычайная ситуация" и "авария".

1. Общие компоненты анализа безопасности

Совокупность обязательных документов, порождённая различными ведомствами, не структурирована, не образует системы. Эти документы во многом, часто почти дословно, повторяют друг друга. Отметим, что дублирование содержания встречается и внутри отдельных документов. В целом можно выделить ряд универсальных, общих блоков (рис. 1), что создаёт предпосылки для внедрения автоматизированной системы подготовки и сопровождения нормативной документации.



Рис. 1. Структура типового документа по анализу безопасности промышленного объекта

Блок общего описания является первой (вводной) частью документа. Излагается обоснование, формулируются цели и задачи разработки. Приводится нормативно-методическая база в виде перечня федеральных законов, государственных стандартов, строительных норм и правил, норм пожарной безопасности и т.п. Сообщается краткая информация об объекте. Дается характеристика опасных веществ (при наличии). Приводятся основные направления деятельности, а также краткие сведения о территории и персонале. Описание технологических процессов сопровождается схемами (с нанесением направлений циркуляции веществ) и таблицами (характеристики технологических узлов, агрегатов, устройств). Далее рассматриваются географические и гидрометеорологические характеристики территории. Описывается рельеф местности с нанесением меток высот относительно объекта. Отображаются особенности территории, важные для оценки риска ЧС (жилая зона, зеленая зона, водоёмы и т.д.).

Аналитический (расчётный) блок является наиболее сложной, наукоёмкой частью документа. Описываются внутренние и внешние факторы, способные привести к возникновению аварий. Для основных технологических узлов и единиц (резервуар, трубопровод, цистерна и т.п.) определяется перечень возможных аварий. Строятся деревья развития аварий с определением вероятности/частоты каждого сценария. Для каждой "ветви" производится расчет последствий аварии, определяются зоны поражения с последующим нанесением на топографические карты. По результатам исследований рассчитываются экономический и социальный ущерб, выявляются наиболее опасный и наиболее вероятный сценарии.

Третий блок нередко выполняется в виде приложений к основному документу. Обязательным является расчет необходимых сил и средств для локализации и ликвидации возможных аварий. Выполняется сравнение с имеющейся технологической и материальной базой предприятия и привлекаемых внешних организаций. Приводятся алгоритмы взаимодействия и/или календарные планы оперативных мероприятий при ЧС. Описываются способы ликвидации последствий аварий, организации временных хранилищ, методы рекультивации земель. В состав графических приложений входят нанесенные на картографическую основу зоны поражения при авариях, зоны ответственности организаций, направления эвакуации.

2. Поддержка этапов анализа безопасности

2.1. Работа с картографической информацией

В ходе анализа необходимо: представить схему (ситуационный план) расположения объекта и прилегающей территории, описать основные технологические процессы, определить и отобразить

зоны возможных ЧС, показать действия сил и средств борьбы с ЧС. Все эти элементы желательно воспроизвести на картографической основе. Однако работа с картами в строгом смысле этого слова требует наличия лицензии, соблюдения стандартов (например, ГОСТ Р 22.010-96), сопряжена с секретностью. Качество графических исходных данных, как правило, не позволяет представить информацию в картографической форме. В нормативно-методических материалах по оценке риска отсутствуют требования к качеству исполнения графических материалов. Поэтому, на наш взгляд, можно обойтись упрощёнными схемами, планами. Перспективным представляется использование 3Д-технологий, однако это направление ещё менее информационно подготовлено и обеспечено. Для поддержки работы с графическими объектами, картами в Институте развиваются геоинформационные технологии, в частности, средства 3Д-графики.

На рис. 2 приведён условный пример построения графических элементов в ходе анализа безопасности промышленного объекта.

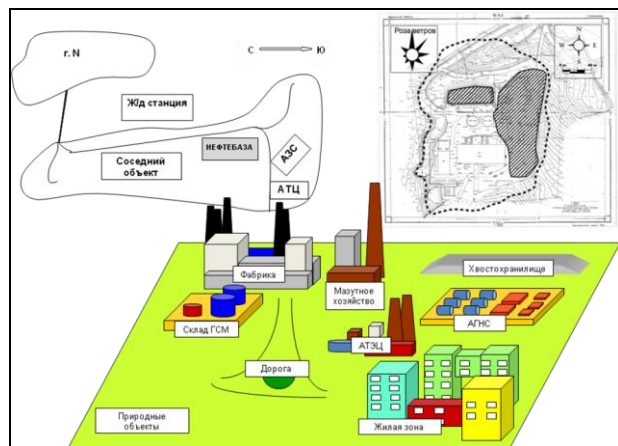


Рис.2. Графические элементы анализа безопасности (пример)

2.2. Формирование сценариев возможных аварий

Важным и сложным моментом является определение перечня сценариев возможных ЧС. Должны быть рассмотрены не только проливы, истечения опасных веществ, но и такие возможные последствия, как взрывы и пожары, что существенно расширяет дерево сценариев. При описании сложных промышленных объектов число возможных сценариев может достигать нескольких сотен. В Институте реализован комплекс инструментальных программных средств экспресс-анализа риска возможных техногенно-природных аварий для типовых действующих и проектируемых опасных объектов. На основе обработки разнородных данных об авариях и инцидентах на аналогичных объектах генерируется описание возможных аварий, выполняется предварительная оценка их вероятности и ущерба для данного объекта.

Предложена унифицированная структура описания техногенно-природных аварий. С использованием элементов экспертных систем развиваются средства автоматизированного синтеза сценариев аварий на типовых объектах. На рис. 3 приведена схема генерации сценариев (на примере объектов нефтепереработки).



Рис.3. Синтез сценариев развития возможных аварий

2.3. Обоснование плана действий сил и средств

План локализации и ликвидации ЧС (далее – План) представляет собой сложную систему взаимодействия во времени и пространстве разнородных сил и средств различных организаций и ведомств. Разработан пакет методик и программ, позволяющий автоматизировать построение алгоритма и календарного плана проведения операции по борьбе с ЧС. На рис. 4 условно показаны основные этапы Плана.

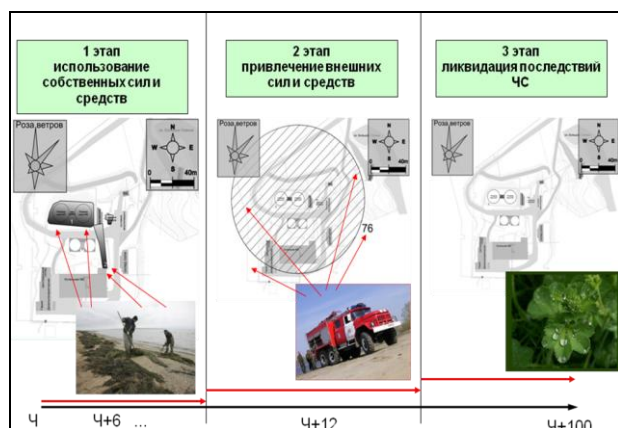


Рис.4. Формирование плана ликвидации ЧС

Сложным моментом при составлении Плана является расчёт достаточности сил и средств для различных сценариев. Для типовых источников и сценариев аварий автоматизирован расчет необходимого количества техники, материалов и персонала, а также времени локализации и ликвидации аварии.

На рис. 5 условно представлены варианты формирования состава сил для различных сценариев.



Рис.5. Расчёт достаточности сил и средств

Заключение

По каждому из этапов анализа риска Институтом выполнены наработки в виде методик, информационных технологий и программных комплексов (например, [4]). С использованием этих средств для разнородных опасных объектов разработаны декларации и паспорта безопасности, планы по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов и т. д. – всего 45 документов за период 2005-2010гг. Таким образом, в соответствии со сформулированным во Введении расширенным определением, создание и внедрение средств оценки риска ЧС на опасных производственных объектах обладают всеми признаками И³-технологий.

Литература

1. Соложенцев, Е.Д. О создании научных центров "И³-технологии в экономике" / Е.Д. Соложенцев // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: Тр. Межд. науч. школы МА БР-2010. г. Санкт-Петербург, 6-10 июля, 2010 г. - СПб: ГУАП. СПб., 2010. – С.27-34.
2. Рябинин, И.А. Надёжность и безопасность структурно-сложных систем / И.А. Рябинин - СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2007. - 276 с.
3. Яковлев, С.Ю. Методологические проблемы анализа риска в сложных системах / С.Ю. Яковлев, А.Я. Фридман // Информационные технологии в региональном развитии. – Апатиты, 2008. – Вып. VIII. – С. 69-72.
4. Яковлев, С.Ю. Инновационные исследования ИИММ КНЦ РАН в сфере промышленно-экологической безопасности / С.Ю. Яковлев, А.А. Рыженко, Н.В. Исакевич // Вестник КНЦ (в печати).

СНИЖЕНИЕ ТРУДОЗАТРАТ НА БИЗНЕС-ПЛАНИРОВАНИЕ ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

С.Г. Назаров

Введение

Бизнес-план – это детализированный план ведения бизнеса на определенный период. Он должен включать количественные результаты расчетов ожидаемой эффективности ведения бизнеса – финансово-экономические показатели эффективности бизнес-плана. На практике при разработке бизнес-плана может быть составлено несколько его вариантов, в качестве утверждаемого к реализации варианта в этом случае выбирается тот, у которого лучше значение финансово-экономического показателя эффективности, выбранного приоритетным.

Оптимальный вариант бизнес-плана – это такой вариант бизнес-плана, реализация которого обеспечит максимальную эффективность ведения конкретного бизнеса по заданному финансово-экономическому показателю эффективности в заданных условиях.

Задача-максимум бизнес-планирования – это разработка бизнес-плана, максимально приближенного к оптимальному варианту (в идеале – совпадающего с ним).

Задача-минимум бизнес-планирования – это разработка бизнес-плана, у которого значение выбранного приоритетным финансово-экономического показателя эффективности не должно быть хуже изначально определенного уровня.

Структура бизнес-плана горнодобывающего предприятия

Основная деятельность предприятия горнодобывающего комплекса включает добычу (а также, возможно, обогащение) одного или нескольких полезных ископаемых и сбыт продукции. Соответственно, двумя из основных разделов бизнес-плана такого предприятия должны быть производственный план (добыча и обогащение) и маркетинговый план (сбыт), при этом маркетинговый план показывает предполагаемую доходность бизнеса. Предполагаемые затраты ведения бизнеса определяет третий основной раздел бизнес-плана – план закупок (обеспечение производства необходимыми ресурсами), а предполагаемые источники привлечения денежных средств показывает четвертый раздел бизнес-плана – план финансирования производства.

Таким образом, бизнес-план горнодобывающего предприятия должен включать следующие четыре раздела: маркетинговый план, производственный план, план закупок и план финансирования производства. При этом первичным является план, на основе которого формируется производственный план, затем составляется план закупок. План финансирования производства формируется четвертым.

Также, помимо упомянутых четырех разделов, бизнес-план должен содержать пятый раздел – расчет предполагаемой финансово-экономической эффективности от его реализации, то есть расчет ключевых финансово-экономических показателей, один из которых выбирается приоритетным. Приоритетный показатель используется также для сравнения вариантов бизнес-плана. Количество же формируемых вариантов зависит от применяемого метода бизнес-планирования.

При этом описанная структура бизнес-плана предприятия горнодобывающей промышленности и последовательность формирования ее этапов постоянны и не зависят от используемого метода бизнес-планирования.

Существующие методы бизнес-планирования на горнодобывающих предприятиях

Бизнес-планирование на горнодобывающих предприятиях сопряжено с рядом проблем, в том числе:

- как правило, наличие огромного количества существенно различающихся по прогнозируемой эффективности потенциально возможных к реализации вариантов бизнес-плана для конкретного предприятия в конкретной ситуации;
- сложность и трудоемкость формирования каждого из потенциально возможных к реализации вариантов бизнес-плана.

Существование этих проблем породило использование специфических методик бизнес-планирования на горнодобывающих предприятиях, которые различаются количеством рассматриваемых вариантов бизнес-плана и решаемыми задачами бизнес-планирования.

В настоящее время на предприятиях горнодобывающей промышленности применяют три основных метода бизнес-планирования [1]:

3. Первый метод направлен на формирование потенциально наиболее эффективного варианта бизнес-плана (задача-максимум). Он заключается в составлении многих вариантов бизнес-плана и последующем выборе одного из них. Чем больше вариантов будет рассмотрено, тем плотнее они охватят диапазон возможных управленческих решений и тем сильнее один из них приблизится к оптимальному бизнес-плану. Однако, в силу широты указанного диапазона, а также длительности и сложности формирования каждого варианта бизнес-плана, использование этого метода требует значительных затрат.

2. Второй метод направлен на формирование только одного варианта бизнес-плана, который должен обеспечить финансово-экономическую эффективность не хуже некоторого изначально определенного уровня (задача-минимум). Учитывая сложность и масштабность производства на горнодобывающих предприятиях, применение этого метода отличается крайне низкой степенью формализации, что обуславливает высокую степень влияния человеческого фактора на результаты бизнес-планирования.

3. Третий метод представляет собой комбинацию двух первых. В этом случае разрабатывается несколько вариантов бизнес-плана, как правило, достаточно существенно различающихся, после чего следует сравнение этих вариантов и выбор одного из них. Иными словами, это – «компромисс» между недостатками первого и второго методов бизнес-планирования.

Первый и второй методы на практике используются редко. Чаще всего используется третий метод, в котором «доли участия» первого и второго методов могут быть различными.

Оценка предполагаемой эффективности бизнес-плана

При использовании любого метода, в конце формирования варианта бизнес-плана осуществляют расчет одного или нескольких ключевых показателей финансово-экономической эффективности. В качестве примеров таких показателей можно рассмотреть четыре [2]:

1. Чистый дисконтированный доход (Net Present Value, NPV) – это разница между всеми суммарными дисконтированными положительными денежными потоками и всеми суммарными дисконтированными отрицательными денежными потоками. Иными словами, чистый дисконтированный доход может быть рассчитан по формуле:

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{+CF_n}{(1+i)^n} - \sum_{n=0}^N \frac{-CF_n}{(1+i)^n}$$

где N – количество периодов, на которые разбит бизнес-план;

+ CF_n – суммарный положительный денежный поток за n-й период;

- CF_n – суммарный отрицательный денежный поток за n-й период;

i – ставка дисконтирования.

Чистый дисконтированный доход и денежные потоки выражаются в денежных единицах, ставка дисконтирования – это безразмерная величина.

В приведенной формуле большое значение имеет использование ставки дисконтирования. Из общих соображений ясно, что, в силу инфляции и трудностей прогнозирования ситуации на длительный период времени, денежные средства будут тем более значимы, чем раньше они будут выручены или затрачены. В финансово-экономических расчетах это учитывается посредством использования ставки дисконтирования i: денежный поток n-го периода расчета дисконтируется, то есть умножается на дисконтирующий фактор, равный $1/(1+i)^n$.

Величину ставки дисконтирования (как правило, она находится в пределах $0,05 \leq i \leq 0,2$ или $5\% \leq i \leq 20\%$) определяют исходя из прогнозируемого уровня инфляции, процентных ставок по банковским кредитам и др.

2. Индекс прибыльности (Profitability Index, PI) – это отношение суммы дисконтированных положительных денежных потоков к сумме дисконтированных отрицательных денежных потоков:

$$PI = \sum_{n=0}^N \frac{+CF_n}{(1+i)^n} / \sum_{n=0}^N \frac{-CF_n}{(1+i)^n}$$

Таким образом, индекс прибыльности показывает кратность окупаемости вложенных денежных средств за период бизнес-планирования.

3. Дисконтированный период окупаемости (Discount Payback Period, DPP) – это период, за который суммарные положительные денежные потоки бизнес-плана в точности компенсируют первоначальные инвестиции. Иными словами, DPP=N, при котором первоначальные инвестиции I₀ будут равны:

$$I_0 = \sum_{n=0}^N \frac{CF_n}{(1+i)^n}$$

Здесь CF_n – суммарный положительный денежный поток за n-й период. DPP выражается в соответствующих временных периодах (как правило, это годы и месяцы).

4. Внутренняя ставка дохода (Internal Rate of Return, IRR) – это величина ставки дисконтирования, при которой будет иметь место равенство суммарных дисконтированных положительных и отрицательных денежных потоков. Иными словами, IRR=i, при которой бизнес-план находится в точке безубыточности:

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{+CF_n}{(1+i)^n} - \sum_{n=0}^N \frac{-CF_n}{(1+i)^n} = 0$$

$$PI = \sum_{n=0}^N \frac{+CF_n}{(1+i)^n} / \sum_{n=0}^N \frac{-CF_n}{(1+i)^n} = 1$$

Если используемая методика бизнес-планирования подразумевает рассмотрение нескольких вариантов бизнес-плана, то их сравнение производят путем сопоставления значений того показателя финансово-экономической эффективности, который выбирается приоритетным исходя из стратегических целей бизнес-планирования:

- если целью является достижения максимальной прибыли, то выбирается вариант с максимальным значением NPV;

- если целью является достижение максимального отношения прибыли к затратам, то выбирается вариант с максимальным значением PI;

- если предприятие находится «в долгах» и целью является как можно более быстрое достижение окупаемости бизнеса, то выбирается вариант с максимальным значением DPP;

- если имеет место крайне нестабильная макроэкономическая ситуация (например, высокие темпы инфляции), то выбирается вариант с максимальным значением IRR.

Методология поэтапного комплексного бизнес-планирования

Задачу нахождения потенциально наиболее эффективного варианта бизнес-плана можно представить как задачу однокритериальной оптимизации по ключевому показателю эффективности бизнеса, то есть поиска глобального экстремума целевой функции $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$, где F – указанный показатель, а x_1, x_2, \dots, x_n – исходные данные, используемые при планировании.

При использовании методологии поэтапного комплексного бизнес-планирования (далее – методологии ПКБП) решение задачи поиска глобального экстремума целевой функции $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ разбивается на последовательное решение задач поиска глобальных экстремумов целевых функций:

$F_1(x_1, x_2, \dots, x_a), F_2(F_1, x_1, x_2, \dots, x_b), F_3(F_1, F_2, x_1, x_2, \dots, x_c)$ и $F_4(F_1, F_2, F_3, x_1, x_2, \dots, x_n)$, где $1 < a < b < c < n$,

F_1, F_2, F_3 и F_4 – целевые функции оптимизации маркетингового плана, производственного плана, плана закупок и плана финансирования производства соответственно. Нахождение глобального экстремума функции F_1 позволит определить оптимальные значения аргументов x_1, x_2, \dots, x_a , и при нахождении глобального экстремума функции F_2 соответствующие величины будут уже известными константами и т. д. Это позволит сократить количество рассматриваемых сочетаний аргументов при поиске глобального экстремума целевой функции $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Таким образом, методология ПКБП является разновидностью метода последовательного улучшения плана [3], так как при ее реализации позволяет пошагово «отбрасывать» значительные группы вариантов бизнес-плана, разделы которых не соответствуют поэтапно определяемым потенциально наиболее эффективным вариантам предшествующих разделов. Это выгодно отличает указанную методологию от применяемых в настоящее время методик бизнес-планирования на горнодобывающих предприятиях.

Методология ПКБП на горнодобывающих предприятиях

Методология ПКБП для горнодобывающих предприятий предусматривает следующие этапы [4]:

1. Определение наиболее целесообразного объема производства продукции на основании геологической и маркетинговой информации.

2. Определение наиболее целесообразных основных производственных показателей работы предприятия на основании объема производства.

3. Определение наиболее целесообразной структуры и объема капитальных вложений на основании производственных показателей.

4. Определение наиболее целесообразной структуры и объема операционных затрат на основании структуры и объема капитальных вложений.

5. Определение наиболее целесообразных источников привлечения денежных средств и размеров привлекаемых средств на основании структур и объемов капитальных вложений и операционных затрат.

6. Определение финансово-экономических показателей эффективности сформированного бизнес-плана на основании результатов выполнения предыдущих этапов.

Выполнение первого этапа позволит создать маркетинговый план, второго этапа – производственный план, третьего и четвертого этапов – план закупок, пятого этапа – план финансирования производства. Выполнение шестого этапа позволит оценить эффективность бизнес-плана.

Ключевой особенностью, обуславливающей возможность применения методологии ПКБП на горнодобывающих предприятиях, является возможность определения оптимального варианта бизнес-плана по каждому из этапов без использования в качестве исходных данных результатов выполнения последующих этапов. На горнодобывающих предприятиях указанная возможность реализуется в силу их специфических особенностей. Так, например, ограниченное количество потенциальных клиентов и номенклатуры возможной к производству продукции, а также заранее установленный диапазон экономически и технически приемлемых объемов производства делают возможным формирование приближенного к оптимальному варианту маркетингового плана без разработки остальных разделов бизнес-плана.

Заключение

Резюмируя все сказанное, необходимо отметить, что существующие методики бизнес-планирования на горнодобывающих предприятиях, с точки зрения трудозатрат, имеют значительный недостаток: прямую зависимость между степенью эффективности составляемого бизнес-плана и величиной трудозатрат на его формирование. По сравнению с этими методиками методология ПКБП характеризуется отсутствием этой зависимости, а также предельной формализованностью и, следовательно, перспективностью автоматизации процессов планирования.

Литература

1. Назаров, С.Г. Методология поэтапного комплексного бизнес-планирования для предприятий горнодобывающей промышленности / С.Г. Назаров, А.Я. Фридман, В.А. Цукерман // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Изд-во «Горная книга», 2010. -№1. – С. 304-313.
2. Пешкова, М.Х. Экономическая оценка горных проектов / М.Х. Пешкова. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2003. – 422 с.
3. Канторович, Л.В. Математически оптимальное программирование в экономике / Л.В. Канторович, А.Б. Горстко. -М.: Знание, 1968.
4. Назаров, С.Г. Автоматизация бизнес-планирования на предприятиях горнодобывающей промышленности / С.Г. Назаров // III-я Всероссийская научная конф. Теория и практика системной динамики, Апатиты, 30 марта – 2 апреля 2009 г. Тр. конф. – Апатиты, КНЦ РАН, 2009. – С.153-159.

НЕЙРО-СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФУНКЦИИ РАЗРУШЕНИЯ ИЗМЕЛЬЧАЕМОГО МАТЕРИАЛА

П.В. Кузнецов, В.Н. Богатиков, А.Е. Пророков*

В горно-обогатительной промышленности процессы измельчения играют ключевую роль в получении материалов, соответствующим установленным технологическим требованиям и объемам производства с наименьшими материальными и энергетическими затратами. Для достижения этих требований встает вопрос о необходимости разработки эффективной системы управления технологическим процессом измельчения, которая опиралась бы на качественную математическую модель.

Но само математическое моделирование процесса измельчения является сложнейшей задачей, сложность которой обусловлена случайным, практически недоступным для наблюдения характером движения и разрушения частиц в мельнице, а также чрезвычайным разбросом свойств частиц по прочности, геометрическим размерам, форме [1].

Расчетная схема процесса измельчения для замкнутого цикла и его двухмерная ячеечная модель показаны на рис. 1, 2.

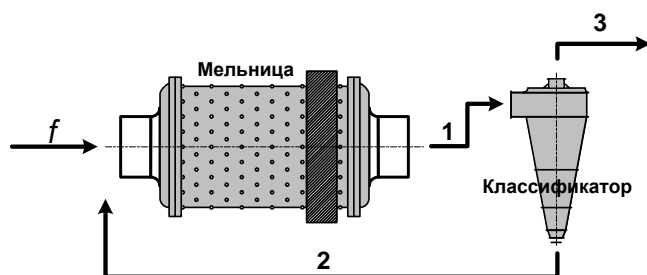


Рис.1. Расчетная схема процесса измельчения для замкнутого цикла (потоки: f – сырья, 1 – через мельницу, 2 – возврата, 3 – готового продукта)

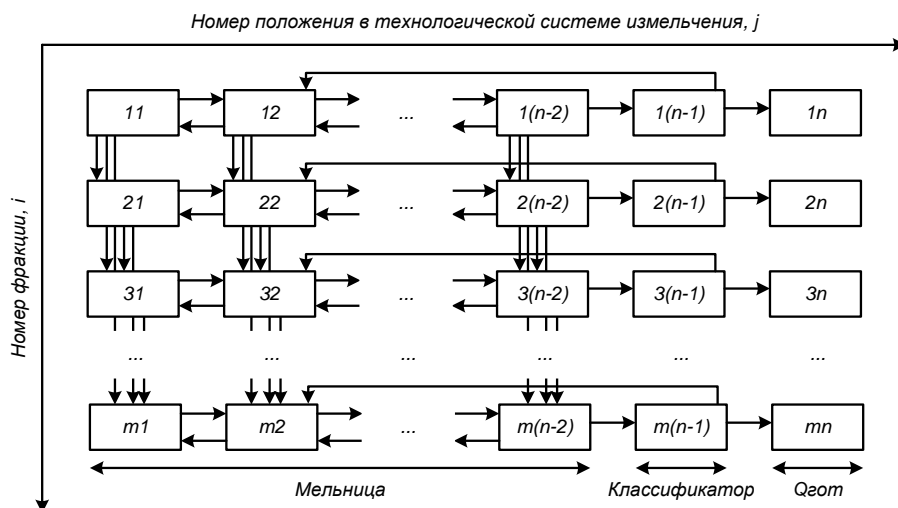


Рис.2. Ячеечная модель технологической системы измельчения замкнутого цикла с подводом возврата в промежуточное сечение

Мельница по длине разбита на $(n-2)$ секции длиной $Dy=L/(n-2)$. Классификатору отведена $(n-1)$ -я секция, n -я секция соответствует коллектору готового материала на выходе продукта из классификатора. Ячейки $(n-2) \times m$ представляют непосредственно камеру измельчения. Фракционный состав материала в каждой j секции может быть

представлен вектором-столбцом $f_j = \{f_{1j} f_{2j} \dots f_{mj}\}^T$ (символ T означает транспонирование) [3].

Для некоторого текущего t_k -го момента времени состояние технологической системы измельчения описывается вектором-столбцом $F^k = \{f_1^k f_2^k \dots f_n^k\}^T$ размером $(m \times n) \times 1$. За малый промежуток времени Δt (k -ый переход) вектор состояния F^k за счет движения и измельчения перейдет в состояние F^{k+1} .

*Новомосковский институт РХТУ им. Д. И. Менделеева, г. Новомосковск.

Для описания многопродуктовой классификации при разделении исходного материала на k готовых продуктов кривая разделения записывается в матричном виде для каждого продукта $C_j, j=1,2,\dots,k$, где k – число продуктов классификации, j – номер продукта. Для совмещенного процесса измельчения-классификации вектор фракционного состава продукта измельчаемого материала, который из j -ой секции подается в i -ю секцию, определяется матричным произведением: $C_i G_j F_j^0$. Произведение матрицы измельчения в j -й секции на матрицу разделения для того продукта, который подается в i -ю секцию, записывается как обобщенная матрица коммутации

$$K_{ij} = C_i G_j. \quad (1)$$

Следует подчеркнуть, что индекс матрицы разделения показывает не номер продукта разделения, а номер секции, в которую этот продукт направляется.

С учетом выражения (1) гранулометрический состав потока материала из j -й в i -ю секцию может быть представлен матричным произведением $K_{ij} F_j^0$.

В i -ю секцию технологической системы измельчения могут направляться также потоки и из всех остальных элементов системы измельчения, что позволяет записать входной вектор фракционных потоков материала в секцию данного элемента через сумму фракционных массопотоков:

$$F_i^0 = F_i^{inp} + \sum_{j=1} K_{ij} F_j^0, \quad (2)$$

где верхний индекс «*inp*» указывает на внешние для системы измельчения потоки, которые подаются в рассматриваемый элемент. Для каждой из n секций уравнение (2) может быть записано в виде системы n уравнений в матричном виде:

$$\begin{pmatrix} K_{11} - I & K_{12} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} - I & \dots & K_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & K_{nn} - I \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_1^0 \\ F_2^0 \\ \dots \\ F_n^0 \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} F_1^f \\ F_2^f \\ \dots \\ F_n^f \end{pmatrix},$$

или

$$KF^0 = -F^f, \quad (3)$$

решение которой дает искомый вектор фракционных составов материала во всех секциях системы измельчения:

$$F^0 = -K^{-1} F^f, \quad (4)$$

где степень -1 показывает обращение матрицы.

Матрица разделения для каждого продукта представляется как диагональная матрица, каждое ненулевое значение которой соответствует вероятности попадания фракции из исходного материала в выбранный продукт разделения. Традиционной характеристикой классификатора является его кривая разделения $C_3(x)$, связывающая вероятность выхода (доли) узкой фракции $(x, x+dx)$ в тонкий продукт разделения, с размером этой фракции x . Для дискретного набора m фракций кривая разделения становится многоступенчатой $C_3(x_j)$ и описывается матрицей классификации, в которой элементы C_{3j} ($j=1,2,3,\dots,m$)

соответствуют долям фракций, выносимым в тонкий продукт.

$$C_3 = \begin{pmatrix} C_{31} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & C_{32} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & C_{32} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & C_{3m} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Далее в работе рассматривается управление работой шаровой мельницы за счет управления подачи материала питателем. Варьирование подачи материала вызывает изменение локальных материальных загрузок барабана, что приводит к изменению скорости измельчения. Загрузка материалом k -ой ячейки определяется при этом выражением $M_k = Q_k \Delta t$, где Q_k соответствует импульсной производительности питателя. Вид управления производительностью питателя выбирается ступенчатым (рис. 3).

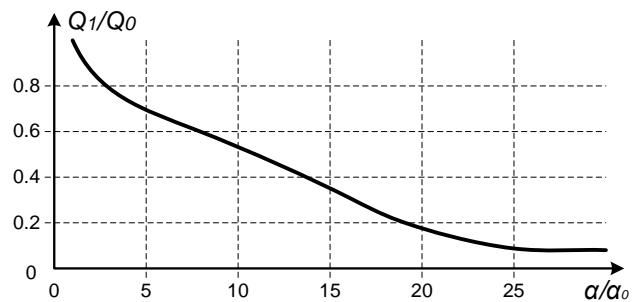


Рис.3. Зависимость изменения относительной производительности разнопрочных компонентов на выходе дробилки от их относительной прочности

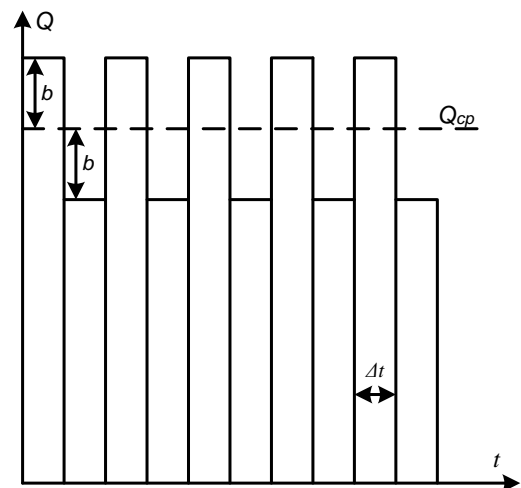


Рис.4. Зависимость производительности питателя от времени: штриховая линия соответствует среднему значению производительности; отклонение от среднего значения характеризуется параметром b

Среднее значение производительности мельницы, которое показано на рис.4 штриховой линией, поддерживается за счет одинаковых отклонений ($\pm b$) от этого значения за одинаковое время (Δt). Оптимизация управления в данном случае сводится к выбору оптимального значения параметра b . Для различных управлений (зависимостей производительности питателя от времени) определяется гранулометрический состав готового продукта на выходе мельницы.

Изменение физико-механических свойств перерабатываемого материала и состояния измельчительной среды приводит к изменению параметров модели. Так коэффициенты b_{ij} в системе уравнений [4] определяющие функцию разрушения материала, зависят только от физико-механических свойств материала, которые в свою очередь определяются минералогическим составом рудного материала; коэффициенты s_i , определяющие функцию отбора материала, зависят как от свойств измельчаемого материала, так и от состояния шаровой загрузки.

$$\begin{aligned} \frac{dm_{iA}}{dt} &= \frac{f_{iA}}{\tau_A} - s_i m_{iA} + \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} s_j m_{jA} - \frac{m_{iA}}{\tau_A} \\ \frac{dm_{iB}}{dt} &= \frac{f_{iB}}{\tau_B} - s_i m_{iB} + \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} s_j m_{jB} - \frac{m_{iB}}{\tau_B} \\ \frac{dm_{iC}}{dt} &= \frac{f_{iC}}{\tau_C} - s_i m_{iC} + \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} s_j m_{jC} - \frac{m_{iC}}{\tau_C} \end{aligned} \quad (6)$$

где m_{iA}, m_{iB}, m_{iC} – масса i -ой фракции (класса) крупности, находящегося соответственно в смесителе A, B, C ;

f_{iA}, f_{iB}, f_{iC} – масса i -ой фракции (класса) крупности на входе в соответственно в смесители A, B, C ;

τ_A, τ_B, τ_C – время пребывания в данном смесителе;

b_{ij} – функция разрушения, определяющая переход материала j -го класса в i -ый класс крупности;

s_i, s_j – функция отбора, определяющая скорость разрушения соответственно i -го и j -го класса крупности.

Задачей, решаемой системой оценки параметров модели процесса измельчения, является прогнозирование функций отбора и разрушения измельчаемого рудного материала.

Для аппроксимации зависимости функции разрушения материала от его минералогического состава предлагается использовать аппарат нейронных сетей, в котором выводы делаются на основе аппарата нечеткой логики, но соответствующие функции принадлежности подстраиваются с использованием алгоритмов обучения нейронных сетей.

Так как физико-механические свойства апатито-нефелиновых руд определяются минералогическим составом основных минералов – апатита и нефелина, на вход нейронной сети будем подавать два входных параметра – содержание нефелина β^{Ne} и суммарное содержание апатита и нефелина β^{Ap+Ne} в руде.

Далее вводятся лингвистические переменные: содержание нефелина в руде, суммарное содержание апатита и нефелина в руде, коэффициент разрушения. В работе [4] определяются их терм-множества, задаются функции принадлежности каждому терм-множеству лингвистической переменной. Решающая таблица нечетко логического вывода приведена в таблице. Структура нейронной сети показана на рис. 5.

Решающая таблица нечеткого логического вывода

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
N_1	B_k	B_k	B_k	B_k	B_k
N_2	B_k	B_k	B_k	B_k	B_k
N_3	B_k	B_k	B_k	B_k	B_k
N_4	B_k	B_k	B_k	B_k	B_k
N_5	B_k	B_k	B_k	B_k	B_k

где $k = 1, 2, \dots, 10$.

В первом слое нейронной сети проводится фазификация входных переменных. Выходы узлов первого слоя представляют собой значения функций принадлежности терм-множеств конкретным значениям соответствующих входных переменных.

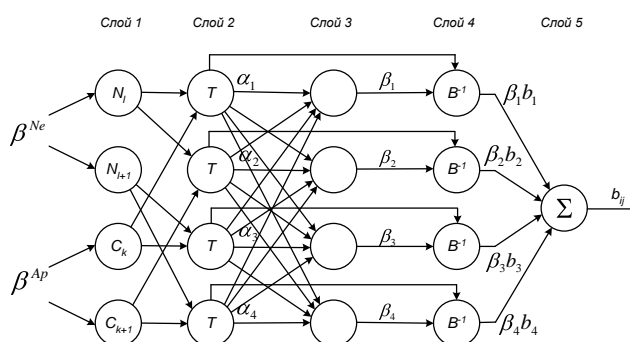


Рис.5. Структура нейронной сети для прогнозирования функции разрушения материала

Выходами нейронов второго слоя являются степени истинности предпосылок каждого правила нечеткого вывода базы знаний системы:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= N_l \left(\beta^{Ne} \right) \wedge C_k \left(\beta^{Ap+Ne} \right) \\ \alpha_2 &= N_l \left(\beta^{Ne} \right) \wedge C_{k+1} \left(\beta^{Ap+Ne} \right) \\ \alpha_3 &= N_{l+1} \left(\beta^{Ne} \right) \wedge C_k \left(\beta^{Ap+Ne} \right) \\ \alpha_4 &= N_{l+1} \left(\beta^{Ne} \right) \wedge C_{k+1} \left(\beta^{Ap+Ne} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

Выходы нейронов третьего слоя вычисляют величины:

Литература

$$\begin{aligned}\beta_1 &= \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}, \\ \beta_2 &= \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}, \\ \beta_3 &= \frac{\alpha_3}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}, \\ \beta_4 &= \frac{\alpha_4}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}.\end{aligned}\quad (8)$$

Нейроны четвертого слоя выполняют операции:

$$\begin{aligned}\beta_1 b_1 &= \beta_1 \cdot B^{-1} \langle \alpha_1 \rangle \\ \beta_2 b_2 &= \beta_2 \cdot B^{-1} \langle \alpha_2 \rangle \\ \beta_3 b_3 &= \beta_3 \cdot B^{-1} \langle \alpha_3 \rangle \\ \beta_4 b_4 &= \beta_4 \cdot B^{-1} \langle \alpha_4 \rangle\end{aligned}\quad (9)$$

где

$$\begin{aligned}b_1 &= B^{-1} \langle \alpha_1 \rangle = d_1 + \frac{1}{c_1} \cdot \ln \left(\frac{1 - \alpha_1}{\alpha_1} \right), \\ b_2 &= B^{-1} \langle \alpha_2 \rangle = d_1 + \frac{1}{c_1} \cdot \ln \left(\frac{1 - \alpha_2}{\alpha_2} \right), \\ b_3 &= B^{-1} \langle \alpha_3 \rangle = d_1 + \frac{1}{c_1} \cdot \ln \left(\frac{1 - \alpha_3}{\alpha_3} \right), \\ b_4 &= B^{-1} \langle \alpha_4 \rangle = d_1 + \frac{1}{c_1} \cdot \ln \left(\frac{1 - \alpha_4}{\alpha_4} \right).\end{aligned}\quad (10)$$

Единственный нейрон пятого слоя вычисляет выход сети, т.е. выполняет операцию приведения к четкости центроидным способом:

$$\begin{aligned}b &= \beta_1 b_1 + \beta_2 b_2 + \beta_3 b_3 + \beta_4 b_4 = \\ &= \frac{\alpha_1 b_1 + \alpha_2 b_2 + \alpha_3 b_3 + \alpha_4 b_4}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}.\end{aligned}\quad (11)$$

В результате полученная нейро-сетевая модель позволяет спрогнозировать функцию разрушения измельчаемого материала и аппроксимировать зависимости данной функции от минералогического состава измельчаемого материала.

1. Бобков, С.П. Моделирование систем: учебное пособие / С.П. Бобков, Д.О. Бытев. - Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2008. - 156 с.
2. Оборудование для переработки сыпучих материалов: учебное пособие / В.Я. Борщев и др. - М.: Изд-во Машиностроение-1, 2006. - 208 с.
3. Кафаров, В.В. Системный анализ процессов химической технологии. Процессы измельчения и смешения сыпучих материалов / В.В. Кафаров, И.Н. Дорохов, С.Ю. Арутюнов - М.: Наука, 1985. - 440 с.
4. Кельберт, М.Я. Вероятность и статистика в примерах и задачах. Т. II: Марковские цепи как отправная точка теории случайных процессов и их приложения. / М.Я. Кельберт, Ю.М. Сухов. - М.: МЦНМО, 2009. - 295 с.
5. Линч, А. Дж. Циклы дробления и измельчения. Моделирование, оптимизация, проектирование и управление: Пер. с англ. / А. Дж. Линч. - М.: Недра, 1981. - 343 с.
6. Применение теории цепей Маркова к моделированию кинетики измельчения в трубных мельницах замкнутого цикла / В.Е. Мизонов и др. // Строительные материалы, 2007. - № 10. - С.41.
7. Применение теории цепей Маркова к математическому моделированию классификации частиц / В.Е. Мизонов и др. // Тр. XVII Международ. конф. «Математические методы в технике и технологиях ММТТ-17». - Кострома, 2004. - С.118-119.
8. Ячеечная модель измельчения материалов в трубной мельнице / С.Ф. Смирнов и др. // Изв. вузов. Химия и хим. технология, 2007. - Т. 50. - Вып. 3. - С. 98.
9. Ячеечная модель кинетики непрерывного измельчения материалов в замкнутом цикле / С.Ф. Смирнов и др. // Сб. тр. XX межд. конф. «Математические методы в технике и технологиях ММТТ-20». - Ярославль. - 2007. - Т.5. - С.81 - 82.
10. Тихонов, В.И. Марковские процессы / В.И. Тихонов, М.А. Миронов - М.: Советское радио, 1977. - 488 с.

АЛГОРИТМ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ НЕЙРО-МОДЕЛИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ

*П.В. Кузнецов, В.Н. Богатиков, А.Е. Пророков**

Для достижения целей оптимального управления процессом измельчения и классификации необходимо перерабатывать максимальное количество руды, обеспечивая необходимое качество ее помола. В данном случае требуется определить оптимальное управление, которое было бы способно перевести систему из текущего состояния в требуемое, при минимизации заданного критерия качества.

Учитывая специфику условий технологического процесса измельчения апатито-нефелиновых руд (нестабильность вещественного состава, крупности и других свойств руды), построение стандартной системы управления в виде локальных контуров автоматического регулирования отдельных параметров не позволяет в достаточной степени обеспечить оптимальное управление.

Исходя из этого, предпочтительно разработать систему управления процессом измельчения и классификации на основе нейронных сетей, особенностью моделей которых является возможность воспроизведения чрезвычайно сложных зависимостей.

Нейронные сети обладает целым рядом свойств, привлекательных с точки зрения их практического использования на процессах измельчения и классификации:

- сверхвысокое быстродействие за счет использования массового параллелизма обработки информации;
- толерантность к ошибкам: работоспособность сохраняется при повреждении значительного числа нейронов;
- способность к обучению, программирование вычислительной системы заменяется обучением;
- способность к распознаванию образов в условиях сильных помех и искажений.

Общая структура системы оптимального управления приведена на рис. 1.

Процесс создания системы управления процессом измельчения можно разделить на два этапа:

1. Построение математической модели и определение степени влияния контролируемых параметров на качество помола и производительность мельницы по руде;
2. Исключение из системы оборудования для измерения таких параметров работы технологического процесса, значения которых можно определять вычислениями и запуском системы в минимально необходимой конфигурации [1].

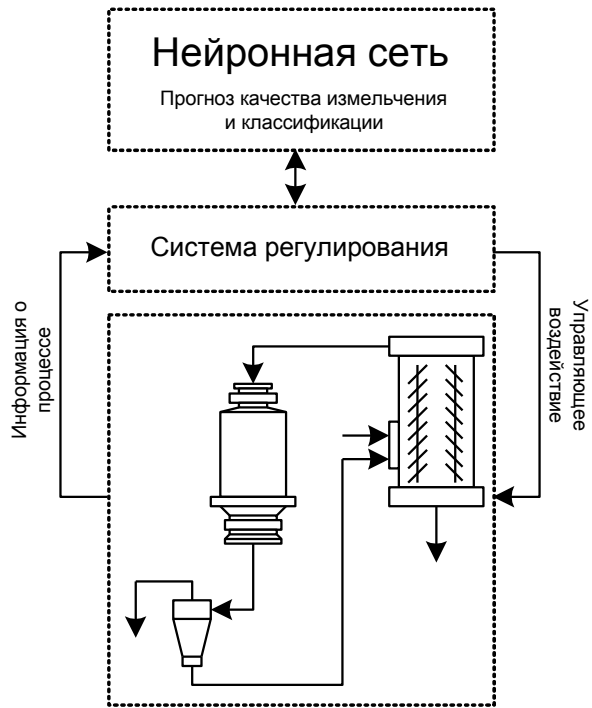


Рис.1. Структура системы управления процессом измельчения и классификации

Процесс сокращения множества параметров и входных сигналов является одним из этапов нейросетевого моделирования, целями которого являются:

1. Упрощение специализированных технических устройств (гранулометров и т.п.);
2. Сокращение объема используемой памяти системы управления и увеличение быстродействия нейросети;
3. Уменьшение количества используемых данных за счет отбрасывания наименее значимых параметров процесса;
4. Облегчение явной вербальной интерпретации процесса и результатов обработки данных [2].

Наиболее важными являются две последние цели. Сокращение объема данных уменьшает затраты на самый трудоемкий процесс – сбор данных; возможность явной вербальной интерпретации – новое свойство нейросетей, в результате которого появляется возможность приведения структуры нейронной сети к понятному и допускающему осмысленный пересказ виду. Первые два из перечисленных этапов представляет собой достаточно серьезную задачу, поэтому рассмотрим их более подробно.

*Новомосковский институт РХТУ им. Д. И. Менделеева, г. Новомосковск.

Первый этап

Система управления гидроциклонными установками должна обеспечивать программное управление пуском и остановкой насосов, а также переход с работающего насоса на резервный и обратно. При этом управление процессом классификации в гидроциклонах осуществляется следующими контурами регулирования:

- скорости вращения насоса, что предотвращает его кавитационный износ и поддержание в зумпфе постоянного уровня;
- подачи воды в зумпф, что обеспечивает оптимальную плотность питания гидроциклона.

Диаграмма программного самописца, отображаемого на мониторе, непосредственно на рабочем месте машиниста мельницы, должна служить для общей оценки технологического процесса измельчения и классификации и отображать, в том числе, и следующие технологические параметры:

- плотность текущей переработки руды;
- сигнал шумомера;
- расход воды в мельницу;
- давление на входе гидроциклонной батареи, находящейся в данный момент в работе;
- слива гидроциклонов;
- плотность слива классификатора.

Кроме этого, на мониторе должна отображаться температура коренных подшипников мельницы и подшипников ее привода, окна сообщений об ошибках и основных событиях в работе гидроциклонной установки и некоторая другая информация.

Некоторые основные характеристики процесса измельчения, используемые в алгоритмах управления, приведены на рисунке 2.

При создании экспертной системы путём расширения программы управления гидроциклонными установками в систему необходимо добавить следующие локальные контуры регулирования:

- стабилизация коэффициента заполнения мельницы, при этом регулируется подача руды;
- предотвращение глубоких перегрузов мельницы по шуму путём своевременного снижения переработки руды: при достижении определенного значения шумомера мельница автоматически переходит в режим выработки, снижая подачу руды;
- стабилизация плотности разгрузки мельницы;
- стабилизация плотности слива спирального классификатора;
- переключение вибропитателей в автоматическом режиме.

Уровень руды в аккумулирующих бункерах измеряется ультразвуковыми датчиками повышенной мощности и большого диапазона измерения, установленных в верхней точке бункера. Сигналы уровня над отдельными вибропитателями передаются на управляющий компьютер мельничного блока и по сети на отдельный компьютер. Выбор и управление его работой осуществляет экспертная система. Уровень заполнения бункеров над каждым вибропитателем и количество руды в бункере отображается на экране компьютера управления блоком, на компью-

тере в центральном диспетчерском пункте, центральной базе данных и архивируется на жёсткий диск.

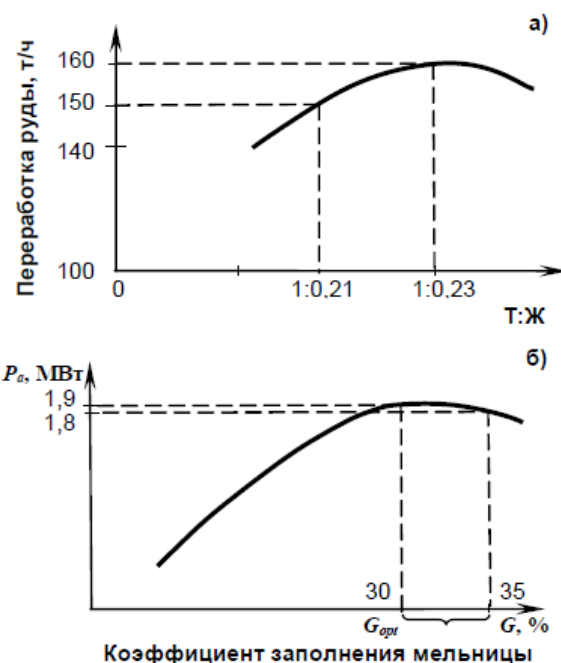


Рис.2. Зависимости пропускной способности мельницы I стадии измельчения от плотности ее разгрузки (а) и потребляемой мощности привода от уровня заполнения барабана (б)

Измерения активной мощности электродвигателей классификаторов представляют собой дополнительную информацию о песковой нагрузке классификаторов. Общая циркулирующая нагрузка программно вычисляется из баланса по твёрдому продукту технологического процесса. Уровни шума мельницы определяются стандартным шумомером. Для измерения крупности руды используется ультразвуковой датчик, установленный над конвейером подачи руды в мельницу. Аналоговый сигнал с датчика используется после программной обработки как дополнительный корректирующий сигнал на адаптивный регулятор подачи руды в мельницу.

Расход пульпы из зумпфа вычисляется из расхода воды и подачи руды в мельницу.

Крупность продуктов измеряется гранулометрами.

Для измерения и контроля температуры, защиты от перегрева подшипников синхронного электродвигателя, подшипников вала-шестерни привода, коренных подшипников мельниц использованы сигналы от существующих датчиков температуры. Эти сигналы отображаются на экране компьютера управления мельничным блоком, на компьютере, центральной базе данных и архивируются на жёсткий диск.

Расход воды в различных точках мельничного блока измеряется индукционными расходомерами.

Наиболее трудоемкой задачей в ходе первого этапа построения системы оптимального управления процессом измельчения является шкалирование

первичных датчиков и верификация их показаний, особенно гранулометров, для получения достоверных данных о тенденции изменения гранулометрического состава продуктов при различных параметрах работы измельчительного и классифицирующего оборудования, т.е. определения экстремальных и оптимальных значений параметров измельчения и классификации, необходимых для создания нейромоделей измельчительного и классифицирующего оборудования мельничного блока.

Второй этап

При создании нейронной сети для процесса измельчения и классификации создается информационная нейро-модель по следующему алгоритму:

1. Запись текущих значений параметров (сигналов измерений и вычислений) в базу данных во время работы блока измельчения в различных режимах рудной нагрузки и при различных свойствах измельчаемой руды на протяжении заданного времени с заданным интервалом.

2. Автоматическая обработка данных взятых из базы данных, которые влияют на работу главных объектов процесса измельчения и классификации:

- мельницы;
- спирального классификатора;
- гидроциклонных установок с целью определения типичных составов параметров для создания и тренировки объектов нейромодели.

3. Автоматическое создание нейромодели 3-х выше указанных объектов и их тренировка с целью минимизации ошибки математического моделирования для реальных диапазонов изменений входных и выходных переменных по принципу распространения сигналов ошибки от выходов нейронной сети к ее входам, в направлении, обратном прямому распространению сигналов в обычном режиме работы.

Данные, подаваемые на вход сети и снимаемые с выхода, должны быть правильно подготовлены. При создании нейронной сети для экспертной системы выбран один из распространённых способов – масштабирование:

$$x = \left(\frac{x - \bar{x}}{m} \right) \cdot c \quad (1)$$

где x - масштабированный вектор;

\bar{x} - исходный вектор;

m - усреднённое значение совокупности входных данных;

c - масштабный коэффициент.

Масштабирование необходимо, чтобы привести данные в допустимый диапазон. Если этого не делать, то возможно несколько проблем:

- нейроны входного слоя или окажутся в постоянном насыщении (m велик, дисперсия входных данных мала) или будут всё время заторможены (m мал, дисперсия мала);

- весовые коэффициенты примут очень большие или очень малые значения при обучении (в зависимости от дисперсии), и, как следствие, растянется процесс обучения и снизится точность.

Обучающая выборка имеет вид:

$$\langle \sigma_1^e, \sigma_2^e, \dots, \sigma_j^e, \dots, \sigma_N^e, \xi_1^e, \xi_2^e, \dots, \xi_i^e, \dots, \xi_M^e \rangle, \quad (2)$$

где

σ и ξ - элемент входного и выходного сигнала, соответственно;

e - номер обучающего примера ($e = 1, 2, \dots, P$);

P - число обучающих примеров в выборке.

Перед началом обучения сеть инициализируется некоторые случайные значения из заданного диапазона. На каждой итерации обучения выполняются модификации значений синаптических весов и смещений, уменьшающие функцию ошибки.

$$w_{tj}^{t+1} = w_{tj}^t + \delta w_{tj}^t = w_{tj}^t - \varepsilon \left(\frac{dD_K}{dw_{tj}} \right), \quad (3)$$

$$i = 1, 2, \dots, M, \quad j = 1, 2, \dots, N,$$

где

t - номер итерации обучения,

ε - шаг обучения.

Согласно методу наименьших квадратов, минимизируемой целевой функцией ошибки нейронной сети в процессе обучения является величина:

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{j,p} (y_{j,p}^{(N)} - d_{j,p})^2 \quad (4)$$

где $y_{j,p}^{(N)}$ - реальное выходное состояние нейрона j выходного слоя N нейронной сети при подаче на ее входы p -го образа;

$d_{j,p}$ - идеальное (желаемое) выходное состояние этого нейрона.

Суммирование ведется по всем нейронам выходного слоя и по всем обрабатываемым сетью образам.

Минимизация ведется методом градиентного спуска, что означает подстройку весовых коэффициентов следующим образом:

$$\Delta w_{ij}^{(n)} = -\eta \cdot \frac{dE}{dw_{ij}}, \quad (5)$$

где w_{ij} - весовой коэффициент синаптической связи, соединяющий i -ый нейрон слоя $n-1$ с j -ым нейроном слоя n ;

η - коэффициент скорости обучения, $0 < \eta < 1$.

Количество входных и выходных нейронов отвечает количеству входных и выходных переменных. Каждый нейрон в сети имеет математические соединения с другими нейронами, входами и выходами. Схема полносвязной нейронной сети для мельницы представлена на рис. 3

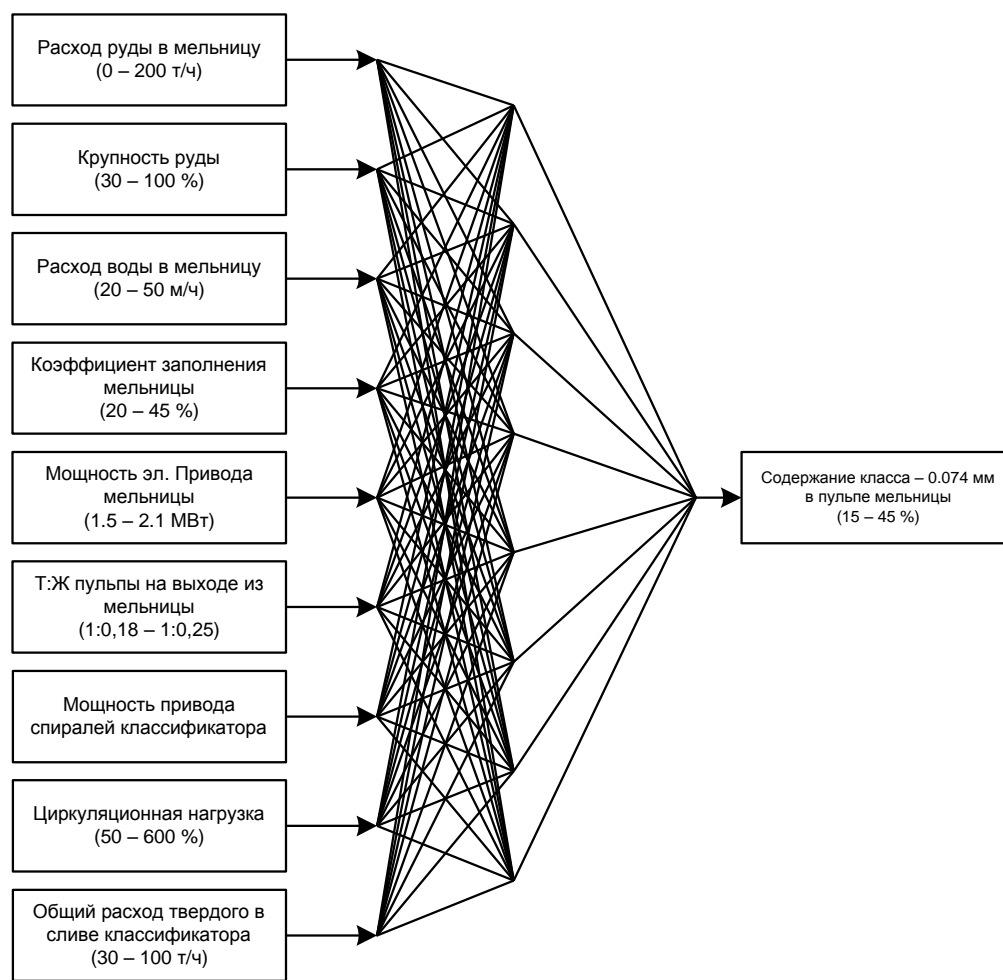


Рис.3. Схема полносвязной нейронной сети для шаровой барабанной мельницы

Внешний входной сигнал подается на входы *всех* нейронов сети, выходы *всех* нейронов образуют выходной сигнал сети. Сеть функционирует в течение нескольких тактов. В начальный момент времени выходы всех нейронов равны нулю. В процессе функционирования на входы нейронов подаются выходные сигналы предыдущего такта и внешние входные сигналы.

При обучении нейронной сети основные переменные хранятся в оперативной памяти компьютера. Число основных переменных фиксировано, оно определяется числом настраиваемых параметров сети (весов и смещений).

1. Анализ степени влияния входных параметров нейромоделей на выходные и создание графических характеристик нейромоделей.

2. Создание каналов коммуникации между нейромоделями и системой управления по протоколу обмена, который позволяет двум приложениям обмениваться данными динамически во время выполнения таким образом, что изменения в одном приложении отражаются во втором.

3. Запуск нейромодели в режиме реального времени, в результате чего выдаётся прогноз гранулометрического состава пульпы в режиме реального времени.

4. Использование 2-х сигналов прогноза количества готового класса на задание регуляторов:

- уровень заполнения барабана мельницы, подача руды и воды в измельчение;
- подача воды в карман спирального классификатора (плотность слива).

Литература

1. Кафаров, В.В. Системный анализ процессов химической технологии. Процессы измельчения и смешения сыпучих материалов / В.В. Кафаров, И.Н. Дорохов, С.Ю. Арутюнов. - Москва: Наука, 1985.- 440 с.
2. Бобков, С.П. Моделирование систем: учебное пособие / С.П. Бобков, Д.О. Бытев. - Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2008. – 156 с.
3. Линч, А. Дж. Циклы дробления и измельчения. Моделирование, оптимизация, проектирование и управление: Пер. с англ. / А. Дж. Линч. – Москва: Недра, 1981. – 343 с.
Постоянный технологический регламент АНОФ-2. –Апатиты: ОАО АПАТИТ, 2007.–159 с.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОЖИДКОСТНЫХ ПОТОКОВ***В.Ф. Скороходов, С.В. Юрзин, В.В. Бирюков****Введение**

Флотационное разделение минералов, имеет дело с пузырьковым или эмульсионным режимами течения газожидкостных потоков. Структура и распределение фаз в многофазном потоке оказывает существенное влияние на особенности процессов взаимодействия между фазами и гидродинамические характеристики потока. Также на состояние многофазного потока оказывают сильное влияние конструктивные особенности аппарата, поэтому при гидродинамическом анализе газожидкостных систем необходимо учитывать эти особенности [4, 5].

Практическое решение задач связанных с расчетом гидродинамических характеристик, как правило, сводится к решению систем дифференциальных уравнений в частных производных при помощи численных методов. В настоящий момент численные методы (метод конечных элементов, метод конечных объемов, метод конечных разностей и др.) получили широкое распространение и воплотились в универсальных программных пакетах CAE. CAE-системы (Computer Aided Engineering - поддержка инженерных расчетов или системы инженерного анализа) представляют собой обширный класс программ или программных пакетов, предназначенных для инженерных расчетов, анализа и симуляции физических процессов. Наиболее мощные CAE-системы для анализа гидродинамики основаны на CFD-методах (Computational Fluid Dynamics – вычислительная гидродинамика).

Несмотря на то, что описание гидродинамики процесса флотации, бесспорно, является важной частью исследований посвященных флотационному разделению минералов, пока не существует единого подхода к созданию подобных моделей. Наиболее удачным представляется многоуровневый подход, суть которого заключается в том, что описание гидродинамики разбивается на несколько уровней в зависимости от характерного размера объектов, представляющих этот уровень.

В соответствии с многоуровневым подходом принято разделять задачу моделирования гидродинамики процесса флотации на три уровня. Первый уровень макроскопический, включает в себя движение многофазных потоков в моделируемом аппарате. В качестве инструментов для исследования на этом уровне могут быть использованы как системы инженерного анализа на основе CFD-кода, так и обычные модели смешивания, подкрепленные экспериментальными данными о характере движения

многофазного потока. Второй уровень предназначен для переноса информации от микроскопического уровня (взаимодействие частица-пузырек) к макроскопическому уровню. Для описания на данном уровне следует использовать методы самосогласованного поля, например РВЕ уравнения (Population Balance Equation – уравнения, характеризующие эволюцию группы объектов). На третьем микроскопическом уровне при помощи статистических методов и моделирования физико-химических явлений рассматривается процесс образования комплекса частица-пузырек и его устойчивость. Полная модель гидродинамики процесса флотации в условиях конкретной флотационной машины должна включать все три уровня [1-3].

Целью данной работы являлось разработать подробную модель макроскопического уровня при помощи методов вычислительной гидродинамики, для того чтобы впоследствии дополнить её моделями микроскопического уровня и получить полную модель гидродинамики флотационного процесса.

Основы методов вычислительной гидродинамики

Методы CFD (методы вычислительной гидродинамики) основаны на теории многоскоростного континуума. Многоскоростной континуум представляет собой совокупность N континуумов, каждый из которых относится к своей составляющей смеси (фазе или компоненте) и заполняет тот же объем что и вся смесь. Для каждого из этих континуумов в каждой точке определяется плотность, скорость и другие параметры. Таким образом, в каждой точке объема, занятого смесью будет определено N плотностей, N скоростей и т.д. [7]

Расчет механики смеси в соответствии с теорией многоскоростного континуума строится на основе уравнений сохранения массы, импульса и энергии.

Уравнение сохранения массы (неразрывности) имеет следующий вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{v} = 0, \quad (1)$$

где $\rho = \sum_{i=1}^N \rho_i$ - плотность смеси,

$\rho \mathbf{v} = \sum_{i=1}^N \rho_i \mathbf{v}_i$ - среднemasсовая (барицентрическая) скорость смеси.

*Учреждение Российской академии наук
Горный институт КНЦ РАН.

Уравнение сохранения импульсов среды:

$$\rho \frac{dv}{dt} = \nabla^k \sigma^k + \rho g - \sum_{i=1}^N \nabla^k \cdot \left(\rho_i \varpi_i^k w \right) \quad (2)$$

где $\sigma = \sum_{i=1}^N \sigma_i$ - тензор поверхностных сил,

$$\rho g = \sum_{i=1}^N \rho_i g_i - \text{вектор массовых сил,}$$

w - диффузионная скорость (скорость движения компонентов смеси относительно центра масс);

ϖ_i - радиальная скорость i -ой фазы на межфазной границе.

Уравнение сохранения энергии для смеси записывается в следующем виде:

$$\rho \frac{dE}{dt} + \sum_{i=1}^N \nabla^k \left(\rho_i \varpi_i^k E_i \right) = \nabla^k \left(c_i^k - q_i^k \right) \rho g^k v^k + \sum_{i=1}^N \rho_i g_i^k \varpi_i^k \quad (3)$$

где $c^k = \sum_{i=1}^N c_i^k$ - вектор, характеризующий работу

внешних поверхностных и массовых сил;

$$q^k = \sum_{i=1}^k q_i^k - \text{вектор, характеризующий приток}$$

тепла.

Для описания турбулентности в данной работе использовалась стандартная $k - \varepsilon$ модель. Модель $k - \varepsilon$ является наиболее распространенной моделью турбулентности и часто используется в инженерных расчетах. Эта модель предполагает введение двух дополнительных уравнений переноса. Переменные, которые определяют масштаб турбулентности, это турбулентная кинетическая энергия k и турбулентное рассеяние ε .

CFD модель колонной флотационной машины

Описанный трехуровневый подход можно применять к моделированию флотационного процесса в любой флотационной машине. В настоящее время большое распространение получил колонный тип флотации. Колонные флотационные машины обладают рядом преимуществ, например, способность производить концентраты с низким содержанием примесей, высокая производительность, низкое потребление электроэнергии, низкие затраты на обслуживание и меньшая занимаемая площадь.

В качестве объекта исследования была выбрана колонная флотационная машина производства СРТ Inc. (Canadian Process Technologies), которая используется в операциях пересортировки пенного продукта основной флотации на АНОФ-2 ОАО «Апатит». Колонная технология флотации должна

обеспечивать лучшее извлечение крупных зерен апатита, однако чем крупнее минеральные частицы, тем большее действие они испытывают со стороны гидродинамических сил отрыва, и флотационные комплексы могут становиться менее устойчивыми. Кроме того, одна и та же конструкция колонной машины используется для флотации различного минерального сырья (металлические руды, уголь, апатит), что приводит к необходимости разработки полной модели процесса флотации, которая учитывает не только гидродинамические характеристики, но и особенности взаимодействия на микроскопическом уровне.

Геометрическая модель колонной флотационной машины показана на рис. 1. Колонна представляет собой цилиндрическую камеру высотой 8 м и диаметром 4,6 м. Она оборудована круглыми внутренними желобами, в которые осуществляется удаление пенного продукта и четырех-ходовым распределителем питания с диспергирующими пластинами. Система подачи воздуха Slam Jet состоит из 16 диспергаторов расположенных радиально на одной высоте с различным удалением от боковых стенок камеры.

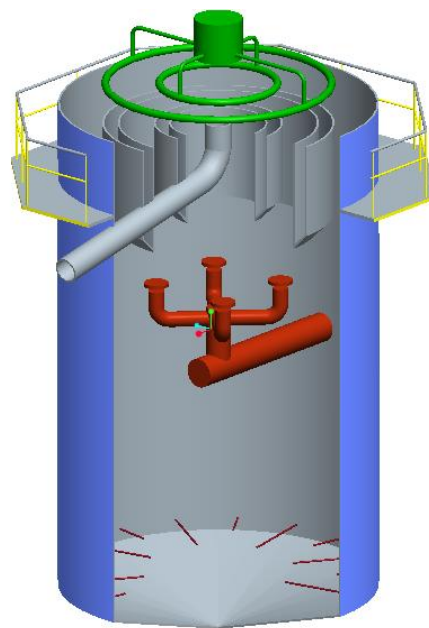


Рис. 1. Геометрическая модель колонной флотационной машины

Для расчета флотационных машин и оптимизации их технологических параметров необходима информация об общей и локальной структуре потоков всех фаз. К локальным характеристикам потока относят распределение воздушных пузырьков по размерам, газосодержание, скорость движения фаз [6,8].

Скорость движения воздушных пузырьков во флотационных колоннах обычно превышает скорость движения потока пульпы, поэтому основные гидродинамические характеристики определяются характером диспергирования и

движения газовой фазы. На рис. 2 представлено поле скоростей газожидкостной смеси, диспергируемой с большим и малым удалением от оси колонны. Полученные результаты позволяют констатировать, что выравнивание скорости всплывания пузырьков осуществляется в зоне распределителя питания (подачи пульпы), а распределение скорости относительно вертикальной оси колонны является симметричным. Отсутствие такой симметрии может приводить к нежелательным эффектам, например макроциркуляции потоков.

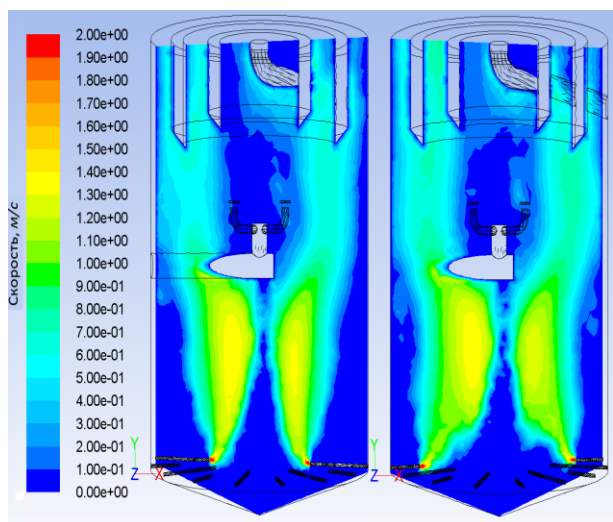


Рис.2. Поле скоростей газожидкостной смеси, диспергаторы с большим заглублением (слева), с малым (справа)

Оптимальной признается такая организация гидродинамики, когда отсутствует макроциркуляция, которая может привести к механическому выносу и обратному перемешиванию, а сумма гидродинамических сил отрыва и капиллярного давления не превышает силу прилипания минеральных частиц к воздушным пузырькам. Рис. 3. иллюстрирует линии тока газожидкостной смеси. При достаточно большом расходе воздуха возможно образование циркуляционных контуров размером от диаметра до высоты колонны. На рис. 3 видно наличие таких контуров в нижней части колонны, однако их масштаб не слишком велик, поэтому условия перемешивания в колонной флотационной машине следует признать близкими к оптимальным.

Выполненными исследованиями показано, что при высоких скоростях газовой фазы в колонне можно выделить три зоны: осевую с гомогенной турбулентностью и восходящим потоком газожидкостной смеси, промежуточную с большими значениями градиентов скорости и пристенную, характеризующуюся малым газосодержанием [8].

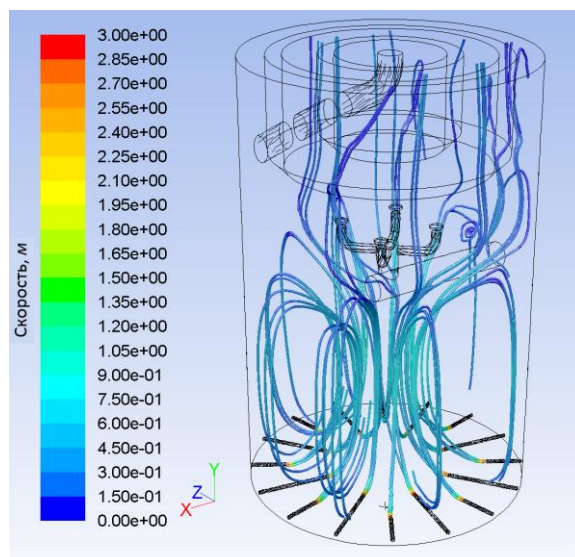


Рис.3. Линии тока газожидкостной смеси

Этот эффект легко проиллюстрировать с помощью распределения интенсивности турбулентности (рис. 4). В осевой зоне наблюдается гомогенная структура с невысокой интенсивностью турбулентности, которая по мере удаления от оси колонны переходит в зону высокой интенсивности, которую можно характеризовать преобладанием процессов дробления и коалесценции воздушных пузырьков. Малое газосодержание в пристенной области наблюдалось при оценке распределения объемной доли газовой фазы.

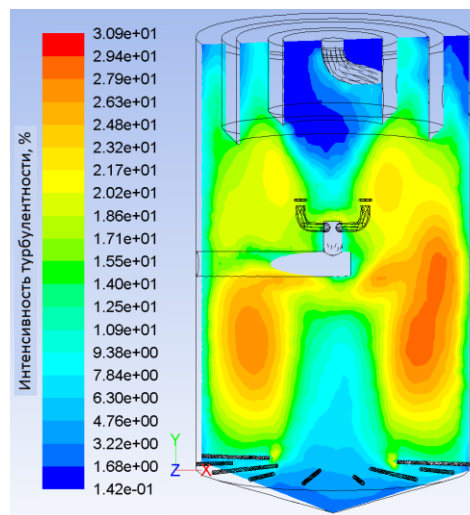


Рис.4. Распределение интенсивности турбулентности

Заключение

В работе в соответствии с трехуровневым подходом к описанию гидродинамики флотационного процесса разработана подробная CFD модель макрокопического уровня, которая позволяет получить необходимую информацию об общей и локальной структуре потоков всех фаз, участвующих во флотационном процессе.

Исследования, проведенные с CFD моделью колонной флотационной машины, показали, что гидродинамические условия в машине близки к оптимальным. Выявлены контуры рециркуляции газожидкостной смеси, что можно связать с достаточно большой скоростью движения газожидкостной смеси. Образование трех зон с различной интенсивностью турбулентности и малым газосодержанием в пристенной области, так же можно объяснить высокой скоростью газовой фазы.

Необходимо отметить, что полная модель гидродинамики флотационного процесса должна включать все три уровня (микроскопический, промежуточный, макроскопический). Реализация такой модели возможна при помощи CAE-систем, имеющих встроенные интерпретаторы языков программирования, что позволяет пользователю создавать собственные функции для решения задач, не предусмотренных стандартным решателем.

Разработанная модель, дополненная функциями, реализующими известные модели микроскопического уровня, позволит получить полную трехуровневую модель гидродинамики флотационного процесса.

Литература

1. Bloom, F. Modeling flotation separation in a semi-batch process / F. Bloom, T. J. Heindel // Chem Eng Sci. – 2003. - Vol.58. - P.353–365.
2. Dukhin, S.S. Dynamics of adsorption at liquid interfaces / S.S. Dukhin, G. Kretzschmar, R. Miller // Studies in Interface Science, Series editors D. Mobius and R. Miller, Elsevier. - 1995.
3. Kostoglou, M. Modeling local flotation frequency in a turbulent flow field / M. Kostoglou, T.D. Karapantsios, K.A. Matis // Advances in Colloid and Interface Science. – 2006. - Vol.122. -P.79-91.
4. Кафаров, В.В. Основы массопередачи / В.В. Кафаров. - М.: «Высшая школа», 1972. – 496 с.
5. Лабунцов, Д.А. Механика двухфазных систем / Д.А. Лабунцов, В.В. Ягов - М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 374 с.
6. Мелик-Гайказян, В.И. Методы исследования флотационного процесса / В.И. Мелик-Гайказян, А.А. Абрамов, Ю.Б. Рубинштейн, В.М. Авдохин, П.М. Соложенкин – М.: «Недра», 1990. – 301 с.
7. Нигматулин, Р.И. Динамика многофазных сред / Р.И. Нигматулин. – М.: «Наука», 1987. – 464 с.
8. Рубинштейн, Ю.Б. Пенная сепарация и колонная флотация / Ю.Б. Рубинштейн, В.И. Мелик-Гайказян, Н.В. Матвеевко, С.Б. Леонов. – М.: «Недра», 1989. – 304 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТАБИЛИЗАЦИИ МАГНИТООЖИЖЕННОГО СЛОЯ ФЕРРОМАГНИТНОЙ СУСПЕНЗИИ В ОДНОРОДНОМ И ГРАДИЕНТНОМ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ МЕТОДАМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ*

В.В. Бирюков, А.С. Опалев

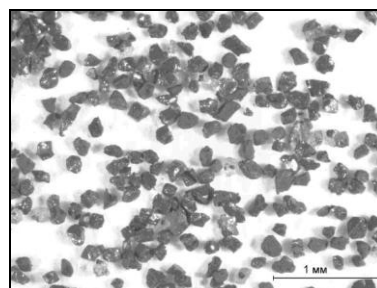
Магнетитовые руды, перерабатываемые на большинстве железорудных предприятий, представлены в основном рудным минералом магнетитом (72,4 % Fe). Кроме магнетита имеются значительные количества гематита, мартита (70,0 % Fe) и сидерита (48,3 % Fe). Пустая порода представлена кварцем, полевыми шпатами, железистыми силикатами, карбонатами.

Конечная крупность измельчения зависит от вкрапленности полезного компонента. Анализ фракционного, минералогического и химического составов продуктов промежуточных стадий измельчения продуктов технологических схем фабрик железорудных предприятий показывает наличие значительного количества полностью раскрытого магнетита. На рис. 1 представлен продукт крупностью $-0.3 + 0.05$ мм ДОФ ОАО "ОЛКОН". В данном продукте содержится до 80% раскрытых зерен магнетита с содержанием $Fe_{\text{общ}}$ более 65%. Остальные 20 % - сростковая фракция с различным содержанием магнитного компонента.

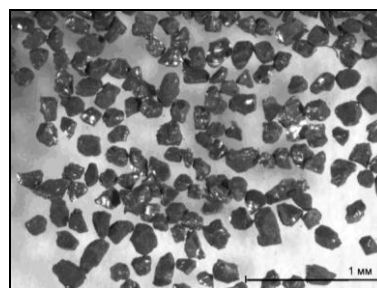
Последующие стадии измельчения направлены на раскрытие представленной сростковой фракции, однако это приводит также и к переизмельчению раскрытых зерен магнетита. Анализ промежуточных продуктов технологических цепей предприятий приводит к логичному выводу о необходимости стадийного выделения не только нерудных минералов, но и полезного компонента.

Существующее технологическое обогатительное оборудование, имеющееся на железорудных предприятиях и представленное в основном барабанными сепараторами с сильными и слабыми полями, не способно стадийно выделять кондиционный концентрат. Выход из создавшейся ситуации заключается в применении оборудования, использующего не только чисто магнитные, но и их комбинацию с другими массовыми силами. Действие подобных комбинированных массовых сил возможно в аппаратах с гравитационным и магнитно-гравитационным принципами разделения, использующих многофазные дисперсные среды в качестве рабочих, и имеющих широкий диапазон регулирования управляющих параметров для селективного выделения частиц с заданными свойствами.

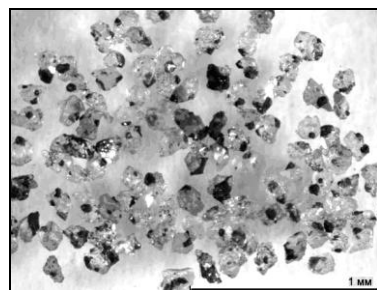
В обогатительных аппаратах, использующих гравитационный и магнитно-гравитационный принципы, разделение происходит при фильтрации восходящего потока жидкости сквозь слой дисперсных частиц.



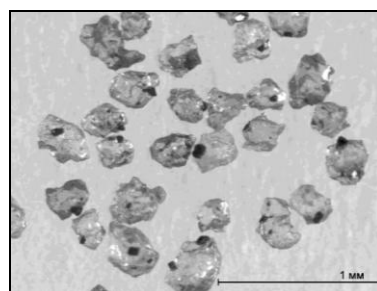
а



б



в



г

Рис. 1. Промежуточный продукт ДОФ ОАО "ОЛКОН" и его фракции:
а – концентрат крупностью $-0.3 + 0.05$ м ДОФ ОАО "ОЛКОН", б – полностью вскрытые зерна магнетита, в, г – сростки магнетита и кварца с различным содержанием

* Учреждение Российской академии наук Горный институт КНЦ РАН.

При этом частицы в слое могут находиться в одном из нескольких состояний: плотного слоя, осаждения, псевдооживленного слоя и гидротранспорта в зависимости от их физических свойств и скорости фильтрующейся жидкости. Поскольку слой состоит из частиц с различными размерами, плотностями, формами, магнитными свойствами и другими физическими свойствами состояние частиц слоя при одной и той же скорости жидкости будет различным.

С увеличением скорости движения газа через слой зернистого материала наблюдается ряд последовательно меняющихся различных гидродинамических режимов (рис. 2). При малых скоростях жидкости - фильтрация через неподвижный слой (участок ОА), характерной чертой которой является отсутствие движения частиц и тесный контакт между ними. Далее, при достижении скорости фильтрации жидкости $w_{кр}$, начинается однородное псевдооживление [1].

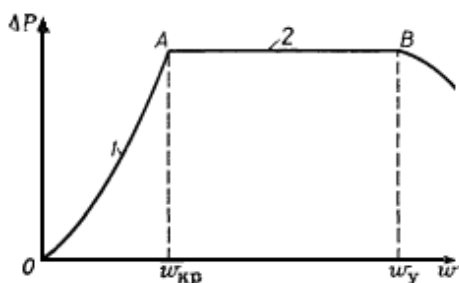


Рис. 2. Идеальная кривая псевдооживления

При скорости жидкости $w > w_{кр}$ следует режим однородного псевдооживления, при котором слой может непрерывно расширяться за счет равномерно увеличения промежутков между частицами (участок АВ).

По формуле

$$Re = \frac{Ar \cdot \varepsilon^{4.73}}{18 + 0.6\sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4.73}}},$$

где Re - число Рейнольдса, Ar - число Архимеда, ε - порозность слоя, определяется скорость фильтрации жидкости, необходимая для достижения любой доли свободного объема слоя. Данная скорость фильтрации соответствует скорости стесненного падения для частиц определенной плотности, размера и формы.

Скорость начала псевдооживления $w_{кр}$ соответствует нулевой скорости стесненного падения при максимально возможной плотности упаковки $\varepsilon = 0,63$ для частиц шарообразной формы.

В состоянии однородного псевдооживления вес слоя (с учетом выталкивающей архимедовой силы) уравнивается перепадом давления в слое ΔP :

$$\Delta P = g \rho - \rho_f \quad 1 - \varepsilon \quad H = g \rho - \rho_f \quad 1 - \varepsilon_{кр} \quad H_{кр},$$

где H - высота слоя в состоянии однородного псевдооживления;

$\varepsilon_{кр}$, $H_{кр}$ - порозность и высота слоя в момент начала псевдооживления;

g - ускорение свободного падения;

ρ - плотность частиц слоя;

ρ_f - плотность жидкости.

Верхний предел существования кипящего слоя ограничен скоростью фильтрации жидкости w , равной скорости "витания" w_y частиц данного размера (d), формы, плотности ρ , шероховатости и других физических параметров, при которой начинается их массовый вынос. Для расчета скорости, соответствующей началу скорости уноса w_y имеется ряд формул [1].

$$Re_y = \frac{Ar}{18 + 0.61\sqrt{Ar}},$$

$$0 \leq Ar \leq 1.22 \cdot 10^5$$

$$Ly_y = \frac{Ar^2}{18 + 0.61\sqrt{Ar}^3},$$

$$\xi = 0.248 + \frac{24}{Re} + 0/248 \sqrt{1 + \frac{194}{Re}}$$

Здесь $Re_y = \frac{w_y d}{\nu}$ - число Рейнольдса;

$$Ly_y = \frac{Re_y^3}{Ar} - \text{критерий Лященко};$$

ξ - коэффициент сопротивления частицы.

Однородное псевдооживление является принципиально неустойчивым, и при некоторых условиях переходит в неоднородное псевдооживление. Отличительной чертой неоднородного псевдооживления является неравномерность распределения концентрации твердых частиц по объему слоя из-за образования каналов, движения определенной части жидкости через слой в виде пузырей и поршней.

Для описания поведения различных частиц при псевдооживлении Гелдарт [2] предложена система классификации, делящая все минеральные частицы на четыре группы: А, В, С, D. Частицы классифицированы по крупности и плотности в зависимости от поведения их в газовой и жидкой средах в условиях действия силы тяжести (рис. 3).

Магнетитовые суспензии обогатительных фабрик, подвергающиеся процессам разделения на технологическом оборудовании, содержат частицы магнетита и кварца различных крупностей и их сростки с плавно изменяющимся соотношением данных минералов. Частицы имеют плотности в пределах от 2500 до 5100 кг/м³ и диаметры менее 0.1 мм и относятся к группам А и С по классификации Гелдарта.

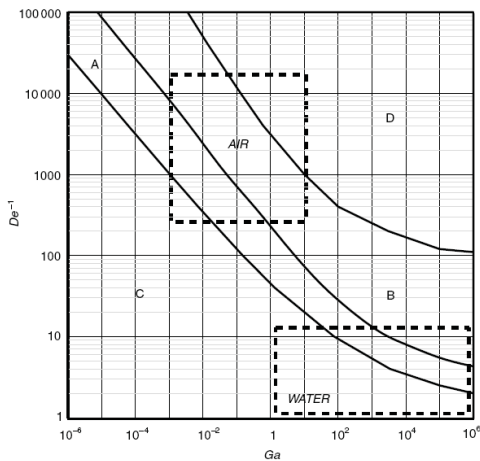


Рис.3. Гелдарт-классификация частиц в системе координат критериев $De - Ga$,

$$\text{где } De = \frac{\rho_f}{\rho_p}, \quad Ga - \text{критерий Галилея } Ga = \frac{gd_p^3 \rho_f^2}{\mu_f^2}.$$

Частицы группы А имеют диапазон крупностей 0.03 - 0.1 мм (при плотности 2500 кг/м³). В цилиндрических аппаратах с оживленным слоем из частиц группы А с ростом рабочей скорости возникают осесимметричные поршни, которые с дальнейшим ростом скорости разрушаются и возникает агрегатный или турбулентный режим псевдооживления [3].

К группе С относятся очень тонкие частицы диаметром менее 0.03 мм (при плотности <2500 кг/м³), для которых величина силы межфазного взаимодействия сопоставимы с гравитационной силой, действующей на них. Эти частицы псевдооживаются только специальными методами, например, механическим перемешиванием или вибрацией. Слой частиц группы С начинает расширяться при скоростях фильтрации жидкости w , близких к скоростям гидротранспорта w_y . При этом в нем образуется система каналов, по которым проходит жидкость.

Разделение подобных частиц с помощью оборудования, имеющего чисто гравитационный принцип разделения в восходящих жидкостных потоках невозможно. При скорости потока жидкости, превышающей минимальную скорость псевдооживления для данного класса частиц, слой этих частиц сразу переходит в фазу гидротранспорта, и его высота становится несоизмеримо больше высоты стандартного оборудования.

Условием возможности применения гидравлических сепараторов для разделения частиц является использование принципа равнопадаемости. При этом частицы с меньшим значением произведения ρd^2 будут всплывать в кипящем слое, а частицы с большим значением этого произведения тонуть и опускаться на дно аппарата.

При достаточно большой скорости потока слой в целом будет псевдооживлен, но может представлять собой фактически два различных кипящих слоя, расположенных один над другим, имеющих различную порозность и плотность. При малых

скоростях начинают псевдооживляться частицы лишь «всплывающей» фракции, а внизу расположится плотный слой «тонущей» фракции. С ростом скорости потока кипящий слой всплывающей фракции может полностью или частично размывать лежащую внизу тонущую фракцию и образовывать единую псевдооживленную систему.

Таким образом, разделение фракций магнетита и кварца частиц групп С и А по распределению Гелдarta невозможно при чисто гидравлическом принципе разделения и возможно только для частиц групп В и D.

Использование закрученного водного потока дает возможность использовать дополнительную массовую силу для процесса разделения. Действие центробежной силы, действующей на частицы во вращающемся оживленном слое, приводит к снижению минимальной скорости псевдооживления и, тем самым позволяет расширить диапазон рабочих скоростей жидкости, что особенно важно для разделения тонких классов частиц групп С и А распределения Гелдarta. Изменение направления действия вектора массовой силы в закрученном слое приводит к его стабилизации, устраняет образование пузырей и каналов, свободных от частиц, выравнивает распределение концентраций частиц по высоте аппарата.

Высокие скорости вращения в нижней части аппарата, в области концентрации частиц позволяют поддерживать слой во взвешенном состоянии и препятствуют образованию плотного слоя.

Изменение скорости вращения по высоте аппарата и, как следствие, изменение центробежной силы позволяет сочетать разделительные возможности обычного псевдооживленного слоя с возможностями закрученного слоя.

Возможность изменения скорости вращения слоя при одном и том же расходе жидкости позволяет применять закрученный псевдооживленный слой для разделения частиц широкого диапазона крупностей.

Использование внешнего магнитного поля открывает возможности управления процессом псевдооживления для смесей частиц с различными магнитными восприимчивостями [4], повышая, порог устойчивости однородного слоя к малым возмущениям концентрации дисперсной фазы при росте скорости оживляющего потока. В магнитном поле возникают дополнительные силы двух типов. Ферромагнитные частицы в магнитном поле становятся магнитными диполями \vec{m} . Это приводит к появлению магнитных межчастичных сил \vec{F} , зависящих от напряженности внешнего поля \vec{H} , магнитной восприимчивости частиц χ_m и расстояния между частицами r (порозности слоя ε) [5,6].

В общем случае, когда магнитные моменты частиц непараллельны (рис. 4), индукция магнитного поля, генерируемая магнитным диполем момента \vec{m} в произвольной точке пространства - \vec{B} .

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \left(\frac{3\vec{m} \cdot \vec{r}}{r^5} \vec{r} - \frac{\vec{m}}{r^3} \right).$$

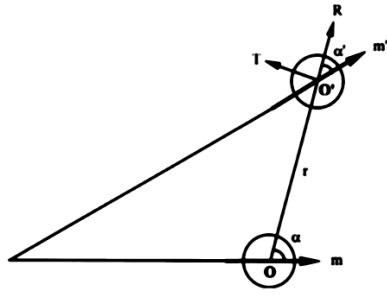


Рис.4. Схема взаимодействия ферромагнитных диполей в магнитном поле

\bar{M} - потенциальная энергия магнитного диполя момента \bar{m}

$$\bar{M} = -\bar{m} \cdot \bar{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \left(\frac{1}{r^3} \bar{m} \bar{m} - \frac{3}{r^5} \bar{m} \cdot \bar{r} \bar{m} \cdot \bar{r} \right)$$

$$= \frac{\mu_0 \bar{m} \bar{m}}{4\pi} \left(\sin \alpha \sin \alpha' - 2 \cos \alpha \cos \alpha' \right)$$

Сила взаимодействия между двумя диполями \bar{F} определяется производной потенциальной энергии по расстоянию между двумя диполями \bar{r} . В однородном магнитном поле эти силы являются единственными.

$$\bar{F} = \frac{\partial \bar{M}}{\partial \bar{r}} = \frac{3\mu_0 \bar{m} \bar{m}}{4\pi r^2} \left(\sin \alpha \sin \alpha' - 2 \cos \alpha \cos \alpha' \right)$$

Магнитные силы второго типа \bar{F}_{mb} это объемные силы, действующие в условиях неоднородности магнитного поля – градиентные магнитные силы.

$$\bar{F}_{mb} = \nabla \mu_0 \left(\bar{m} \cdot \bar{H} \right) = \nabla \left(\bar{m} \cdot \bar{B} \right)$$

\bar{B} - плотность магнитного потока (магнитная индукция).

В программной среде ANSYS-FLUENT реализована аналитическая модель течения ферромагнитной суспензии частиц промежуточного продукта обогащения ОАО ОЛКОН крупностью менее 0.15 мм, относящихся к группам А и С по классификации Гелларта. Целью создания модели являлось исследование влияния магнитных межчастичных и градиентных сил на стабилизацию оживленного слоя ферромагнитных частиц для оптимизации процессов разделения в слое для селективного выделения фракций с заданными физическими свойствами. Для моделирования потока многофазной среды в континуальном представлении использовались уравнения Эйлера [7, 8]:

Уравнение непрерывности

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\rho_q \right) + \nabla \cdot \left(\rho_q \bar{v}_q \right) = \sum_{p=1}^n m_{pq}$$

где \bar{v}_q есть скорость фазы q и m_{pq} характеризует перенос массы от p - фазы к q - фазе.

Уравнение сохранения импульса для фазы q :

$$\frac{\partial}{\partial t} \alpha_s \rho_s \bar{v}_s + \nabla \cdot \left(\alpha_s \rho_s \bar{v}_s \bar{v}_s \right) = -\alpha_s \nabla p + \nabla \cdot \bar{\tau}_s + \alpha_s \rho_s \bar{g} + \bar{F}_s + \bar{F}_{a,s} + \bar{F}_{vm,s} + \sum_{l=1}^N \left(K_{ls} \bar{v}_l - \bar{v}_s + m_{ls} \bar{v}_{ls} \right)$$

где $\bar{\tau}_q$ тензор деформации напряжения фазы q

$$\bar{\tau}_s = \alpha_s \mu_s \left(\nabla \bar{v}_s + \nabla \bar{v}_s^T \right) + \alpha_s \left(\lambda_s - \frac{2}{3} \mu_s \right) \nabla \cdot \bar{v}_s \bar{I}$$

где μ_s и λ_s - тензор сдвига и объемная вязкость фазы;

\bar{F}_s - внешняя массовая сила, $\bar{F}_{a,s}$ - архимедова сила;

$\bar{F}_{vm,s}$ - виртуальная массовая сила;

p - давление s -ой твердой фазы;

$K_{ls} = K_{sl}$ - коэффициент передачи импульса между жидкостью и твердой фазой;

N - общее количество фаз;

p - давление распределенное на все фазы.

Для описания межфазных взаимодействий (жидкая фаза – твердая фаза) применялась модель Гидаспова [9].

$$K_{sl} = \frac{\alpha_s \rho_s f}{\tau_s}$$

где $f = \frac{C_D \text{Re}_s \alpha_l}{24 v_{r,s}^2}$ - функция в форме Dalla Valle

[10], $\tau_s = \frac{\rho_s d_s^2}{18 \mu_l}$ - время релаксации макрочастиц.

Когда $\alpha_l > 0.8$, жидко-твердый обменный коэффициент K_{sl} - следующей формы:

$$K_{sl} = \frac{3}{4} C_d \frac{\alpha_s \alpha_l \rho_l |\bar{v}_s - \bar{v}_l|}{d_s} \alpha_l^{-2.65}$$

где

$$C_D = \frac{24}{\alpha_l \text{Re}_s} \left[1 + 0.15 \left(\alpha_l \text{Re}_s \right)^{0.687} \right]$$

Когда $\alpha_l \leq 0.8$,

$$K_{sl} = 150 \frac{\alpha_s \left(-\alpha_l \mu_l \right)}{\alpha_l d_s^2} + 1.75 \frac{\rho_l \alpha_s |\bar{v}_s - \bar{v}_l|}{d_s}$$

где d_s диаметр материальных точек фазы s .

Турбулентность многофазной среды описывалась в рамках k - ω модели. Магнитные объемные и межчастичные взаимодействия фаз моделировались с применением MHD – модуля (модуля магнитной гидродинамики) комплекса FLUENT.

Созданная модель течения многофазной среды позволяет исследовать магнитно-гравитационный процесс разделения компонентов суспензии в трехмерной геометрии аппарата. На рисунке 5 представлена геометрическая модель конструкции аппарата, включающая цилиндрический корпус с патрубками подачи исходной суспензии, промывной воды, вывода магнитной и немагнитной фракций и устройством закручивания восходящего потока.

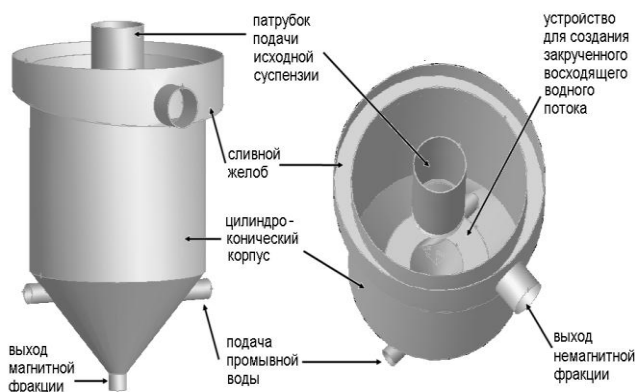
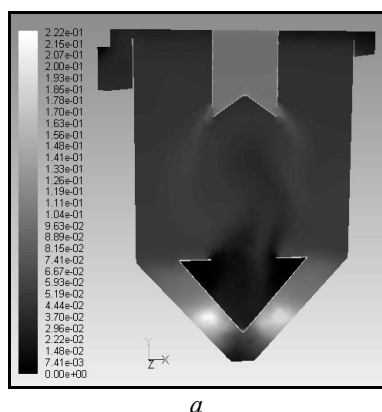
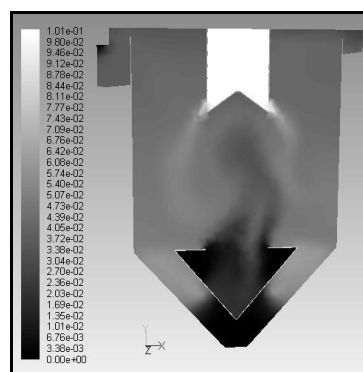


Рис.5. Конструкция магнитно-гравитационного аппарата

В двух сериях вычислительных экспериментов над созданной моделью исследовался процесс разделения частиц в многофазной суспензии в условиях однородного и градиентного вертикальноориентированных магнитных полей. На рис. 6 представлены графические результаты



а



б

Рис.6. Графические результаты моделирования работы магнитно-гравитационного аппарата в условиях вертикально ориентированного однородного магнитного поля:

а, б – объемные фракции магнитной и немагнитной фаз слоя соответственно

Во второй серии вычислительных экспериментов разделение частиц происходило в условиях градиентного магнитного поля.

Параметры магнитного поля с отрицательным градиентом, рассчитанные по алгоритму, приведенному в работе [11] в программе MATHCAD импортировались в модуль MHD среды ANSYS FLUENT. На рисунке 7 приведены напряженности магнитного поля на разных высотах модели магнитно-гравитационного аппарата.

Действие градиентного магнитного поля приводит к возникновению в пространстве разделения дополнительной объемной магнитной силы, стабилизирующей состояние оживленного слоя.

Следствием стабилизации процесса разделения является перераспределение концентраций частиц с различными магнитными моментами в слое, селективное изменение скорости гидротранспорта, вынос частиц с большей разностью гидродинамической силы сопротивления и суммы веса частицы и магнитных сил, снижение выноса магнетитовых частиц за счет преимущественной концентрации их в MFSB (рис. 8).

моделирования работы магнитно-гравитационного аппарата в условиях вертикально ориентированного однородного магнитного поля. Устройство для закручивания водного потока формирует восходящий вихрь, который, сталкиваясь с нисходящим потоком исходной суспензии, поступающей с конуса устройства подачи, рассеивает его. В пристеночных областях аппарата создается зона разделения. Действие гравитационной, центробежной и гидродинамической сил совместно с магнитной силой межчастичного взаимодействия приводит к формированию оживленного слоя, стабилизированного магнитным полем (MFSB). Частицы слоя, обладающие большим магнитным моментом концентрируются в нижней части аппарата, где отсутствует действие гидродинамической силы восходящего водного потока. Частицы с малым магнитным моментом выносятся из MFSB через сливное отверстие в верхней части модели аппарата (рис. 6).

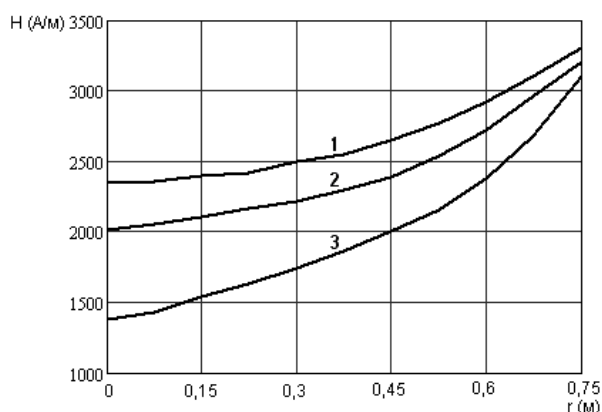
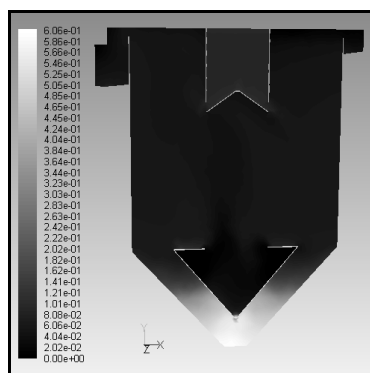
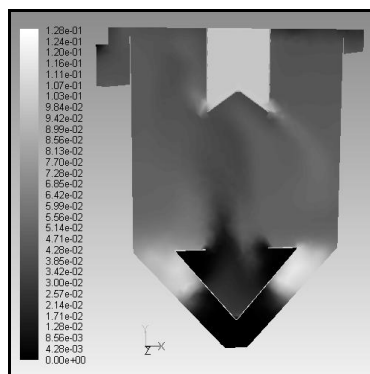


Рис.7. Напряженность магнитного поля на разных высотах объема магнитно-гравитационного аппарата: 1 – 0,5 м; 2 – 1 м; 3 – 1,5 м.

Применение магнитной стабилизации в постоянном и градиентном магнитных полях дает возможность гибкого управления критерием равнопадаемости для частиц различных фракций с различным содержанием ферромагнитного компонента.



а



б

Рис.8. Графические результаты моделирования работы магнитно-гравитационного аппарата в условиях вертикально ориентированного градиентного магнитного поля:

а, б – объемные фракции магнитной и немагнитной фаз слоя соответственно

Вычислительные эксперименты над созданными моделями аппаратов позволили выявить следующие механизмы управления процессами разделения в псевдооживленных слоях:

1. Разделение частиц групп С и А (распределение Гелдарта) возможно в цилиндрическом аппарате с псевдооживленным слоем.

2. Управление критической скоростью минимального псевдооживления осуществляется с помощью закручивания водного потока.

3. Применение однородного магнитного поля позволяет осуществить магнитную стабилизацию оживленного слоя (MSFB) – устранить каналы (области пониженного сопротивления слоя), пузыри (области с пониженной концентрацией частиц), выравнивание вертикальных скоростей фильтрации жидкости и обеспечивает селективность разделения частиц по магнитным и другим физическим свойствам.

4. Применение градиентного магнитного поля предоставляет дополнительные возможности управления процессом разделения за счет перераспределения в объеме аппарата частиц с различными магнитными свойствами.

Способ магнитно-гравитационной сепарации в градиентных магнитных полях защищен патентом [12].

Совершенствование механизма управления процессами разделения в магнитных псевдооживленных слоях повышает эффективность применения операции магнитно-гравитационной сепарации на железорудных предприятиях и позволяет решить вопрос получения товарного концентрата практически начиная с первой стадии обогащения, сократить, таким образом, фронт измельчения и сепарации в последующих стадиях. Возможность гибкого управления процессом разделения позволяет через АСУ оперативно реагировать на изменения вещественного состава перерабатываемых руд и, соответственно, решить проблему стабилизации качества производимых железорудных концентратов.

Литература

1. Дэвидсон, И. Псевдооживление / Под ред. И.Ф. Дэвидсона, Д. Харрисона - М.: Изд. Химия, 1974. - 728 с.
2. Geldart, D. The effect of particle size and size distribution on the behavior of gas-fluidized beds/ D. Geldart // Powder Technology - 1972. - P.201-205.
3. Geldart, D. Types of gas fluidization / D. Geldart // Powder Technology. - 1973. - P.285-292.
4. Усачев, П.А. Магнитно-гравитационное обогащение руд / П.А. Усачев, А.С. Опалев. - Апатиты: КИЦ РАН, 1993. - 92 с.
5. Siegell, J. H. Magnetized-fluidized beds / J. H. Siegell. - Powder Technology, 64 (1991). - P.1.
6. Rosensweig, R.E. Magnetic stabilization of the state of uniform fluidization / R.E. Rosensweig // Ind. Eng. Chem. Fundam. - 1979. - Vol. 18, № 3. - P. 260-269.
7. Нигматулин, Р.И. Основы механики гетерогенных сред. / Р. И. Нигматулин. - М.: Наука, 1978. - 336 с.
8. Нигматулин, Р.И. Динамика многофазных сред: в 2 ч. / Р.И. Нигматулин - М.: Наука. -Ч.2, 1987. - 359 с.
9. Gidaspow, D. Hydrodynamics of circulating fluidized beds, kinetic theory approach. / D. Gidaspow, R.Bezburuah, J. Ding // In Fluidization VII, Proceedings of the 7 th Engineering Foundation Conference on Fluidization, 1992. -P.75-82.
10. Dalla Valle, J. Micromeritics / J.M. Dalla Valle. - Pitman, London, 1948. - 48 с.
11. Алиевский, Б.Л. Расчет параметров магнитных полей осесимметричных катушек / Б.Л. Алиевский // М.: Энергоатомиздат, 1983. - С. 45.
12. Пат. 2387483 Российская Федерация, МПК В 03С 1/02. Способ обогащения дисперсных ферромагнитных материалов / Н.Н. Мельников, А.Ш. Гершенкоп, В.Ф. Скороходов, В.В. Бирюков; заявитель и патентообладатель Учреждение Российской академии наук Горный институт Кольского научного центра РАН. - № 2008108110/03; Заяв. 03.03.2008; опубл. 27.04.2010, Бюл. №12.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ СЛЮДЯНЫХ РУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ***М.С. Хохуля, А.С. Тарасова**

Для повышения полноты извлечения ценных компонентов гравитационными методами, представленными различными видами слюд, необходимо получение необходимой информации о гидродинамике процессов разделения и создание на этой основе обогащательных аппаратов, обеспечивающих вовлечение в переработку труднообогатимых руд, характеризующихся не только различием в плотности минералов, но также и в форме частиц.

На примере математического моделирования процесса гравитационного разделения слюдяных руд, реализуемого в рабочем объеме гидравлического сепаратора, была выбрана аналитическая модель, учитывающая закономерности гидродинамики многофазных дисперсных течений, к которым относятся суспензии [1].

При моделировании течения суспензии каждая из ее фаз – сплошная и дисперсная описывается с помощью уравнений гидромеханики Эйлера. При этом среда рассматривается как суперпозиция взаимодействующих континуумов, каждый из которых относится к своей фазе [1-3]. Это позволяет создавать модели конкретных аппаратов, исследовать кинетику разделения обогащаемого материала с целью выявления недостатков их конструкций и выработки рекомендаций по совершенствованию аппаратов и режимов разделения.

Гидродинамическая структура потока суспензий в гравитационных аппаратах оказывает существенное влияние на процессы разделения. Для оценки этого влияния необходимо знать распределение полей скоростей и объемных концентраций частиц по всему объему аппарата, что в большинстве случаев является очень трудоемкой задачей.

Расчет многофазных течений в гидравлическом сепараторе осуществлялся с привлечением методов вычислительной гидродинамики путем использования CFD-пакетов (Computational Fluid Dynamics) программного комплекса ANSYS-FLUENT, которые основаны на современных компьютерных технологиях.

Разработанные программы позволяют строить CFD-модели, которые являются физико-математическим представлением исследуемого объекта или процесса, основанным на численном решении систем уравнений Эйлера, реализованным, как правило, в среде компьютерной программы [4, 5].

Таким образом, CFD-модели потенциально обладают более высокой точностью, а также значительно большей информативностью. Поэтому вычислительный эксперимент на основе CFD – моделей

приближается по своим качествам к натурному эксперименту, что позволяет дополнить или заменить его для получения новых данных.

Использование данных моделей осуществлялось при разделении частиц различной формы в гидравлическом сепараторе, применяемом при переработке слюдяных руд.

В теории гидравлической классификации (сепарации) одной из основных задач является определение скорости стесненного падения частиц, зависящей от плотности суспензии в рабочем объеме аппарата.

Для совершенствования конструкций гидравлических сепараторов необходимо знать скорость выноса частиц, распределение уносимых частиц по размерам и его соотношение с распределением во взвешенном слое.

Первоначально был проведен расчет двумерной задачи аппарата с рассмотрением эффекта влияния объемной концентрации частиц на скорость осаждения модельных частиц сферической и пластинчатой формы (стеклянные шарики и алюминиевые круглые диски) в различных ее зонах.

В таблице приведены основные характеристики и параметры гидравлического разделения частиц, которые закладывались в условия задач при проведении вычислительного эксперимента.

Выбор материала с такой характеристикой крупности обусловлен тем, что в среднем классе перерабатываемых слюдяных руд после проведения их предварительной рудоподготовки присутствуют чешуйки слюды с примерно такими же значениями параметров. Исходное питание, объемная концентрация твердого в котором составляла 24%, подавалось в верхнюю центральную часть модели аппарата. В ней был организован восходящий поток воды со скоростью 10 см/с. Выбор такой скорости обусловлен гарантированным получением в легкой фракции максимального количества дисков, гидравлическая крупность которых была бы меньше скорости восходящего потока.

Результаты численного решения системы уравнений гидродинамики на различных этапах моделирования оценивались графическим способом. В ходе решения данных задачи были учтены физические свойства материала, к которым относятся его плотность, размер дисперсных частиц, их форма. Кроме того, моделированием учитывался турбулентный характер потока, плотность среды, рабочий диаметр аппарата.

Предварительно экспериментальным путем определялась конечная скорость свободного падения каждой одиночной частицы для создания в дальнейшем необходимой скорости восходящего потока.

*Учреждение Российской академии наук
Горный институт КНЦ РАН.

Основные параметры гидравлического разделения тел различной формы (шарики и круглые диски), их геометрические характеристики и свойства

№	Наименование	Имя переменной	Значение	Размерность
1	Рабочий диаметр аппарата	D	0,1	м
2	Скорость подачи восходящего потока воды	V_B	0,1	м/с
3	Дисперсная среда		Стеклянные шарики, диски из алюминия	
4	Плотность тел различной формы и частиц минералов	ρ_T	2700	кг/м ³
5	Диаметр шариков и дисков	d_q	0,06, 0,08, 0,1	см
6	Толщина круглых дисков и их коэффициенты сферичности	$h (\Omega)$	0,024 (0,79) 0,016 (0,64) 0,013 (0,54)	см
7	Скорости свободного падения шариков	$V_{ш}$	9,8; 13,1; 16,1	см/с
8	Скорости свободного падения дисков	V_d	6,5; 6,1; 5,1	см/с
9	Начальная объемная концентрация твердой фазы	λ	24	%
10	Скорости стесненного падения шариков	$V_{ст.(ш)}$	4,2; 5,9; 7,5	см/с
11	Скорости стесненного падения дисков	$V_{ст.(д)}$	3,2; 3,4; 3,0	см/с

Наиболее важными характеристиками процесса гидравлической классификации является распределение объемной концентрации или коэффициента разрыхления материала по высоте и сечению аппарата, а также изменение скоростей стесненного падения материала различной крупности в определенных зонах аппарата.

На рис. 1 приведена картина численного моделирования процесса классификации смеси сферических частиц после 60 сек. с его начала. В начале загрузки сепаратора концентрация шариков крупностью 0,6 мм на глубине практически до 0,72 м плавно повышается в 2,5 раза (от 8 до 20 %) (рис. 1а) с полным их отсутствием в нижних слоях классифицируемого материала, что свидетельствует

о частичном начале их выноса в легкую фракцию аппарата. Практически такой же ход кривой наблюдается и для шариков диаметром 0,8 мм, но в этом случае наблюдается смещение пика концентрации частиц ближе ко дну аппарата. Самое большое накопление материала, состоящего из шариков диаметром 1 мм, происходит в нижних зонах аппарата, резкое возрастание концентрации которых начинается с глубины более 0,8 м, когда она достигает значения в 37%, хотя их концентрация выше отметки 0,8 м не превышает и 5%.

На рис.1б представлены результаты расчета скоростей падения шариков различных размеров в зависимости от их нахождения в различных зонах аппарата по его высоте. Практически все фракции сферических шариков в течение этого промежутка времени начинают постепенно осаждаться в нижние слои суспензии с замедлением скорости их стесненного падения по мере увеличения объемной концентрации твердого, причем наибольшее замедление скорости

наблюдается на участке от 0,6 до 0,8 м с наиболее высоким значением плотности суспензии. В средней зоне сепаратора скорость осаждения шариков диаметром 0,6 мм равна около 5,0 см/с, для шариков диаметром 0,8 мм она соответствует значению более 8 см/с, а шарики диаметром 1 мм характеризуются значением скорости более 11 см/с (рис. 1б). В этой точке осевого сечения аппарата объемная концентрация твердого не превышает 20% и проведенные в дальнейшем расчеты по аналитическому определению скоростей стесненного падения таких шариков по формуле Лященко с учетом данной концентрации твердого совпадают с графическими результатами, что свидетельствует о сопоставимости результатов численного моделирования и рассчитанных значений скоростей стесненного падения с использованием данной формулы. Некоторая часть материала, представленная шариками 0,6 и 0,8 мм, под действием восходящего потока воды начинает перемещаться вверх с донных слоев аппарата.

При совместном нахождении в модели аппарата дисков такого же диаметра, но различного коэффициента сферичности (рис.2а) начинается выравнивание концентраций всех фракций до значений не более 8% вплоть до глубинных слоев суспензии, примерно на расстоянии 0,2 м, считая от дна аппарата. В дальнейшем концентрация твердой фазы возрастает более чем на 20%, основной вклад в которую вносят диски крупностью 0,8 мм. В суспензии, находящейся ниже отметки 0,8 м, наблюдается полное отсутствие дисков диаметром 0,6 мм с коэффициентом сферичности 0,79, а концентрация самых крупных дисков не превышает 3%.

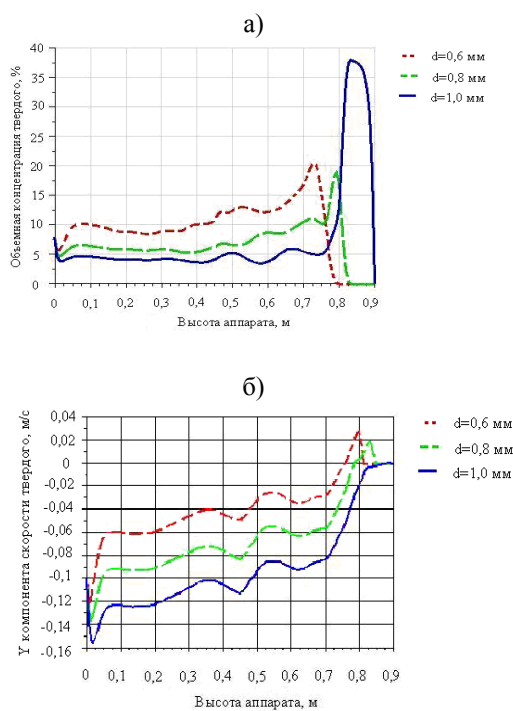


Рис.1. Распределение концентраций (а) и скоростей стесненного падения шариков (б) различного диаметра по высоте модели аппарата (1 минута протекания процесса)

Анализ кривых распределения скоростей падающих дисков по осевому сечению аппарата указывает сначала на резкий подъем скорости всех фракций при выходе материала из питающего патрубка (Рис. 2б). Затем на отрезке от 0,1 до 0,2 м начинается резкое выпадение материала вниз с некоторой стабилизацией скорости на участке от 0,2 до 0,4 м и дальнейшим ее уменьшением в самых нижних слоях суспензии. Самые крупные диски в точке 0,78 м находятся в режиме псевдооживления с последующим их поднятием вверх со скоростью более 3 см/с. Данное значение скорости стесненного падения сопоставимо с рассчитанным значением скорости по формуле Лященко при условии, когда коэффициент разрыхления равен 0,76. Близки к режиму псевдооживления и диски с $d=1,0$ мм.

На основании полученных результатов установлено, что распределение концентраций и скоростей падения в средней части сечения модели аппарата заметно отличаются. Объемная концентрация шариков в средней зоне модели изменяется от 5 до 10%, в то время как данный параметр для дисков через этот же промежуток времени не превышает 5%. Y-компонента скорости шариков всех размеров имеет отрицательные значения, т.е. шарики осаждаются. Совершенно другое поведение имеют диски, скорости которых положительны, что свидетельствует об их выносе в слив модели аппарата.

Данные закономерности подтверждены практикой работы гидравлического сепаратора при разделении широкого класса слюдосодержащей руды крупностью $-2+0,63$ мм, когда за счет различия в форме и скорости, чешуйки слюды эффективно выносились в слив сепаратора.

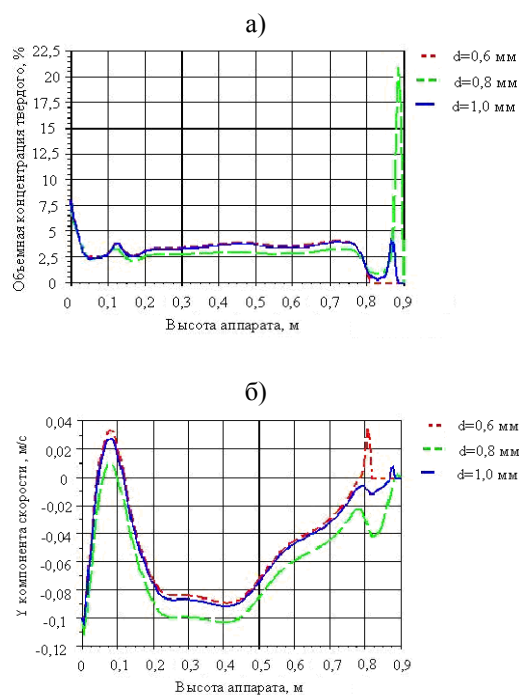


Рис.2. Распределение концентраций (а) и скоростей стесненного падения дисков (б) по высоте модели аппарата (1,5 минуты протекания процесса)

В случае повышения объемных концентраций твердого в зоне разделения, получаемые слюдяные концентраты содержали не более 90% полезного компонента при низком технологическом извлечении. Это вызвано повышенными скоростями стесненного падения частиц слюды сравнимыми по величине с зёрнами породных минералов, что препятствовало их попаданию в концентратную фракцию.

Таким образом, рассмотренные режимы подтверждают адекватность созданной аналитической модели при разделении частиц различной формы в восходящем потоке воды в гидравлическом сепараторе.

Литература

1. Нигматулин, Р.И. Динамика многофазных сред / Р.И. Нигматулин. - М.: Наука, 1987. - Ч. 1. - 464 с.
2. Bowen, R.M. Theory of mixtures. / R.M. Bowen. // Continuum Physics. - Academic Press, New York, 1976. - 127 p.
3. Drew, D.A. In particulate two-phase flow / D.A. Drew, R.T. Lahey // Butterworth-Heinemann, Boston, 1993. - P. 509-566.
4. Takeda, H. Numerical simulation of viscous flow by smoothed particle hydrodynamics. /H. Takeda, M. Shoken, M. Sekiya // Progress of Theoretical Physics. 92 (5), 1994. - P. 939-960.
5. Kwon, J. Parallel computational fluid dynamics: parallel computing and its applications / J. Kwon, A. Ecer, J. Periaux, N. Satofuna, P. Fox // Proceedings of the Parallel CFD 2006 (May 15-18), Conference Busan city, Korea, Elsevier, 2007. - 308 p.

КОСВЕННАЯ ОЦЕНКА УЩЕРБА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

И.Н. Морозов, В.Н. Богатиков

В последние годы повышение эффективности управления химико-технологическими процессами (ХТП) неуклонно связывают с повышением их безопасности. Это связано с тем, что цена аварий на подобных объектах, как правило, имеет катастрофический масштаб. Наличие множества постоянно действующих и потенциально аварийных источников опасностей представляет реальную угрозу нарушению состояний окружающей среды и несет ущерб здоровью человека.

Индекс ущерба, как мера количественной оценки ущерба при нечеткой исходной информации

Количественная оценка, характеризующая удаленность текущей рабочей точки процесса S^* от центра безопасности S_0 по ущербам определена как индекс ущерба.

Нечеткой ситуацией по ущербам является множество, состоящее из лингвистических переменных представляющих ущербы от функционирования технологического процесса.

Пусть $X_d = \{D_1, D_2, \dots, D_m\}$ – множество ущербов. Каждый ущерб D_j описывается соответствующей лингвистической переменной $\langle \beta_j, D_j, F_j \rangle$.

Нечеткой ситуацией по ущербам \tilde{S}_d называется нечеткое множество второго уровня [1]:

$$\tilde{S}_d = \{ \mu_{S_d}(\beta_j) \langle \beta_j, D_j \rangle, \beta_j \in X \}, \quad (1)$$

где

$$\mu_{S_d}(\beta_j) = \{ \mu_{S_d}(\beta_j) \langle \beta_k^j, E_k^j \rangle, k=1 \dots N_j, j=1 \dots m \}.$$

Для определения индекса ущерба от текущего состояния процесса, как и для индекса безопасности, необходимо сравнить на нечеткое равенство входную нечеткую ситуацию \tilde{S}_d с нечеткой ситуацией, которая характеризует центр безопасности \tilde{S}_{d0} . При этом степень их нечеткого равенства будем называть индексом ущерба от состояния технологического процесса:

$$In \mathfrak{C}_d^* = v \mathfrak{C}_d^*, \tilde{S}_{d0} \& v \mathfrak{C}_{d0}, \tilde{S}_d^*, \quad (2)$$

где $In \mathfrak{C}_d^*$ – индекс ущерба от состояния технологического процесса.

Заметим, что индекс ущерба достигает своего минимального значения при совпадении рабочей точки процесса с центром технологической безопасности $v \mathfrak{C}_{po} = 0$. При удалении рабочей точки

процесса от ЦТБ индекс ущерба увеличивается. При выходе рабочей точки из области регламентного (безопасного) состояния, либо при достижении одной из границ этой области $In \mathfrak{C}_d^* = 1$.

При такой оценке безопасности процесса в области регламентного (безопасного) состояния можно выделить область технологической безопасности следующим образом.

Процесс протекает в области технологической безопасности, если его индекс ущерба не выходит за рамки некоторой величины $c \in [0,1]$ называемой границей технологической безопасности процесса по ущербам.

$$In \mathfrak{C}_d^* \leq c. \quad (3)$$

Для вычисления индекса ущерба оборудования и систем управления, необходимо построить функции принадлежности ущербов d в зависимости от вероятности безотказной работы оборудования или системы управления Pr . Эксперту необходимо оценить по вероятности отказа оборудования или системы управления значения следующих термов:

- T_1 – очень малый ущерб;
- T_2 – малый ущерб;
- T_3 – средний ущерб;
- T_4 – высокий ущерб;
- T_5 – очень высокий ущерб.

В результате получают графики соответствующих термов для определенных типов оборудования или систем управления, один из этих графиков приведен ниже (рис. 1).

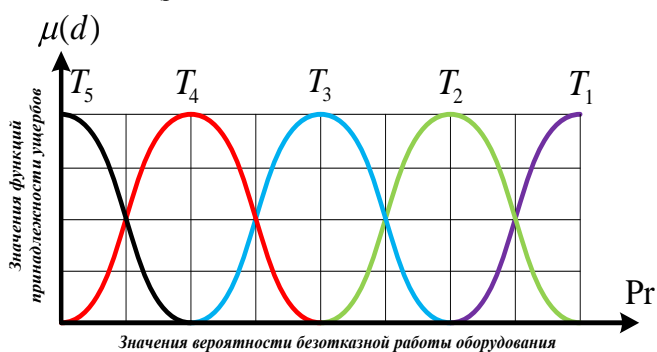


Рис.1. Функции принадлежности терм-множеств лингвистической переменной «ущерб от аварий на опасных производственных объектах»

В качестве области безопасности задают интервал вероятностей отказа оборудования и систем управления в пределах от 0% до $n\%$, где верхний предел n определяется нормативной документацией. Относительно этого интервала и происходит вычисление индекса ущерба.

Пример оценки ущерба от функционирования узла каталитической очистки газов агрегата производства неконцентрированной азотной кислоты

На уровне эвристических оценок зависимости «ущерб от выброса нитрозных газов в атмосферу» можно сделать вывод, что величина ущерба зависит от величины концентрации нитрозных газов, и что потенциальные выбросы и соответственно потенциальный ущерб возрастают с уменьшением надежности оборудования. Таким образом, предполагается, что величина ущерба пропорциональна концентрации выбросов нитрозных газов в атмосферу, и, соответственно, концентрация растет с ростом вероятности возникновения отказов в оборудовании.

В силу сложности получения статистического материала такого рода оценка выбросов осуществлялась на основе лингвистической переменной «концентрация окислов азота на выходе из реактора каталитической очистки» и параметра «вероятность безотказной работы».

Оценивались по вероятности отказа реактора каталитической очистки газов значения следующих термов: $D(C_{NO+NO_2})_1$ – очень малый ущерб (низкая концентрация); $D(C_{NO+NO_2})_2$ – малый ущерб (средняя концентрация); $D(C_{NO+NO_2})_3$ – средний ущерб (повышенная концентрация); $D(C_{NO+NO_2})_4$ – высокий ущерб (высокая концентрация). В результате чего проводили формализацию и получали графики соответствующих термов в зависимости от вероятности их безотказной работы (рис. 2).

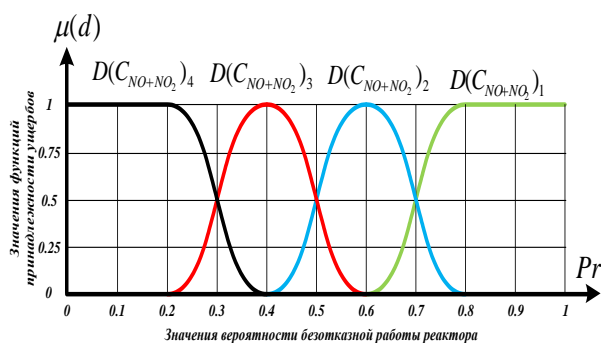


Рис.2. Функции принадлежности терм-множеств лингвистической переменной «ущерб от выброса нитрозных газов в атмосферу»

На основе статистических исследований отказов работы реактора каталитической очистки составлялись функции распределения вероятности безотказной работы реактора, в результате чего был сформирован график, изображенный на рис. 3. Для построения данного графика также учитывались экспертная оценка и техническая документация на реактор каталитической очистки газов. Критерием при составлении данной зависимости было время наработки реактора на отказ.

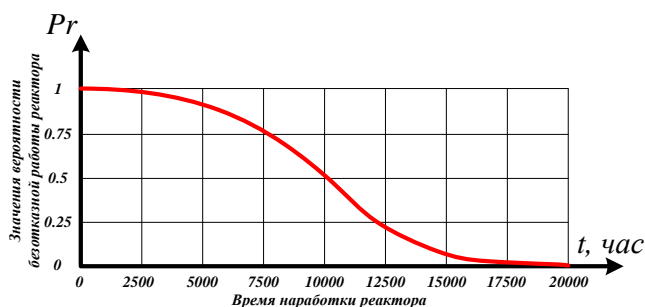


Рис.3. Зависимость безотказной работы реактора каталитической очистки газов от времени наработки

Таким образом, была получена сводная таблица ущербов от выброса нитрозных газов в атмосферу в зависимости от изменения концентрации нитрозных газов после реактора каталитической очистки с учетом вероятности безотказной работы (табл.).

Ущерб от выброса нитрозных газов в атмосферу

Ущерб	Вероятность безотказной работы реактора каталитической очистки газов	Диапазон изменения концентрации
$D(C_{NO+NO_2})_1 =$ «очень малый»	[0.6; 1]	[0; 0.002]
$D(C_{NO+NO_2})_2 =$ «малый»	[0.4; 0.8]	[0.001; 0.003]
$D(C_{NO+NO_2})_3 =$ «средний»	[0.2; 0.6]	[0.002; 0.004]
$D(C_{NO+NO_2})_4 =$ «высокий»	[0; 0.4]	[0.003; 0.005]

Заключение

Таким образом, исходя из вышеизложенного, возможно косвенно оценивать величину ущерба, наносимого окружающей среде, оборудованию, системе управления и другим объектам, не имея полной информации о стоимостных показателях наносимого вреда, т.е. в условиях неопределенности.

Литература

1. Мелихов, А.Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. / А.Н. Мелихов, Л.С. Бернштейн, С.Я. Коровин. - М.: Наука, 1990. – 272 с.

Анализ технологической безопасности промышленных процессов на основе оценки рисков на примере выпаривания электролитических щелоков

Ю.В. Соболева¹, В.Н. Богатиков, А.Е. Пророков¹

Современное производство характеризуется высокой сложностью организации, наличием множества разнородных процессов и аппаратов, а также технических средств, предназначенных для сбора и обработки информации с последующей реализацией управляющих воздействий, направленных на поддержание экстремального значения выбранного критерия оптимальности. В результате одной из важных задач является обеспечение оптимального функционирования производства при соблюдении необходимых требований по безопасности. Последнее условие позволяет повысить надежность и эффективность работы всего производства в целом, нанося минимальный вред окружающей среде и обслуживающему персоналу. Ввиду сложности такой задачи для ее решения целесообразно использовать аппарат теории нечетких множеств. Решение задачи безопасного управления процессом следует проводить в два этапа. На первом этапе производится анализ текущей технологической ситуации и делается вывод о возможных последствиях (так называемые ущербы) и их тяжести. На втором этапе по результату проведенного анализа определяются управляющие воздействия, которые следует реализовать для минимизации ущерба и повышения эффективности работы производства. В данной статье рассматривается подход для решения первой части задачи.

Пусть X – конечное множество возможных состояний этой системы; U – конечное множество возможных значений управляющего параметра.

Состояние системы характеризуется набором параметров $X = \langle P_1, P_2, \dots, P_n \rangle$. Изменение значений технологических параметров $P_i, i = \overline{1, n}$ приводит к изменению состояния системы X . Как правило, функционирование технологического процесса протекает в определенных режимах, характеризующихся некоторым диапазоном изменения параметров процесса $\Delta P_i, i = \overline{1, n}$. В результате на состояние технологического процесса накладываются ограничения. Выход за рамки этих ограничений означает появление внештатной ситуации или нарушение технологического регламента. Таким образом, данные ограничения выделяют в пространство возможных состояний подмножество регламентных состояний процесса $G, G \subseteq X$.

Во множестве регламентных состояний процесса G можно выделить некоторую область O , в которой функционирование технологического процесса является наиболее благоприятным, т.е. достигается заданная эффективность протекания процесса, оборудование подвергается наименьшему износу, ущерб, наносимый окружающей среде – минимален. Такую область функционирования технологического процесса называют областью технологической безопасности процесса. Что касается выделения областей технологической безопасности, их размера и возможного изменения, то соответствующие данные можно получить по результату опроса эксперта (в качестве которого обычно выступает технолог), обработки статистических данных и анализа технологического регламента производства.

При описании возможных ситуаций, эксперту наиболее удобно пользоваться словесными значениями параметров. Для формализации такого представления используется понятие лингвистической переменной. Такие переменные служат для качественного, словесного описания некоторой количественной величины, с их помощью формализуется качественная информация, представленная в словесной форме.

Поставим в соответствие каждому параметру технологического процесса лингвистическую переменную $\langle \beta_i, E_i, D_i \rangle$,

где β_i – название лингвистической переменной;

$E_i = \{E_i^1, E_i^2, \dots, E_i^{M_i}\}$ – терм-множество лингвистической переменной β_i ;

D_i – базовое множество лингвистической переменной β_i .

Для описания термов E_i^j , соответствующих значениям β_i , используются нечеткие переменные, то есть каждый терм описывается нечетким множеством в базовом множестве данной лингвистической переменной.

Значение параметра P_O^i из интервала Y_O^i , соответствующего области технологической безопасности процесса, для которого справедливо равенство:

$$\mu_{E_i}(\phi_O^i) = \max_{P_i \in Y_O^i} \mu_{E_i}(\phi_i) \quad (1)$$

называется i -ой координатой центра технологической безопасности.

¹ Новомосковский институт Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева.

Набор координат по всем параметрам процесса, заданных таким образом, определяет точку в области технологической безопасности, называемой *центром технологической безопасности процесса* (ЦТБ).

В результате изменения значений параметров технологического процесса происходит постоянная смена состояний, вследствие чего процесс может выйти из области безопасности. Оценить этот выход можно с помощью определения смещения от центра безопасности. Количественная оценка, характеризующая удаленность текущей рабочей точки процесса от центра безопасности, показывает степень безопасности для данного состояния технологического процесса.

Множество, состоящее из набора лингвистических переменных β_i , нечетко определяет некоторое состояние технологического процесса. Такое множество назовем нечеткой ситуацией. То есть нечеткой ситуацией является множество, состоящее из лингвистических переменных, представляющих параметры технологического процесса. Нечеткой ситуацией \tilde{S} называется нечеткое множество второго уровня:

$$\tilde{S} = \langle \mu_S(\Phi_i) \rangle P_i \rangle, P_i \in X, \quad (2)$$

где $\mu_S(\Phi_i) = \langle \mu_{\mu_S(\Phi_j)}(\mathbf{E}_j^i) \rangle, j=1..M_i, i=1..n$.

В качестве меры близости между текущей ситуацией \tilde{S}^* , характеризующей рабочую точку процесса, и ситуацией \tilde{S}_0 , соответствующей центру технологической безопасности процесса, рассматриваются два критерия: степень нечеткого включения и степень нечеткого равенства. Эти понятия базируются на определении степени нечеткого включения и степени нечеткого равенства нечетких множеств.

Например, пусть $\tilde{S}_i = \langle \mu_{S_i}(\Phi) \rangle P \rangle, P \in X$ и $\tilde{S}_j = \langle \mu_{S_j}(\Phi) \rangle P \rangle, P \in X$ есть некоторые нечеткие ситуации.

Степень включения ситуации \tilde{S}_i в ситуацию \tilde{S}_j определяется выражением:

$$\nu(\tilde{S}_i, \tilde{S}_j) = \min_P \nu(\mu_{S_i}(\Phi), \mu_{S_j}(\Phi)), \quad (3)$$

$$\nu(\mu_{S_i}(\Phi), \mu_{S_j}(\Phi)) = \min_{E_k} \nu(\mu_{S_i}(\mathbf{E}_k), \mu_{S_j}(\mathbf{E}_k)) = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \mu_{S_i}(\mathbf{E}_k) \\ \mu_{S_j}(\mathbf{E}_k) \end{array} \right\}$$

Ситуация \tilde{S}_i нечетко включается в \tilde{S}_j , $\tilde{S}_i \subseteq \tilde{S}_j$, если степень включения \tilde{S}_i в \tilde{S}_j не превышает некоторого порога включения t_{inc} , определяемого условиями управления, то есть $\nu(\tilde{S}_i, \tilde{S}_j) \geq t_{inc}$. Другими словами, ситуация \tilde{S}_i нечетко включается в

ситуацию \tilde{S}_j , если нечеткие значения признаков ситуации \tilde{S}_i нечетко включаются в нечеткие значения соответствующих признаков ситуации \tilde{S}_j . Фиксация порога включения в некоторой точке зависит от особенностей объекта управления, требований к качеству управляющих решений и т.д.

Если множество текущих ситуаций \tilde{S} содержит такие ситуации \tilde{S}_i и \tilde{S}_j , что \tilde{S}_i нечетко включается в \tilde{S}_j , а \tilde{S}_j нечетко включается в \tilde{S}_i , то ситуации \tilde{S}_i и \tilde{S}_j нужно воспринимать как одну ситуацию. Это означает, что при данном пороге включения t_{inc} ситуации \tilde{S}_i и \tilde{S}_j примерно одинаковы. Такое сходство ситуаций называется нечетким равенством, при этом степень нечеткого равенства равна:

$$\mu(\tilde{S}_i, \tilde{S}_j) = \min(\nu(\tilde{S}_i, \tilde{S}_j), \nu(\tilde{S}_j, \tilde{S}_i)) \quad (4)$$

Таким образом, для определения безопасности текущего состояния процесса необходимо сравнить на нечеткое равенство входную нечеткую ситуацию \tilde{S}^* с нечеткой ситуацией, которая характеризует центр безопасности \tilde{S}_0 . При этом степень их нечеткого равенства будем называть индексом безопасности технологического процесса:

$$In(\tilde{S}^*, \tilde{S}_0) = \min(\nu(\tilde{S}^*, \tilde{S}_0), \nu(\tilde{S}_0, \tilde{S}^*)) \quad (5)$$

где $In(\tilde{S}^*)$ – индекс безопасности текущего состояния технологического процесса.

Заметим, что индекс безопасности достигает своего максимального значения при совпадении рабочей точки процесса с центром технологической безопасности $In(\tilde{S}_0) = 1$. При удалении рабочей точки процесса от ЦТБ индекс безопасности уменьшается. При выходе рабочей точки из области регламентного состояния, либо при достижении одной из границ этой области $In(\tilde{S}^*) = 0$.

При такой оценке безопасности процесса в области регламентного состояния можно выделить область технологической безопасности следующим образом. Процесс протекает в области технологической безопасности, если его индекс безопасности не менее некоторой величины $b \in [0,1]$ называемой границей технологической безопасности процесса.

$$In(\tilde{S}^*) \geq b. \quad (6)$$

На основании понятия индекса безопасности можем определить риск возникновения опасности. Риск есть двойка $R = \langle In(\tilde{S}^*), D \rangle$, где $In(\tilde{S}^*)$ – индекс безопасности текущей ситуации;

D – множество возможных ущербов от возникновения данной ситуации.

Рассмотрим множество возможных нечетких ситуаций технологического процесса \tilde{S} . Выделим в

нем множество нечетких эталонных ситуаций $\tilde{S}_{3m} = \{\tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \dots, \tilde{S}_n\}$. Данное множество строится на основе степени нечеткого равенства ситуаций. Для каждой нечеткой ситуации из набора \tilde{S}_{3m} известен сценарий развития событий и можно определить множество ущербов $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$.

Для текущей ситуации определяем эталонную ситуацию, которой она наиболее близка. Для этого рассчитываем степень включения текущей ситуации в каждую из эталонных ситуаций. Та ситуация, для которой степень включения текущей ситуации максимальна, т.е. $\nu = \max_i \mu_{\tilde{S}_i}^*$, $i = 1, \dots, n$, и является эталонной, в результате чего можно оценить предполагаемый ущерб. Соответствующую оценку делаем на основе индекса безопасности текущей ситуации $In_{\tilde{S}_i}^*$. Для определения ущерба необходимо построить функции принадлежности, связывающие эталонные нечеткие ситуации с ущербами по данной величине индекса безопасности. Такую функцию можно задать в виде следующей таблицы.

Функции принадлежности ущербов в зависимости от эталонной ситуации

	\tilde{S}_1	\tilde{S}_2	...	\tilde{S}_n
d_1	μ_{11}	μ_{12}	...	μ_{1n}
d_2	μ_{21}	μ_{22}	...	μ_{2n}
...
d_m	μ_{m1}	μ_{m2}	...	μ_{mn}

Функция принадлежности μ_{ij} задает степень ущерба d_i для эталонной ситуации \tilde{S}_j при заданном значении индекса безопасности $In_{\tilde{S}_j}^*$. Определив эталонную ситуацию, которой максимально близка текущая ситуация по заданной величине индекса безопасности определяем ущерб текущей ситуации в соответствии с формулой:

$$\mu_{\tilde{S}_j}^* \rightarrow d_i = \max_j \min_i \mu_{ij}^*, i = 1, \dots, m, (7)$$

Индекс j отвечает за номер столбца выбранной эталонной ситуации. Далее на основании полученной функции принадлежности одним из известных методов дефазификации (например, методом центра тяжести фигуры) определяем точное значение возможного ущерба (выраженного в конкретных единицах измерения).

Рассмотрим пример оценки риска для текущей нечеткой ситуации на примере выпарного аппарата, используемого в производстве каустической соды. Ввиду сложной структурной организации процесса выпаривания была получена нечеткая математическая модель, отражающая взаимосвязь множества входных величин с выходными. Структура выпарного аппарата представлена на рис. 1.

Входными величинами являются: входной поток щелоков (S_{10}), входная концентрация щелочи (b_{10}),

давление греющего пара (P_{10}), входная температура щелоков (t_{10}), входная общая концентрация соли (D_{10}). Выходными величинами являются: выходной поток щелоков (S_{11}), выходная концентрация щелочи (b_{11}), температура раствора в парожидкостном пространстве (t_{11}), общая концентрация соли в растворе (D_{11}), давление вторичного пара (P_{11}), расход вторичного пара (W_{11}) и уровень раствора в аппарате (h_1).

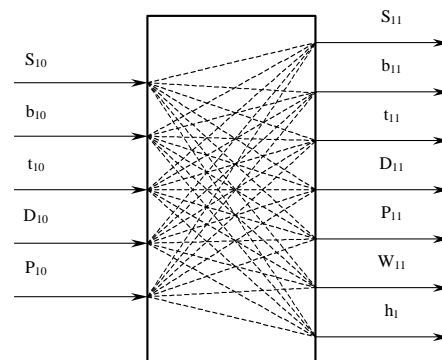


Рис. 1. Структурная схема выпарного аппарата

Для определения ущерба от возникновения той или иной текущей ситуации были выделены наиболее характерные нечеткие ситуации, влияние которых на процесс наиболее ярко выражено. Соответствующие ситуации относятся к множеству нечетких эталонных ситуаций. Рассмотрим одну из них.

Нечеткая эталонная ситуация. Давление пара высокое, расход входного потока низкий. При возникновении подобной ситуации в объекте будет наблюдаться существенное понижение уровня жидкости в аппарате, что следует рассматривать как соответствующий ущерб.

С учетом диапазона изменения технологических величин – "давление пара" и "расход входного потока" введем в рассмотрение лингвистические переменные "давление греющего пара" и "расход входного потока" представлены тремя терм-множествами, которые показаны соответственно на рис. 2 и 3.

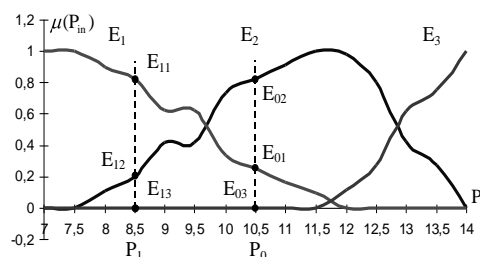


Рис. 2. Функции принадлежности лингвистической переменной «Давление греющего пара на входе в первый ВА»

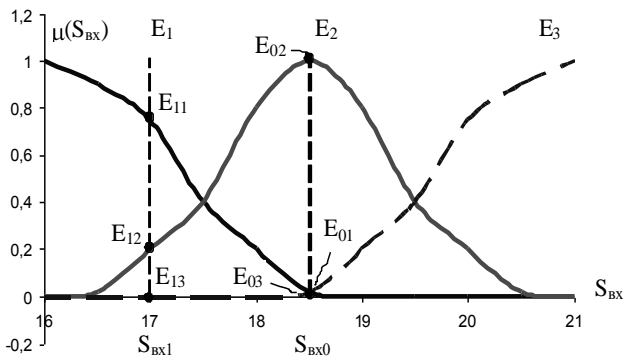


Рис.3. Функции принадлежности лингвистической переменной «Расход первичного раствора NaOH в первый ВА»

Центр безопасности соответствует давлению пара, находящемуся в диапазоне (10, 11) атм. (в качестве конкретного значения выбрано давление 10.5 атм.), и расходу щелочи равному 18.5 кг/с. Определим индекс безопасности для различных ситуаций. Пусть P_0 и $S_{вх0}$ соответственно давление пара и расход щелочи, соответствующие центру безопасности (нечеткая ситуация \tilde{S}_0), а P_1 и $S_{вх1}$ соответственно текущее давление и расход щелочи (нечеткая ситуация \tilde{S}_1).

Найдем степень включения нечеткой ситуации \tilde{S}_1 в \tilde{S}_0 .

В соответствии с рисунком 2:

$$\mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_1 \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_1 \rangle \equiv \max \{ E_{11}, E_{01} \};$$

$$\mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_2 \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_2 \rangle \equiv \max \{ E_{12}, E_{02} \};$$

$$\mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_3 \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_3 \rangle \equiv \max \{ E_{13}, E_{03} \};$$

Поскольку $E_{11}=0.8$, $E_{12}=0.2$, $E_{13}=0$, $E_{01}=0.25$, $E_{02}=0.8$, $E_{03}=0$, тогда:

$$\mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_1 \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_1 \rangle \equiv \max \{ 0.8, 0.25 \} \approx 0.8;$$

$$\mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_2 \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_2 \rangle \equiv \max \{ 0.2, 0.8 \} \approx 0.8;$$

$$\mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_3 \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_3 \rangle \equiv \max \{ 0, 0 \} \approx 0.$$

В результате:

$$\nu \langle \mu_{S_1} \rangle \rightarrow \mu_{S_0} \langle \mathbf{E}_k \rangle \equiv \min_{E_k} \langle \mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_k \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_k \rangle \rangle \equiv \min(0.25, 0.8, 1) = 0.25.$$

В соответствии с рисунком 3 получаем:

$$\mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_1 \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_1 \rangle \equiv \max \{ E_{11}, E_{01} \};$$

$$\mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_2 \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_2 \rangle \equiv \max \{ E_{12}, E_{02} \};$$

$$\mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_3 \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_3 \rangle \equiv \max \{ E_{13}, E_{03} \};$$

Поскольку $E_{11}=0.75$, $E_{12}=0.2$, $E_{13}=0$, $E_{01}=0.02$, $E_{02}=1$, $E_{03}=0.02$, тогда:

$$\mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_1 \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_1 \rangle \equiv \max \{ 0.75, 0.02 \} \approx 0.75;$$

$$\mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_2 \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_2 \rangle \equiv \max \{ 0.2, 1 \} \approx 1;$$

$$\mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_3 \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_3 \rangle \equiv \max \{ 0, 0.02 \} \approx 0.$$

В результате:

$$\nu \langle \mu_{S_1} \rangle \rightarrow \mu_{S_0} \langle \mathbf{E}_k \rangle \equiv \min_{E_k} \langle \mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_k \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_k \rangle \rangle \equiv \min(0.25, 1, 1) = 0.25.$$

Степень включения нечеткой ситуации \tilde{S}_1 в ситуацию \tilde{S}_0 будет равна:

$$\nu \langle \tilde{S}_1 \rangle \rightarrow \tilde{S}_0 \equiv \min_P \nu \langle \mu_{S_1} \rangle \rightarrow \mu_{S_0} \langle \mathbf{E}_k \rangle \equiv \min(0.25, 0.25) = 0.25.$$

Определим степень включения нечеткой ситуации \tilde{S}_0 в \tilde{S}_1 . Степень включения в нечеткую ситуацию по давлению греющего пара составит:

$$\mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_1 \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_1 \rangle \equiv \max \{ 0.25, 0.8 \} \approx 0.8;$$

$$\mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_2 \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_2 \rangle \equiv \max \{ 0.8, 0.2 \} \approx 0.8;$$

$$\mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_3 \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_3 \rangle \equiv \max \{ 0, 0 \} \approx 0;$$

$$\nu \langle \mu_{S_0} \rangle \rightarrow \mu_{S_1} \langle \mathbf{E}_k \rangle \equiv \min_{E_k} \langle \mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_k \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_k \rangle \rangle \equiv \min(0.8, 0.2, 1) = 0.2.$$

Аналогично для расхода первичного раствора щелочи:

$$\mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_1 \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_1 \rangle \equiv \max \{ 0.02, 0.75 \} \approx 0.75;$$

$$\mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_2 \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_2 \rangle \equiv \max \{ 1, 0.2 \} \approx 1;$$

$$\mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_3 \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_3 \rangle \equiv \max \{ 0.02, 0 \} \approx 0.02;$$

$$\nu \langle \mu_{S_0} \rangle \rightarrow \mu_{S_1} \langle \mathbf{E}_k \rangle \equiv \min_{E_k} \langle \mu_{\mu_{S_0}} \langle \mathbf{E}_k \rangle \rightarrow \mu_{\mu_{S_1}} \langle \mathbf{E}_k \rangle \rangle \equiv \min(0.75, 1, 0.02) = 0.02.$$

$$\nu \langle \tilde{S}_1 \rangle \rightarrow \tilde{S}_0 \equiv \min_P \nu \langle \mu_{S_0} \rangle \rightarrow \mu_{S_1} \langle \mathbf{E}_k \rangle \equiv \min(0.2, 0.2) = 0.2.$$

Индекс безопасности текущего состояния технологического процесса рассчитываем по формуле:

$$In \langle \tilde{S}_1 \rangle \rightarrow \tilde{S}_0 \equiv \min \langle \nu \langle \tilde{S}_1 \rangle \rightarrow \tilde{S}_0, \nu \langle \tilde{S}_0 \rangle \rightarrow \tilde{S}_1 \rangle \equiv \min(0.25, 0.2) = 0.2.$$

График изменения индекса безопасности для всевозможных значений давления греющего пара и расхода первичного раствора щелочи приведен на рис. 4.

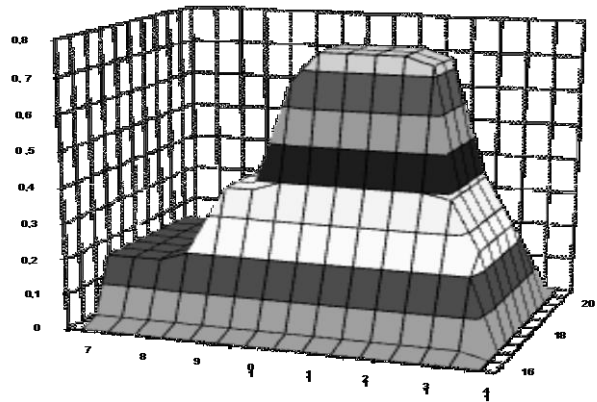


Рис.4. График изменения индекса безопасности в зависимости от значений «Давления греющего пара на входе в первый ВА» и «Расхода первичного раствора щелочи в первый ВА»

Определение принадлежности текущей ситуации эталонной ситуации следует также выполнять путем сравнения на нечеткое равенство текущей нечеткой ситуации с выбранной эталонной. Нечеткая текущая ситуация соответствует эталонной ситуации, если степень включения ситуации в эталонную и наоборот не менее некоторого порогового значения, т.е.:

$$\min(\mu_1, \tilde{S}^*) \vee \mu_2, \tilde{S}_1 \geq b,$$

где \tilde{S}^* - нечеткая эталонная ситуация, b – пороговое значение, при переходе через которое текущая нечеткая ситуация может рассматриваться как соответствующая эталонная ситуация.

Соответствующие степени включения ситуация рассчитываются по аналогии с тем, как это делалось в случае определения индекса безопасности текущей ситуации. В качестве «центра» нечеткой эталонной ситуации примем значение «Давления греющего пара на входе в первый ВА» равное 14атм и «Расход первичного раствора щелочи» равный 16кг/с. Расчет степени принадлежности к эталонной ситуации выполним отдельно по каждому параметру. Соответствующие графики, отражающие степень нечеткого равенства текущей ситуации эталонной, представлены соответственно на рис. 5 и 6.

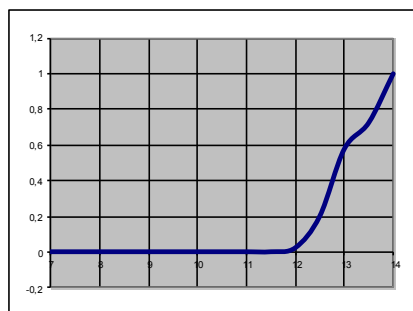


Рис.5. График изменения степени нечеткого равенства текущей ситуации эталонной ситуации по нечеткой переменной «Давление греющего пара»

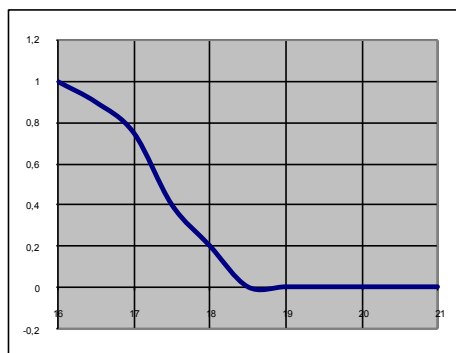


Рис. 6. График изменения степени нечеткого равенства текущей ситуации эталонной ситуации по нечеткой переменной «Расход первичного раствора NaOH»

В качестве порогового значения, по которому определяется степень нечеткого равенства выбранной эталонной ситуации, примем величину $b = 0.6$.

В соответствии с графиками, приведенными на рис. 5 и 6, условию, когда степень нечеткого равенства больше или равна b удовлетворяют следующие значения параметров: «Давление греющего пара» - 13 – 14 атм.; «Расход первичного раствора NaOH» - 16-17,2 кг/с.

В соответствии со структурой нечеткой математической модели выпарного аппарат высокого давления пара и низкий расход входного потока приводят к уменьшению уровня жидкости в аппарате. Определим ущерб (в данном случае связан с потерями вещества и соответствующим понижением уровня жидкости в аппарате) в зависимости от величины индекса безопасности. Поставим в соответствие базовой переменной (индекс безопасности) лингвистическую переменную "индекс безопасности", принимающую значения: "высокий", "средний" и "низкий". Соответствующие функции принадлежности показаны на рис. 7.

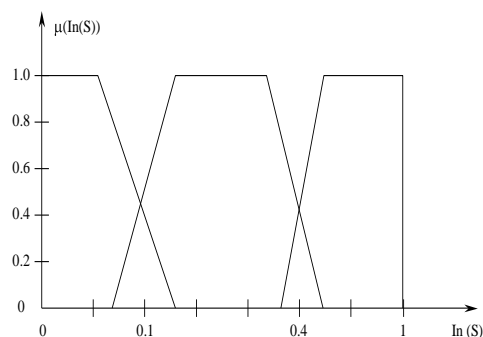


Рис.7. Функция принадлежности лингвистической переменной «индекс безопасности»

Уровень жидкости в выпарном аппарате для рассматриваемой эталонной ситуации изменяется в диапазоне от 0 до 1.5 м. Введем в рассмотрение лингвистическую переменную "ущерб по уровню", заданную на указанном диапазоне изменения базовой переменной. Соответствующая лингвистическая переменная принимает значения: "малый", "средний" и "большой". Функции принадлежности "ущерба" показаны на рис. 8.

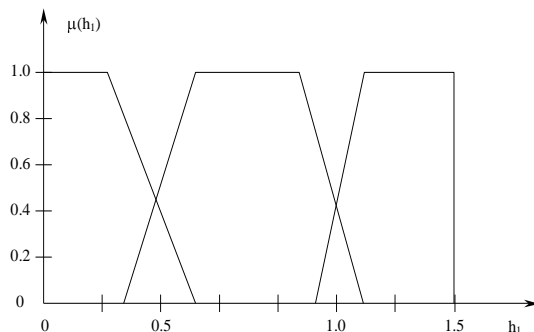


Рис.8. Функция принадлежности лингвистической переменной «ущерб» по изменению уровня жидкости в аппарате

Связка между лингвистическими переменными осуществляется посредством простых логических связей:

- если индекс безопасности высокий, то ущерб малый;
- если индекс безопасности средний, то ущерб средний;
- если индекс безопасности низкий, то ущерб большой.

Если текущая ситуация близка рассматриваемой нечеткой эталонной ситуации, то, определив величину индекса безопасности, определяем степень принадлежности ущерба тому или иному терму в соответствии с формулой (7). Используя любой из известных методов дефазификации, можем определить фактический ущерб, наносимый технологическому процессу по текущей входной ситуации.

Аналогичные исследования можно провести по всем входным и выходным переменным выпарного аппарата, для того чтобы в дальнейшем реализовать мероприятия, направленные на минимизацию риска и соответствующего ущерба, как по материальным,

так и по тепловым составляющим технологического процесса. Проведенные исследования предполагаются в дальнейшем использовать для поиска управляющих воздействий, направленных на минимизацию ущерба для возможных сценариев (эталонных ситуаций) развития поведения технологических параметров.

Литература

1. Богатиков, В.Н. Исследование технологической надежности и оптимизация управления системой многокорпусных установок производства хлора и каустика. Дис. ... кан. техн. наук. - М., МХТИ, 1978. – 170 с.
2. Методология управления технологической безопасностью непрерывных химико-технологических процессов на основе дискретных моделей /В.Н. Богатиков и др. - РХТУ им. Д.И. Менделеева. Новомосковский институт, Новомосковск, 2005. – 188 с.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ОТКАЗА СИСТЕМЫ С ПОТЕРЕЙ ЖИВУЧЕСТИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Кузнецов П.В., Богатиков В.Н., Кириченко А.Э.¹

При исследовании сложных систем актуальной является задача придания этим системам способности противостоять внутренним разрушителям, главными из которых являются отказы их компонентов, которые в основном определяются процессами их разрушения.

Общеизвестно, что надежность технических систем определяется их безотказностью, ремонтпригодностью, сохраняемостью и долговечностью. Живучесть определяется независимо от надежности как способность системы сохранять свойства, необходимые для выполнения заданного назначения, при наличии воздействия (взрыв, пожар, затопление и др.), не предусмотренных условиями нормальной эксплуатации [1, 2]. Перечисленные воздействия считаются внешними разрушителями системы.

Для промышленных объектов этот термин можно использовать при изучении внутренних, спонтанных разрушителях (отказы, сбои, помехи и др.), которые в основном определяют особенностями промышленных технологий. С точки зрения всей системы внутренние отказы считаются ее дефектами, или нарушениями. Отказ (внешний) наступает тогда, когда число дефектов и их размещение в системе окажутся для нее критическими.

Примером процесса, построенного на спонтанных разрушениях, является процесс измельчения. В данной работе описывается модель отказа системы с потерей живучести для целей управления технологической безопасностью. На рис. 1 приведена технологическая схема процесса измельчения.

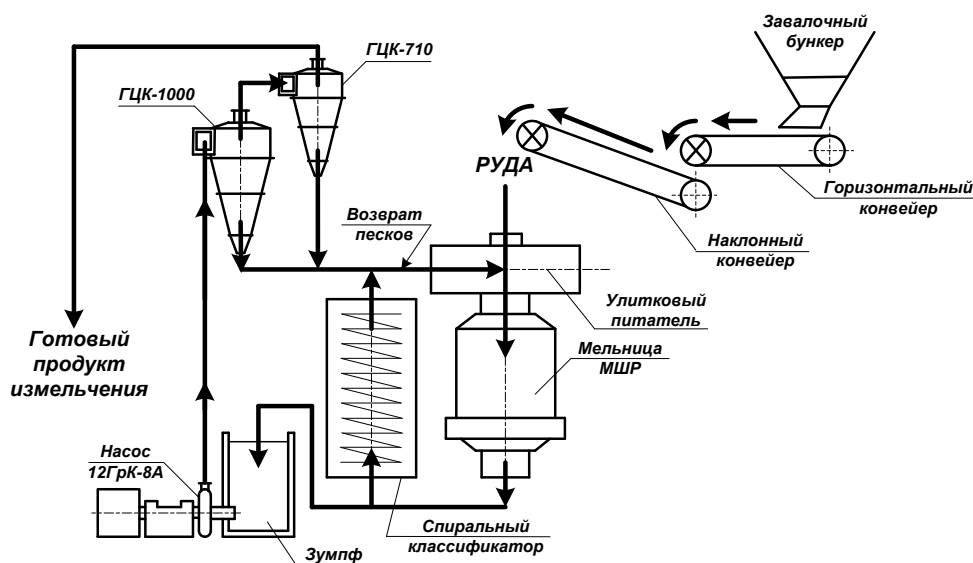


Рис.1. Схема цепи аппаратов секции измельчения с замкнутым циклом

Измельчение и классификация в процессе обогащения руд предназначены для вскрытия полезных минералов перед обогащением и получения частиц требуемой крупности. Эти процессы всегда технологически связаны между собой и, поэтому, целесообразно рассматривать их как единый управляемый объект.

В данной работе живучесть рассматривается только по отношению к внутренним разрушителям. С точки зрения всей системы внутренние отказы считаются ее дефектами, или нарушениями. Отказ (внешний) наступает тогда, когда число дефектов

и их размещение в системе окажутся для нее критическими. Критическое число дефектов c , уменьшенное на единицу, будем называть запасом живучести системы: $z = c - 1$.

Критическое число дефектов системы, как и любая дискретная случайная величина, характеризуется: рядом распределения $\rho(c)$, $c = 0, 1, 2, \dots$, средним значением:

$$C = \sum_e c \rho(c) \quad (1)$$

с функцией распределения:

$$U(c) = \sum_{c \neq \emptyset}^v \rho(c) \quad (2)$$

¹ Мурманский Государственный технический университет (МГТУ).

Величину $Z = C - I$ назовем средним запасом живучести системы, $U \langle \rangle$ - уязвимостью, а $V \langle \rangle = 1 - U \langle \rangle = \sum_{c=v+1}^{\infty} \rho \langle \rangle$ - выживаемостью при

v - кратном возникновении дефектов в системе. Надежность системы тесно связана с ее живучестью. Так, вероятность безотказной работы системы будет:

$$R \langle \rangle = \sum_{c \neq \emptyset} f \langle \rangle, t \rangle \langle \rangle \quad (3)$$

где $f \langle \rangle, t \rangle$ - вероятность возникновения в системе за время t c дефектов. Для простейшего потока дефектов ω она может быть вычислена по формуле:

$$f \langle \rangle, t \rangle = \frac{(\omega t)^c}{c!} e^{-\omega t} \quad (4)$$

Вероятность отказа системы:

$$Q \langle \rangle = \sum_{c \neq \emptyset} f \langle \rangle, t \rangle \langle \rangle \quad (5)$$

среднее время безотказной работы: $T = C\theta$,

где θ - среднее время между соседними моментами возникновения дефектов $\theta = \frac{1}{\omega}$.

Поток отказов восстанавливаемой (после отказа) системы определяется параметром:

$$\Omega \langle \rangle = \frac{\omega \langle \rangle}{C} \quad (6)$$

где $\omega \langle \rangle$ - параметр пуассоновского потока дефектов в системе (для простейшего $\omega \langle \rangle = \omega = const$).

В работе была проведена декомпозиция системы, определен вектор состояния системы $X = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$, двоичные переменные x_i которого в свою очередь описывают обобщенные состояния ее подсистем (работоспособное состояние $x_i = 1$ и состояние отказа $x_i = 0$).

Конкретное состояние X , в которое должна попасть система, определяется характером разрушающих процессов, описываемого вектором распределения дефектов по подсистемам: $D = \langle d_1, d_2, \dots, d_n \rangle$.

Вероятность осуществления d -кратного дефектирующего воздействия по варианту определяется по формуле:

$$P \langle \rangle | d \rangle = \sum_{D \in M_d} \frac{d!}{d_1! d_2! \dots d_n!} \prod_{i=1}^n \alpha_i \langle \rangle \wedge d_i \rangle \quad (7)$$

Здесь $\alpha_i \langle \rangle \wedge d_i \rangle = \gamma_i^{d_i} P_i \langle \rangle | d_i \rangle$ - вероятность совместного появления d_i дефектов в i -ой подсистеме (при $d_i \leq d$) и ее состояния x_i , γ_i - вероятность того, что произвольно выбранный дефект в серии из d дефектов придется на i -ю подсистему; если ω_i - поток дефектов в этой подсистеме, а суммарный по-

ток дефектов равен ω , то $\gamma_i = \frac{\omega_i}{\omega}$ и, следовательно,

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i = 1.$$

В работе [2] для сокращения размерности исходной задачи предлагается использовать способ уменьшения размерности задачи, при котором число переборов оказывается равным $(n-1)d$.

Расчленим искусственно систему на комплексы. Первый комплекс k_1 состоит из первой подсистемы, так что $k_1 = x_1$, а каждый последующий комплекс k_i включает i -ю по порядку индексации подсистему x_i и предыдущий комплекс k_{i-1} так, что $k_i = k_{i-1} \wedge x_i$. Очевидно, последний комплекс k_n включает всю систему в целом: $k_n = k_{n-1} \wedge x_n$. Состояние i -го комплекса описывается вектором $K_i = (x_1, x_2, \dots, x_i)$ в качестве значений компонент его берутся значения i первых компонент вектора X , определяющего состояние системы, условная вероятность $P(r|d)$ которого вычисляется.

Начнем вычисления с комплекса k_1 . Очевидно, k_1 вероятность совместного наступления в нем v дефектов и состояния K_1 будет $P(K_1 \wedge v) = \alpha_1(x_1 \wedge v)$. Поскольку в каждом из комплексов может быть сосредоточено $v \leq d$ дефектов, то соответствующие вероятности $P(K_i \wedge v)$ должны быть вычислены для всех значений v на интервале $(\emptyset - d)$.

Если подсистема не обладает запасом живучести, то вероятность совместного наступления v дефектов и заданного состояния подсистемы выразится следующим образом:

$$\alpha(x \wedge v) = \begin{cases} \gamma^v x & \text{при } v = \emptyset \\ \gamma^v \bar{x} & \text{при } v > \emptyset \end{cases} \quad (8)$$

Пусть вероятность $P(K_i \wedge v)$ определена для комплекса k_i и для всех $v \in \overline{\emptyset - d}$. Тогда вероятность $\beta_i(r; v)$ сложного события $s_i(r; v) = (K_{i-1} \wedge r) \wedge (x_i \wedge (v-r))$ может быть вычислена по биномиальной формуле

$$\beta_i(r, v) = \frac{v!}{r!(v-r)!} P(K_{i-1} \wedge r) \alpha_i(x_i \wedge (v-r)) \quad (9)$$

Учитывая, что для некоторого v все события $s_i(r; v)$ в количестве $v+1$, перечисляемые по $r \in \overline{\emptyset, d}$ являются несовместными, имеем

$$P(K_i - 1 \wedge v) = \sum_{r=0}^v \beta_i(r; v) = \sum_{r=0}^v \frac{v!}{r!(v-r)!} P(K_{i-1} \wedge r) \alpha_i(x_i \wedge (v-r)) \quad (10)$$

Вычислив вероятность $P(K_n \wedge v)$ для комплекса k_n , найдем условную вероятность состояния X для всей системы, т. е. $P(X|d) = P(K_n \wedge d)$, так как $\sum_{D \in M_d} p(D) = 1$. Таким образом, используя комплексный, вместо m -кратного применения полиномиальной формулы $(n-1)d$ раз применяем биномиальную. Этим и достигается сокращение объема вычислений при расчете условной вероятности $P(X|d)$.

Проведем структурную декомпозицию шаровой барабанной мельницы (рис.2).

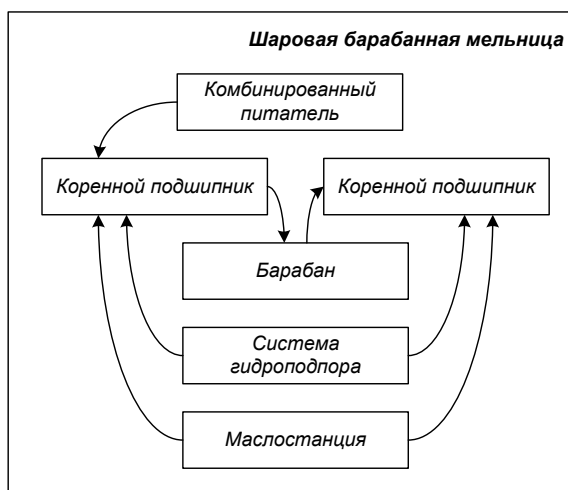


Рис.2. Структурная декомпозиция системы

Разделим пространство состояний процесса X на подпространство X_1 работоспособных состояний и подпространство X_0 неработоспособных состояний, в которых обобщенное состояние системы φ соответственно равно единице и нулю. Выживаемость системы определится как вероятность суммы несовместных событий $X \in X_1$:

$$V(\varphi) = P(X \in X_1) = \sum_{x \in X_1} P(X | d) \quad (11)$$

В табл. 1 перечислены дефекты, которые могут возникнуть в ходе работы мельницы.

Таблица 1

Дефекты, возникающие в процессе эксплуатации барабанной мельницы

Подсистема	Обозначение дефекта	Поток дефектов	Дефект
Коренной подшипник 1	d_1^1	1	Повышение температуры
	d_2^1	1	Снижение давления в клиновом зазоре
	d_3^1	3	Отсутствие смазки
Коренной подшипник 2	d_1^2	1	Повышение температуры
	d_2^2	1	Снижение давления в клиновом зазоре
	d_3^2	3	Отсутствие смазки
Система гидроподпора	d_1^3	2	Забит трубопровод
	d_2^3	2	Износ насоса
Маслостанция	d_1^4	48	Забит фильтр (раз в неделю)
	d_2^4	1	Наличие большого количества воды в масле (постоянно)
	d_3^4	2	Забиты трубы
	d_4^4	2	Износ маслонасоса
Барабан мельницы	d_1^5	3	Ослабление крепежа боковой футеровки
	d_2^5	4	Повреждение сливной решетки
	d_3^5	3	Раскол боковой футеровки
	d_4^5	2	Низкое качество шабровки
	d_5^5	2	Нарушение баббитовой заливки
	d_6^5	1	Наличие инородных тел в баббитовой заливке
	d_7^5	2	Неравномерное прилегание цапфы на баббитовую поверхность
Комбинированный питатель	d_1^6	3	Пронос черпаков
	d_2^6	2	Ослабление крепежа
	d_3^6	1	Износ насадок черпаков
	d_4^6	1	Износ заходной спирали

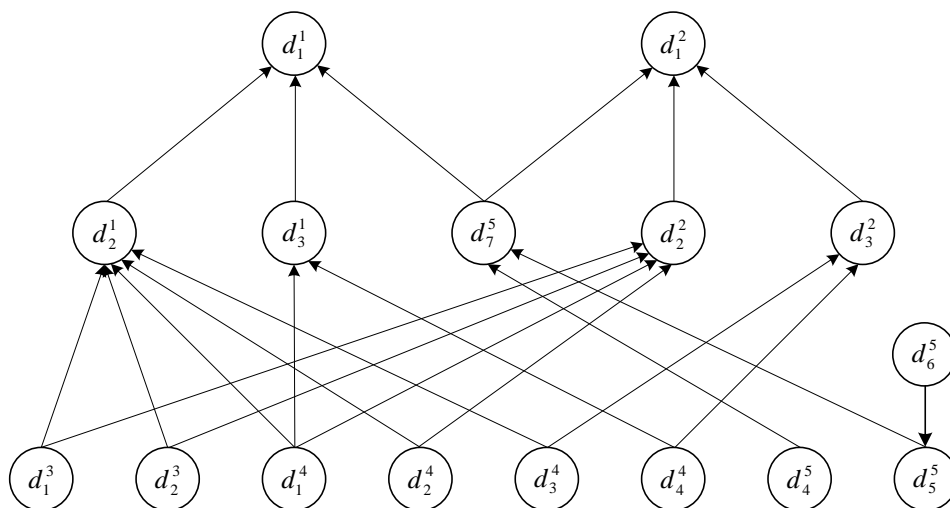


Рис.3. Сценарий развития отказа (перегрев подшипника) в мельнице

На рис. 3 приведен один из сценариев развития отказа в исследуемой системе.

В табл. 2 приведены результаты расчета функции $V(d)$ и ряда распределения живучести $\rho(d) = V(d - 1) - V(d)$ для системы шаровой барабанной мельницы в предположении равенства потоков дефектов всех подсистем, которые считаются простыми с нулевым запасом живучести. Расчет запаса живучести дал результат $Z = 1.92$.

Результат расчета функции $V(d)$ и ряда распределения живучести $\rho(d) = V(d - 1) - V(d)$ в табл. 2.

Таблица 2

Результат расчета функции

$d \leq 5$	$V(d)$	$\rho(d)$	$d \geq 5$	$V(d)$	$\rho(d)$
0	1.000	0.000	6	0.031	0.033
1	0.875	0.125	7	0.014	0.017
2	0.546	0.329	8	0.007	0.007
3	0.268	0.278	9	0.004	0.003
4	0.131	0.137	10	0.002	0.002
5	0.064	0.067	11	0.000	0.000

Критерий живучести системы $V(d)$ и Z хорошо приспособлены в качестве показателей ее структурно – надежностного совершенства. Повышения надежности системы вместе с уменьшением вероятности возникновения в ней дефектов имеет важное значение для оценки безопасности работы технологической системы.

Модель отказа системы с потерей живучести может быть использована не только для расчета ее безопасности, но и для ускорения испытаний оценки безопасности системы, так как в случае известных характеристик живучести наблюдению должны подвергнуться не отказы системы, а возникающие в ней дефекты.

Литература

1. Рябинин, И.Л. Основы теории и расчета надежности судовых электроэнергетических систем / И.Л. Рябинин. - Ленинград: Судостроение, 1971. - 456 с.
2. Горшков, В.В. Логико-вероятностный метод расчета живучести сложных систем / В.В. Горшков // Кибернетика. - Краснодар, 1982. - №1. - С.104-107.
3. Феллер, В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения / В. Феллер. - Москва: Мир, 1967. - 498 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ОБОГАЩЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОЛОГИЙ IDEF

Л.П. Попова, А.Г. Олейник

Известно, что одними из важнейших минерально-сырьевых ресурсов Кольского полуострова являются Хибинские апатито-нефелиновые руды. В ходе различных научных исследований в области комплексной переработки и флотации апатито-нефелиновых руд появляются новые технологические разработки, которые могут быть основой новых методов и технологий промышленного производства [7, 8, 9, 10, 11]. Особое место среди них занимают информационные системы поддержки практического управления процессами обогащения. Такие системы должны обеспечивать оперативный мониторинг технологического процесса и анализ его параметров с целью обнаружения отклонений от заданного «регламента». Так как производственный процесс является инерционным и последствия управляющего воздействия проявляются с некоторой задержкой, то в этой системе необходима реализация управления в упреждающем режиме [1, 3] важнейшей задачей, которую необходимо решить для внедрения информационной системы, обеспечивающей оперативный мониторинг показателей технологического процесса и управления им в упреждающем режиме, является четкое определение её функций, структуры и принципов реализации [1].

В настоящей работе представлена модель системы поддержки управления технологическим процессом флотации апатито-нефелиновых руд в упреждающем режиме, разработанная на основе IDEF-методологий структурного системного анализа [2]. Можно выделить три основные идеи [2, 5], лежащие в основе методологий IDEF:

1) разбиение исследуемого процесса на функциональные блоки — подпроцессы исходя из ряда принципов, например «определенности» (выход каждого блока должен быть, ясно понимаем независимо от сложности происходящего процесса), «единственности» и т.д.;

2) использование иерархических структур для детализации рассматриваемых процессов до уровней, определяемых целями моделирования;

3) использование для наглядного представления модели графических нотаций с возможностью «текстового» разъясняющего дополнения.

Методологии IDEF позволяют анализировать исследуемый процесс с различных точек зрения. IDEF3 и DFD (Data Flow Diagram) [2]:

• Согласно технологии функционального моделирования IDEF0 (Integration Definition for Function Modelling) - анализируемый процесс представляется в виде совокупности множества взаимосвязанных действий, работ (Activities),

которые взаимодействуют между собой на основе определенных «управлений» (Control), с учетом потребляемых информационных, человеческих и производственных ресурсов (Mechanism), имеющих четко определенный вход (Input) и не менее четко определенный выход (Output);

• Методология IDEF3 [12] предназначена для документирования процессов, происходящих в системе и предоставляет инструментарий для наглядного исследования и моделирования их сценариев. Средствами IDEF3 можно детально представить картину процесса, привлекая внимание к очередности выполнения функций и производственного процесса в целом. С помощью IDEF3 описываются сценарий и последовательность операций для каждого процесса. IDEF3 имеет прямую взаимосвязь с методологией IDEF0 – каждая функция (функциональный блок) может быть представлена в виде отдельного процесса средствами IDEF3. Благодаря внутренней логике этой методологии возможно построение альтернативных сценариев типа «Что-если?»

• Диаграммы потоков данных DFD (*Data Flow Diagrams*) позволяют описать процесс обмена информацией между элементами моделируемой системы. Исторически методология DFD предшествовала появлению методологий семейства IDEF, а в настоящее время она используется как дополнение к IDEF0 и IDEF3.

Использование методологий IDEF дает возможность рассмотреть важнейшие стороны работы системы с тем уровнем детализации, который будет необходим для четкого понимания и анализа её структуры и функционирования [4].

Построение модели системы позволит ответить на следующие вопросы:

- Какова структура разрабатываемой системы?
- Каковы функции каждого из её компонентов?
- Каким образом компоненты взаимодействуют между собой?
- Какие данные будут использоваться каждым из компонентов?

Формируемая модель охватывает только аналитико-прогностическую часть системы поддержки управления. Среда, в которой она будет работать и средства, которыми будет осуществляться передача данных, на настоящий момент не рассматриваются. Глубину детализации следует ограничить рассмотрением принципов и порядка функционирования компонентов системы и связями между компонентами, не спускаясь до моделирования конкретной реализации компонентов.

Моделирование

В соответствии с методологией IDEF перед началом моделирования необходимо сформулировать словесное описание проектируемой системы.

Основная идея работы системы заключается в том, что параметры производственного процесса являются взаимозависимыми: одни параметры можно считать *простыми* - их значения фиксируются с помощью датчиков, а другие - *комплексные* - являются функциями от простых параметров. Простые параметры, получаемые с помощью датчиков, образуют *базу данных простых параметров*. Так как процесс обогащения состоит из множества подпроцессов и этапов, то взаимозависимость параметров технологического процесса может приобретать довольно сложную форму. Например, значение простого параметра одного этапа процесса зависит от значения комплексного параметра предыдущего этапа. Будем называть эти взаимозависимости *аналитическими функциями*. Некоторые аналитические функции можно вывести теоретически, а остальные - только эмпирическим путём. База данных аналитических функций и их предельных значений для всех совокупностей наблюдаемых параметров образуют *аналитическую базу знаний*. Для этих функций можно определить предельные значения, в рамках которых ход процесса на данном этапе будет считаться нормальным и по отклонению, от которых можно сделать *прогноз* - вывод о дальнейшем ходе технологического процесса. Зависимости между отклонениями значений аналитических функций и значениями других параметров производственного процесса также частично могут быть предсказаны теоретически, а в остальных случаях - получены эмпирически. Совокупность этих зависимостей образует *прогностическую базу знаний*. Если в результате прогнозирования становится ясно, что в ходе технологического процесса ожидаются отклонения, то должно быть найдено решение (набор управляющих команд), воз-

вращающее ход процесса в нормальное русло. Каждому прогнозу можно поставить в соответствие определенное решение. Совокупность прогнозов, которым поставлено в соответствие решение, назовём *базой знаний решений*. Некоторые соответствия прогнозов и решений могут быть выведены теоретически, а остальные должны быть получены эмпирическим путём по результатам анализа различных реальных ситуаций на производстве и методов их решения.

Для осуществления мониторинга хода технологического процесса и управления им в упреждающем режиме моделируемая система реализует следующие этапы:

1. Регулярно обращается к базе данных простых параметров и выбирает из неё параметры группами, соответствующими наблюдаемым комплексным параметрам.
2. Определяет соответствующую наблюдаемому комплексному параметру аналитическую функцию и по её значению прогнозирует дальнейший ход технологического процесса.
3. На основании прогноза подготавливает решение: управляющие команды либо уведомление оператору о необходимости его вмешательства в ход процесса.

После словесного описания функционала системы перейдём к непосредственному описанию модели. Начнём с модели IDEF 0, как с более общей, и будем, при необходимости, расширять её моделями IDEF 3 и DFD [2].

На самом верхнем уровне (контекстный блок диаграммы IDEF-0) проектируемая система моделируется как «чёрный ящик», на вход которого подаются значения параметров производственного процесса, и на выходе, с помощью аналитического алгоритма и под управлением правил анализа, получают управляющие команды, или подается сигнал оператору. Контекстный блок изображён на рис. 1.

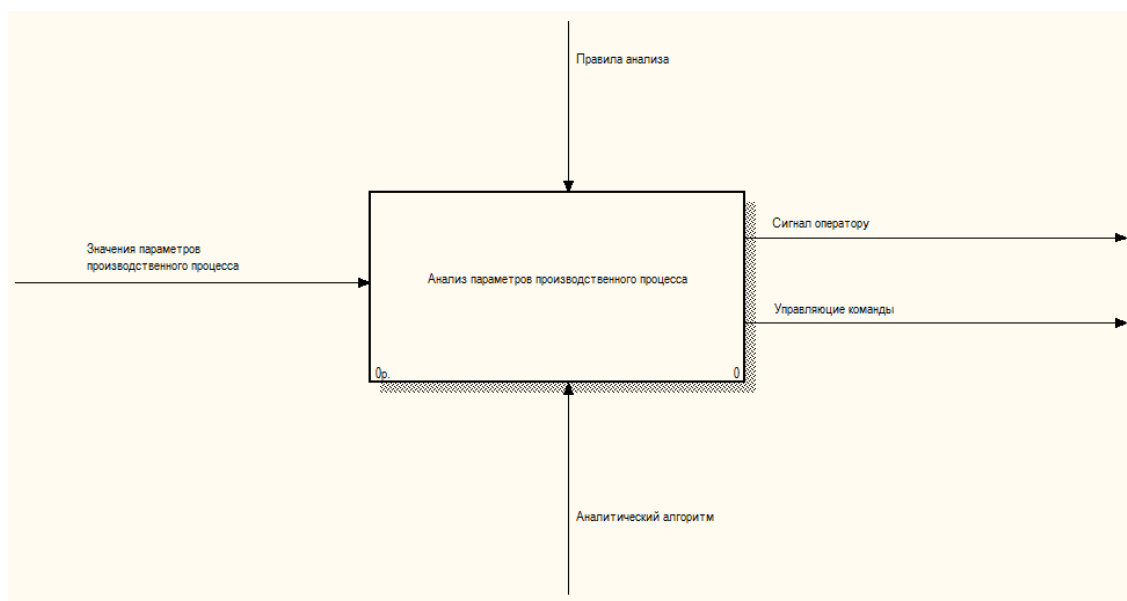


Рис. 1. Контекстная диаграмма

В результате декомпозиции контекстного блока были определены ключевые действия, из которых

состоит работа системы. Они показаны на диаграмме декомпозиции контекстного блока (рис. 2).

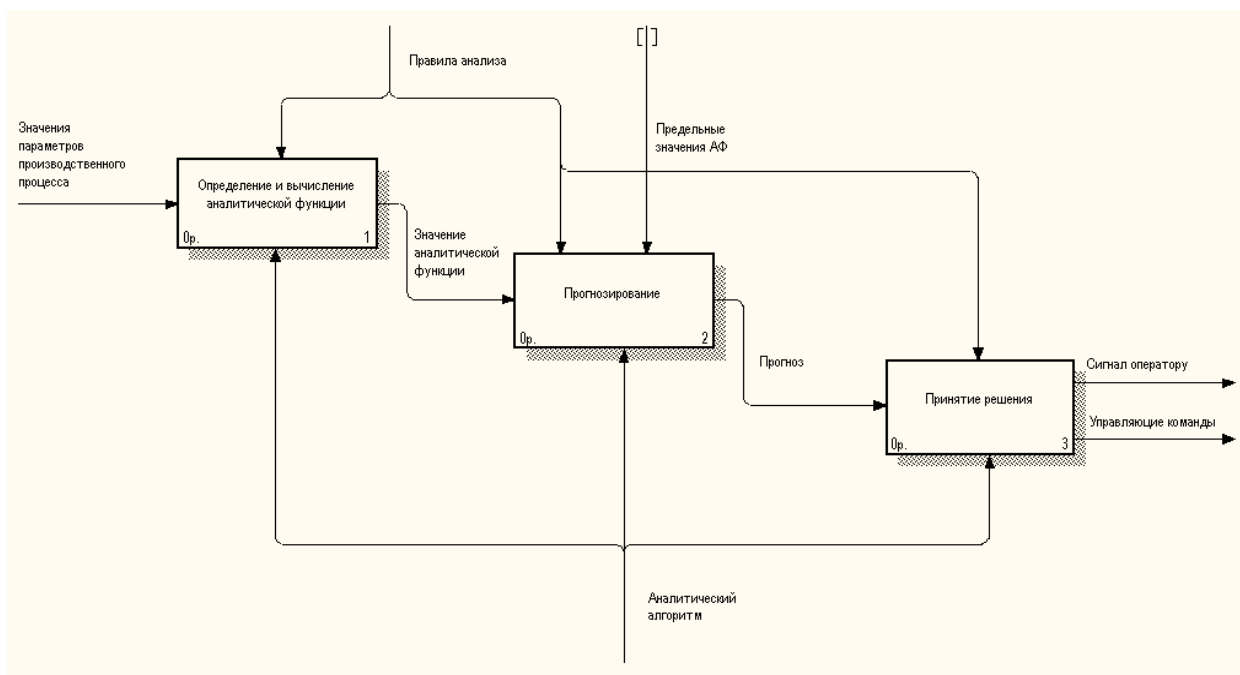


Рис.2. Диаграмма декомпозиции контекстного блока

Опишем эти действия:

1. *Определение и вычисление аналитической функции* – подбор аналитической функции, определяющей зависимость между наблюдаемым комплексным параметром и входными параметрами технологического процесса, подстановка в неё входных значений параметров и вычисление её значения на данный момент времени.

2. *Прогнозирование* – на основе значения аналитической функции делается прогноз об изменении наблюдаемого комплексного параметра

или зависимых от него параметров технологического процесса в дальнейшем.

Принятие решения – исходя из сделанного прогноза, принимается решение о посылке управляющих команд для корректировки хода технологического процесса.

Далее будем производить декомпозицию каждого из этих действий до тех пор, пока не будет достигнута цель моделирования.

Диаграмма декомпозиции действия «Определение и вычисление аналитической функции» показана на рис. 3.

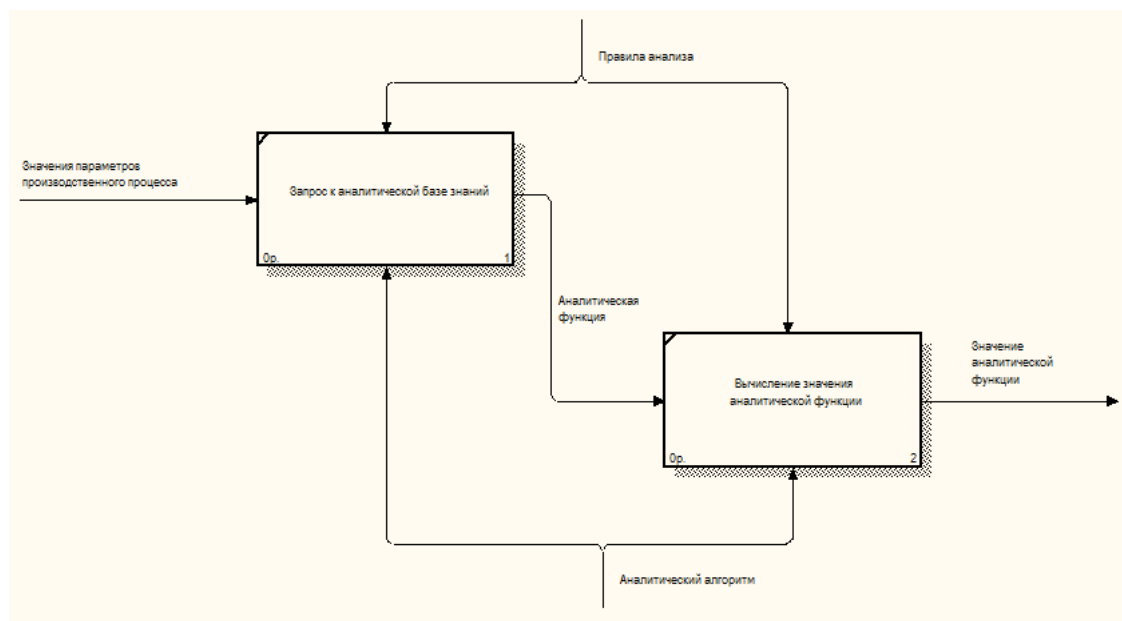


Рис.3. Диаграмма декомпозиции действия «Определение и вычисление аналитической функции»

Определение и вычисление аналитической функции состоит из двух подзадач:

1. *Запрос к аналитической базе знаний* – к аналитической базе знаний делается запрос, который по входным параметрам технологического процесса определяет вид зависимости (аналитической функции) между входными простыми параметрами и наблюдаемым комплексным параметром.

2. *Вычисление значения аналитической функции* – в определённую в предыдущем действии аналитическую функцию подставляются входные

значения параметров технологического процесса, и вычисляется значение этой функции.

Дальнейшая декомпозиция этих действий производиться не будет, так как при этом будут отображаться конкретные аспекты реализации моделируемой системы, а это выходит за обозначенные нами границы моделирования.

Декомпозицию действия «Прогнозирование» осуществим с помощью технологии IDEF-3, чтобы подробнее отобразить логику этого подпроцесса. Диаграмма IDEF-3 декомпозиции этого действия представлена на рис. 4.

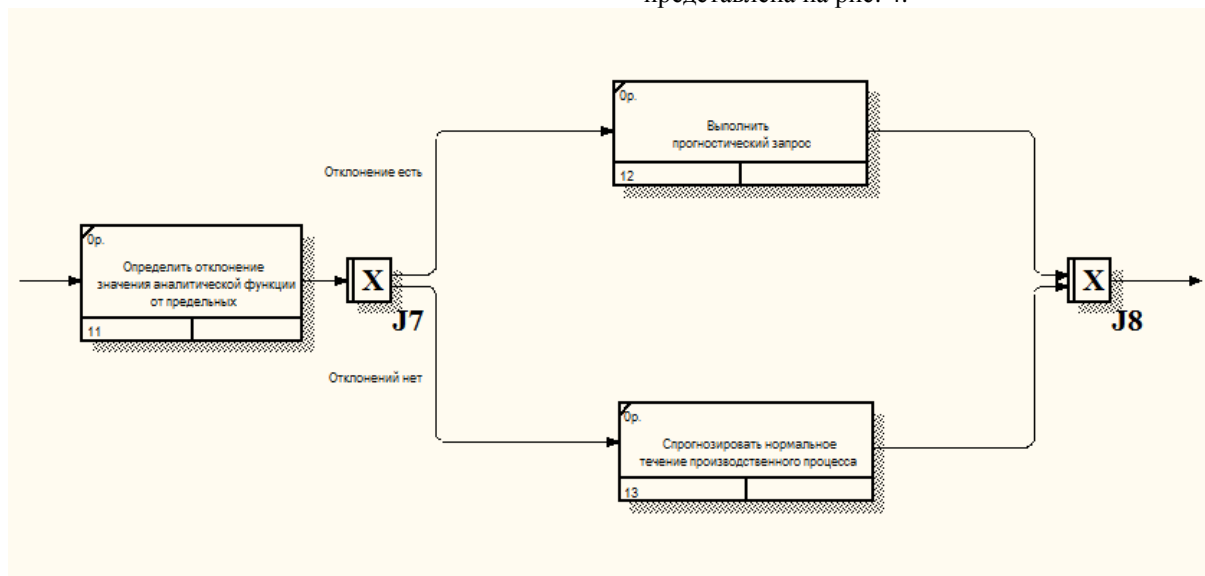


Рис.4. Диаграмма декомпозиции действия «Прогнозирование»

Этот процесс состоит из следующих шагов:

1. *Определить отклонение значения аналитической функции от предельных* – сравнить полученное в результате вычисления значения аналитической функции с определёнными для этой функции предельными значениями:

2. Если отклонений не выявлено, то *спрогнозировать нормальное течение производственного процесса* – сделать вывод о том, что технологический процесс идёт в рамках установленного «регламента» [3].

3. Если были выявлены отклонения, то *выполнить прогностический запрос* – выполнить запрос к прогностической базе знаний и получить прогноз изменения наблюдаемого параметра и/или зависимых от него параметров технологического процесса.

Декомпозицию действия «Принятие решения» также осуществим с помощью технологии IDEF-3. Диаграмма (IDEF-3) декомпозиции этого действия представлена на рис. 5.

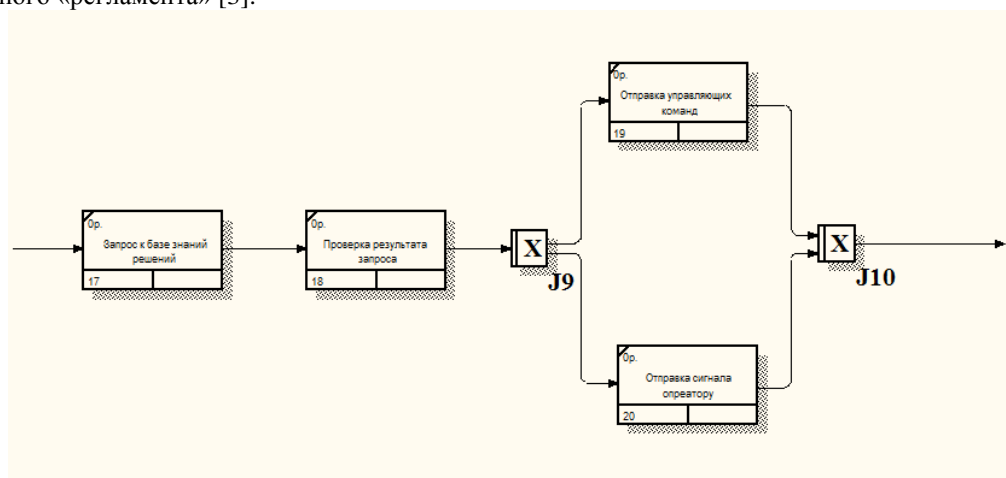


Рис.5. Диаграмма декомпозиции блока «Принятие решения»

Для осуществления действия «принятия решения» нужно выполнить следующие шаги:

1. *Запрос к базе знаний решений* – поиск решения, соответствующего сделанному прогнозу и возвращающего ход технологического процесса в нормальное русло.

2. *Проверка результата запроса* – проверка наличия решения, соответствующего сделанному прогнозу.

3. Если результата не существует, то выполняется *отправка сигнала оператору* – уведомление оператора о необходимости его вмешательства в ход технологического процесса для осуществления того или иного действия, после которого параметры процесса будут возвращены к нормальным показателям.

4. Если результат запроса содержит решение, то происходит *отправка управляющих команд* – автоматическое воздействие системы мониторинга на технологический процесс.

Таким образом, путем описанной выше декомпозиции основных функциональных блоков модели, были достигнуты обозначенные в настоящей работе цели моделирования.

Следующей важнейшей для реализации системы задачей является определение зависимостей между параметрами производственного процесса и создание базы данных аналитических функций и предельных параметров их значений, а так же создание прогностической базы знаний и базы знаний решений.

Литература

1. Олейник, А.Г. Проблемы практического использования средств информационной поддержки в управлении производственными процессами обогащения минеральных полезных ископаемых / А.Г. Олейник, Л.П. Попова, В.Ф. Скороходов // Информационные технологии в региональном развитии: сб. науч. тр. – Апатиты: КНЦ РАН. - 2008. - Вып. VIII. - С.90-97.
2. Черемных, С.В. Моделирование и анализ систем. IDEF-технологии: практикум / С.В. Черемных, И.О. Семенов, В.С. Ручкин. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 192 с.
3. Олейник, А.Г. Использование информационных технологий в управлении процессами обогащения и переработки апатито-нефелиновых руд. / А.Г. Олейник, Л.П. Попова, В.Ф. Скороходов // Всероссийская научно-техническая конф. «Приоритетные направления развития науки и технологий». – Тула 2009. - С.73-75.
4. Кальянов, Г.Н. Моделирование, анализ, реорганизация и автоматизация бизнес-процессов: учеб. пособие / Г.Н. Кальянов. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 240 с.
5. Клейменова, М.С. Системный подход к проектированию сложных систем / М.С. Клейменова // Журнал д-ра Добба. - 1993. - №1. - С.9-14
6. Олейник, А.Г. Создание средств информационной поддержки для разработки рациональных технологий переработки минерального сырья / Олейник А.Г., Скороходов В.Ф., Гершенкоп А.Ш. // Современные методы комплексной переработки руд и нетрадиционного минерального сырья. (Плаксинские чтения) Материалы междунар. совещания. - Апатиты: КНЦ РАН, 2007. - Ч.1. - С.207-211.
7. Калинин, В.Т. Комплексная переработка апатито-нефелиновых руд: состояние и перспективы / В.Т. Калинин, А.В. Григорьев // Комплексная переработка хибинских апатито-нефелиновых руд. - Апатиты: КНЦ РАН, 1999. - 173 с.
8. Автоматизированная система синтеза оптимальных схем и циклов процессов обогащения / А.Ш. Гершенкоп и др. // Имитационное моделирование в исследованиях проблем регионального развития. - Апатиты, 1999. – С.101-107.
9. Олейник А.Г. Агрегированная математическая модель процессов разделения минеральных компонентов А.Г. Олейник, А.А. Шалатонова // Информационные технологии в региональном развитии: концептуальные аспекты и модели. – Апатиты: КНЦ РАН, 2002. – С.71-74.
10. Олейник А.Г. Построение динамических моделей процессов разделения минеральных компонентов А.Г. Олейник, А.А. Олейник // Информационные технологии в региональном развитии. – Апатиты: КНЦ РАН, 2003. -Вып. 3. - С.141-147.
11. Совершенствование методов моделирования горно-обогатительной технологии на ЭВМ / под ред. Е.М. Филатова. – Апатиты, 1996. – 125 с.
12. Верников, Г. Описание стандарта документирования технологических процессов IDEF3. – Режим доступа: <http://idefinfo.ru/content/view/18/51/>

РЕФЕРАТЫ

УДК 001.123, 001.57

Путилов В.А., Шишаев М.Г., Попова Л.П. Феноменология современной информатизации: основные аспекты и подходы к изучению // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. – Вып. 1. – С. 6-17.

В статье представлен анализ технологических и социальных проявлений информатизации современного общества. Выявлены основные взаимосвязи между эффектами информатизации, сделано заключение о необходимости системного подхода к их исследованию. Рассмотрены возможные подходы к системному изучению технологических и социальных эффектов информатизации. Ил.- 4, табл.- 4, библиогр.- 25.

УДК 004.9, 004.65

Зуенко А.А., Фридман А.Я., Кулик Б.А. Автоматический контроль корректности процесса моделирования в рамках алгебраического подхода // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. - Вып. 1. - С. 18-22.

Предложена алгебра условных кортежей, расширяющая возможности ранее разработанной алгебры кортежей на задачи обработки контекстных ограничений и запросов, которые можно представить в виде логических формул, содержащих элементарные двуместные предикаты. Разработан контекстно-ориентированный подход к формированию ограничений на модель предметной области, позволяющий учитывать и оперативно анализировать как ограничения, общие для всех допустимых моделей, так и ограничения, специфичные для конкретной предметной области. Библиогр.- 6.

УДК 004.9, 004.65

Зуенко А.А., Фридман А.Я. Семантическая обработка информации в современных фактографических системах // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. - Вып. 1. - С. 23-28.

Рассматривается проблема интеллектуализации баз данных в современных фактографических системах. Анализируются достоинства и недостатки реляционных систем управления базами данных, а также рассматриваются основные тенденции их развития. Проведенный анализ показывает, что интеграция баз данных и баз знаний на основе реляционной алгебры в принципе невозможна, и требуется новый математический аппарат для решения обозначенной проблемы. В качестве такого аппарата в статье предлагается алгебра кортежей, которая позволяет представлять данные и знания в виде системы множественных отношений, а также дает возможность реализовывать процедуры логического вывода. Библиогр.- 14.

УДК 004.94

Диковицкий В.В., Шишаев М.Г. Обработка текстов естественного языка в моделях поисковых систем // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. – Вып. 1. – С. 29-34.

Приведен краткий обзор методов обработки текстов естественного языка и их использование в моделях поиска. Рассмотрены основные модели поиска информации, существующие системы семантического поиска. Ил.- 3, библиогр.- 18.

УДК 004.94

Мальков М.В., Малыгина С.Н. Сети Петри и моделирование // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. – Вып. 1. – С. 35-40.

Статья посвящена описанию сетей Петри и применению их в моделировании. Сети Петри - математический аппарат для моделирования динамических дискретных систем. Анализ сетей Петри помогает получить важную информацию о структуре и динамическом поведении моделируемой системы. Ил.- 4, библиогр.- 8.

УДК 004.91:004.89:004.048

Маслобоев А.В., Ломов П. А., Мавренков Н.М. Метод автоматического построения и сравнения контекстов понятий онтологий для оценки их семантической близости // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010.- Вып. 1. - С. 41-45.

Разработан метод автоматического построения и сравнения контекстов понятий различных онтологий для оценки их семантической близости в процессе онтологической интеграции. Метод позволяет устранить субъективности неформальных описаний элементов онтологии и исключает необходимость использования специализированных тезаурусов. Отдельное внимание в работе направлено на создание процедур комплексного анализа корпуса текстов и разработку алгоритмов формирования и сравнения контекстов онтологий. Ил.- 2, библиогр.- 6.

УДК 004.94

Кудинова О.В. Синтез имитационных моделей на основе онтологий с использованием процедуры соотнесения шаблонов и обратной «допараметризации» онтологии // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. -Вып. 1. – С. 46-49.

Рассматривается проблема применения онтологий для синтеза имитационных моделей. В качестве решения предлагается использование технологии концептуальных шаблонов для синтеза динамических моделей сложных систем с дальнейшим применением процедуры «допараметризации» онтологии. Применение предлагаемого подхода показано на примере разрабатываемой онтологии регионального научного центра. Ил.- 1, библиогр.- 4.

УДК 004.94, 519.86

Маслобоев А.В., Максимова В.В. Метод и технология комплексной оценки эффективности инноваций на начальных этапах жизненного цикла на основе математического аппарата теории нечетких множеств // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. - Вып. 1. - С. 50-66.

Рассматривается проблематика оценки эффективности инноваций на начальных стадиях их жизненного цикла. Описываются специфические особенности современных методов и подходов к анализу и оценке эффективности инновационных проектов, общепринятых в отечественной и зарубежной практике. Разработаны нечеткие вычислительные модели частных показателей эффективности инноваций, таких как экономическая, социальная, научно-техническая и экологическая эффективность.

Предложен метод расчета интегрального показателя эффективности инноваций, базирующегося на оценке уровня и соотношения трех факторов: полезного эффекта, экономии и риска по совокупности частных показателей эффективности. Метод основан на применении математического аппарата теории нечетких множеств и позволяет учитывать многокритериальную сущность и высокую неопределенность инноваций на начальных этапах их жизненного цикла. Ил.- 1, Табл.- 1, Библиогр.- 50.

УДК 004.94

Халиуллина Д.Н. Имитационная модель малого инновационного предприятия // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. – Вып. 1. – С. 67-69.

В работе представлена имитационная модель малого инновационного предприятия. Рассматривается инновационный процесс, включающий выбор инновационной идеи, формирование инновационного предприятия и его развитие. Ил.- 3, библиогр.- 3.

УДК 004.75, 004.94

Шишаев М.Г., Потаман С.А. Современные технологии сетей типа ad-hoc и возможные подходы к организации одноранговых телекоммуникационных сетей на базе мобильных устройств малого радиуса действия // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. – Вып. 1. – С. 70-74.

В статье рассмотрены современные технологии динамических самоорганизующихся сетей. Предложены подходы к решению задачи маршрутизации потоков данных в случае динамической сети, состоящей из мобильных узлов. Представлены результаты первичных модельных экспериментов по исследованию эффективности предложенных подходов. Табл.- 1, библиогр.- 7.

УДК 004.75, 004.94

Шишаев М.Г., Широкова З.В. Универсальная инструментальная среда имитационного моделирования проблемно-ориентированных одноранговых информационных сетей // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. – Вып. 1. – С. 75-79.

В работе рассмотрена структура, принципы реализации и функционирования универсальной инструментальной среды имитационного моделирования одноранговых информационных сетей. Выделены типовые функции моделирования одноранговой сети, предложена обобщенная модель функционирования сетей с равнозначными узлами, рассмотрены методы и свойства объектных классов, реализующих имитационную модель сети. Ил.- 3, библиогр.- 5.

УДК 330.1:681.3

Соколов Б.В., Фридман А.Я., Фридман О.В., Цивирко Е.Г. Ситуационный подход к управлению структурной динамикой в цепях поставок виртуального предприятия // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии.- Апатиты, 2010. – Вып. 1. – С. 80-83.

В классе задач управления структурной динамикой производственных и логистических бизнес-процессов предложено решение задачи комплексного планирования в пространственно распределенной системе реальных предприятий с целью создания виртуальных предприятий. Динамическая интерпретация оперативного планирования для виртуального предприятия позволяет найти эффективные компромиссные решения по распределению управляющих функций среди элементов цепей поставок, в том числе с учетом реконфигурации в случае отказов. Ил.- 1, библиогр.- 17.

УДК 004.94

Шемякин А.С. Выбор оптимальной стратегии продвижения образовательной услуги // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии.- Апатиты, 2010. – Вып. 1. –С. 84-88.

В статье предложена модель, позволяющая оценить востребованность образовательной услуги на рынке образовательных услуг. Рассмотрены результаты работы модели при различных стратегиях поведения агентов. В ряде случаев оптимальной стратегией является объявление набора в ВУЗ на основе исторических данных. Ил.-4, библиогр.- 2.

УДК 004.9

Суворов А.Ю. Метод структурной аналогии как способ организации эффективного кадрового менеджмента // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. - Вып. 1. - С. 89-92.

Одним из эффективных методов снижения проблемы дисбаланса специалистов различного профиля на рынке труда представляется переподготовка специалистов. Наиболее выгодной с точки зрения финансовых и временных затрат является переподготовка работников, имеющих «близкую» к требуемой специальности. В работе предлагается вариант решения задачи оценки степени подобия специальностей на основе анализа внутренней структуры государственных образовательных стандартов и структурных аналогий. Табл.- 1, библиогр.- 4.

УДК 004.9

Мальков М.В., Олейник А.Г., Федоров А.М. Моделирование технологических процессов: методы и опыт // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. - Вып. 1. - С. 93-101.

В обзоре рассматриваются общие подходы к моделированию технологических процессов. Рассмотрены этапы создания моделей технологических процессов, компьютерное моделирование, имитационное моделирование. Приведены примеры практического использования моделей в научных исследованиях ИИММ КНЦ РАН. Ил.-1, библиогр.- 22.

УДК 004.9

Яковлев С.Ю., Рыженко А.А., Исакевич Н.В. Элементы И³-технологии оценки риска чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. - Вып. 1. - С. 102-104.

Вводится определение И³-технологии, интегрирующей свойства информационной, интеллектуальной и инновационной технологий. В качестве примера рассматриваются наработки Института по анализу техногенно-природной безопасности. Ил. – 5, библиогр. – 4.

УДК 65.011.42

Назаров С.Г. Снижение трудозатрат на бизнес-планирование для горнодобывающих предприятий //Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. - Вып. 1. - С. 105-107.

В статье анализируются существующие методики бизнес-планирования на горнодобывающих предприятиях. В результате этого анализа выявляется общий значительный недостаток указанных методик: прямая зависимость между степенью эффективности составляемого бизнес-плана и величиной трудозатрат на его формирование. Также в статье рассмотрены теоретические основы новой методики – методологии поэтапного комплексного бизнес-планирования, применимой на горнодобывающих предприятиях и лишённой указанного недостатка. Библиогр.- 4.

УДК 681.5

Кузнецов П.В., Богатиков В.Н., Пророков А.Е. Нейро-сетевая модель прогнозирования функции разрушения измельчаемого материала // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. – Вып. 1. – С. 108-111.

Рассмотрена ячеечная модель технологической системы измельчения замкнутого цикла с подводом возврата в промежуточное сечение. На ее основе, с применением нейронной сети, составлена модель функции разрушения материала. Заданы термножества, определены лингвистические переменные, составлены правила нечеткого вывода. Полученная нейронная модель позволяет прогнозировать функцию разрушения материала и аппроксимировать зависимости данной функции от минералогического состава измельчаемого материала. Ил.- 4, табл.-1. библиогр.- 10.

УДК 66:519.7

Кузнецов П.В., Богатиков В.Н., Пророков А.Е. Алгоритм создания информационной нейро-модели для целей оптимизации управления технологическими процессами измельчения и классификации // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. – Вып. 1. – С. 112-115.

Рассмотрены подходы к созданию автоматизированной системы управления технологическими процессами измельчения и классификации. Перечислены основные требования, предъявляемые к данной системе. Поэтапно рассмотрен алгоритм создания информационной нейро-модели для целей оптимизации управления процессами. В качестве примера приведена схема полносвязной нейронной сети для шаровой барабанной мельницы. Ил.- 3, библиогр.- 4.

УДК 004.942:622.7

Скороходов В.Ф., Юрзин С.В., Бирюков В.В. Применение систем инженерного анализа для исследования гидродинамических характеристик газожидкостных потоков // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии.- Апатиты, 2010. - Вып. 1. - С. 116-119.

В работе приводятся результаты применения системы инженерного анализа (CAE-системы) ANSYS для исследования гидродинамических характеристик газожидкостных потоков в колонной флотационной машине. Кратко рассмотрены основы методов вычислительной гидродинамики (CFD-методов) и многоуровневого подхода к моделированию гидродинамики процесса флотации. На основе анализа результатов исследований (поле скоростей и линии тока газожидкостной смеси, распределение объемной доли газа) делается вывод о том, что гидродинамические условия в колонной флотационной машине близки к оптимальным. Ил.- 4, библиогр.- 8.

УДК 519.711.2:622.7:622.341

Бирюков В.В., Опалев А.С. Исследование процессов стабилизации магнитоожигенного слоя ферромагнитной суспензии в однородном и градиентном магнитных полях методами вычислительной гидродинамики // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. - Вып. 1. - С. 120-125.

В программной среде ANSYS-FLUENT реализованы аналитические модели закрученных течений ферромагнитной суспензии в однородных и градиентных магнитных полях цилиндрических соленоидов. Методами вычислительной гидродинамики (CFD) исследовано влияние неоднородности магнитного поля на стабилизацию возникающего магнитоожигенного слоя (MSFB). Показано, что использование градиентного магнитного поля меняет структуру MSFB, способствует снижению продольных неоднородностей плотности слоя и, в целом, улучшает сепарационные характеристики обогатительных аппаратов, работающих по магнитно-гравитационному принципу. Ил.- 8, библиогр.- 12.

УДК 622.75: 519.711.2

Хохуля М.С., Тарасова А.С. Моделирование процесса гидравлической сепарации слюдяных руд с использованием методов вычислительной гидродинамики // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. - Вып. 1. - С. 126-128.

Рассматриваются результаты численного моделирования течений суспензий в восходящем потоке разделительной среды применительно к процессу гидравлической сепарации слюдяных руд. Методами вычислительной гидродинамики установлен различный характер распределения объемной концентрации и средних скоростей частиц по высоте и сечению модели гравитационного аппарата в зависимости от их формы и крупности. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации гидродинамических характеристик отдельных элементов гидравлического сепаратора. Ил.- 2, табл.- 1, библиогр.- 5.

УДК 681.5

Морозов И.Н., Богатиков В.Н. Косвенная оценка ущерба в зависимости от состояния технологического оборудования // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. – Вып. 1. – С. 129-130.

Рассматривается методика оценки ущерба в зависимости от состояния оборудования. Вводится понятие индекса ущерба как меры количественной оценки ущерба при нечеткой информации. Представлен пример оценки возможного ущерба от функционирования узла каталитической очистки газов производства слабой азотной кислоты. Показано, что возможна косвенная оценка величины ущерба, наносимого окружающей среде, оборудованию, системе управления и другим объектам, при отсутствии полной информации о стоимостных показателях наносимого вреда. Ил.- 3, табл.- 1, библиогр.- 1.

УДК 66.0.004.2

Соболева Ю.В., Богатиков В.Н., Пророков А.Е. Анализ технологической безопасности промышленных процессов на основе оценки рисков на примере выпаривания электролитических щелоков // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. – Вып. 1. – С. 131-136.

Рассмотрен формальный аппарат анализа технологической безопасности промышленных процессов на основе оценки рисков. Предложены мероприятия, направленные на минимизацию риска и соответствующего ущерба, как по материальным, так и по тепловым составляющим технологического процесса выпаривания электролитических щелоков. Табл.- 1, ил.- 8, библиогр.- 2.

УДК 66:519.7

Кузнецов П.В., Богатиков В.Н., Кириченко А.Э. Построение модели отказа системы с потерей живучести для целей управления безопасностью технологического процесса измельчения // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. – Вып. 1. – С. 137-140

Описывается модель отказа системы с потерей живучести для целей управления технологической безопасностью процесса измельчения. Проведена декомпозиция шаровой барабанной мельницы. Перечислены дефекты, возникающие в ходе технологического процесса. Также приведено графическое представление сценария возникновения отказа измельчительного аппарата и рассчитано значение запаса живучести исследуемой системы. Табл.- 2, ил.- 3, библиогр.- 3.

УДК 004.94

Попова Л.П., Олейник А.Г. Моделирование системы управления технологическим процессом обогащения с помощью методологий IDEF // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. -Апатиты, 2010. -Вып. 1. – С. 141-145.

В работе представлена структурная модель информационной системы поддержки управления технологическим процессом обогащения руд, реализованная на основе методологий IDEF. Формируемая модель охватывает аналитико-прогностическую часть системы поддержки управления. Ил.- 5, библиогр.- 12.

ABSTRACTS

UDC 001.123, 001.57

Putilov V.A., Shishaev M.G., Popova L.P. Phenomenology of Modern Informatization: Major Studying Aspects and Approaches // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 6-17.

The paper analyzes technological and social aspects of informatization in modern society. Basic interrelations between informatization effects are singled out. System approach is stated as essential in studying of the effects. Possible approaches to system analysis of technological and social effects of informatization are considered. Fig. – 4, Table – 4, Ref. – 25.

UDC 004.9, 004.65

Zujenko A.A., Fridman A.Ya., Kulik B.A. Automated Control of Modelling Process Correctness within the Framework of Algebraic Approach // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 18-22.

The paper introduces algebra of conditional n-tuples extending abilities of the formerly developed n-tuple algebra in processing of contextual restrictions and queries expressed by logical formulas containing elementary two-place predicates. The proposed context-oriented approach to forming restrictions for a subject domain model allows for consideration and prompt analysis of both general limitations for all admissible models and domain-specific limitations. Ref. – 6.

UDC 004.9, 004.65

Zujenko A.A., Fridman A.Ya. Semantic Data Processing in Modern Factographic Systems // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 23-28.

The article examines the problem of developing intelligent databases in modern factographic systems. Merits and demerits of relational database management systems are analyzed, and new basic trends are studied as well. The analysis reveals that integration of databases and knowledge bases within relational algebra is essentially impossible, and new mathematical system is needed to solve the stated problem. Therefore the authors propose n-tuple algebra that serves to represent data and knowledge as a system of multiplace relations, as well as to realize logical inference procedures. Ref. – 14.

UDC 004.94

Dikovitsky V.V., Shishaev M.G. Processing of Human Language Texts in Search Systems Models // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010.- Iss. 1. - P. 29–34.

The paper gives a short review of methods for human language texts processing and their application to search models. Basic models for information search and existing systems of semantic search are considered. Fig. – 3, Ref. – 18.

UDC 004.94

Malkov M.V., Malygina S.N. Petri Nets and Modelling // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 35-40.

The paper describes Petri nets and their application to modelling. Petri nets is a mathematical tool in modelling of dynamic discrete systems. Petri nets analysis assists in obtaining information on structure and behavior of the modelled system. Fig. – 4, Ref. – 8.

UDC 004.91:004.89:004.048

Masloboev A.V., Lomov P.A., Mavrenkov N.M. Method for Automatic Formation and Comparison of Ontologies Concept Contexts for Their Semantic Distance Assessment // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 41-45.

A method for automatic formation and comparison of different ontologies concept contexts for their semantic distance assessment in the process of ontological integration is developed. The method serves to eliminate human factor in ontology elements informal descriptions. It makes unnecessary special-purpose thesaurus application. Special concern is given to implementation of text frame complex analysis and development of algorithms for ontology contexts formation and comparison. Fig. - 2, Ref. - 6.

UDC 004.94

Kudinova O.V. Ontology-Based Simulation Models Synthesis Employing Patterns Correlation and Reverse Ontology Extra Parametrization // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 46-49.

The paper concerns the problem of ontologies' application in simulation models synthesis. Technology of conceptual patterns is treated as a solution. The patterns can be utilized in synthesizing of dynamic models of complex systems and in further application of ontology «extra parameterization». The application of the introduced approach is demonstrated on an example of ontology for a regional science center. Fig. – 1, Ref. – 4.

UDC 004.94, 519.86

Masloboev A.V., Maksimova V.V. Method and Technology for Complex Assessment of Innovation Efficiency at Initial Stages of its Life Cycle Basing on Mathematical Tool of Fuzzy Sets // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 50-66.

The paper deals with the problem of innovation efficiency assessment at initial stages of its life cycle. Particular features of modern Russian and foreign methods and approaches to analysis and assessment of innovative resources efficiency are elicited. Fuzzy computing models for specific indexes in innovation efficiency, namely economical, social, research and technology and ecological are developed.

Calculation method for integral index of innovation efficiency is presented. It is based on the estimation of stage and interrelation of the three factors: useful effect, economy and risk according to the sum of specific efficiency indexes. The method involves application of mathematical tool of fuzzy sets and takes into account multicriteria nature and high degree of fuzziness at initial stages of the life cycle. Fig. – 1, Table – 1, Ref. – 50.

UDK 004.94

Khaliullina D.N. Simulation Model of a Small-Scale Innovative Enterprise // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 67-69.

The paper presents simulation model of a small-scale innovative enterprise. The following stages of innovation process are considered: innovation idea selection, establishment and development of an innovation enterprise. Fig.- 3, Ref.- 3.

UDC 004.75, 004.94

Shishaev M.G., Potaman S.A. Modern Technologies of Ad-Hoc Networks and Approaches to the Development of Peer-to-Peer Telecommunication Networks Based on Short-Range Mobile Devices // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 70-74.

The article considers modern technologies for dynamic self-organizing networks and introduces approaches for data flows routing in dynamic networks consisting of mobile nodes. Outcomes of the initial model experiments on the efficiency of the introduced approaches are presented. Table – 1, Ref. – 7.

UDC 004.75, 004.94

Shishaev M.G., Shirokova Z.V. Single Source Environment in Simulation of Problem-Oriented Peer-to-Peer Information Networks // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 75-79.

The paper studies structure, implementation and operation procedures for a single source environment in simulation of peer-to-peer information networks. Typical functions for a peer-to-peer network modelling are singled out. A generalized model of equisignificant nodes networks operation is proposed. The article considers properties of object classes implementing a network simulation model. Fig. – 3, Ref. – 5.

UDC 330.1:681.3

Sokolov B.V., Fridman A.Ya., Fridman O.V., Tsivirko Ye.G. Situational Approach to Structure Dynamics Control in Supply Chains of Virtual Enterprises // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 80-83.

Within the class of structure dynamics control of industrial and logistic processes, a solution is proposed for integrated planning in a distributed system of real enterprises aimed at creation of virtual enterprises. Dynamical interpretation of operative planning for a virtual enterprise allows for finding efficient compromises in distribution of control activities among supply chains elements considering reconfigurations in case of malfunctions. Fig. – 1, Ref. – 17.

UDC 004.94

Shemyakin A.S. Optimal Strategy in Promotion of Education Service at Education Market // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 84-88.

The paper describes the model ensuring evaluation of demand for education service at education market. Model operating results depending on agents behavior strategies were considered. In some cases the best strategy is to enroll students basing on historical data. Fig. – 4, Ref. – 2.

UDC 004.9

Suvorov A.Yu. Structure Analogy Method in Efficient Personnel Management // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 89-92.

One of the most efficient methods to solve the problem of imbalances at labour market for various specialists is retraining. Finding the most similar specialty to the required one is reasonable from a financial and temporal standpoint. The paper presents a solution in determining the degree of similarity between the specialties basing on the internal structure analysis of the SES (State Educational Standard) and structural analogies. Table-1, Ref. – 4.

UDC 004.9

Malkov M.V., Oleynik A.G., Fedorov A.M. Modelling of Technological Processes: Methods and Experience // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 93-101.

The paper reviews common approaches to modelling of technological processes. Development stages for technological processes models as well as computer modelling and simulation are considered. Examples of practical application of the models in researches of IIMM KSC RAS are given. Fig. – 1, Ref. – 22.

UDC 004.9

Yakovlev S.Yu., Ryzhenko A.A., Issakevich N.V. I³-Technology Elements for Emergencies Risk Assessment at Hazardous Industrial Objects // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1.- P. 102-104.

A definition of I³-technology integrating the properties of information, intellectual and innovation technologies, is introduced. The Institute researches on nature-industrial safety analysis are considered as an example. Fig – 5, Ref – 4.

UDC 65.011.42

Nazarov S.G. Reduction of Manhours for Business Planning at Enterprises in Mining Industry // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 105-107.

The article analyses existing methods of business-planning at enterprises in mining industry. The analysis reveals common significant defect of the methods: direct dependence between the level of efficiency for the developed business plan and amount of manhours for its elaboration. The article considers theoretical bases of the new method for business planning which is applicable at enterprises in mining industry and deprived of this defect. This method is a methodology of integrated step-by-step business planning. Ref. – 4.

UDC 681.5

Kuznetsov P.V., Bogatikov V.N., Prorokov A.Ye. Neuron-Net Model Forecasting Destruction Functions for Crushed Material // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 108-111.

The paper deals with a cell-like model for a technological system of closed-cycle crushing directing the release into transitory cross-section. It forms a basis for the model of material crushing function employing neuron net. Term-sets are assigned, linguistic variables are defined, fuzzy inference rules are set. The neuron model serves to forecast function of material crushing and approximate relation between the given function and mineralogical composition of the crushed material. Fig. – 4, Table – 1, Ref. – 10.

UDC66:519.7

Kuznetsov P.V., Bogatikov V.N., Prorokov A.Ye. Algorithm for Information Neuro-Model Development Optimizing Control of Crushing and Classification Processes // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 112-115.

The paper considers approaches to develop automated system controlling crushing and classifying processes. Basic requirements to the system are enumerated. Stepwise analysis of algorithm for information neuro-model development optimizing processes control is performed. Scheme of a fully connected neuron network for a spherical drum-mill is taken as an example. Fig. – 3, Ref. – 4.

UDC 004.942:622.7

Skorohodov V.F., Yurzin S.V., Biryukov V.V. Application of Engineering Analysis Systems to Study Hydrodynamic Characteristics of Gas-Liquid Flows // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 116-119.

The paper presents application results of engineering analysis system ANSYS in studies of hydrodynamic characteristics for gas-liquid flows in a columned flotation machine. The authors give a short review of computational hydrodynamics methods (CFD-methods) and multilevel approach to modelling of hydrodynamics in a flotation process. The obtained research results (velocity field and gas-liquid flow lines, distribution of gas volume ratio) serve to draw a conclusion that hydrodynamic conditions in a columned flotation machine are near-optimal. Fig. – 4, Ref.-8.

UDC 519.711.2:622.7:622.341

Biryukov V.V., Opalev A.S. Study of Stabilization Processes in Magneto-Separated Layer of Ferromagnetic Dispersion in Homogeneous and Gradient Magnetic Fields by Methods of Computational Hydrodynamics // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 120-125.

Analytical models for swirling flows of ferromagnetic dispersion in homogeneous and gradient magnetic fields of cylindrical solenoids are implemented in a software environment ANSYS-FLUENT. The effect of a heterogeneous magnetic field on stabilizing of magneto-separated layer (MSFB) is studied by methods of computational hydrodynamics (CFD). The article proves that application of a gradient magnetic field transforms the structure of MSFB, reduces linear heterogeneity of the layer density and improves separation characteristics of concentration units that employ magneto-gravitational principle. Fig. – 8, Ref. – 12.

UDC 622.75: 519.711.2

Hohulya M.S., Tarasova A.S. Modelling of Hydraulic Separation Process for Mica Ores Employing Methods of Computational Hydrodynamics // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 126-128.

The paper considers results of computational modelling for dispersions flows in an upflow of isolating medium applicable to the process of hydraulic separation of mica ores. Methods of computational hydrodynamics reveal differences in distribution of volume density and average particles velocity according to the height and cross-section of the gravitational unit model depending on their form and dimensions. The obtained data may be employed for optimizing of hydrodynamic characteristics of certain elements in a hydraulic separator. Fig. – 2, Table – 1, Ref.– 5.

UDC 681.5

Morozov I.N., Bogatikov V.N. Indirect Damage Assessment Based on Condition of Processing Equipment // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 129 – 130.

The paper considers technique of damage assessment depending on equipment condition. The concept of index is introduced as a criterion of quantitative damage estimation due to incomplete information. The article analyses an example of damage estimation caused by the functioning of catalytic gases purification unit at weak nitric acid production. Indirect estimation is stated to be possible for damage of environment, equipment, control system and other objects when there is lack of exact information on cost parameters of the damage. Fig. – 3, Table – 1, Ref. – 1.

UDC 66.0.004.2

Soboleva Yu.V., Bogatikov V.N., Prorokov A.Ye. Analysis of Industrial Processes Safety Based on Risk Assessment, Evaporation of Electrolytic Liquor Taken as an Example // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010. - Iss. 1. - P. 131-136.

The article presents analysis tools of industrial processes safety basing on risk assessment. The proposed measures are aimed at risk and corresponding damage minimization both in cost and thermal components of a technological process of electrolytic liquors evaporation. Table – 1, Fig. – 8, Ref. – 2.

UDC 66:519.7

Kuznetsov P.V., Kirichenko A.E. Model of System Failure Involving Liveness Loss to Control Crushing Process Safety // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010.- Iss. 1. - P. 137-140.

Model of system failure is presented involving liveness loss to control safety of crushing process. Spherical drum-mill is decomposed. Faults occurring within the process are enumerated. Graphical representation of failure scenario for crushing equipment is submitted. Liveness capacity for the considered system is estimated. Table – 2, Fig. – 3, Ref. – 3.

UDC 004.94

Popova L.P., Oleynik A.G. Modelling of Control System for Technological Process of Concentration Employing IDEF Methodologies // Scientific articles of KSC RAS. Information Technologies. – Apatity, 2010.- Iss. 1. - P. 141-145.

The paper describes a structural model of information support system for concentration process control. The model is implemented basing on IDEF methodologies. The developed model comprises analytical and forecasting part of management support system. Fig. – 5, Ref. – 12.

Содержание

Введение	5
<i>Путилов В.А., Шишаев М.Г., Попова Л.П.</i> Феноменология современной информатизации: основные аспекты и подходы к изучению	6
<i>Зуенко А.А., Фридман А.Я., Кулик Б.А.</i> Автоматический контроль корректности процесса моделирования в рамках алгебраического подхода	18
<i>Зуенко А.А., Фридман А.Я.</i> Семантическая обработка информации в современных фактографических системах.....	23
<i>Диковицкий В.В., Шишаев М.Г.</i> Обработка текстов естественного языка в моделях поисковых систем	29
<i>Мальков М.В., Малыгина С.Н.</i> Сети Петри и моделирование	35
<i>Маслобоев А.В., Ломов П. А., Мавренков Н.М.</i> Метод автоматического построения и сравнения контекстов понятий онтологий для оценки их семантической близости.....	41
<i>Кудинова О.В.</i> Синтез имитационных моделей на основе онтологий с использованием процедуры соотнесения шаблонов и обратной «допараметризации» онтологии	46
<i>Маслобоев А.В., Максимова В.В., Шишаев М.Г.</i> Метод и технология комплексной оценки эффективности инноваций на начальных этапах жизненного цикла на основе математического аппарата теории нечетких множеств	50
<i>Халиуллина Д.Н.</i> Имитационная модель малого инновационного предприятия	67
<i>Шишаев М.Г., Потаман С.А.</i> Современные технологии сетей типа ad-hoc и возможные подходы к организации одноранговых телекоммуникационных сетей на базе мобильных устройств малого радиуса действия	70
<i>Шишаев М.Г., Широкова З.В.</i> Универсальная инструментальная среда имитационного моделирования проблемно-ориентированных одноранговых информационных сетей	75
<i>Соколов Б.В., Фридман А.Я., Фридман О.В., Цивирко Е.Г.</i> Ситуационный подход к управлению структурной динамикой в цепях поставок виртуального предприятия	80
<i>Шемякин А.С.</i> Выбор оптимальной стратегии продвижения образовательной услуги	84
<i>Суворов А.Ю.</i> Метод структурной аналогии как способ организации эффективного кадрового менеджмента.....	89
<i>Мальков М.В., Олейник А.Г., Федоров А.М.</i> Моделирование технологических процессов: методы и опыт	93
<i>Яковлев С.Ю., Рыженко А.А., Исакевич Н.В.</i> Элементы И ³ -технологии оценки риска чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах	102
<i>Назаров С.Г.</i> Снижение трудозатрат на бизнес-планирование для горнодобывающих предприятий.....	105
<i>Кузнецов П.В., Богатилов В.Н., Пророков А.Е.</i> Нейро-сетевая модель прогнозирования функции разрушения измельчаемого материала.....	108
<i>Кузнецов П.В., Богатилов В.Н., Пророков А.Е.</i> Алгоритм создания информационной нейро-модели для целей оптимизации управления технологическими процессами измельчения и классификации.....	112
<i>Скорыходов В.Ф., Юрзин С.В., Бирюков В.В.</i> Применение систем инженерного анализа для исследования гидродинамических характеристик газожидкостных потоков	116
<i>Бирюков В.В., Опалев А.С.</i> Исследование процессов стабилизации магнитоожигенного слоя ферромагнитной суспензии в однородном и градиентном магнитных полях методами вычислительной гидродинамики	120
<i>Хохуля М.С., Тарасова А.С.</i> Моделирование процесса гидравлической сепарации слюдяных руд с использованием методов вычислительной гидродинамики	126
<i>Морозов И.Н., Богатилов В.Н.</i> Косвенная оценка ущерба в зависимости от состояния технологического оборудования.....	129
<i>Соболева Ю.В., Богатилов В.Н., Пророков А.Е.</i> Анализ технологической безопасности промышленных процессов на основе оценки рисков на примере выпаривания электролитических шелоков	131
<i>Кузнецов П.В., Богатилов В.Н., Кириченко А.Э.</i> Построение модели отказа системы с потерей живучести для целей управления безопасностью технологического процесса измельчения	137
<i>Попова Л.П., Олейник А.Г.</i> Моделирование системы управления технологическим процессом обогащения с помощью методологий IDEF.....	141
Рефераты	146

Contents

Introduction	5
Putilov V.A., Shishaev M.G., Popova L.P. Phenomenology of Modern Informatization: Major Studying Aspects and Approaches	6
Zujenko A.A., Fridman A.Ya., Kulik B.A. Automated Control of Modelling Process Correctness within the Framework of Algebraic Approach.....	18
Zujenko A.A., Fridman A.Ya. Semantic Data Processing in Modern Factographic Systems	23
Dikovitsky V.V., Shishaev M.G. Processing of Human Language Texts in Search Systems Models	29
Malkov M.V., Malygina S.N. Petri Nets and Modelling	35
Masloboev A.V., Lomov P.A., Mavrenkov N.M. Method for Automatic Formation and Comparison of Ontologies Concept Contexts for Their Semantic Distance Assessment	41
Kudinova O.V. Ontology-Based Simulation Models Synthesis Employing Patterns Correlation and Reverse Ontology Extra Parametrization.....	46
Masloboev A.V., Maksimova V.V., Shishaev M.G. Method and Technology for Complex Assessment of Innovation Efficiency at Initial Stages of its Life Cycle Basing on Mathematical Tool of Fuzzy Sets	50
Khaliullina D.N. Simulation Model of a Small-Scale Innovative Enterprise	67
Shishaev M.G., Potaman S.A. Modern Technologies of Ad-Hoc Networks and Approaches to the Development of Peer-to-Peer Telecommunication Networks Based on Short-Range Mobile Devices.....	70
Shishaev M.G., Shirokova Z.V. Single Source Environment in Simulation of Problem-Oriented Peer-to-Peer Information Networks	75
Sokolov B.V., Fridman A.Ya., Fridman O.V., Tsivirko Ye.G. Situational Approach to Structure Dynamics Control in Supply Chains of Virtual Enterprises	80
Shemyakin A.S. Optimal Strategy in Promotion of Education Service at Education Market	84
Suvorov A.Yu. Structure Analogy Method in Efficient Personnel Management	89
Malkov M.V., Oleynik A.G., Fedorov A.M. Modelling of Technological Processes: Methods and Experience	93
Yakovlev S.Yu., Ryzhenko A.A., Issakevich N.V. I ³ -Technology Elements for Emergencies Risk Assessment at Hazardous Industrial Objects	102
Nazarov S.G. Reduction of Manhours for Business Planning at Enterprises in Mining Industry	105
Kuznetsov P.V., Bogatikov V.N., Prorokov A.Ye. Neuron-Net Model Forecasting Destruction Functions for Crushed Material	108
Kuznetsov P.V., Bogatikov V.N., Prorokov A.Ye. Algorithm for Information Neuro-Model Development Optimizing Control of Crushing and Classification Processes	112
Skorohodov V.F., Yurzin S.V., Biryukov V.V. Application of Engineering Analysis Systems to Study Hydrodynamic Characteristics of Gas-Liquid Flows.....	116
Biryukov V.V., Opalev A.S. Study of Stabilization Processes in Magneto-Separated Layer of Ferromagnetic Dispersion in Homogeneous and Gradient Magnetic Fields by Methods of Computational Hydrodynamics.....	120
Hohulya M.S., Tarasova A.S. Modelling of Hydraulic Separation Process for Mica Ores Employing Methods of Computational Hydrodynamics	126
Morozov I.N., Bogatikov V.N. Indirect Damage Assessment Based on Condition of Processing Equipment.....	129
Soboleva Yu.V., Bogatikov V.N., Prorokov A.Ye. Analysis of Industrial Processes Safety Based on Risk Assessment, Evaporation of Electrolytic Liquor Taken as an Example	131
Kuznetsov P.V., Kirichenko A.E. Model of System Failure Involving Liveness Loss to Control Crushing Process Safety	137
Popova L.P., Oleynik A.G. Modelling of Control System for Technological Process of Concentration Employing IDEF Methodologies	141
Abstracts	146

Российская Академия Наук

Труды Кольского научного центра РАН.
Информационные технологии. Выпуск I, 2010 год

Технический редактор Мигулян С.И.
Редакторы Малыгина С.Н., Исакевич Н.В.

Лицензия ПД № 00801 от 6 октября 2000 г.

Подписано к печати 17.12.2010 г.
Формат бумаги 60x84 1/8
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 18.7. Заказ № 24. Тираж 400 экз.

Российская Академия Наук

Ордена Ленина Кольский научный центр им. Кирова
Отпечатано подразделением оперативной полиграфии
Кольского филиала Петр ГУ.
184200, г. Апатиты, Мурманская область, Космонавтов, 3.