

Томский государственный университет
Кемеровский государственный университет
Кемеровский научный центр СО РАН
Институт вычислительных технологий СО РАН
Филиал Кемеровского государственного университета
в г. Анжеро-Судженске

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
(ИТММ-2010)**

**Материалы IX Всероссийской
научно-практической конференции
с международным участием
19–20 ноября 2010 г.**

Часть 2

Издательство Томского университета
2010

УДК 519
ББК 22.17
И74

Редколлегия:

Р. Т. Якупов, д-р физ.-мат. наук, профессор (отв. ред.);

И. Р. Гарайшина, канд. физ.-мат. наук, доцент;

А. С. Шкуркин, канд. техн. наук, доцент

Информационные технологии и математическое моделирование
И74 (ИТММ-2010): Материалы IX Всероссийской научно-практической
конференции с международным участием (19–20 ноября 2010 г.). –
Томск: Изд-во Том. ун-та, 2010. – Ч. 2. – 196 с.

ISBN 978–5–7511–1949–2

В часть 2 вошли материалы секций «Информационные технологии», «Математические методы и модели в науке и технике» и «Численные методы и комплексы программ».

Для специалистов в области информационных технологий и математического моделирования.

УДК 519
ББК 22.17

*Конференция проводится при поддержке Российского фонда
фундаментальных исследований (проект № 10–07–06095–г)*

ISBN 978–5–7511–1949–2

© Томский государственный университет, 2010
© Кемеровский государственный университет, 2010
© Кемеровский научный центр СО РАН, 2010
© Институт вычислительных технологий СО РАН, 2010
© Филиал Кемеровского государственного университета в г. Анжеро-Судженске, 2010

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА КАК СРЕДСТВО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

М. А. Абрамов

Самарский институт управления

В современных условиях информация является значимым источником конкурентных преимуществ. Информация, наряду с основным средством производства, имеет высокое значение для предприятия, а её неправомерное использование грозит серьезными негативными последствиями. Защита информационных активов необходимая мера, однако по настоящее время к процессу обеспечения информационной безопасности подходят формально. Средства и методы защиты информации внедряют точечно, не принимая во внимание комплексность возникающих проблем, пренебрегая оценкой необходимых мер. Применение рубежной защиты для обеспечения безопасности информационных активов позволяет осуществлять комплексные мероприятия и проводить вероятностную оценку осуществления угрозы, оценку прочности системы защиты, регулировать набор необходимых мер защиты и размер финансовых затрат.

Система рубежной защиты применяется на предприятии с целью увеличения времени реагирования на инцидент безопасности и принятия соответствующих мер по недопущению реализации угрозы. Каждый рубеж защиты содержит набор технических и инженерных средств, на преодоление или обход которых затрачивается определенное количество времени. В общем виде сумма интервалов времени, затрачиваемого на преодоление рубежей защиты, не должна превышать времени, необходимого для идентификации и устранения угрозы:

$$\sum T_{руб.ij} \leq \sum (T_{ид.ij} + T_{устр.i}),$$

где $T_{руб.ij}$ – время, затрачиваемое на преодоление i -го рубежа j -го звена; $T_{ид.ij}$ – время, затрачиваемое на идентификацию угрозы на i -м рубеже j -го звена; $T_{устр.i}$ – время, затрачиваемое на устранение угрозы на i -м рубеже.

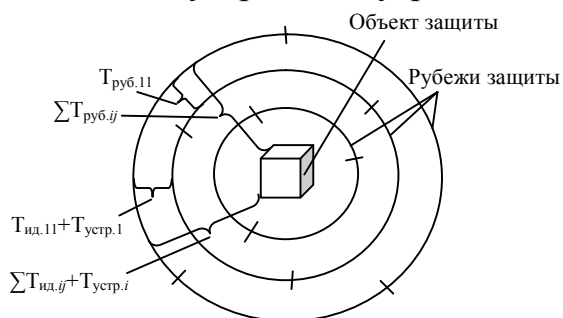


Рис. 1. Обобщенная модель построения рубежной защиты

Построение и эксплуатация системы инженерно-технической защиты связаны с набором внешних и внутренних факторов, обусловленных динамичностью среды предприятия, параметры которой изменяются, вследствие чего изменяются возможности системы по поддержанию требуемого уровня объекта защиты (рис. 1). Система инженерно-технической защиты должна отвечать следующим основным принципам:

- непрерывность рубежей защиты;
- прогнозируемость угрозы;
- адекватность мер защиты;
- многорубежность и многозвенность защиты;
- гибкость защиты.

Непрерывность рубежей защиты характеризуется отсутствием мест обхода и мест с меньшим уровнем защиты. При функционировании системы защиты не должны быть остановки, в противном случае эффективность защиты сводится к минимуму.

Априори невозможно обеспечить защиту, способную устоять перед любой угрозой, всегда существует вероятность её реализации; спрогнозированный сценарий реализации угрозы вследствие преодоления рубежа позволяет максимально быстро принять меры по её устранению.

Затрачиваемые ресурсы на систему защиты не должны превышать возможных убытков от реализации угрозы, но в то же время защита не должна быть «минимальной», преследуя цели наименьших затрат. Необходим некий консенсус между стоимостью реализации угрозы, затратами на защиту и возможными убытками.

Количество рубежей защиты увеличивает время реализации угрозы, так как каждый рубеж представляет новый набор и (или) новый баланс средств защиты, в свою очередь рубежи защиты могут быть внутренними и внешними, учитывая свойства предыдущих и предстоящих рубежей защиты. Уровень защиты на каждом рубеже должен соответствовать необходимой потребности, для чего вводится понятие звена, набор средств защиты на котором может различаться с другими звеньями рубежа.

Средства инженерно-технической защиты должны обеспечивать адаптацию с иными средствами и методами защиты в результате изменения угроз и уязвимостей объекта защиты. Инженерно-техническая защита является неотъемлемой частью системы информационной безопасности предприятия в составе комплексной системы защиты информации.

Инженерно-технические средства минимизируют угрозы несанкционированного физического доступа к защищаемому объекту или перехвату информации по техническим каналам, при этом информацию, циркулирующую на предприятии в электронном виде, в частности в корпоративных информационно-вычислительных системах, локально-вычислительных систе-

мах и иных информационных системах, необходимо защищать с использованием программно-аппаратных средств защиты.

Корпоративные информационные системы представляют собой достаточно сложные и многофункциональные объекты, содержащие большие массивы информации, способные решать различные задачи и предоставлять большое количество сервисов для пользователей. Защита единого информационного пространства предприятия в части информационных и управляющих систем – задача, требующая всестороннего анализа, при внедрении программно-аппаратных средств защиты необходимо брать во внимание уже внедренные инженерно-технические средства и иные методы защиты.

Принципы программно-аппаратной защиты информации идентичны принципам построения инженерно-технической защиты. Один из ключевых принципов – это многорубежность и многозвенность. В большей части программно-аппаратные рубежи защиты единого информационного пространства (ЕИП) и подсистемы будут располагаться внутри инженерно-технических рубежей, исключение составляют линии и сигналы связи, выходящие за пределы контролируемой зоны.

Инженерно-технические средства обеспечивают защиту инженерных сооружений, технических информационных сигналов, людей, а при программно-аппаратной защите в качестве объекта защиты выступают информационные ресурсы, информационные процессы и информация в электронном виде, т. е. составляющие ЕИП предприятия (рис. 2).

В части программно-аппаратной защиты будет удобней пользоваться понятием не многорубежной, а многоуровневой защиты, модель которой аналогична модели рубежной защиты.

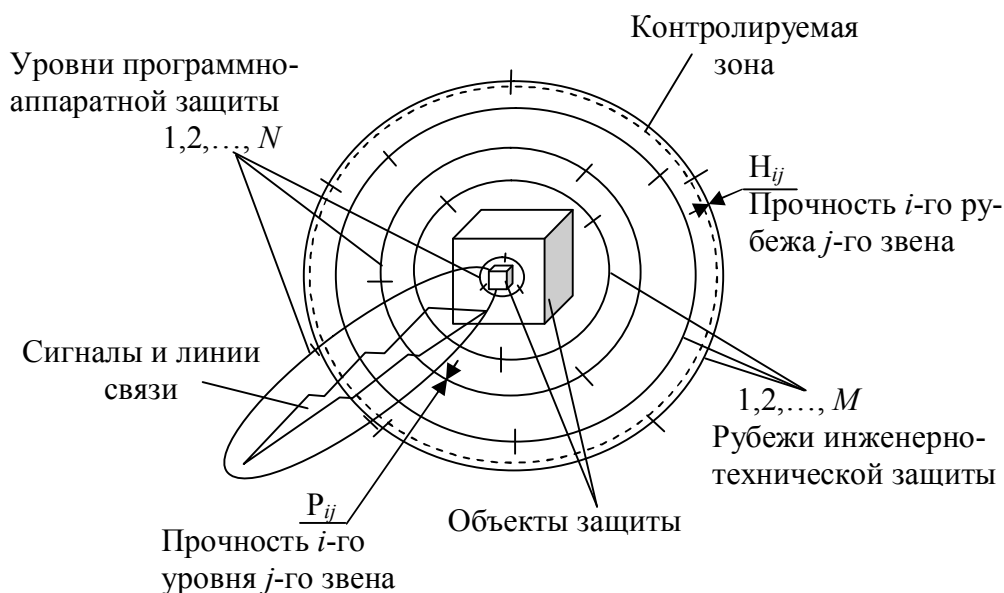


Рис. 2. Модель защиты составляющих ЕИП

Информационные системы осуществляют сбор, хранение, представление, передачу, обработку информации, в зависимости от выполняемых биз-

нес-процессов. Информация, циркулирующая в информационных системах, не всегда носит конфиденциальный характер, что на первый взгляд не накладывает требований по организации её защиты, но данное представление является ошибочным. Защита информации в таких системах должна обеспечивать в первую очередь целостность и доступность как самой информации, так и систем, её содержащих.

Уровни защиты в идеальном представлении охватывают все процессы, системы, информацию, защита которых строится по технологии от менее критичных с точки зрения безопасности, к более критичным. Каждый последующий уровень защиты увеличивает состояние защищенности объекта защиты. Трехуровневая защита не является обязательной, все зависит от специфики предприятия. Как показывает практика защиты информационных ресурсов, трехуровневая программно-аппаратная и трехрубежная инженерно-техническая защита информации являются достаточными. Прибегая к композиции программно-аппаратной и инженерно-технической защиты, их можно объединить в группу средств защиты информации.

Использование средств защиты связано с большими материальными затратами, причем увеличение (уменьшения) уровня затрат не всегда обеспечивает требуемый уровень безопасности. Наиболее часто к оценке требуемого уровня защиты (прочности рубежей и уровней защиты) применяется экспертный подход, основанный на мнении группы специалистов о достаточности (недостаточности) применяемых средств защиты. Такой подход не отражает действительной оценки достаточности применяемых средств защиты, для чего предлагается использовать подход, основанный на численных значениях прочности системы защиты.

Информация со временем теряет свою привлекательность, стареет, а в отдельных случаях просто обесценивается. Тогда за условие достаточности защиты составляющих ЕИП можно принять превышение затрат времени на преодоление преграды нарушителем над временем жизни обозначенных составляющих ЕИП.

Если вероятность источника угрозы непреодоления средства защиты обозначить через $P_{\text{сзи}}$, время жизни составляющих ЕИП через $t_{\text{ж}}$, ожидаемое время источника угрозы на преодоление средства защиты через $t_{\text{н}}$, вероятность обхода средства защиты через $P_{\text{обх}}$, то для случая старения защищаемой составляющей ЕИП условие достаточности получается в виде [1]

$$P_{\text{сзи}} = 1, \text{ если } t_{\text{ж}} < t_{\text{н}} \text{ и } P_{\text{обх}} = 0,$$

где $P_{\text{обх}}$, равное единице, отражает необходимость замыкания рубежа или уровня защиты вокруг объекта защиты.

Если $t_{\text{ж}} > t_{\text{н}}$, а $P_{\text{обх}} = 0$, то

$$P_{\text{сзи}} = (1 - P_{\text{нр}}),$$

где $P_{\text{нр}}$ – вероятность преодоления угрозы сегмента рубежа или уровня за время, меньшее $t_{\text{ж}}$.

Для реального случая, когда $t_{ж} > t_{н}$ и $P_{обх} > 0$, прочность защиты представляется в виде

$$P_{сзи} = (1 - P_{нр}) (1 - P_{обх}),$$

$$P_{нр} = 0, \text{ если } t_{ж} < t_{н},$$

$$P_{нр} > 0, \text{ если } t_{ж} \geq t_{н}.$$

Последнее выражение справедливо при наличии двух угроз, т. е. когда одна угроза осуществляется посредством преодоления рубежа или уровня защиты, а другая посредством их обхода.

При условии нескольких вариантов обхода и одного источника угрозы расчет ведется следующим образом:

$$P_{сзи} = (1 - P_{нр}) (1 - P_{отк}) \cup (1 - P_{обх1}) \cup (1 - P_{обх2}) \cup \dots \cup (1 - P_{обхj}),$$

где знак \cup означает логическое действие «ИЛИ»; j – число путей обхода исследуемого уровня или рубежа защиты»; $P_{отк} = 1 - e^{-\lambda t}$ – вероятность отказа средств защиты; λ – интенсивность отказа средств; t – время эксплуатации средств защиты системы с момента ввода ее в эксплуатацию.

Значения $P_{нр}$, $P_{обх}$ определяются экспериментальным путем или на основе статистических данных. Для объективного представления полученных данных каждому значению на диапазоне от 0 до 1 включительно необходимо сопоставить качественное значение. Прочность защиты уровня или рубежа принимают равной самому меньшему значению $P_{сзи}$. Прочность всей системы, построенной на основе средств защиты, определяется выражением

$$P_{\Sigma} = 1 - \prod_{n=1}^N (1 - P_n),$$

где P_{Σ} – суммарная прочность системы защиты; P_n – прочность n -го уровня; N – число уровней системы защиты.

При $P_n = 0$ данный уровень в расчет не принимается. При $P_n = 1$ остальные уровни являются избыточными. Прочность защиты преграды является достаточной, если затраты на создание систем защиты адекватны ценности объекта защиты и ожидаемое время преодоления ее нарушителем больше времени жизни предмета защиты или больше времени обнаружения и блокировки его доступа при отсутствии путей скрытого обхода этой преграды [1].

Располагая численными значениями, руководители и ответственные за обеспечение информационной безопасности более адекватно распределяют приоритеты в защите обозначенных объектов. Полученные значения прочности защиты являются хорошим инструментом для обоснования руководителю предприятия и иным заинтересованным субъектам необходимости в мероприятиях по обеспечению информационной безопасности.

Литература

1. Пушкарев В. П., Пушкарев В. В. Защита информации в компьютерных системах и сетях: метод. пособие. – Томск, 2002. – 12 с.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ЭЛЕМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫМ ОБРАЗОВАНИЕМ

Л. И. Акмалтдинова, Т. Р. Ханнанова

Башкирский государственный аграрный университет

Время высоких технологий и компьютеризации в настоящее время позволяет внедрять новшества во все сферы жизни общества на каждом уровне власти. Поэтому качество и уровень жизни населения муниципальных образований главным образом начинаются от количества и качества информационных технологий.

По нашему мнению, под информационной системой обеспечения муниципального образования следует понимать совокупность организационно-правовых, информационных, методических, программно-технических компонентов, обеспечивающую внедрение информационных процессов в систему управления. Структура информационной системы муниципального образования, внедрение новых информационных технологий определяются функциями этой системы, текущими и перспективными задачами. Почти во всех органах местного самоуправления сегодня есть персональные компьютеры, частично используются локальные компьютерные сети. В то же время развитие компьютеризации в большинстве местных администраций проходит бессистемно.

Современные технологии построения информационных систем почти не применяются, прикладное программное обеспечение используется чаще всего только в бухгалтерии и делопроизводстве.

В целях внедрения информационных технологий в деятельность органов муниципального управления необходимо в первую очередь планомерно формировать специализированные службы, следящие за ходом развития новшеств, их внедрением в базу развития муниципалитета.

Использование сети Интернет в муниципальном образовании также должно включать в себя не просто доступ в глобальную сеть, а открывать широкие возможности для совершенствования управления. Наиболее эффективно его возможности могут быть использованы при создании муниципального сайта, ориентированного как на население города, так и на внешних пользователей. Так, к примеру, созданный сайт муниципального образования может включать в себя представительскую, деловую информацию, справочную и оперативную.

Также одну из главных ролей в информационном обеспечении муниципального образования играют специализированные межмуниципальные информационные системы и базы данных. Данные системы позволяют создавать взаимосвязь на всей территории страны. Это говорит о постоянном взаимодействии как на федеральном, так и региональном и местном уровнях. Так, создание единого информационного пространства России имеет

первостепенное значение для органов местного самоуправления и реализуется через функционирование информационной вертикали «Федерация – субъект РФ – муниципальное образование». В этой информационной вертикали ключевым элементом являются информационные ресурсы муниципального образования.

Для эффективной информационной поддержки решения комплексных задач управления необходимо, чтобы базы данных, содержащие информацию об объектах, относящихся к одной предметной области, были технологически объединены в объектно-ориентированные региональные системы баз данных.

В рамках создания информационной системы муниципального образования автоматизируются целые направления деятельности, в том числе планирование развития, управление финансами, капитальное строительство и управление социальными проектами, жилищно-коммунальное обеспечение, управление имуществом, материально-техническое снабжение, координация работы социально ориентированных отраслей экономики, развитие внешне-экономических связей и т. д.

Организационно-управленческая структура системы строится на принципе определенной самостоятельности подсистем и направлений в выработке и проведении политики собственной автоматизации управленческого труда. Исходя из сказанного, информационную территориальную сеть, ориентированную на поддержку управленческих функций администрации территориального образования, необходимо отнести к территориальным корпоративным информационным сетям (ТКИС), для которых характерно разнообразие парка вычислительных средств, сетевого оборудования и базового программного обеспечения, а также большое количество приложений специального назначения. При проектировании ТКИС необходимо обеспечить устойчивость ее функционирования, в том числе несанкционированную недоступность и безопасность хранения информации.

При успешном внедрении информационных систем управления муниципальным образованием от самих государственных и муниципальных служащих ожидают эффективного использования новых информационных технологий в своей профессиональной деятельности, адаптируемости к быстро изменяющимся информационным технологиям, способности к саморазвитию, умению находить эффективные решения управленческих задач с помощью информационных технологий, креативности и инновационности при их использовании.

Одним из важнейших факторов повышения эффективности и качества муниципальной службы является информационно-методическая поддержка деятельности органов местного самоуправления на основе:

- 1) обеспечения доступа к нормативной, правовой, научной, методической и справочной информации по вопросам государственного управления и местного самоуправления;

- 2) персонифицированного доступа к служебной, а также к учебной и образовательной информации;
- 3) интеграции управленческих ресурсов органов государственной власти различных уровней;
- 4) обеспечения согласованной коллективной работы сотрудников органов местного самоуправления.

Литература

1. Черников Б. В. Информационные технологии управления. – М.: Инфра-М, Форум, 2008. – 342 с.
2. Саак А. Э. Информационные технологии управления. – М., 2008. – 320 с.

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА

*К. Е. Афанасьев, А. М. Гудов, Ю. С. Попов
Кемеровский государственный университет*

Региональные университетские комплексы являются достаточно распространенной структурой в отечественной системе образования. В рамках регионального университетского комплекса имеются организационные условия для быстрого и масштабного развертывания системы электронного дистанционного обучения (ЭДО), связанные с внутрикорпоративным характером соглашений структурных единиц комплекса. Кемеровский государственный университет в течение ряда лет реализует комплексный проект создания региональной системы ЭДО [3]. В данной статье представлены основные организационно-структурные аспекты реализации проекта ЭДО в условиях регионального университетского комплекса в контексте базовых составляющих: учебное заведение как организационная структура ЭДО; информационные ресурсы; технические, программные и телекоммуникационные средства обеспечения технологии ЭДО; субъекты образовательного процесса.

Анализ отечественного опыта создания и функционирования систем дистанционного обучения показал перспективность структуры в виде распределенной иерархической сети учебно-ресурсных центров [1]. Соответственно, важнейшим блоком проекта системы ЭДО КемГУ является построение организационно-структурной, нормативной и методической базы обеспечения дистанционных образовательных технологий в условиях регионального университетского комплекса, в том числе:

1. Региональная сеть центров дистанционного обучения, организационно-методическое обеспечение функционирования сети:

- оптимальная иерархическая структура сети центров (головной центр – на базе головного вуза, районные учебно-ресурсные центры – центры второго уровня – в крупных городах на базе филиалов вуза);

– комплект нормативных документов, перечней функций и сервисов, регламентов взаимодействия в иерархической структуре сети центров (Положение о головном центре ДО, Типовое положение о районном учебно-ресурсном центре ДО, квалификационные требования и типовые должностные инструкции персонала, программно-технические требования, предъявляемые к рабочему месту пользователя системы ДО).

2. Комплект нормативных и методических документов, регламентирующих использование дистанционных образовательных технологий на университетском и региональном уровнях:

– положения по организации учебного процесса с различным уровнем использования дистанционных технологий (реализация образовательных программ частично и полностью с использованием дистанционных образовательных технологий, реализация отдельных учебных курсов);

– типовые методики использования дистанционных образовательных технологий по дисциплинам учебных планов;

– регламент документационного обеспечения дистанционного образовательного процесса.

Взаимодействие между головным и районными центрами осуществляется по направлениям:

1. Методическое взаимодействие (репликация данных в методическом хранилище и хранилище образовательного контента ЭДО (Депозитарий); распространение, модификация с последующим региональным тиражированием различных материалов и информации, полученной, оцененной и обработанной как из сети Internet, так и по другим источникам).

2. Внутреннее специальное взаимодействие (обмен и репликация БД: БД ЦДО, БД региональных потоков слушателей, БД методического сопровождения, БД филиалов и структур).

3. Передача данных (документов, отчетов, классификаторов) между узлами системы в режимах «on-line» и «off-line».

4. Своевременное взаимное копирование особо важных документов, БД и хранилищ общей системы ЭДО для:

– восстановления потерянных данных на каком-либо из узлов системы, путем передачи необходимой информации с копии в ЦДО на поврежденный узел;

– виртуальной подмены ресурсов ЦДО, размещенных в сети Internet и образовательной сети ЭДО, соответствующими ресурсами районных центров, при наличии проблем с системами связи.

Структура коммуникационного функционирования и информационного взаимодействия ЦДО – районные центры должна основываться на [2]:

1. Региональных информационных каналах, поддерживаемых распределенным университетским комплексом или арендуемых у региональных/национальных операторов связи.

2. Широко распространенных протоколах в сетях Internet/Intranet – TCP/IP.

3. Протоколах доступа к информационным ресурсам и базам данных, обеспечивающих разграничение доступа и шифрования трафика.

4. Регламентах обмена информационными потоками, определенных в каждом районном центре и согласованных с ЦДО.

5. Форматах представления и обмена данными, принятыми ведущими мировыми и национальными консорциумами – SCORM, LOM, IMS, XML, XHTML и др.

Главным звеном информационного обеспечения учебного процесса являются электронные образовательные ресурсы (ЭОР) и средства их доставки до потребителя. В соответствии с этим отдельным блоком задач проекта явилось создание распределенной системы технологической и методической поддержки информационных ресурсов, включающей систему обеспечения качества, экспертизы и сопровождения ЭОР, службу поддержки преподавателей-разработчиков ЭОР, реестр и депозитарий электронных образовательных ресурсов (ДЭОР), общие технические решения для размещения информационных ресурсов. Данное комплексное решение основано на системном подходе к разработке, обеспечению качества, внедрению и сопровождению ЭОР. Весь процесс «жизненного цикла» ЭОР обеспечен внутривузовской нормативной документацией (положения, регламенты, технические условия, методики). Организационно-методические и технологические основы данного решения описаны в [3].

Реестр ЭОР представляет собой хранилище карточек электронных образовательных ресурсов (где поля карточек представляют собой метаописание ЭОР) и набор сервисов по предоставлению доступа к карточкам. В качестве основы метаописания приняты стандарты [4–8]. На рис. 1 представлена RDF-диаграмма основных контейнеров метаданных ЭОР.



Рис. 1. RDF-представление основных контейнеров метаданных ЭОР

Основные функции реестра ЭОР:

1. Управление пользователями реестра, включая создание новых пользователей, редактирование и удаление информации о пользователях, группах пользователей, назначение им ролей.
2. Обеспечение безопасности доступа к реестру, включающее авторизацию и предоставление прав в соответствии с назначенной ролью.
3. Управление служебными данными (рубрикатор, метаописание ЭОР и т. д.).
4. Создание и редактирование карточки ЭОР авторами ресурса.
5. Отправка ЭОР на проверку методистам.
6. Проверка методистами полноты и корректности обязательных метаданных ЭОР.
7. Экспертиза ЭОР на соответствие программно-техническим и эргономическим требованиям.
8. Поиск карточек ЭОР по одному или совокупности обязательных атрибутов (название, ключевые слова, аннотация, автор, год издания, место издания).
9. Расширенный поиск карточек ЭОР по комбинации дополнительных атрибутов (URL, язык, предметная область, уровень образования, целевая группа, вид ресурса, вид носителя и др.).
10. Экспорт данных в другие информационные системы на основе стандартов метаописаний ЭОР.
11. Импорт данных из других информационных систем описаний ЭОР на основе распространенных стандартов метаописаний.

Депозитарий ЭОР представляет собой расширение реестра ЭОР путем добавления хранилища полнотекстовых ресурсов. Таким образом, ресурс в депозитарии состоит из двух частей: тела ЭОР в произвольном формате представления и его описания (карточки), содержащего структурированные метаописания ресурса, разработанные в соответствии со стандартами [4–8]. Наличие такой структуры представления ЭОР позволяет легко оперировать в депозитарии нужным ресурсом вне зависимости от его объема и вида.

Процесс опубликования ЭОР в Депозитарии представлен в виде диаграммы в нотации IDEF3 (рис. 2). Существует два способа опубликования ЭОР. При первом способе ЭОР подается в РИО и выполняются все необходимые в соответствии с регламентом, прописанным в «Положении об ЭОР КемГУ», действия (блок 1). После того как РИО принимает ЭОР, сотрудник РИО публикует ресурс в депозитарии (блок 2), после чего ЭОР становится доступным для просмотра как авторизованным, так и неавторизованным пользователям.

Второй способ предусматривает первоначальное занесение ЭОР в депозитарий самим автором. Автор заполняет метаданные, помещает в депози-

тарий сам ЭОР, после чего отправляет ресурс на проверку методисту (блок 3). Методист проверяет корректность заполнения метаданных (блок 4) и либо отправляет ЭОР на доработку автору, либо отправляет ресурс на экспертизу. Эксперт проверяет ЭОР на соответствие двум критериям. При проверке первого критерия эксперт анализирует содержательную часть ЭОР на соответствие соответствующей области знаний (блок 6). При анализе второго критерия проверяет соответствие ЭОР заявленному виду издания, например: учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие (блок 7). По каждому из критериев эксперт выставляет оценку соответствия. Если оценки по обоим критериям положительные, то ЭОР публикуется и становится доступным для просмотра как авторизованным, так и неавторизованным пользователям. Если же ЭОР не соответствует хотя бы одному из критериев, то ресурс отправляется автору на доработку. После переработки ЭОР автор может повторно послать ресурс на проверку методисту (блок 5).

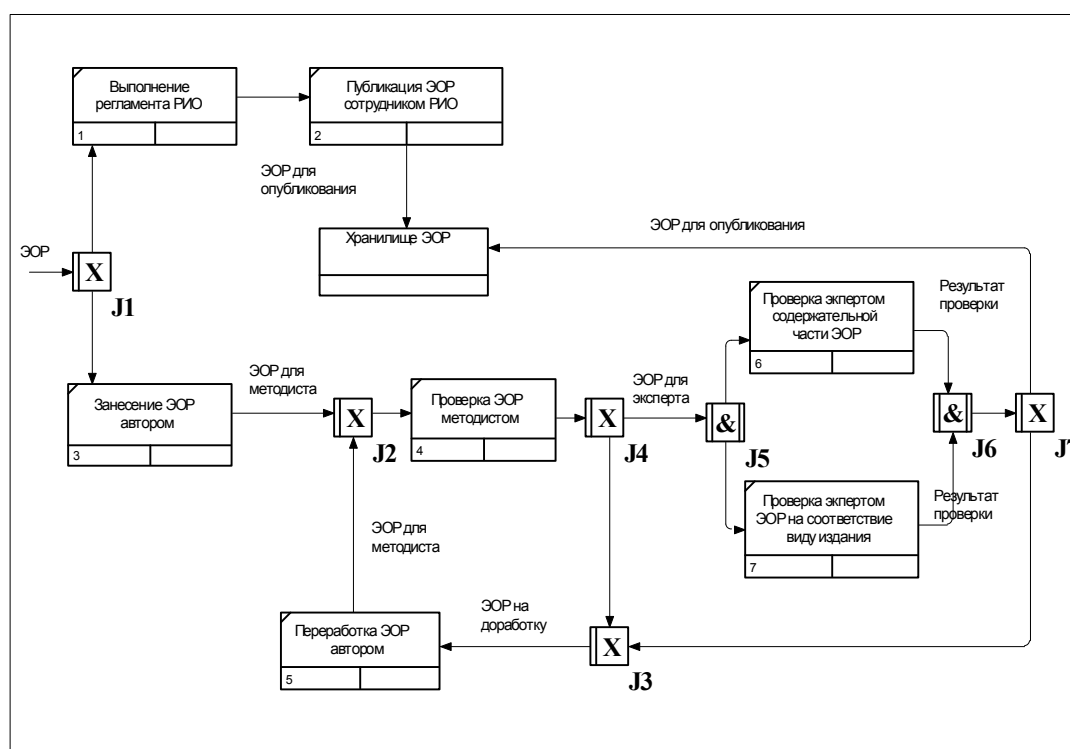


Рис. 2. Процесс опубликования ЭОР в депозитарии

Доступ пользователей к ЭОР, находящимся в депозитарии, организован в соответствии с набором привилегий, которые объединены в роль. Выделяется несколько ролей пользователей:

1. «Гость» – назначается по умолчанию всем пользователям, не прошедшим авторизации. Предоставляет возможность поиска и просмотра ЭОР.
2. «Автор» – имеет право заносить новые ЭОР и отправлять их на оценку методистам. Также имеет право редактировать метаописание ЭОР до отправки методисту или в случае получения ЭОР на доработку.

3. «Методист» – изучает ЭОР, заполняет соответствующую анкету, на основании которой либо принимает решение об отклонении ресурса, либо сопровождает комментариями и отправляет на доработку, либо отправляет на экспертизу одному или нескольким назначенным экспертам.

4. «Эксперт» – изучает ЭОР, заполняет соответствующую анкету, на основании которой принимает решение об отклонении ресурса либо ресурс допускается до опубликования.

5. «Администратор» – осуществляет управление пользователями, группами пользователей, ролями, служебными данными (рубрикатор, метаописание ЭОР и т. д.). Имеет право осуществлять импорт и экспорт данных, формирование отчетов.

Представленные в данной работе организационно-структурная подсистема и подсистема информационного обеспечения в целом внедрены и составляют основу системы дистанционного обучения Кемеровского государственного университета.

Литература

1. Демкин В. П., Можяева Г. В. Технологии дистанционного обучения. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006. – 106 с.

2. Соловов А. В. Дистанционное обучение: технологии и целевые группы // Высшее образование в России. – 2006. – № 7. – С. 119–124.

3. Афанасьев К. Е. Организационно-методические и технологические основы информационного обеспечения учебного процесса в условиях регионального университетского комплекса / К. Е. Афанасьев, А. М. Гудов, Ю. С. Попов // Открытое дистанционное образование. – 2010. – Вып. 1 (37). – С. 5–9.

4. IEEE 1484.12.1–2002. Learning Object Metadata standard. – New York: IEEE, 2002.

5. ISO/IEC 11179–1. Specification and standartization of data elements. Part 1: Framework.

6. ГОСТ Р 52657–2006. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Образовательные Интернет-порталы федерального уровня. Рубрикатор информационных ресурсов, 2006.

7. ГОСТ 7.82–2001. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов.

8. ГОСТ 7.83–2001. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Электронные издания. Основные виды и выходные сведения.

Работа выполнена в рамках проекта «Создание системы организационно-структурного, методического и технологического обеспечения разработки, хранения и использования электронных образовательных ресурсов и дистанционного обучения» по Аналитической ведомственной целевой программе «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)».

БАЗОВЫЕ И ПРОИЗВОДНЫЕ ПОНЯТИЯ ERM-МОДЕЛИ ДАННЫХ И ИХ РОЛЬ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СХЕМ БАЗ ДАННЫХ

А. М. Бабанов, А. С. Скачкова

Томский государственный университет

В подавляющем большинстве моделей данных каждое типовое явление моделируемого мира представлено в схеме БД лишь однажды – либо в виде структурного элемента, либо в виде ограничения целостности. В этом случае человек сам должен заботиться о корректности и полноте описания предметной области (ПрО). Модель «Сущность – Связь – Отображение» или, сокращенно, ERM-модель (от английского «Entity – Relationship – Mapping») [1] позволяет проектировщику схемы работать с одними и теми же фактами ПрО на нескольких уровнях детализации и применять в каждом случае различные их представления. Подобное положение дел даёт возможность проектировщику не следовать жестким требованиям модели, используя единственно возможные формы данных и самостоятельно контролируя правильность своих действий. Вместо этого он может фиксировать все представляющие интерес понятия, взаимосвязи между ними и закономерности этих взаимосвязей в подходящий момент в любой удобной для него форме, не задумываясь о возможной противоречивости получающейся схемы.

Семантические концепции ERM-модели

Сформулируем семантические концепции ERM-моделирования. Для этого воспользуемся результатами, полученными логиками в ходе анализа естественных языков.

Моделируемый мир могут составлять как эмпирические, так и теоретические объекты. Основной информационной (мыслительной) единицей описания ПрО является суждение, которое может быть выражено в языковой форме – высказывании. Главную роль играют единичные атрибутивные суждения и единичные суждения об отношениях, утверждающие наличие у конкретного объекта определенного свойства, характеристики или отношения к другим объектам.

Характерным для единичных суждений является использование в качестве логических подлежащих их высказываний единичных имен, предметными значениями которых являются отдельные предметы или объекты. Таким образом, имеем одну из основных семантических концепций ERM-модели – объект. Совокупность объектов, соответствующих одному определенному понятию, образует класс объектов.

Логическое сказуемое в единичных высказываниях может быть задано с использованием одиночного общего имени, предикатора, предметного функтора либо более сложного логического выражения, включающего эти знаки и логические термины. Все указанные семантические категории могут быть выражены через предметные функции. Последние представляют вто-

рую основную семантическую концепцию ERM-модели, которую мы будем называть более подходящим термином «отображение». Он, во-первых, не несет математического, количественного смысла образов и прообразов, традиционного для понятия «функция». Во-вторых, с функцией, как правило, ассоциируется требование единственности образа, чего нам также хотелось бы избежать.

Введенные базовые понятия ERM-модели – объект, класс и отображение – обеспечивают всю выразительную мощь модели. Неудивительно, что именно эти понятия составили основу синтаксиса и аксиоматики формальной системы ТСЗО [2, 3], являющейся математической основой ERM-модели. Однако человек не всегда использует этот абстрактный уровень мышления. Для простоты выделяются частные виды объектов, классов и отображений, образующие множество производных понятий модели.

Объекты, мыслимые в высказываниях как предметы, представляют собой сущности, а классы таких объектов есть ничто иное, как множества сущностей. Идеальные объекты, такие как числа, даты, строки символов, являются значениями. Они не обладают свойствами, характеристиками и не вступают в отношения с другими объектами, кроме того, что являются значениями характеристик объектов. Их объединяют во множества значений по синтаксическим особенностям. Объекты, подпадающие под конкретные понятия об n -ках предметов, представляют собой связи, а классы объектов, составляющих объемы таких понятий, есть ничто иное, как множества связей. Каждый объект в n -ке связи играет определенную роль, характеризующую его функцию в этой связи. Отображения, определяемые множествами связей, которые в качестве областей определения и значений имеют одиночные множества сущностей или их Декартовы произведения, называются реляционными. Общее количество реляционных отображений, определяемых одним множеством связей степени n , равно $2^n - 2$. Как видим, множества связей являются своеобразными агрегатами реляционных отображений.

Отображение, ставящее в соответствие объекту истинностное значение, называется отображением-свойством. Если в качестве области значений в отображении используется произвольное множество значений, такое отображение будем называть отображением-характеристикой. Отображения-свойства представляют собой частный случай отображений-характеристик. Отображения-характеристики являются ничем иным, как атрибутными отображениями или просто атрибутами.

Таким образом, нам удалось связать фундаментальные понятия логики со структурными понятиями модели «Сущность – Связь» (ER-модели) [4], сохранив при этом исходные базовые понятия – объект, класс и отображение. Все вместе они составляют понятийный базис ERM-модели.

Можно утверждать, что ERM-модель является преемницей ER-модели Чена, поскольку ее язык сохраняет все структурные понятия последней – множество сущностей, множество связей, роль, атрибуты, множество значений.

Назначение базовых и производных понятий

Подобный подход позволяет человеку при формализации Про оперировать в основном знакомыми понятиями (сущность, связь), прибегая к использованию новых форм (отображение) лишь в случае недостаточной выразительности первых. В некоторых случаях понятия «класс» и «отображение» можно не использовать вовсе. Таким образом, привычные понятия ER-модели обеспечивают более понятные человеку формы восприятия данных.

Особенности языка ERM-модели, ориентированные на удобства для проектировщика, неизбежно влекут за собой возможность синонимии. Существование синонимичных элементов в схеме может привести к ее некорректности в случае задания противоречивых свойств у элементов-синонимов. Поэтому формальная система модели должна обеспечить соответствующие проверки на непротиворечивость схем.

Также формальная система должна предоставить правила автоматической редукции схемы, предусматривающие построение соответствующих базовых элементов (отображений) из явно указанных человеком производных элементов (множеств связей, атрибутов).

Именно базовые концепции ERM-модели фигурируют в правилах проверки схемы на непротиворечивость и правилах трансформации схемы в СУБД-ориентированную модель данных.

Литература

1. Бабанов А. М. Семантическая модель «Сущность – Связь – Отображение» // Вестник ТГУ. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2007. – № 1. – С. 77–91.
2. Бабанов А. М. Формальная система теории семантически значимых отображений // Вестник ТГУ. – 2006. – № 290. – С. 261–263.
3. Бабанов А. М. Развитие формальной системы теории семантически значимых отображений // Вестник ТГУ. – 2006. – № 293. – С. 135–139.
4. Чен П. Модель «сущность – связь» – шаг к единому представлению о данных // СУБД. – 1995. – № 3. – С. 137–158.

ПОДХОД К МИГРАЦИИ ДАННЫХ, ХРАНИМЫХ В РЕЛЯЦИОННЫХ СУБД

К. С. Важдоева, И. А. Кудрявцев, Е. П. Яковлева
Томский государственный университет

На сегодняшний день отмечается появление новых и усложнение существующих бизнес-процессов. Это приводит к использованию более мощных по функциональности программных продуктов, что в свою очередь означает использование более сложных моделей данных. При эксплуатации программного обеспечения возможны ситуации, при которых необходим перенос всех данных или какой-то их части с возможным преобразованием данных из одного хранилища данных в другое. Такой перенос называют миграцией данных [3]. Этот процесс характеризуется высокой сложностью, обу-

словленной в первую очередь разнообразием моделей данных (МД) и мотивов выполнения миграции данных. Поэтому наряду с проектами по разработке программного обеспечения широко распространены и проекты по миграции данных.

Миграция данных – сложная задача, выполнение которой сопряжено с рисками. В связи с этим проводятся исследования подходов и разработка средств, позволяющих осуществлять этот процесс [4, 5]. Следует отметить, что отдельная ветвь исследований посвящена причинам неудачи проектов по миграции данных. Примерами таких причин являются отсутствие методологии, недооцененные масштабы проектов по миграции данных, некорректное использование инструментов, недостаточное внимание к обеспечению качества данных, недостаток или отсутствие необходимого опыта.

Предпосылки выполнения миграции данных формируют различные подходы к решению этой задачи, на основании которых развиваются методологии. Так, выполнение процесса миграции данных в значительной степени зависит от исходной и целевой МД. Такая зависимость определяет одно из направлений миграции данных. Еще одно направление этого процесса связано с причинами, инициирующими перенос данных. Стоит заметить, что сложность выполнения проектов, акцентированных на какое-то одно направление миграции данных, высока, а так как зачастую отдельный проект миграции данных относится сразу к нескольким направлениям, то сложность его реализации увеличивается.

В данной статье основное внимание сконцентрировано на процессах миграции, в которых хранилищем данных выступают реляционные СУБД (РСУБД). Выбор такого направления обусловлен широким распространением реляционных СУБД [1].

Можно выделить три основные причины выполнения миграции данных, хранимых в РСУБД:

- изменение схем баз данных [2];
- переход на другую РСУБД;
- перенос данных в другую БД без изменения схемы.

В связи с этим авторами предложен универсальный подход к процессу миграции данных, основанный на покортежном переносе данных. Идея покортежного переноса данных основывается на понятии зависимости кортежей. Независимым кортежем называют кортеж из отношения, не имеющего внешних ключей, либо кортеж из отношения, имеющего внешние ключи, со значениями внешних ключей, равными NULL. В противном случае кортеж называют зависимым. Суть покортежного переноса данных заключается в переносе сначала независимого кортежа, а потом всех зависимых от него кортежей. Стоит заметить, что зависимый кортеж может быть перенесен только в том случае, когда все кортежи, от которых он зависит, уже перенесены.

Этапами такого процесса миграции данных являются:

- получение информации о схеме исходной базы данных;
- получение информации о схеме целевой базы данных;
- определение последовательности переноса данных из исходной БД;
- определение правил переноса данных;
- выбор стратегии обработки ошибок, возникающих при переносе данных;
- перенос данных в соответствии с выбранной стратегией.

ных;

Предложенный процесс миграции данных можно проиллюстрировать диаграммой в нотации BPMN, изображенной на рис. 1.

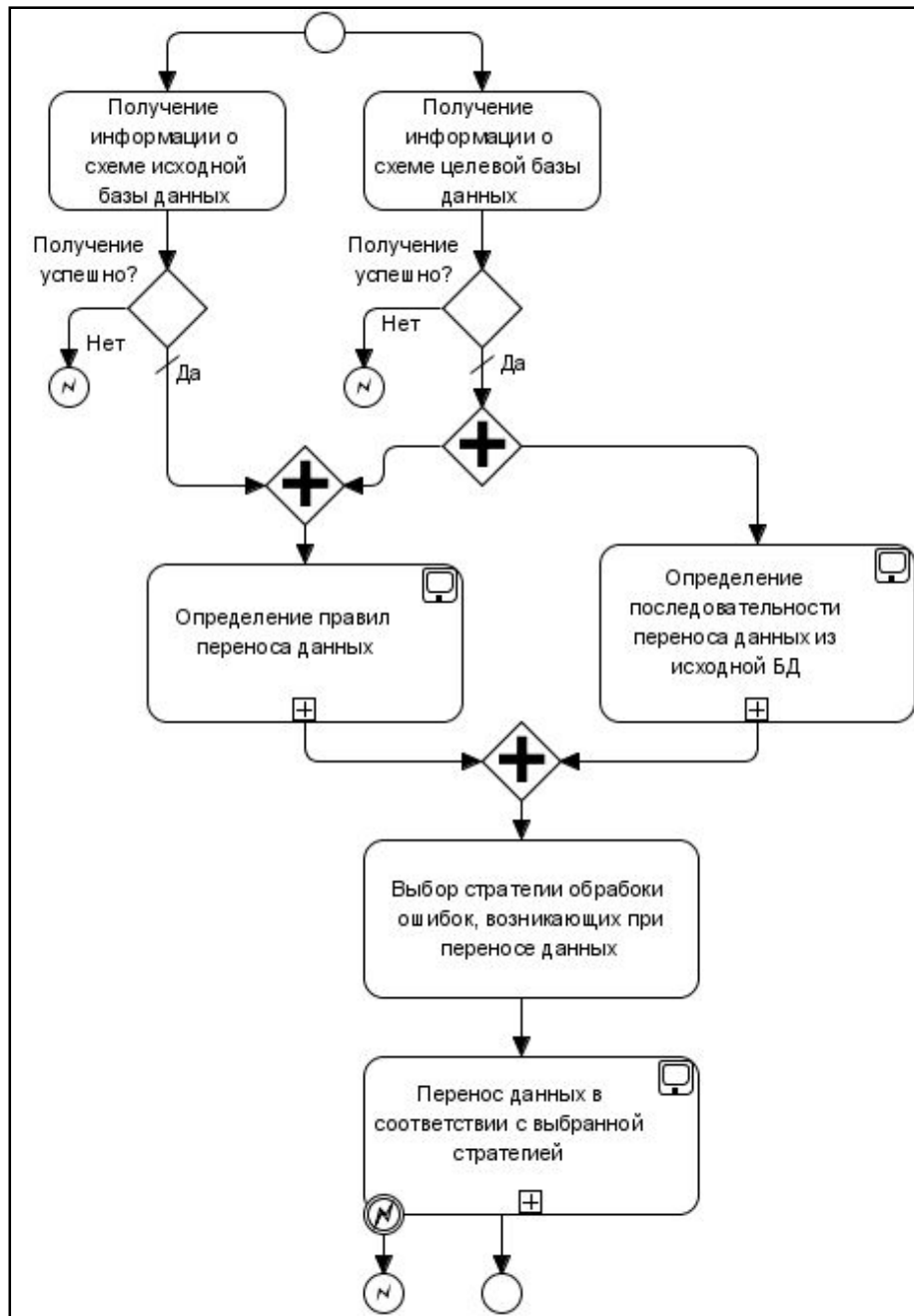


Рис. 1. Диаграмма процесса миграции данных в нотации BPMN

Выполнение первых двух этапов подразумевает представление схем баз данных в оперативной памяти в виде, содержащем необходимые для переноса данных сведения и скрывающем детали работы с конкретными СУБД от остальных шагов процесса миграции данных. Третий этап решает задачу корректного переноса данных из исходной БД без конкретизации места назначения. На следующем этапе задаются правила переноса данных – алгоритмические действия над кортежами, определяющие какие данные, как и куда переносить. На этом же этапе пользователю предоставляется возможность выполнения сравнения схем баз данных и просмотра его результатов. Пятый этап осуществляет настройку выполнения переноса данных выбором одной из возможных стратегий обработки ошибок. Примером стратегии является завершение процесса миграции при возникновении первой ошибки. Заключительный этап выполняет перенос данных из исходной БД в целевую.

Таким образом, предложенный подход описывает прозрачный механизм проверки корректности переносимых данных с точки зрения их целостности. Определяя правила, процесс миграции осуществляет перенос только необходимых данных с возможностью формирования целевых данных по описанным алгоритмам из исходных и новых данных. Также описанный выше подход позволяет абстрагироваться от конкретных РСУБД.

На данной стадии разработки предложенного подхода авторами были достигнуты следующие теоретические и практические результаты: проведен анализ изменений схем баз данных и изменений данных, хранимых в соответствующих БД, разработаны и реализованы представление схем баз данных в описанном выше виде, алгоритм определения последовательности переноса данных из исходной БД, алгоритм сравнения схем баз данных и алгоритм переноса данных в виде библиотек.

В заключение можно сказать, что, по мнению авторов, программное обеспечение, реализующее предложенный подход, будет востребовано в среде разработчиков приложений. Помимо своей основной функции – миграции данных, такое приложение может быть использовано для оценки различий между двумя схемами баз данных.

Литература

1. Дейт К. Введение в системы баз данных. – 7-е изд.: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2001. – 1072 с.
2. Эмблер С., Садаладж П. Рефакторинг баз данных: эволюционное проектирование: Пер. англ. – М.: Вильямс, 2007. – 672 с.
3. Chester B. Data migration 101 // AИИМ E-DOC. – 2006. – Vol. 20, Issue 1. – P. 10.
4. Hudicka J. An overview of data migration methodology [Electronic resource] // URL: http://www.dulcian.com/Articles/Overview_Data_Migration_Methodology.htm (reference data 05.09.2010).
5. Scott V. Extraction, transformation and load issues and approaches [Electronic resource] // URL: <http://www.tdan.com/view-articles/4839> (reference data 01.09.2010).

РЕАЛИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ЗАДАНИЙ В РАСШИРЯЕМОЙ СИСТЕМЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

К. Ю. Войтиков, П. Н. Тумаев

*Филиал Кемеровского государственного университета
в г. Анжеро-Судженске*

В современном мире существует ряд задач, требующих значительных вычислительных ресурсов. К таким задачам можно отнести математические задачи, задачи экономического прогнозирования, сейсмоанализ и др. Одним из способов их решения является распределенное вычисление, где в качестве ресурсов можно использовать свободное время «обычных» компьютеров, например компьютерных классов университета, офисных компьютеров и т. д.

В работах [1–3] был предложен подход к построению такой системы, получены основные ее компоненты и элементы их архитектуры. Разрабатываемая система (ODIS Drops) предоставляет необходимый каркас расширения для решения любых задач, отвечающих некоторым требованиям разделяемости и описания. Также стоит отметить, что для работы в рамках предлагаемой системы распределенных вычислений могут быть адаптированы существующие инструменты для решения конкретных задач (алгоритмы и классы на .NET-совместимых языках, .NET- и COM-библиотеки, любые другие интероперабельные приложения).

На рис. 1 показано распределение компонентов системы по трем узлам: Client – компьютер пользователя системы, составляющего задания и получающего конечные результаты их выполнения; Remote Calculator – компьютер, ресурсы которого используются для осуществления расчетов; Server – компьютер, посредством которого осуществляется координация остальных узлов.

Ключевыми компонентами системы являются GRID-server и GRID-worker. Компонент GRID-worker устанавливается на компьютеры, используемые в качестве ресурса, и отвечает непосредственно за сам процесс расчетов, получение новых заданий и отправку результатов на сервер. Компонент GRID-server устанавливается на сервер сети распределенных вычислений и отвечает за координацию работы объектов GRID-worker, получение заданий от пользователей системы, разделение заданий на подзадания для конкретных объектов GRID-worker и итоговую обработку результатов всех подзаданий для получения конечного результата, необходимого пользователю.

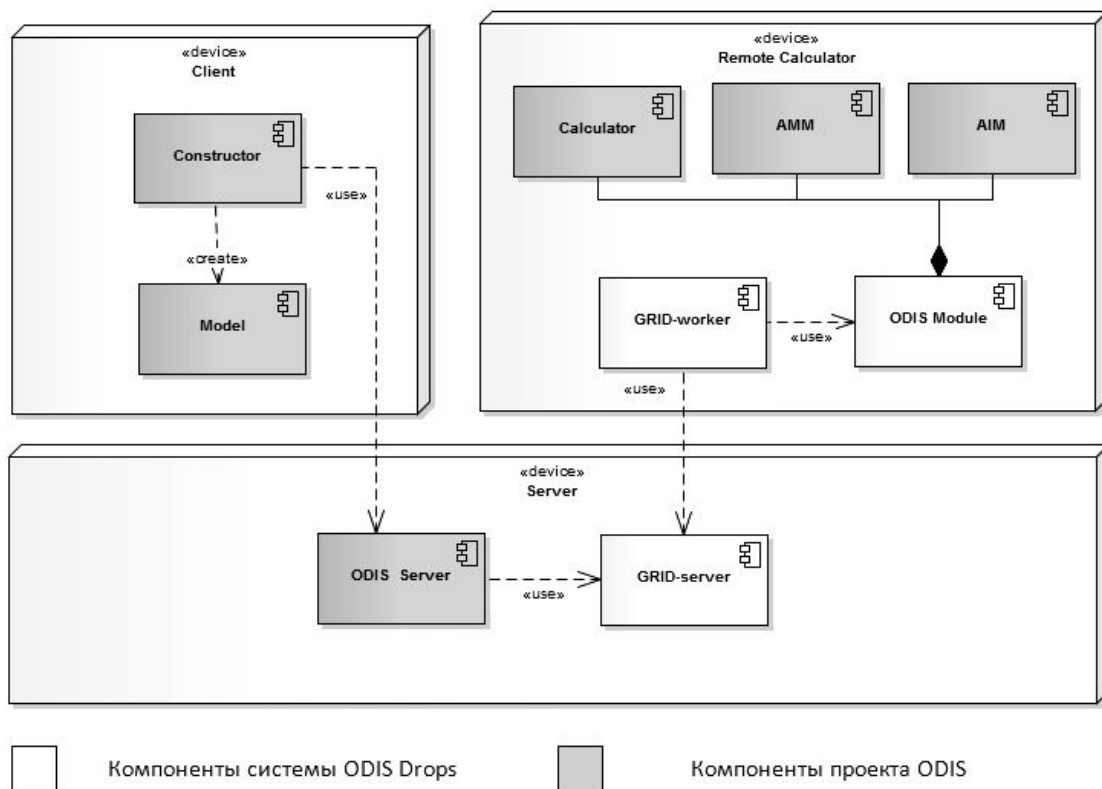


Рис. 1. Компоненты системы

Стоит отметить, что Grid-server в данном случае является пассивным. Он предоставляет два интерфейса – для клиентов системы и для объектов GRID-worker, при этом сам не производит никаких обращений к другим компонентам системы. Вместе с технологией Microsoft WCF, выбранной для обеспечения связи между компонентами, это позволило сделать сервер максимально доступным для большого количества компьютеров, находящихся в разных условиях сетевого доступа к физическому серверу.

Для решения различных типов задач на однократно развернутой сети объектов GRID-worker используется механизм модульного расширения системы [2].

На рис. 2 отражено поведение объектов, входящих в состав компонента Grid-server, в процессе добавления клиентским приложением нового задания, разделения задания на подзадания и отправку подзаданий для решения компонентами GRID-worker. Как видно из рисунка, инициатором создания нового задания в системе является объект TaskService, который, получив соответствующее сообщение от внешнего клиентского ПО, передает объекту Controller экземпляр класса TaskContent. Фактически же в этот момент передается экземпляр класса-потомка от TaskContent, описанного в одном из модулей расширения и описывающего структуру конкретного типа задач.

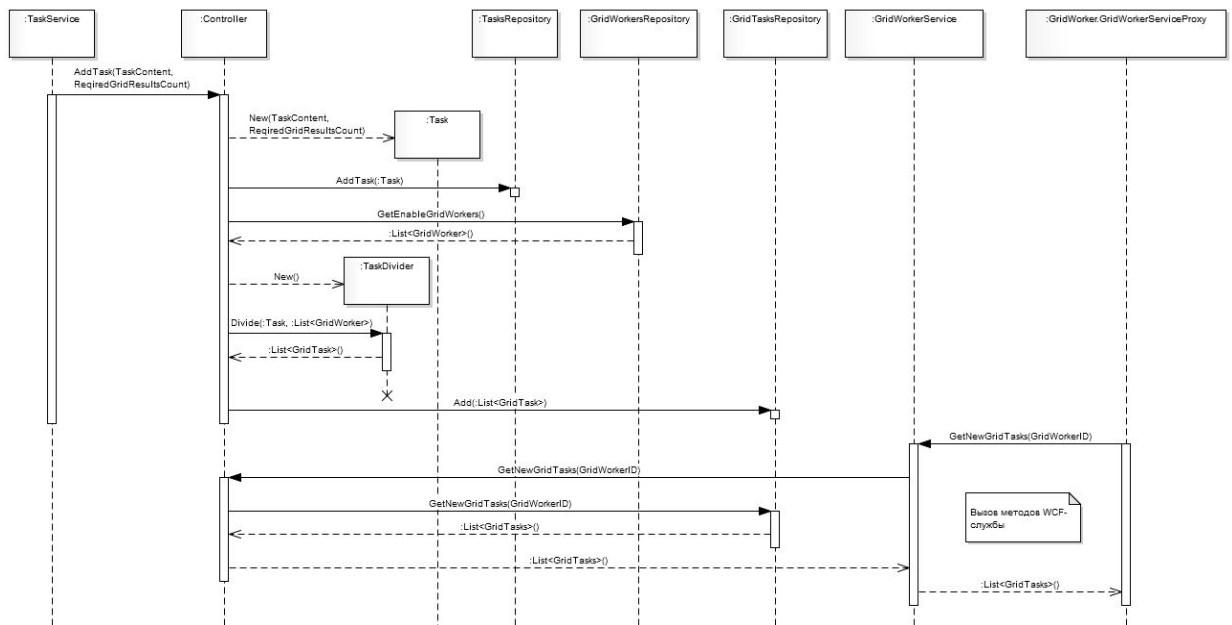


Рис. 2. Поведение объектов системы при добавлении новой задачи

Вместе с содержимым задания объект web-службы передает параметр `RequiredGridResultsCount`, указывающий, какое количество промежуточных результатов необходимо накопить перед итоговой обработкой и получением общего решения. Далее компонент `Controller` создает новый экземпляр класса `Task`, помещая в него полученные от web-службы данные, и добавляет его к коллекции всех заданий системы – объекту `TaskRepository`. Для разделения нового задания на подзадания для распределенных компонентов объект `Controller` запрашивает данные о существующих и доступных для работы объектах `GRID-worker` из объекта-хранилища `GridWorkersRepository` в виде объектов `GridWorkerInfo`. После этого объект `Controller` создает экземпляр одного из установленных в системе делителей заданий – потомков класса `TaskDivider` и передает ему требующее разделения задание и список данных об объектах `GRID-worker`, в результате чего ему возвращается список объектов подзаданий `GridTask`. Каждый объект `GridTask`, во-первых, содержит в себе копию объекта `TaskContent`, описывающего задание, а во-вторых, в любой момент времени после своего создания содержит ссылку на один из объектов `GridWorkerInfo` и параметр `RequiredGridResultsCount`, аналогичный параметру, полученному от web-службы. Таким образом, любой объект-подзадание `GridTask` всегда является «порученным» конкретному исполнителю `Grid-worker` с указанием количества результатов, ожидаемых от этого исполнителя. Очевидно, что при этом суммарное количество всех промежуточных результатов, ожидаемых от всех задействованных в выполнении задания исполнителей, равняется необходимому для итоговой обработки всего задания общему количеству промежуточных результатов. После разделения все полученные подзадания

помещаются в хранилище подзаданий – объект GridTasksRepository и становятся доступными для передачи исполнителям. После этого компонент Grid-server находится в состоянии ожидания обращений компонентов Grid-worker, установленных на компьютерах-ресурсах. Такие обращения происходят посредством второй web-службы сервера GridWorkerService.

Представленная модель поведения системы наглядно демонстрируют практическое использование механизма ее расширения, благодаря которому рассмотренный сценарий работы системы является единым и неизменным для решения любых задач целевого подмножества в будущем, что повышает степень повторной используемости и обеспечивает учет будущих изменений системы в целом.

Литература

1. Войтиков К. Ю., Моисеев А. Н., Тумаев П. Н. Компонентная модель распределенной объектно-ориентированной системы имитационного моделирования // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2010. – № 1. – С. 78–83.

2. Войтиков К. Ю., Тумаев П. Н. Построение архитектуры сервера распределенных вычислений // Научное творчество молодежи: Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции (15–16 апреля 2010 г.). – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2010. – Ч. 1. – С. 115–118.

3. Войтиков К. Ю., Тумаев П. Н. Архитектура компонента «Клиент» для системы распределенных расчетов // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур: Тезисы докладов Восьмой Российской конференции с международным участием. – Томск: Изд-во НТЛ, 2010. – С. 8–9.

Работа выполнена в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)», проект № 4761.

АНАЛИЗ РЕАЛИЗАЦИЙ РЕЙТИНГОВОЙ ОЦЕНКИ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ В ВУЗЕ

*А. М. Гудов, М. А. Гудов, С. Ю. Завозкин
Кемеровский государственный университет*

В традиционной форме обучения студентов вузов контроль получения и усвоения знаний недостаточно эффективен, критерии оценки труда учащихся размыты. Выставляемые оценки не охватывают все области деятельности студентов. Существующая на данный момент 5-балльная система оценки знания студентов не может дать объективных результатов контроля освоения студентом учебной программы, а также показать для студента важность работы в течение семестра, а не только на экзамене. Особенно это заметно для дисциплин или их разделов, изучение которых завершается “зачетами”. При выставлении оценки “зачтено” невозможно эффективно оценить

знания студентов, полученные за время обучения конкретному курсу. Зачастую система оценки деятельности студента оценивает только учебную работу студента в вузе, оставляя без внимания такие области, как научная, творческая и спортивная деятельности.

В условиях реформирования системы высшего образования изменяются подходы к оценке знаний и учету успеваемости студентов. Одним из наиболее востребованных подходов является балльно-рейтинговая система оценки знаний студентов. Наиболее выраженные достоинства рейтинговой системы лежат в области оценки учебной работы, а также в охвате всех аспектов деятельности студентов вуза. Введение балльно-рейтинговой системы делает более объективной оценку успеваемости студентов в целом. Она позволяет оценить совокупные академические успехи студента и дать более глубокий анализ результатов обучения, акцентирует внимание студента к наиболее важным видам деятельности [7].

Цель данного исследования – создание информационной системы, предназначенной для автоматизированного учета успеваемости студентов по учебной и внеучебной деятельности с использованием балльно-рейтингового метода оценивания.

При внедрении рейтинговой системы, в первую очередь, предполагается достичь таких результатов, как усиление мотивации студентов к освоению образовательных программ; повышение объективности оценки знаний; повышение уровня организации образовательного процесса в университете. Балльно-рейтинговый подход дает возможность учета и сопоставления результатов, полученных во время всех аспектов обучения студентов: практические занятия, лабораторные работы, зачеты, экзамены, участие в конференциях, научные работы, работа на лекциях, творческая жизнь, спортивные достижения и т. д.

Анализ существующих систем

Для анализа были рассмотрены рейтинговые системы оценки деятельности студентов, используемые в Тверском государственном техническом университете (ТГТУ) [2], Саратовском государственном социально-экономическом университете (СГСЭУ) [3], Северо-западной академии государственной службы Санкт-Петербурга (СЗАГС), Уральском институте экономики (УИЭ) [4], Новосибирском государственном техническом университете (НГТУ) [6], Санкт-Петербургском государственном университете информационных технологий (СПбГУ ИТМО) [5], Саратовской государственной академии права (СГАП).

Целью анализа является выявление недостатков оценки деятельности студентов. Анализ проводился по критериям оценки учебно-научной и внеучебной деятельности, представленным на рис. 1.

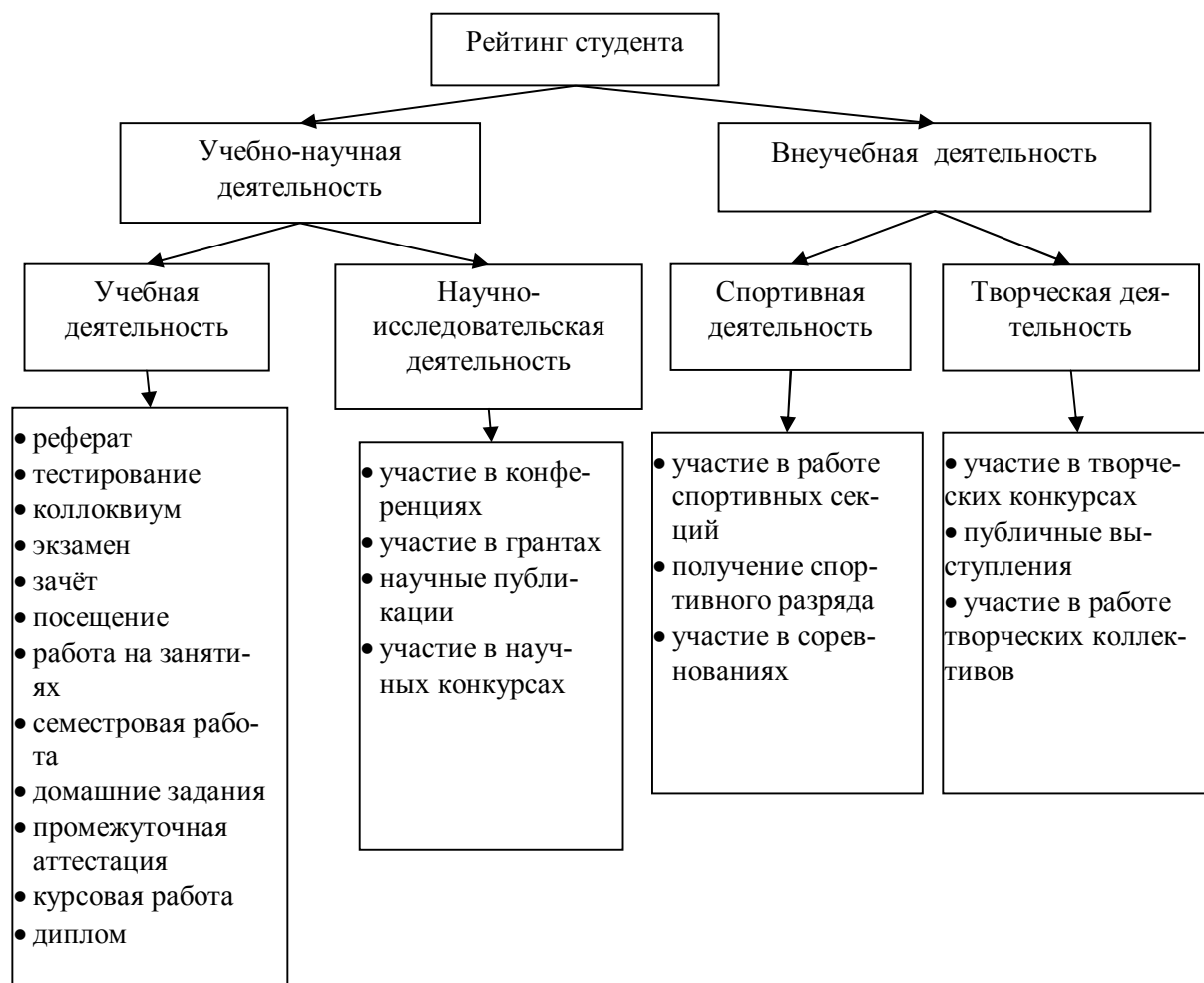


Рис. 1. Диаграмма критериев оценки рейтинга студентов

Результаты анализа систем

В таблице представлены обобщенные результаты анализа рейтинговых систем, реализованных в выбранных вузах.

Результаты анализа позволяют сделать выводы:

- в основном вузы рассматривают оценку только учебной деятельности, что соответствует рекомендации Министерства образования и науки РФ [1];
- производится оценка только текущей деятельности (исключая НГТУ), в то время как требуется оценивать деятельность студента в накопительной системе оценок;
- оценка, используемая в НГТУ, охватывает все виды деятельности, является текущей и дает вклад в накопительную оценку (рейтинг);
- нет единого «стандартного» подхода к определению оценок.

Оценки рейтинга студентов по вузам

		ТГТУ	СГСЭУ	СЗАГС	УИЭ	НГТУ	СГАП	СПбГУ ИТМО
Учебная деятельность	Контрольные работы	+	+	+	+	+	+	+
	Промежуточная аттестация	+	-	-	+	+	+	+
	Домашние задания	+	+	+	+	+	+	+
	Семестровая работа	+	-	-	+	+	+	+
	Активность на занятиях	+	+	+	+	+	+	+
	Реферат	-	-	-	+	+	+	+
	Тестирование	+	+	+	+	+	+	+
	Коллоквиум	+	-	-	+	+	+	+
	Экзамен / зачёт	+	-	+	+	+	+	+
Научно-исследовательская деятельность	Научная работа	-	-	+	-	+	-	-
	Участие в конференциях	-	-	-	-	+	-	-
	Научные публикации	-	-	-	-	+	+	-
	Участие в грантах	-	-	-	-	+	-	-
	Участие в научных конкурсах	-	-	-	-	-	-	-
Творческая деятельность	Участие в творческих конкурсах	-	-	-	-	+	-	-
	Публичные выступления	-	-	-	-	+	-	-
	Участие в работе творческих коллективов	-	-	-	-	+	-	-
Спортивная деятельность	Участие в работе спортивных секций	-	-	-	-	+	-	-
	Получение спортивного разряда	-	-	-	-	+	-	-
	Участие в соревнованиях	-	-	-	-	+	-	-

Наиболее полной из рассматриваемых систем является балльно-рейтинговая система, принятая в Новосибирском государственном техническом университете [6]. Система охватывает все виды учебной и внеучебной деятельности студента. Основные положения, используемые в системе оценки, определяются следующим образом:

- все виды деятельности разбиты на группы (учебная деятельность, внеучебная деятельность);
- в каждой группе производится оценка по 100-балльной шкале;
- основной вклад в общую (также 100-балльную оценку) вносит учебная деятельность (60 %);

для приведения рейтинга к 100-балльной шкале учитывается самое «значимое» достижение студента по каждой группе.

Выводы

На основе анализа нескольких рейтинговых систем, существующих в вузах на данный момент, нельзя выделить какую-то систему оценки деятельности студента, полностью удовлетворяющую требованиям любого вуза. Отсутствие накопительной оценки, учитывающей все достижения студента за весь период его деятельности в вузе, снижает адекватность и гибкость оценивания результатов его деятельности.

В Кемеровском государственном университете, начиная с 2003 г., действует система рейтинговой оценки результатов деятельности преподавательского состава. Эта оценка показала себя достаточно гибкой, адекватной, с точки зрения учета вклада всех составляющих деятельности научно-педагогических работников вуза. Однако какой-либо подобной системы оценки деятельности студентов, магистрантов и аспирантов не реализовано.

Поэтому задача создания такой оценки с учетом уже накопленного опыта в КемГУ является остро необходимой. Авторы предлагают следующие критерии для создания рейтинговой системы:

- **Адаптивность РС** к различным формам обучения (очная, очно-заочная, заочная, в сокращенные сроки, дистанционная).
- **Универсальность.** Учитывается количество баллов, полученных за все аспекты учебной и внеучебной деятельности студентов.
- **Учет посещаемости.** Учитывается посещаемость занятий.
- **Альтернативность.** Студент должен иметь возможность набрать баллы в течение семестра для получения оценки автоматом либо на экзамене (зачете) набрать баллы за весь семестр показанными знаниями.
- **Значимость компонентов ГОС** – в рейтинге студента в зависимости от направления и специальности зависит от коэффициентов значимости блоков дисциплин ГСЭ, ЕН, ОПД, СД и блоков федерального, регионального и выборного компонентов.
- Наличие автоматизированной системы обработки рейтинга студентов.
- Система сбора информации для оценки должна быть полуавтоматизированной – часть информации должна браться из базы интегрированной автоматизированной информационной системы, а часть информации заполняться студентом и подтверждаться ответственным лицом.

- **Доступность РС.** Рейтинг студента должен быть известен студенту, преподавателям и работодателям.

Литература

1. Приказ Министерства образования Российской Федерации от 11 июля 2002 г. № 2654 «О проведении эксперимента по введению рейтинговой системы оценки успеваемости студентов вузов».
2. Модульно-рейтинговая система обучения и оценки успеваемости студентов: метод. рекомендации [Электронный ресурс] // URL: http://www.tstu.tver.ru/new_struct/sko/doc/metod_mrs.doc (дата обращения: 14.09.2010).
3. Положение о модульно-рейтинговой системе подготовки студентов. –Саратов, 2004 [Электронный ресурс] // URL: <http://www.volsu.ru/rus/info/reiting6.doc> (дата обращения: 15.09.2010).
4. Положение о балльно-рейтинговой системе контроля успеваемости студентов. Уральский институт экономики [Электронный ресурс] // URL: <http://urame.ru/index.php?dn=article&to=art&id=19> (дата обращения: 15.09.2010).
5. Андреев В. В., Герова Н. В., Ведерникова и др. Рейтинговая система учета успеваемости студентов: Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2009614421 (зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 20 августа 2009 г.).
6. Положение о балльно-рейтинговой системе оценки рейтинга студентов Новосибирского государственного технического университета [Электронный ресурс] // URL: <http://www.nstu.ru/education/rating> (дата обращения: 17.09.2010).
7. Герова Н. В. Автоматизированная система рейтингового контроля знаний студентов вуза // Программные продукты и системы [Электронный ресурс] // URL: <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=2397> (дата обращения: 12.09.2010)

ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ КАК ЭФФЕКТИВНОЕ СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБУЧЕНИЯ УЧИТЕЛЯ И УЧЕНИКА

М. В. Денисович

НМОУ «Гимназия №11» г. Анжеро-Судженска

Дистанционное образование – комплекс образовательных услуг, предоставляемых с помощью специализированной информационно-образовательной среды на любом расстоянии от учреждений образования.

25 декабря 2002 г. Государственная дума приняла поправки к законам «Об образовании» и «О высшем и послевузовском профессиональном образовании», узаконив тем самым обучение с помощью дистанционных технологий. В закон вводится понятие «дистанционные образовательные технологии»

Дистанционное обучение – это универсальная гуманистическая форма обучения, базирующаяся на использовании широкого спектра традиционных, новых информационных и телекоммуникационных технологий и технических средств, которые создают условия для обучаемого свободного выбора образовательных дисциплин, соответствующих стандартам, диалогового обмена с преподавателем, при этом процесс обучения не зависит от расположения обучаемого в пространстве и во времени.

Прогнозы на перспективу указывают, что уже в обозримом будущем в системе образования примерно 40–50 % учебного времени будет приходиться на долю дистанционного обучения.

Основные черты дистанционного обучения:

- ♦ гибкость: занятия в режиме, удобном для пользователя;
- ♦ модульность: организация блока занятий в виде отдельных курсов-модулей и возможность формирования из них учебной программы, отвечающей индивидуальным или групповым потребностям;
- ♦ экономическая эффективность: средняя оценка мировых образовательных систем показывает, что дистанционное образование обходится на 50 % дешевле традиционных форм образования.

Цели дистанционного обучения:

- ♦ углубленное изучение темы, раздела из школьной программы или вне школьного курса;
- ♦ ликвидация пробелов в знаниях, умениях, навыках школьников по определенным предметам школьного цикла;
- ♦ подготовка школьников по отдельным учебным предметам к сдаче экзаменов экстерном;
- ♦ подготовка школьников к поступлению в учебные заведения определенного профиля;
- ♦ базовый курс школьной программы для учащихся, не имеющих возможности по разным причинам посещать школу вообще или в течение какого-то отрезка времени;
- ♦ дополнительное образование по интересам;
- ♦ профессиональная подготовка и переподготовка кадров (педагогических кадров по соответствующим специальностям);
- ♦ повышение квалификации педагогических кадров по определенным специальностям.

Дистанционное обучение – новая форма обучения, отличительным признаком которой является интерактивность, т. е. взаимодействие не только с программой, но и с учителем, а также с другими учениками. Интеграция очных и дистанционных форм обучения – реальная перспектива для школы.

Дистанционное обучение строится в соответствии с теми же целями и задачами образовательных программ, что и очное обучение, с тем же содержанием.

Информационно-образовательная среда ДО представляет собой системно организованную совокупность средств передачи данных, информационных ресурсов, протоколов взаимодействия, аппаратно-программного и организационно-методического обеспечения и ориентируется на удовлетворение образовательных потребностей пользователей.

В НМОУ «Гимназия №11» с 2010–2013 учебных годов начинает работать городская экспериментальная площадка по внедрению дистанционного

образования в учебный процесс. Цель дистанционного обучения – приобщение учителей и учащихся к полисистемному образовательному пространству в глобальной сети Интернет.

Основные задачи:

♦ Оказать помощь педагогам и школьникам в подготовке к олимпиадам от внутришкольного до международного уровня на состязательной основе.

♦ Снабдить педагогов дидактическим материалом, методическими пособиями для проведения олимпиад, уроков и внеклассных мероприятий, сформировать очередной электронный методический сборник по методике преподавания курса информатики, информировать о сетевых информационных ресурсах, проектах, конкурсах.

♦ Стимулировать олимпиадное движение за счет обмена опытом работы учителей информатики и информационных технологий в единой команде со школьниками.

У нашего образовательного учреждения огромный опыт участия в сетевых дистанционных олимпиадах. Наши ученики являются призерами и дипломантами Обнинских сетевых олимпиад, Санкт-Петербургских сетевых олимпиад по физике, трижды были обладателями Гран-при международной образовательной сетевой олимпиады.

В рамках проекта планируется проведение преподавателями гимназии уроков с использованием дистанционных ресурсов (on-line библиотек, on-line словарей), участие учеников и учителей не только в различных сетевых олимпиадах, но и образовательных сетевых олимпиадах, а также организация сетевых курсов для детей, находящихся на домашнем обучении, использование сети для организации руководства научно-исследовательской деятельностью старшеклассников и работы с одаренными детьми.

Проект способствует формированию общей коммуникационной и педагогической культуры на качественно новом уровне, вооружает культуроёмкими технологиями обучения, способными обеспечить всестороннее развитие и социальную адаптацию педагога и ребенка в современном информационном обществе.

Литература

1. Сеть творческих учителей [Электронный ресурс] // URL: www.int.ru.
2. Сайт Новосибирского государственного университета и колледжа по информатике [Электронный ресурс] // URL: www.ci.nsu.ru.
3. Университет информационных технологий [Электронный ресурс] // URL: www.intuit.ru.
4. Сайт Академии повышения квалификации [Электронный ресурс] // URL: www.apkpro.ru.
5. Сайт дистанционной обучающей олимпиады по информатике [Электронный ресурс] // URL: www.dooi.ru.

ВЕБ-ОРИЕНТИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВИДЕОКОНФЕРЕНЦИЙ

А. И. Догаев

Кемеровский государственный университет

Применение новых компьютерных и телекоммуникационных технологий в образовании, на базе которых стали развиваться образовательные технологии и услуги, является одним из основных факторов в сфере образования. Одно из направлений таких технологий – внедрение дистанционного обучения в образовательный процесс вуза. Одним из важнейших компонент этого направления являются интерактивные системы видеоконференций. Для организации систем дистанционного образования системы видеоконференций могут стать ключевыми в проведении аттестационных мероприятий. Таким образом, может быть повышено качество удаленных образовательных процессов.

Системы видеоконференций классифицируются на:

- программно-аппаратные;
- программные, созданные для браузеров;
- программные, созданные как обособленный модуль.

Программно-аппаратные системы видеоконференций, обладая значительной стоимостью, не являются многофункциональным инструментом, оптимизирующим процессы (количество точек видеовещания прямо пропорционально ее стоимости; точки видеовещания не могут создать единое информационное рабочее пространство, наращивание дополнительных функций слишком затратно или не предусмотрено). Программные системы, созданные как обособленный модуль, обладают широким функционалом, интегрируемостью, доступностью, минимальной стоимостью, но на данный момент закрыты для доработки. Программные веб-браузерные системы видеоконференций обладают наиболее широкой доступностью, функционалом, масштабируемостью, открытостью для доработок.

Сегодня существует немало систем для проведения видеоконференций, например: ooVoo, DimDim, Openmeetings, Skype, Adobe Connect, Cisco WebEx MeetMeNow, Microsoft Office Live Meeting. Их можно разделить на несколько классов:

- платные;
- бесплатные, но с ограниченным количеством участников, что является недопустимым для практического использования данных систем;
- бесплатные, но с ограниченным функционалом, что также является недопустимым для практического использования.

Поэтому необходимо создать собственную систему для проведения веб-конференций, которую можно будет полноценно использовать в научных, образовательных, промышленных и других целях.

Разрабатываемая система имеет клиент-серверную архитектуру. Клиентская часть представлена в виде обычного веб-браузера с поддержкой Adobe flash player и Java Runtime Environment; кроме того, необходимы веб-камера и устройства ввода/вывода звука для дистанционного общения. Также необходимо иметь канал связи для доступа в Интернет пропускной способностью не менее 512 Кбит/с.

Серверная часть реализует следующие функции:

- совместный доступ к экрану или отдельным приложениям;
- доступ к интерактивной доске;
- демонстрация презентаций;
- синхронный просмотр веб-страниц;
- аннотация экрана;
- мониторинг присутствия участников;
- доступ к текстовому чату;
- возможность использования интегрированной VoIP-связи;
- использование видеоконференц-связи;
- возможность менять ведущего;
- возможность отдавать контроль над мышью и клавиатурой;
- модерация онлайн-встреч;
- обратная связь (например, опросы или оценки);
- планирование встреч и приглашение участников;
- запись хода веб-конференции.

Система состоит из следующих подсистем:

- подсистем видеотрансляции;
- подсистем удаленного доступа;
- подсистем коллективного доступа к ресурсам;
- подсистем голосовой телефонии.

Подсистема видеотрансляции – подсистема, задачей которой является передача видеоаудиопотоков между пользователями системы.

Подсистема удаленного доступа – подсистема, задачей которой является трансляция удаленных рабочих столов между участниками веб-конференции, а также управление этими рабочими столами. Предполагается ввести 2 режима трансляции рабочего стола:

- режим «картинки» – отсутствие удаленного управления, передается только картинка;
- режим управления – доступны все стандартные функции управления рабочим столом.

Подсистема коллективного доступа к ресурсам – подсистема, задачей которой является организация коллективного просмотра и редактирования документов.

Подсистема голосовой телефонии – подсистема, основной задачей которой является обеспечение голосовой VoIP телефонией участников веб-конференции.

Задача самого сервера видеоконференций – обеспечение инфраструктуры для проведения веб-конференций и обеспечение взаимодействия между всеми компонентами системы.

В системе предполагается несколько типов пользователей:

- Администратор. Его основная задача – управление всей системой.
- Организатор. Его основная задача – создание веб-конференции и приглашение участников к веб-конференции.
- Модератор. Его основная задача – управлять конкретной веб-конференцией.
- Ведущий. Его основная задача – управлять потоками данных в рамках конкретной веб-конференции. Основные функции: управление аудиовидеопотоками, управление общедоступными рабочими столами и документами, а также управление различными голосованиями и опросами.
- Участник. Основная задача этого пользователя – участие в веб-конференции. Ему доступны функции просмотра аудио/видео, общедоступных рабочих столов и документов, пользование текстовым чатом и доской для комментариев.
- Гость. Это единственный не зарегистрированный в системе пользователь. Обладает теми же функциями, что и участник, но только в общедоступных видеоконференциях.

В качестве платформы для реализации были выбраны: медиасервер Red5, который позволяет воспроизводить и записывать потоковое аудио/видео; TightVNC – усовершенствованная версия протокола удаленного доступа VNC; JODConverter – Java-библиотека для конвертирования офисных документов в различные форматы, используя OpenOffice.org 2.x. В качестве платформы для веб-сервера выбран Apache Tomcat.

В настоящее время реализованными являются подсистемы видеотрансляции, удаленного доступа, коллективного доступа к ресурсам, голосовой телефонии. Реализованы функции передачи/записи потоковых аудиовидеоданных с веб-камер участников конференции, коллективного доступа к ресурсам и удаленного рабочего стола, VoIP-связи для участников. Ведутся работы над созданием веб-каркаса для системы проведения видеоконференции.

Планируемый ввод системы в эксплуатацию на площадке Кемеровского государственного университета – весна 2011 г.

Литература

1. Видеоконференции – технологии, оборудование, использование [Электронный ресурс] // URL: www.stel.ru.

2. Информационный источник о видеосистемах, применяемых в процессах работы предприятий [Электронный ресурс] // URL: <http://www.livebusiness.ru/tools/webmeeting>.
3. Официальный сайт проекта Dimdim [Электронный ресурс] // URL: http://www.dimdim.com/products/what_is_dimdim.html.
4. Передача потокового видео в сетях [Электронный ресурс] // URL: http://www.thg.ru/network/video_streaming_i/index.html.
5. Потоковое мультимедиа [Электронный ресурс] // URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D0%BC%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%B0.
6. Потоковое видео в вашей сети [Электронный ресурс] // URL: http://www.osp.ru/lan/1998/09/133624/_p1.html.
7. Программы для потокового видео [Электронный ресурс] // URL: http://www.3dnews.ru/software/streaming_video.
8. Grant M. The Value of Using Synchronous Conferencing for Instruction and Students / Cynthia S. Sunal, Ph. D. // The University of Alabama. – 2007. – Vol. 6, № 3. – P. 211–226.

ПРАКТИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ КОДЕКА BUTTERFLY SCREEN VIDEO CODEC С ЕГО АНАЛОГАМИ

Д. В. Дружинин

Томский государственный университет

Приводится описание схемы сжатия кодека Butterfly Screen Video Codec, разработанного автором. Представлены результаты практического сравнения кодека Butterfly Screen Video Codec с аналогичными по назначению разработками.

Экранное видео – это видео происходящего на экране пользователя. При этом фиксируется активность пользователя: движение курсора мыши, скроллинг, сворачивание и открытие свёрнутого окна, перемещение окна, ввод текста и т. д.

В силу следующих характеристик экранного видео становится актуальной задача разработки эффективных алгоритмов сжатия экранного видео.

1. Экранное видео – это видео высокого разрешения.
2. Экранное видео требуется сжимать без потерь информации (по крайней мере в тех частях, где присутствуют дискретно-тоновые цветовые переходы).
3. Приложения, предназначенные для записи и просмотра экранного видео, – это симметричные приложения, то есть жёсткие требования по времени предъявляются не только к декодеру, но и к кодеру. При этом полезность таких приложений для конечного пользователя резко возрастает, если их можно запускать в фоновом режиме.

4. Экранное видео в значительной степени отличается от камерного видео [1].

Автором был разработан ряд эффективных алгоритмов, предназначенных для сжатия ключевых и промежуточных кадров экранного видео [1–4]. Эти алгоритмы были применены при создании кодека Butterfly Screen Video Codec.

1. Общее описание кодека Butterfly Screen Video Codec

При разработке кодека Butterfly Screen Video Codec задача ставилась следующим образом: максимизировать степень сжатия при выполнении двух условий:

а) универсальность используемых алгоритмов относительно операционной системы (ОС);

б) возможность осуществления сжатия экранного видео в фоновом режиме.

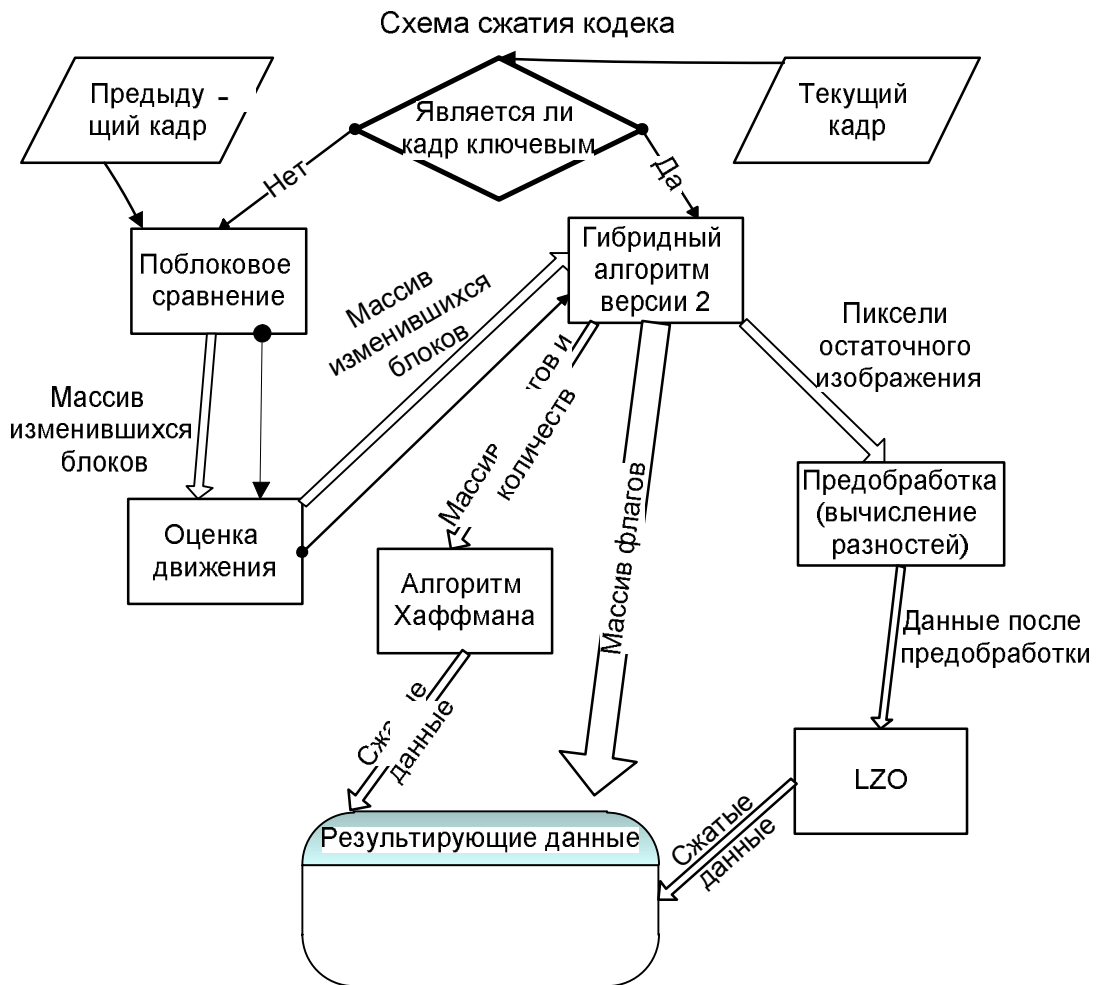
Фоновым режимом работы приложения будем считать такой режим, в котором приложение расходует в среднем не более 10 % времени одного ядра процессора.

Рассмотрим схему сжатия кодека.

Сначала происходит проверка, является ли текущий кадр ключевым или нет. Если кадр оказался ключевым, то он сжимается гибридным алгоритмом [2]; затем различные типы результирующих данных гибридного алгоритма обрабатываются по-разному. Массив сдвигов и количеств дополнительно обрабатывается алгоритмом Хаффмана, а пиксели остаточного изображения после предобработки дополнительно сжимаются алгоритмом LZO [5].

Если кадр оказался промежуточным, то сначала выявляются изменившиеся относительно предыдущего кадра блоки текущего изображения («Поблочное сравнение» на рис. 1).

Эта стадия сжатия подробно описана в [4]. Затем выполняется оценка движения для изменившихся блоков текущего кадра относительно предыдущего кадра («Оценка движения» на рис. 1). Используемая здесь модификация алгоритма оценки движения была представлена в [1]. При этом количество блоков в массиве изменившихся блоков может уменьшиться в случае, если для некоторых блоков было найдено соответствие в ходе оценки движения. После этого промежуточный кадр сжимается аналогично ключевому кадру за тем исключением, что гибридный алгоритм обрабатывает только изменившиеся относительно предыдущего кадра блоки текущего кадра.



Условные обозначения

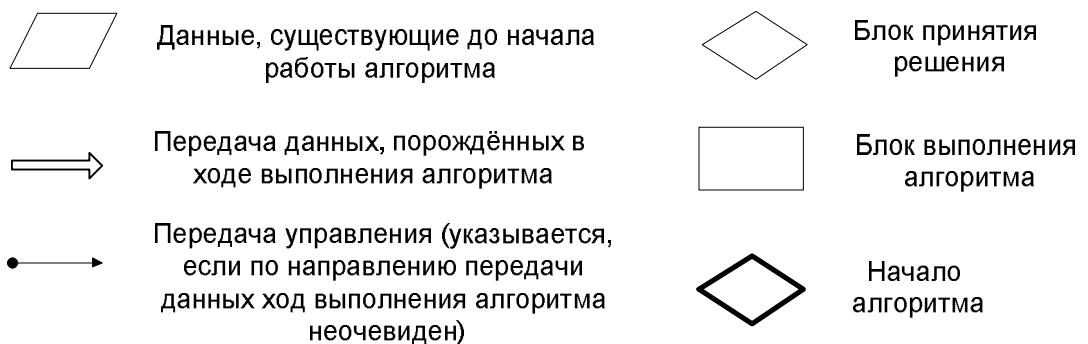


Рис. 1. Схема сжатия кодека Butterfly Screen Video Codec

2. Результаты практического сравнения кодеков

Методика тестирования кодеков: Для тестирования кодеков использовалась следующая методика. Запускается приложение, которое будет использовать тестируемый кодек. Затем включается режим фиксации активности пользователя. Непосредственно перед этим запоминается значение параметра «Время ЦП» в диспетчере задач Windows, соответствующего процессу тестируемого кодека. Затем пользователь осуществляет действия, типичные при работе в среде разработки Visual Studio 2005 в течение 15 мин. При этом

схожие последовательности действий выполняются при тестировании каждого кодека. В конце происходит деление размера результирующего файла на количество минут (в нашем случае 15), чтобы получить усреднённые данные. Аналогично параметр «Время ЦП» рассчитывается для одной минуты работы кодека.

В ходе тестирования были замерены характеристики десяти кодеков, предназначенных для сжатия экранного видео. В таблице данные указаны в расчёте на 1 мин записи экранного видео. Тестирование проводилось при работе пользователя в среде Visual Studio 2005. При этом разрешение экрана имело значение 1024 * 768. Для всех кодеков был выбран режим сжатия без потерь информации.

**Результаты тестирования кодеков,
предназначенных для сжатия экранного видео**

Кодек	Размер файла (КБ)	Средний % загрузки ЦП
1. Butterfly Screen Video Codec	738	5,4
2. MSU Screen Capture Lossless Codec [6] (with fades detection)	1261	18,3
3. MSU Screen Capture Lossless Codec (without fades detection)	1301	3,3
4. BB FlashBack [7] (using capture driver)	684	6,6
5. BB FlashBack (GDI mode)	1293	13,3
6. CamStudio Lossless Codec [8] (LZO model)	12290	3,3
7. ffdshow Video Codec [9]	4759	6,6
8. Windows Media Encoder 9 [10]	518	43,3
9. Microsoft Expression Encoder 4 [11] (200 kbps)	1494	13,3
10. Microsoft Expression Encoder 4 (500 kbps)	3561	20

Тестирование проводилось на платформе со следующими характеристиками: процессор Intel Core 2 Duo E6750 2,66 ГГц; оперативная память DDR2 2Гб; операционная система Windows XP.

Как видно по результатам тестирования, кодеки BB FlashBack и Windows Media Encoder 9 превосходят Butterfly Screen Video Codec по степени сжатия. Но уровень использования процессорного времени у кодека Windows Media Encoder 9 очень высок – свыше 40 %, что делает сомнительной его полезность при фиксации экранного видео, так как процессорного времени может не хватить основным приложениям пользователя, визуальную часть функционирования которых как раз и хочет зафиксировать пользователь.

BB FlashBack в режиме использования capture driver незначительно превосходит Butterfly Screen Video Codec по степени сжатия (на 7,5 %). При этом надо учитывать, что в режиме capture driver в кодеке BB FlashBack задействуется технология mirror видеодрайвер, не являющаяся универсальной.

Эта технология может быть задействована только в нескольких ОС семейства Windows [12].

Остальные участники тестирования существенно отстают от Butterfly Screen Video Codec по степени сжатия. Участник под номером 2 MSU Screen Capture Lossless Codec (with fades detection) отстаёт от Butterfly Screen Video Codec по степени сжатия более чем на 50 %. Отставание других участников тестирования ещё более значительно. Участник тестирования Microsoft Expression Encoder 4 (200 kbps) способен фиксировать не более 2–3 кадров в секунду, чтобы уложиться в ограничение 200 кбит в секунду, поэтому в результате получается даже не видео, а набор отдельных кадров, упорядоченных хронологически.

Заключение

Тестирование показало, что Butterfly Screen Video Codec превосходит по степени сжатия все протестированные кодеки, обладающие двумя характеристиками:

- а) универсальность используемых алгоритмов относительно ОС;
- б) возможность осуществления сжатия экранного видео в фоновом режиме.

Литература

1. Дружинин Д. В. Алгоритм оценки движения, адаптированный для обработки экранного видео // Вычислительные методы и программирование: Научный журнал. – М.: Научно-исследовательский вычислительный центр при МГУ, 2009. – С. 117–122.
2. Дружинин, Д. В. Гибридный алгоритм сжатия изображения. Сравнение алгоритмов сжатия изображений // Информационные технологии и математическое моделирование: Материалы VI Международной научно-практической конференции (9–10 ноября 2007 г.). – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2007. – Ч. 2. – С. 70–73.
3. Дружинин, Д. В. Алгоритм классификации блоков изображения, оптимизированный для выполнения на видеокarte // Информационные технологии и математическое моделирование: Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (12–13 ноября 2009 г.) – Томск, Изд-во Том. ун-та, 2009. – Ч. 2. – С. 206–211.
4. Дружинин, Д. В. Сжатие экранного видео с помощью видеокарты. Сравнение технологий // Вычислительные методы и программирование: Научный журнал. – М.: Научно-исследовательский вычислительный центр при МГУ, 2008. – С. 72–80.
5. LZO home page [Электронный ресурс] / M. Oberhumer. – Электрон. дан. – URL: <http://www.oberhumer.com/opensource/lzo>, свободный.
6. Попов Д. MSU Screen Capture Lossless Codec [Электронный ресурс] / Д. Попов. – Электрон. дан. – URL: http://compression.ru/video/lz-codec/screen_capture_codec_en.html, свободный.
7. BBFlashBack home page [Электронный ресурс] / BlueBerry software. – Электрон. дан. – URL: www.bbsoftware.co.uk/bbflashback.aspx, свободный.
8. Camstudio home page [Электронный ресурс] / Camstudio. – Электрон. дан. – URL: <http://camstudio.org>, свободный.
9. ffdshow home page [Электронный ресурс] / ffdshow – Электрон. дан. – URL: <http://sourceforge.net/projects/ffdshow>, свободный.

10. Windows Media Encoder 9 [Электронный ресурс] / Microsoft Corp. – Электрон. дан. – URL: <http://www.microsoft.com/windows/windowsmedia/ru/9series/encoder/default.aspx>, свободный.

11. Microsoft Expression Encoder 4 home page [Электронный ресурс] / Microsoft Corp. – Электрон. дан. – URL: http://www.microsoft.com/expression/products/EncoderPro_Overview.aspx, свободный.

12. Campbell M., Calvo, M. The Facts About Mirror Drivers in Screen readers. [Электронный ресурс] / M. Campbell, M. Calvo – Электрон. дан. – URL: <http://serotek.com/mirror-driver-paper.html>, свободный.

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ИНТЕГРАЦИИ ERP-СИСТЕМ INCADIA И «1С: ПРЕДПРИЯТИЕ»

О. А. Змеев, К. С. Малахов

Томский государственный университет

В настоящий момент на рынке корпоративных систем широко распространены системы, реализующие концепцию построения корпоративных информационных систем, называемую ERP (Enterprise Resource Planning) – планирование ресурсов предприятия. В основе ERP-систем лежит принцип создания единого хранилища данных, содержащего всю корпоративную бизнес-информацию и обеспечивающего одновременный доступ к ней любого необходимого количества сотрудников предприятия, наделенных необходимыми полномочиями [1].

Внедрение западной ERP-системы дает различные преимущества. Как минимум большинство таких систем сертифицировано, и, как следствие, использование такого продукта способствует повышению привлекательности компании для зарубежных инвесторов. Кроме того, если предприятие входит в состав холдинга (возможно даже иностранного), то система уже определена.

В российских представительствах корпораций Фольксваген и БМВ используется система ERP-класса Incadia. Кроме этого, названные компании рекомендовали Incadia для использования всем дилерам марок, так как эта корпоративная система учитывает как требования стандартов марок к выполнению бизнес-процессов, так и специфичные особенности деятельности российских дилерских предприятий [2].

Incadia – международный программный продукт для автомобильного бизнеса (автомобильных дилеров и сервисных центров), разработанный американской компанией Reynolds&Reynolds на базе системы Microsoft Business Solutions Navision. Программное обеспечение Incadia позволяет автоматизировать такие сферы деятельности автомобильного предприятия, как продажа автомобилей и запчастей, управление сервисным обслуживанием и отношениями с клиентами [3].

Систему Incadia используют в работе более 1100 дилерских центров в 35 странах мира.

Внедрение западной системы создает определенные проблемы. Подобные системы ориентируются на автоматизацию управленческого оперативного учета, и, как следствие, блок формирования бухгалтерской отчетности (по российским стандартам) слабо проработан либо вообще отсутствует. Кроме этого, существуют различные проблемы по адаптации западной системы к расчету заработной платы работников в соответствии с российским законодательством.

Проблема формирования фискальной отчетности может быть решена либо попыткой сформировать требуемую отчетность средствами ERP-системы, либо ведением параллельного учета в какой-либо из российских систем. Первый вариант решения оставляет открытым вопрос о расчете заработной платы, и кроме того, стандарты российской отчетности часто претерпевают определенные изменения. Второй вариант позволяет снять проблему отслеживания изменений в российской отчетности. Но этот вариант требует наличия автоматизированного канала обмена данными между двумя системами. Таким образом, возникает задача создания средств, обеспечивающих обмен данными между ERP-системами и российскими системами формирования бухгалтерской отчетности.

При разработке системы обмена данными предлагается исходить из следующих предположений о характере ее предстоящего использования:

1. Работа по вводу всех первичных документов выполняется в ERP-системе, а российская система используется для расчета зарплаты и формирования фискальной отчетности.

2. Формирование фискальной отчетности и расчета заработной платы происходит с определенной периодичностью и не требует от системы оперативного обмена данными в режиме реального времени.

Перечисленные выше задачи, которые должна решать система обмена данными, и предположения о характере ее использования позволяют сформулировать следующие основные требования к разрабатываемой системе передачи данных из ERP-системы в систему РБУ [1]:

1. Обеспечение передачи всей информации, необходимой для формирования отчетности в соответствии с российскими стандартами.

2. Обеспечение передачи информации из тех разделов учета, которые по каким-либо причинам ведутся в системе РБУ, а данные из них требуются для работы разделов, обслуживаемых в ERP-системе.

3. Гарантированность полноты передаваемой информации с учетом возможного внесения изменений и дополнений в информационную базу.

4. Механизм обмена не должен допускать повторной передачи ранее переданных данных, которые после передачи не подвергались изменениям, если пользователь не требует такой передачи сознательно.

5. В механизме обмена должна присутствовать процедура верификации переданной информации (в частности, проверка ссылочной целостности).

6. Настройка механизма обмена должна (в идеале) осуществляться за счет заполнения соответствующих настроечных параметров и не должна требовать модификации текстов программных модулей.

В роли системы РБУ выступает конфигурация «1С: Бухгалтерия» на платформе «1С: Предприятие 8.1». На такой выбор повлияли следующие факторы:

- фирма-разработчик ежеквартально обновляет все формы регламентированной отчетности в соответствии с изменениями российского законодательства;
- открытость и хорошая документированность платформы «1С: Предприятие»;
- широкая распространенность и известность системы.

Для реализации системы обмена данными использовался подход интеграции приложений «обмен файлами». При использовании такого подхода не нужно использовать дополнительные промежуточные приложения. При изменении функционирования каких-то бизнес-процессов необходимо будет перенастроить шаблоны обмена данными, написание какого-то дополнительного кода будет минимальным.

Для обмена данными используются следующие средства:

- на стороне Incadea – инструмент PBiz XML-Data Exchange Manager (XML-DEM), распространяемый в виде дополнения к системе Microsoft Dynamics NAV [4].

- на стороне «1С: Предприятие» – стандартная внешняя обработка «Универсальный обмен данными в формате XML». Правила обмена данными определяются с помощью конфигурации «Конвертация данных 2.0». Несмотря на всю мощь этого инструмента, он предназначен для обмена данными между приложениями на базе платформы «1С: Предприятие», и как следствие этого ограничения, формат xml файлов обмена определен разработчиками этой конфигурации. Из-за этого решено использовать промежуточное XSL-преобразование структуры xml-файла.

Положительные стороны:

- решение слабо связывает интегрируемые системы, т. е. внутренние изменения одной из систем слабо влияют на интерфейс взаимодействия;
- количество изменений в системах, которые необходимо произвести для достижения цели, напрямую зависит от разнородности внутренней структуры приложений. В случае решаемой задачи интеграции систем Incadea и «1С: Предприятие» в систему Incadea были внесены незначительные изменения.

Отрицательные стороны:

- заказчику необходимо приобрести Add-on PBiz XML Data Exchange Manager (XML-DEM);

- из-за невозможности использования единого формата данных, в решении использован внешний java-скрипт, выполняющий xsl-преобразование, но его выполнение прозрачно для пользователя.

В разработанном решении проблема своевременности доставки данных ложится на плечи ответственных пользователей системы.

Литература

1. Техническая библиотека CITForum.ru. – Электрон. дан. – М.: Центр Информационных Технологий ("ЦИТ"), 2005 [Электронный ресурс] // URL: <http://citforum.ru>, свободный.
2. Интернет-сайт компании «Крок». – Электрон. дан. – Крок 2009 // URL: <http://www.croc.ru/>, свободный
3. Интернет-сайт компании «Альянс Медиа». – Электрон. дан. – Альянс Медиа, 1999 [Электронный ресурс] // URL: <http://openmarket.ru/>, свободный.
4. Интернет-сайт компании «Практика Бизнеса». – Электрон. дан. – М.: Практика Бизнеса, 2005 [Электронный ресурс] // URL: <http://www.pbiz.ru>, свободный.
5. Информационно-технологическое сопровождение «1С: Предприятие» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М.: ЗАО «1С», 2007. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Ю. В. Кривошеев

Институт управления и информатики

Кризис, который изменил современную парадигму рынка корпоративных информационных систем (КИС), служит явным доказательством того, что происходят существенные перемены. Суть этих перемен в том, что организации меняются быстрее, чем раньше. Период, в течение которого предприятия остаются неизменными, постоянно сокращается. Раньше компания оставалась той же в течение 10 лет. Сейчас уже говорят о 3–5 годах, в течение которых бизнес-процессы и организационная структура предприятия, скорее всего, претерпят изменения.

Это приводит к очевидному несоответствию между временными рамками периода стабильности и сроками ИТ-проектов, таких как внедрение (включая и стадию выбора) ERP-систем, требующих не менее 2–3 лет при достаточно структурированных и стандартных процессах. Организации как объект автоматизации меняются быстрее, чем мы успеваем внедрить КИС. Если же изменения касаются интеграции с другими системами и требуют работ под специфические потребности заказчика, то проекты могут быть гораздо более продолжительными по времени.

Изменения в окружающей среде все чаще происходят скорее, чем организация способна отреагировать. Это и является причиной того, что время, требующееся для перехода на новые бизнес-процессы и реализации бизнес-стратегии, становится новым узким местом. Современная ситуация

требует, чтобы процесс предпроектного выбора (от старта до заключения договора с интегратором) занимал не более 6 месяцев, а лучше 4 мес. В противном случае результаты анализа начинают устаревать, что приводит к неверному выбору.

При покупке КИС раньше часто можно было услышать просьбу предоставить демо-версию. Сейчас ничего подобного уже не происходит. КИС стали настолько сложными, что пытаться изучить их, а тем более сравнить, стало для заказчика абсолютно нереальной задачей. Возьмем крупнейшую корпоративную систему – SAP R/3. Внутри самой компании консультанты, занимающиеся внедрением, знают только 1–2 модуля этой системы. И то после нескольких лет работы в компании. Очевидно, что за время, отведенное на выбор, заказчик не может изучить систему; состоящую из нескольких модулей. А перед ним стоит еще более сложная задача – сравнить несколько систем.

Наблюдается рост сложности технологических решений, возникает необходимость интеграции множества технологий для обеспечения растущих потребностей бизнеса. Это зачастую приводит к катастрофическому росту неудачных проектов внедрения КИС. Сегодня примерно половина ИТ-проектов в различных отраслях заканчиваются не так, как было запланировано, а в государственном секторе этот показатель достигает 70 %.

Рост сложности ИТ-систем делает невозможным их сколько-нибудь надежное сравнение при выборе старым методом прямого изучения – чтобы добиться адекватного качества анализа, просто не хватает времени.

В последние годы произошла ускоренная эволюция роли ИТ в бизнесе. За последние два десятилетия роль ИТ в бизнесе сместилась от автоматизации рутинных операций к преобразованию всей модели ведения бизнеса. ИТ-подразделение замыкается на бизнесе и делает его зависимым от ИТ. Как следствие, на первый план выходит возможность изменения самого бизнеса, его рабочих процессов за счет внедрения ИТ. Такое изменение роли ИТ делает задачу выбора КИС исключительно с точки зрения технологий невозможной.

С предыдущим пунктом тесно связана проблема оценки эффекта от возможного применения систем. Управленцы и бизнесмены мыслят в категориях бизнес-моделей, бизнес-процессов и специфических функций бизнеса, в то время как сотрудники ИТ-служб оперируют технологиями и техническими аспектами. Вполне естественно, что КИС долго считалась исключительно прерогативой ИТ-служб, так как только их специалисты обладали соответствующей квалификацией и опытом.

Однако сейчас, чтобы реально получить отдачу от проекта внедрения КИС, необходимо синтезировать опыт и знания бизнеса и ИТ, причем обе стороны должны быть заинтересованы в подобном сотрудничестве. ИТ обеспечивают потенциальные преимущества, но воплотить их в жизнь можно только при активном участии менеджмента. Соответственно, потребность в

серьезном вовлечении руководства бизнеса в процесс выбора систем является тем изменением, которое необходимо принять всем – и ИТ, и бизнесу.

Еще одним важным фактором, определяющим актуальность новых, более систематических подходов к планированию и выбору ИТ, является постоянное увеличение расходов на информационные технологии и рост связанной с этим цены ошибки. Достаточно репрезентативна зависимость капитальных расходов на ИТ, отнесенных к общим капитальным расходам компании. Эта зависимость имеет явную тенденцию к увеличению, так что прогнозируемая доля расходов на ИТ достигнет к 2015 г. почти половины совокупных капитальных затрат.

Таким образом, выбор КИС – это полноценный инвестиционный проект, требующий серьезной профессиональной проработки. Не каждый сотрудник планово-экономического отдела может подготовить обоснование инвестиционного проекта, а сотрудник ИТ-отдела – реализовать современный проект выбора систем.

Новые правила выбора КИС – от проекта «познавательного» к проекту коммуникативному. Указанные выше переменные не обошли стороной и интеграторов: изучить все бизнес-требования заказчика на этапе продажи поставщик не в состоянии, поэтому наивно предполагать, что поставщик может сам оценить и четко обосновать необходимые трудозатраты по доработке системы на основании переговоров. Следовательно, если заказчик не будет помогать поставщику в определении объемов работ, поставщик вряд ли сможет оценить финальную стоимость проекта.

Предлагаемая методика оставляет каждого в рамках своей компетенции: бизнес отвечает за свои бизнес-требования, а поставщик – за свои возможности. Суть методологии заключается в организации правильной коммуникации между бизнесом и поставщиком, чтобы никому из них не надо было выходить за рамки своей компетенции и тратить время на выполнение заведомо невыполнимых задач. Добиться этого можно путем обмена соответствующими документами, части которых готовятся разными специалистами, а сводная информация пригодна для формального анализа.

Сбор требований для выбора системы отличается от сбора требований для разработки системы. Разница в том, что при разработке системы архитектор может задать такую архитектуру, какую считает нужной. Например, если заказчики и поставщики будут рассматриваться архитектором как разные сущности, то тогда в системе будут две отдельные таблицы, в одной из которых будут регистрироваться поставщики, а в другой – заказчики. Другой архитектор скажет, что поставщики и покупатели – это проявление одной общей сущности – «контрагент», который может иметь признак покупателя, поставщика или того и другого одновременно. Получить сводный отчет по операциям с контрагентами у второго разработчика будет гораздо проще.

Иными словами, при разработке системы должно приниматься решение о том, как будет выглядеть архитектура системы. В случае же выбора

системы компания сталкивается с готовой архитектурой, с определенным набором решений.

Когда определяются требования для выбора системы, не нужно вторгаться в область создания архитектуры. Нужно остановиться на тех вопросах, которые отражают деятельность компании и сообщают потенциальному поставщику о том, какая информация нужна в отчетах и учет каких операций нужно предусмотреть в системе. Выбор ведется уже в отношении системы и организованной в ней архитектуры. Поставщик соотносит деловые требования заказчика с теми вариантами, которые есть в его системе, и соответственно определяет вариант реализации требования.

В итоге при сборе требований для выбора системы достаточно остановиться на уровне, на котором поставщику хорошо понятна логика и необходимые информационные потребности бизнеса. Дальше предлагать варианты реализации требований должен уже поставщик.

Стратегическая увязка проекта выбора. Ускорение изменений в бизнесе требует более быстрого развертывания (выбора и внедрения) систем. Всегда существует разрыв между той поддержкой, которую предоставляет отдел ИТ, и тем, что необходимо бизнесу в данный момент. Преодоление этого разрыва обеспечивается ИТ-стратегией, которая определяет целевое состояние ИТ на перспективу и позволяет выстраивать его с необходимым упреждением по отношению к изменению бизнеса.

При внедрении часто возникает дилемма: изменять бизнес-процесс под систему или же систему под бизнес-процесс. Ни то ни другое не является окончательно правильным решением. В первом случае получается законсервированное состояние бизнеса, упускается возможность для улучшения. Опыт показывает, что и второй вариант практически никогда не приводит к успеху. Это связано с тем, что за редким исключением невозможно построить бизнес по образцу системы.

Теперь рекомендуется совершенно иной подход: система выбирается под целевое состояние – будущее состояние бизнес-процессов, определяемое стратегией предприятия. Таким образом, и бизнес-процессы, и ИТ-обеспечение как бы стремятся к единому целевому состоянию.

В этом есть некоторый парадокс: система должна выбираться так, как если бы она была уже внедрена. То есть должно быть представление о том, как бизнес-процесс будет осуществляться в будущем и как ИТ-система ложится на него. Для этого в проекте должен быть эксперт, который бы представлял, как система может быть использована. Он должен уметь совместить целевое состояние бизнеса с ИТ.

В итоге получается, что осознание предприятием того, для чего ему нужна автоматизированная система, – это самый важный момент, позволяющий не ошибиться в выборе. Цели должны быть определены с точки зрения стратегии бизнеса, причем они должны быть таковы, чтобы их можно было измерять и оценивать. Требования к системе должны вытекать из целевого

состояния, а не из текущего. В этом случае можно разрешить противоречие между быстротой изменения бизнеса и длительностью процессом внедрения системы. Кроме того, необходимо увязать целевые бизнес-потребности с целевой ИТ-инфраструктурой.

Правильный подход состоит в концентрации на той стороне этих отношений, которая связана с получением дополнительной стоимости, поскольку бизнес-руководство, когда оно достаточно глубоко понимает преимущества, получаемые от реализации ИТ-проектов, обычно гораздо лучше представляет, какие средства оно готово инвестировать в эти проекты. Такой подход увеличивает шансы на получение реальной поддержки ИТ-проектов со стороны бизнес-руководства. Как только проект скатывается исключительно в область информационных технологий, его успех и поддержка уже не соответствуют реальным целям бизнес-руководства.

Таким образом, взаимосвязь бизнес-стратегии и развития ИТ на предприятии должна характеризоваться следующим образом:

- в основе должна лежать современная точка зрения на ИТ-архитектуру как на производную от бизнес-стратегии и бизнес-задач предприятия;
- стратегия развития ИТ должна базироваться на четком понимании бизнес-целей, стратегии и видении целевого состояния;
- ИТ-инициативы, проводимые в компании, должны выполнять заказ бизнеса. ИТ-стратегия определяет инициативы по совершенствованию бизнес-процессов на основе информационных технологий.

Проводя автоматизацию, многие компании делают одну ошибку: они сначала выбирают систему для автоматизации, а потом уже просят ее поставщика подробно проанализировать нужды предприятия. При этом складывается ложное впечатление, что выбор бесплатен, а деньги нужно платить только за оставшиеся части проекта внедрения.

Необходимо сразу же объявить о разделении проекта автоматизации на два подпроекта: по выбору и по внедрению. Обычно стоимость анализа, проводимого внедренцем, составляет 25–30 % от общего бюджета проекта внедрения. Поэтому можно взять консервативные 20 % и потратить их на анализ и описание системы. Общая сумма расходов не вырастет и даже наоборот, может сократиться. Тогда не придется переплачивать за дополнительный анализ со стороны поставщика и доработку неидеальной системы. Сделав подробный анализ, можно также избежать двусмысленности в отношениях с поставщиком, который может неверно истолковать расплывчатые, неформализованные требования заказчика. В первом случае поставщик либо поднимет стоимость за проведение более подробного анализа со своей стороны, либо составит жесткий договор, ограждающий его от возможных негативных последствий.

Готовые системы никогда не «ложатся» на бизнес без некоторой доработки. Покупая КИС, предприятие нуждается не в системе, а в решении

своих проблем. Таким образом, выбор КИС – это фактически выбор решения проблем, то есть умение поставщика создать необходимое решение путем доработки базовой функциональности исходного пакета в рамках бюджета. Вот почему коммерческие предложения следует оценивать комплексно, как совокупность «система + интегратор», а не поэтапно.

Нельзя не остановиться на одном моменте взаимоотношений с поставщиком на проекте выбора системы. Весьма привлекательной для заказчика может стать идея «лучшей практики» или «лучшего готового решения» для его бизнеса. Действительно, зачем что-то делать, изучать и сравнивать, если можно просто купить «лучшую практику». Многие руководители предполагают, что их бизнес стандартен, а значит, где-то существует набор бизнес-кейсов, один из которых им обязательно подойдет.

Это заблуждение подкрепляется маркетинговой политикой разработчиков КИС, которые утверждают, что обладают неким набором готовых решений для самых разных сфер бизнеса. На самом деле под этим всего лишь подразумевается, что поставщик обладает опытом работы над проектом во внешне похожей компании, заказчик которого выдвигал нестандартные требования и тщательно следил за их выполнением. И, возможно, эти разработки вошли в стандартный пакет.

Однако нет никаких гарантий, что бизнес одного заказчика, пусть даже он работает в той же сфере, похож на бизнес другого. Если компания, работающая по одной схеме, купит КИС, сделанную для компании, работающей по другой схеме, то она должна будет полностью перестроить свой бизнес, чтобы КИС эффективно заработала.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ НА КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ ПЛАСТИНЫ ИЗ ТВЕРДОГО СПЛАВА ПРИ РЕЗАНИИ СТАЛЕЙ

Е. Г. Крылов, П. В. Берсенева

Волгоградский государственный технический университет

В современном производстве изделий различного назначения обработка резанием по-прежнему составляет значительную часть операций механической обработки материалов. Наиболее распространенным инструментальным материалом, обеспечивающим высокие скорости резания и хорошую износостойкость, являются твердые сплавы. Многогранными неперетачиваемыми твердосплавными пластинами оснащаются практически все виды режущих инструментов – резцы, сверла, расточные головки, фрезы и др. Однако в производственных условиях при эксплуатации на автоматизированных станках и автоматических линиях режущий инструмент оказывается наименее надежным элементом технологической системы, от которого зависят качество и производительность обработки [1].

Исследования показали, что эффективным путем обеспечения выполнения операции резания в соответствии с заданными технологическими параметрами является контроль состояния режущего инструмента как перед началом обработки, так и в процессе ее выполнения. Одним из способов контроля состояния инструмента является контроль его теплофизических показателей, таких как плотность тепловых потоков и средняя температура на площадках контакта режущей пластины с заготовкой и слоем срезаемого материала. В связи с трудностями экспериментального определения температуры при резании следует использовать расчетно-экспериментальные методы расчета.

На основании теплофизического анализа процесса резания, изложенного в работе [2], был разработан алгоритм расчета тепловых параметров на поверхности твердосплавной режущей пластины при обработке стали. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 1.

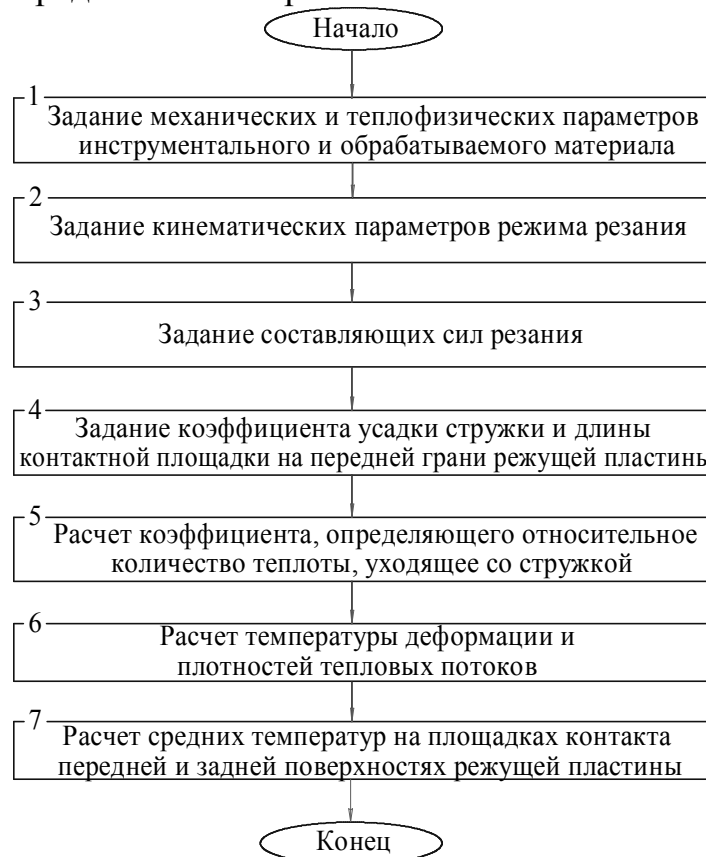


Рис. 1. Блок-схема алгоритма программы

Особенностью данного алгоритма является то, что при расчете температур учитываются:

- физические свойства инструментального и обрабатываемого материалов;
- кинематические параметры режима резания;
- составляющие силы резания;
- геометрические параметры режущей пластины.

Такой подход позволяет, с одной стороны, учесть максимально возможное количество факторов, существенно влияющих на результаты расчетов, с другой стороны, при неудовлетворительных результатах скорректировать их путем вариации того или иного исходного параметра. Подобный тепловой анализ процесса резания дает возможность оценить рациональность выбора марки твердого сплава и режимов обработки для конкретной операции.

На базе представленного алгоритма разработано программное обеспечение, зарегистрированное в Государственном реестре программ для ЭВМ [3]. Программа предназначена для определения плотностей тепловых потоков и средней температуры на площадках контакта твердосплавного режущего инструмента при резании сталей. Программа разработана в среде программирования *Delphi 7* под управлением операционной системы *Microsoft Windows XP*. Окно ввода исходных данных программы представлено на рис. 2.

Ввод исходных данных

Help

Ввод механических и теплофизических параметров инструмента и обрабатываемого материала

Предел прочности обрабатываемого материала σ_B	770	, МПа
Теплопроводность обрабатываемого материала λ	13.2	, Вт / м* К
Температуропроводность обрабатываемого материала α	4.3	, мм ² / с
Теплопроводность режущей пластины λ_p	12.7	, Вт / м* К

Ввод параметров режима резания и геометрии режущего инструмента

Скорость резания V	200	, м / мин
Подача S	0.03	, мм / об
Глубина резания t	0.04	, мм
Радиус закругления режущей пластины r	0.5	, мм
Главная составляющая силы резания P_z	7.8	, Н
Осевая составляющая силы резания P_x	1.8	, Н
Радиальная составляющая силы резания P_y	6.4	, Н
Длина контактной площадки на задней грани режущей пластины (фаска износа) l_3	0.05	, мм

Задание длины контактной площадки на передней грани режущей пластины

Вводом

Расчетом

Длина контактной площадки на передней грани режущей пластины l_1

, мм

Определение коэффициента усадки стружки

Выбор табличного значения по марке обрабатываемого материала

Расчет по результатам измерения длины стружки

Расчет по результатам измерения массы стружки

Сталь конструкционная низкоуглеродистая (сталь 10 ... сталь 25) $k =$

Exit Back Again Next

Рис. 2. Окно ввода исходных данных

Программа обеспечивает выполнение следующих функций:

- определение плотностей тепловых потоков на поверхности сдвига обрабатываемого материала, между деталью и твердосплавной режущей пластиной и между стружкой и твердосплавной режущей пластиной (рис. 3);
- определение средней температуры на площадке контакта передней поверхности твердосплавной режущей пластины со стружкой, средней температуры на площадке контакта задней поверхности твердосплавной режущей пластины с деталью, а также средней температуры деформации обрабатываемого материала (рис. 4).

Результаты расчета теплоты

Плотность теплового потока на поверхности сдвига Q_D	43,91	, Вт / м ²
Плотность теплового потока между деталью и режущей пластиной Q_3	6,28	, Вт / м ²
Плотность теплового потока между стружкой и режущей пластиной Q_{II}	0,93	, Вт / м ²
Коэффициент, определяющий какая часть теплоты деформации уносится со стружкой b^*	0,46	
Температура деформации Q_D	270,87	, град

Exit Back Again Next

Рис. 3. Результаты расчетов плотностей тепловых потоков

Результаты расчета температур

Средняя температура на площадке контакта передней поверхности режущей пластины со стружкой Q_{II}	645	, град
Средняя температура на площадке контакта задней поверхности режущей пластины с деталью Q_3	438	, град

Exit Back Again Next

Рис. 4. Результаты расчетов средней температуры

Программа может применяться для изучения комплексного влияния теплофизических параметров инструментальных и обрабатываемых материалов и режимов обработки на температуру в зоне резания, рационального выбора марки твердого сплава по критерию термостойкости и при подготовке управляющих программ для станков с ЧПУ.

Литература

1. Плотников А. Л. Диагностирование на основе термоэлектрических явлений в зоне резания состояния сборного многолезвийного твердосплавного инструмента // А. Л. Плотников, Е. Г. Крылов, Е. М. Фролов // СТИН. – 2009. – № 11. – С. 2–7.
2. Резников А. Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
3. Фролов Е. М., Крылов Е. Г. Расчёт температур на контактных поверхностях пластины из твердого сплава при резании сталей: Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2010611739 от 3 марта 2010 г. РФ, МПК [нет]; ВолгГТУ, 2010.

О ПРИНЦИПАХ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ТОРГОВОЙ СИСТЕМЫ И ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ

А. Г. Лещенко

Кемеровский государственный университет

Для удачной торговли на рынке Forex важно вовремя открыть ордер и вовремя его закрыть. Для этого используются индикаторы. Рассмотрев множество индикаторов, торговых стратегий и готовых автоматических торговых систем с открытым кодом, нами была разработана стратегия, основанная на двух скользящих средних в комбинации с индикатором.

Цель работы: создание безубыточной автоматической торговой системы на рынке Forex. Средства реализации: MRC-MetaTrader 4.

Используемые торговые инструменты: ЕМА – экспоненциальное среднее скользящее, WMA – взвешенное скользящее среднее, MACD – индикатор (moving average convergence divergence, что переводится как схождение-расхождение или конвергенция-дивергенция скользящих средних).

Экспоненциальное скользящее среднее считает более поздние данные более важными. Следовательно, этот вид скользящего среднего быстрее реагирует на изменения цены.

Вычисление значения пятидневного экспоненциального скользящего среднего на сегодня производится по следующей формуле:

$$EMA[k, n] = EMA[k - 1, n] + (2/(n + 1)) \cdot (P - EMA[k - 1, n]),$$

где $EMA[k, n]$ – экспоненциальное скользящее среднее периода n на момент k ; P – текущая цена.

Основной смысл заключается в том, что при просчете экспоненциального скользящего среднего более ранние цены имеют меньшее значение, а более поздние – большее значение.

Взвешенное скользящее среднее, как и экспоненциальное, тоже придает более поздним данным больше «веса», но оно делает это более выражено и просто. При просчете пятидневного взвешенного скользящего среднего мы придаем текущей цене пятикратный вес, вчерашней – четырехкратный, позавчерашней – трехкратный и т. д., а потом делим сумму всех произведений на сумму добавленного веса, т. е. $(1 \cdot 8 + 2 \cdot 8 + 3 \cdot 9 + 4 \cdot 10 + 5 \cdot 11) / (1 + 2 + 3 + 4 + 5) = 146 / 15 = 9,73$.



Рис. 1



Рис. 2

Формула расчета проста: каждую цену, входящую в просчет взвешенного скользящего среднего, необходимо умножить на ее порядковый номер, а потом разделить всю эту сумму на сумму порядковых номеров.

На рис. 1 изображено взвешенное скользящее среднее с периодом 89: программа складывает сегодняшнюю цену, умноженную на 89, со вчерашней ценой, умноженной на 88, и т. д. и потом делит сумму на 4005 (т. е. сумму всех натуральных чисел перед 89 включительно).

На рис. 2 изображено экспоненциальное скользящее среднее с периодом 89.

Для расчета MACD из скользящей средней цены (обычно берется экспоненциальная скользящая средняя) с меньшим периодом вычитается экспоненциальная средняя с большим периодом. В большинстве случаев получен-

ный результат сглаживают при помощи экспоненциальной скользящей средней (EMA), чтобы устранить случайные колебания:

$$\begin{aligned} \text{MACD} &= (\text{EMA}_1(P) - \text{EMA}_s(P)), \\ \text{Signal} &= \text{EMA}_a (\text{EMA}_1(P) - \text{EMA}_s(P)), \end{aligned}$$

где $\text{EMA}_1(P)$ – экспоненциальная скользящая средняя с длинным периодом от цены;

$\text{EMA}_s(P)$ – экспоненциальная скользящая средняя с коротким периодом от цены;

$\text{EMA}_a(P)$ – сглаживающая экспоненциальная скользящая средняя с коротким периодом от разницы двух остальных скользящих;

P – цена, обычно берется цена закрытия периода Close, но возможны и др. варианты (Open, High, Low, Close, Median Price, Typical Price и т. д.)

Правило торговли автоматической торговой системы формулируется так: при пересечении скользящих средних открывается ордер, продажа или покупка определяются с помощью индикатора MACD в зависимости от восходящего тренда или нисходящего.

Литература

1. [Электронный ресурс] // URL: <http://enc.fxclub.ru>.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОЦЕНКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ «1С: ПРЕДПРИЯТИЕ 8.1» НА ОСНОВЕ ПОДХОДОВ ОЦЕНКИ БИЗНЕСА

М. А. Никишин

Кемеровский государственный университет

«Оценка стоимости бизнеса» – это особое направление в экономической практике, которое возникло в результате развития и достижения цивилизованных взаимоотношений между продавцами и покупателями как участниками рынка. Объектом купли-продажи здесь является не просто товар, а бизнес, то есть все то, что приносит прибыль. В самом упрощенном варианте оценка бизнеса заключается в следующем:

- есть сторона (лицо), которая хочет продать бизнес;
- есть сторона, которая хочет купить этот бизнес.

Так как в условиях цивилизованного рынка никто не будет продавать и покупать «кота в мешке», то требуется предварительная оценка стоимости этого бизнеса; таким образом, появляется еще один участник рынка – оценщик бизнеса.

Бизнес – это то, что определяется денежным эквивалентом, то есть стоимостью, и он является объектом чьей-то собственности – государства, муниципалиста, предприятия или физического лица. Поэтому в условиях ры-

ночной экономики осуществление любых сделок с собственностью невозможно без предварительной оценки ее стоимости.

Вычисляя величину стоимости, оценщик стремится полностью учесть влияние основных факторов на объект, к числу которых относятся:

- доход, генерируемый оцениваемым объектом;
- риски, сопровождающие получение этого дохода;
- среднерыночный уровень доходности;
- цена на аналогичные объекты;
- характерные черты оцениваемого объекта, включая состав активов и обязательств;
- конъюнктура рынка (спрос, предложение и т. д.);
- текущая ситуация в отрасли и в экономике в целом.

Цель оценки состоит, как правило, в определении какого-либо вида оценочной стоимости, необходимой клиенту для принятия инвестиционного решения, для заключения сделки, для внесения изменений в финансовую отчетность и т. п. В зависимости от того, какая цель была поставлена перед оценщиком, выбираются соответствующие методы оценки. Причем от выбранных подходов оценки зависят ее достоверность и обоснованность.

Согласно требованиям Федеральных стандартов оценки, оценщик при проведении оценки обязан использовать (или обосновать отказ от использования) три основных подхода к оценке: затратный, сравнительный и доходный. При этом оценщик вправе самостоятельно определять в рамках каждого из подходов конкретные методы оценки.

➤ **Доходный подход** – совокупность методов оценки стоимости объекта оценки, основанных на определении ожидаемых доходов от объекта оценки. Доходный подход основан на предположении о том, что стоимость объекта равна текущей стоимости всех будущих выгод от владения объектом.

➤ **Сравнительный подход** – совокупность методов оценки стоимости объекта оценки, основанных на сравнении объекта оценки с аналогичными объектами, в отношении которых имеется информация о ценах сделок с ними. Сравнительный подход основан на принципе замещения, который гласит, что покупатель не заплатит за объект большую цену, чем платят другие покупатели за аналогичные объекты, а продавец не захочет продать объект за цену, меньшую той, которую получают другие продавцы за аналогичные объекты. Основой данного подхода является сбор информации о ценах сделок на рынке.

➤ **Затратный подход** – совокупность методов оценки стоимости объекта оценки, основанных на определении затрат, необходимых для восстановления либо замещения объекта оценки, с учетом его износа. Методика затратного подхода основывается на расчете стоимости воспроизводства (замещения) по воспроизводимым видам активов, к которым земельные участки не относятся.

На основе таких оценок и строятся решения о дальнейшей судьбе бизнеса, но подобные действия необходимы не только на уровне целого предприятия или фирмы. Для стабильной и успешной работы организации необходимо отслеживать деятельность и эффективность структурных подразделений.

Структурный анализ бизнеса позволит отследить недочеты в работе подразделений не по финансовым показателям предприятия, а по «внутренним», таким как, например: затраты на содержание, эффективность использования оборудования, расходных материалов, времени и т. д.

Подходы для оценки бизнеса совсем не адаптированы для подобного анализа. Соответственно, в своем первоначальном виде они нам не подходят. Необходимы модификация, преобразование методов.

Доходный подход

Доходный подход оценки отражает мотивацию типичного покупателя доходной недвижимости – ожидаемые будущие доходы. Учитывая, что существует непосредственная связь между размером инвестиций и выгодами от коммерческого использования объекта инвестиций, стоимость недвижимости определяется как стоимость прав на получение приносимых ею доходов. Эта стоимость определяется как текущая стоимость будущих доходов, генерируемых оцениваемым активом.

Для анализа подразделения доходный подход преобразуется следующим образом:

Доходный подход оценки отражает мотивацию финансирования подразделения – ожидаемую эффективность от денежного вложения. Учитывая, что существует непосредственная связь между размером денежных вливаний и эффективностью работы сотрудников, коэффициент производительности структурного подразделения определяется в соотношении с вложенным рублем двумя методами.

➤ Метод прямой пропорциональности, основанный на использовании прямой зависимости выработки от капиталовложений.

➤ Метод дискретного анализа, основанный на преобразовании текущих вложений в будущую ценность подразделения, обусловленную как эффективностью труда, так и степенью необходимости новых инвестиций.

Расчет состоит из следующих основных этапов:

➤ формирование реестра финансирования подразделения (закладывается база денежных вливаний);

➤ определение соотношения;

➤ определение целесообразности повышения/понижения финансирования будущих периодов.

Затратный подход

В основе затратного (имущественного) подхода оценки бизнеса лежит следующая логика, соответствующая принципу замещения: ни один потенциальный покупатель (инвестор) не заплатит за объект оценки больше, чем

могут составить затраты на создание в приемлемые для него сроки другого объекта, который будет точной копией объекта оценки или его функциональным аналогом (эквивалентом), обладающим той же полезностью, что и объект оценки.

Данный подход представлен двумя основными методами:

- Методом чистых активов;
- Методом ликвидационной стоимости.

Расчет методом чистых активов включает несколько этапов:

- определяется обоснованная рыночная стоимость недвижимого имущества предприятия;
- оценивается рыночная стоимость машин и оборудования;
- рассчитывается стоимость нематериальных активов;
- оценивается рыночная стоимость финансовых вложений (как долгосрочных, так и краткосрочных);
- товарно-материальные запасы переводятся в текущую стоимость;
- оцениваются расходы будущих периодов;
- оценивается дебиторская задолженность;
- обязательства предприятия переводятся в текущую стоимость;
- определяется стоимость собственного капитала путем вычитания из обоснованной рыночной стоимости суммы активов текущей стоимости всех обязательств.

В нашем случае не стоит вопрос о замене или воспроизведении подразделения. При анализе эффективности имеет место оценить ликвидацию или замену используемых материалов, оборудования, лицензий. Преобразование подхода происходит на уровне критериев оценки активов. Этапы для нас подходят, поэтому оставим те же.

Сравнительный подход

Сравнительный подход основан на принципе замещения, который гласит, что покупатель не заплатит за объект большую цену, чем платят другие покупатели за аналогичные объекты, а продавец не захочет продать объект за цену, меньшую той, которую получают другие продавцы за аналогичные объекты. Основой данного подхода является сбор информации о ценах сделок на рынке.

Наиболее распространенной на практике оценкой рыночной стоимости объекта с использованием сравнительного подхода является среднее арифметическое известных на рынке цен его аналогов. С теоретической точки зрения набор цен аналогов рассматривается как выборка из генеральной совокупности, а их среднее выступает в роли выборочной оценки математического ожидания. Последнее понимается как наиболее вероятное значение цены объектов такого типа в предположении о нормальности ее распределения. Генеральную совокупность при этом составляют цены всех объектов на определенном сегменте локального (регионального) рынка. Такой подход оправдан в случае, если основные характеристики аналогов совпадают с ха-

раактеристиками объекта оценки или их отличие незначительно. В противном случае перед расчетом среднего производят корректировки цен аналогов, причем доверие к полученным результатам корректировки определяется, в основном, авторитетом проводящего оценку эксперта. Альтернативой подобному подходу служит применение математически обоснованных методов регрессионного анализа, позволяющих определить усредненное изменение значения стоимости в зависимости от изменений влияющих факторов.

Данный метод отлично подходит для сравнения деятельности нескольких отделов сразу (как в пределах одной организации, так и в распределенной сети филиалов). Корреляционно-регрессионный анализ позволяет адекватно определить, что для повышения производительности труда необходимо, а что можно исключить. Но при использовании подобного подхода необходимо осторожно подходить к подбору аналогов подразделения, т. к. у каждой подструктуры есть свои особенности. При наиболее подходящем выборе модель будет наиболее правдоподобной и точной.

Приведенные выше модификации подходов оценки бизнеса к оценке подразделения подразумевают совместное использование в большей или меньшей мере. Использование лишь одного даст неполное представление как о текущем положении, так и о прогнозах на будущие периоды. Соответственно, только комплексный анализ деятельности структуры позволит серьезно подойти к проблеме производительности как отдельной ячейки, так и всей организации в целом.

Использование такого объема расчетов подразумевает большой объем оперативно поступающих данных. Для подобного рода задачи необходима база данных, причем с интуитивно понятным и удобным интерфейсом. Автор остановился на использовании базы данных на основе системы «1С: Предприятие 8.1», т. к. эта среда наиболее совместима для проведения подобного рода исследований.

В базе уже отслеживаются следующие данные:

- деятельность сотрудников (по степени важности оценивает начальник подразделения);
- финансовые вливания;
- расход материалов;
- распределение техники;
- эффективность лицензий;
- закупки материалов и оборудования;
- также, в качестве эксперимента, в базе была создана подструктура органайзера.

И в заключение хотелось бы заметить, что как таковое использование учета в подразделении уже положительно сказалось на эффективности.

Литература

1. Данилов Н. Н. Оценка бизнеса: учеб. пособие. – Кемерово: Изд-во КемГУ, 2010. – 85 с.
2. Попков В. П., Евстафьева Е. В. Оценка бизнеса. Схемы и таблицы. – СПб.: Питер, 2007. – 240 с.
3. Джеймс Р. Хитчнер. Три подхода к оценке стоимости бизнеса. – М.: Маросейка, 2008. – 304 с.
4. Габец А. П., Гончаров Д. И., Радченко М. Г. Профессиональная разработка в системе 1С: Предприятие 8. – М.: Питер, 2007. – 808 с.
5. Козырь Ю. В. Стоимость компании: оценка и управленческие решения. – М.: Альфа-Пресс, 2004. – 200 с.
6. Марк К. Скотт. Факторы стоимости. Руководство для менеджеров по выявлению рычагов создания стоимости. – М.: Олимп-бизнес, 2005. – 432 с.
7. Коупленд Т., Камер Т., Муррин Дж. Стоимость компаний: оценка и управление. – М.: Олимп-бизнес, 2005. – 562 с.

ГРАФИЧЕСКИЕ БИБЛИОТЕКИ OpenGL и Direct3D В КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

Д. В. Ременников

Омский государственный технический университет

При проведении исследований, разработке математических моделей и имитационных систем особым этапом разработки является компьютерное моделирование. Компьютерное моделирование позволяет добиться имитации реальной работы системы и обладает следующими плюсами:

- повторяемость эксперимента;
- простота и удобство исследования;
- логичность и формализованность;
- возможность исследования недоступных объектов;
- экономичность;
- возможность поэтапного усложнения исследуемой модели.

Выделяют 5 этапов компьютерного моделирования [1].

1. Постановка задачи, определение объекта моделирования.
2. Разработка концептуальной модели, выявление основных элементов системы и элементарных актов взаимодействия.
3. Формализация, т. е. переход к математической модели; создание алгоритма и написание программы.
4. Планирование и проведение компьютерных экспериментов.
5. Анализ и интерпретация результатов.

Для успешного проведения анализа результатов и для правильной их интерпретации данные для анализа должны быть представлены в наглядной форме.

Результаты моделирования могут быть представлены таблицами, графиками или в форме видеопроцесса моделирования. Представление результатов моделирования в виде таблиц или графиков статично и не отражает ход процесса моделирования. Видео процесса моделирования не интерактивно.

Одним из способов устранения указанных недостатков является наглядное моделирование процессов с возможностью вмешиваться в процесс моделирования. Для сложных моделей вывод на экран монитора промежуточных результатов моделирования очень ресурсоемок. В таких случаях автором предлагается использовать аппаратно-поддерживаемые библиотеки для вывода графической информации OpenGL или Direct3D. Данные библиотеки позволяют переложить вычисления по выводу графической информации с центрального процессора (CPU) на графический процессор (GPU). Плюсами данного подхода являются:

- интерактивность;
- высокая частота обновления экрана (fps);
- разгрузка центрального процессора;
- возможность наблюдения развития модели во времени;
- возможность трехмерного представления объекта моделирования.

Рассмотренный подход применен автором в эмуляторе искусственной нейронной сети (ИНС) [2]. Это позволило отображать на экране большое количество искусственных нейронов (ИН) (порядка 100000) и связей, отображаемых в трехмерном пространстве, с возможностью менять ракурс наблюдения. В подобной системе каждый ИН имеет числовую характеристику – порог активации, а каждая связь характеризуется значением веса. Данные числовые характеристики отражены цветом, что позволяет видеть числовые характеристики сотен элементов сразу.

Приведём несколько снимков экрана приложения (screenshot).

На рис. 1 представлена ИНС прямого распространения с 12 нейронами.

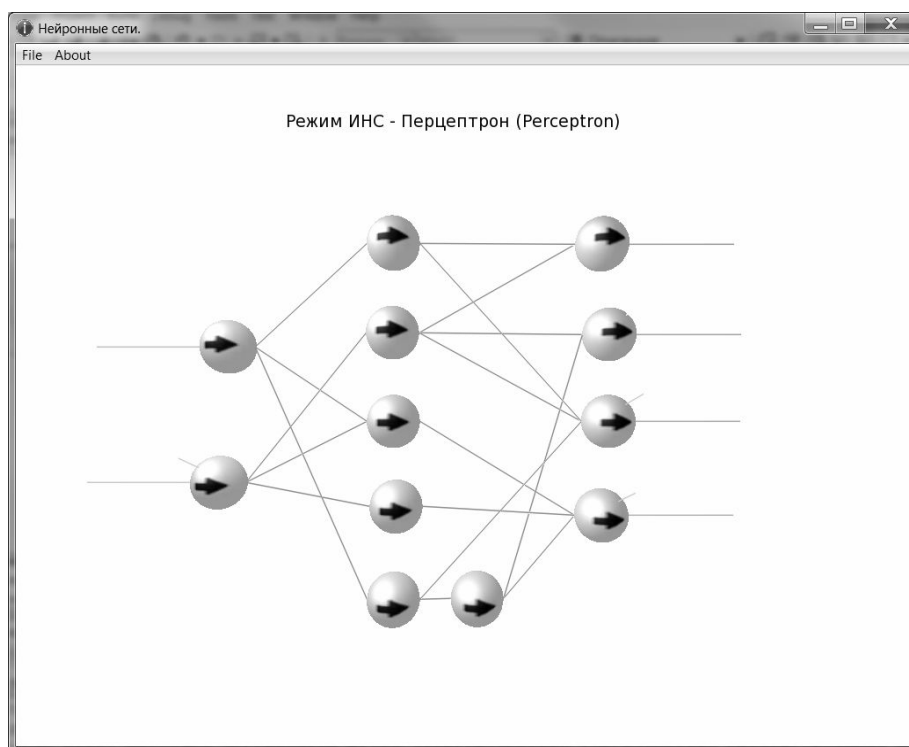


Рис. 1

На рис. 2 представлена ИНС с сеточной трехмерной моделью ИН.

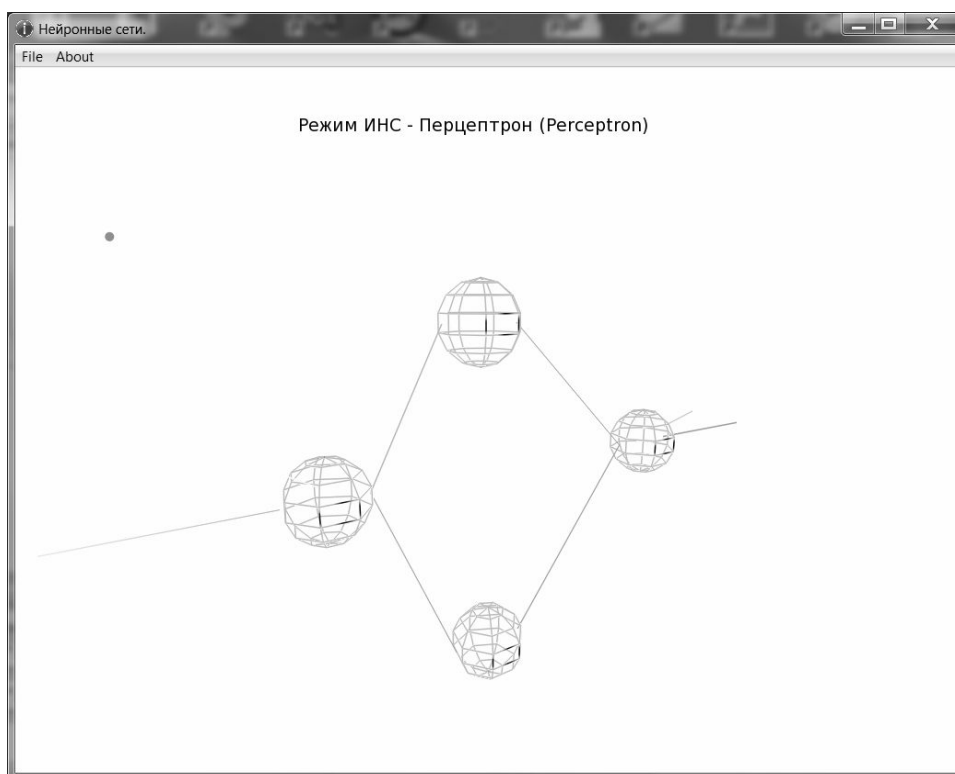


Рис. 2

На рис. 3 представлена ИНС из 6 ИН, располагаемых в трехмерном пространстве, с различными порогами активации.

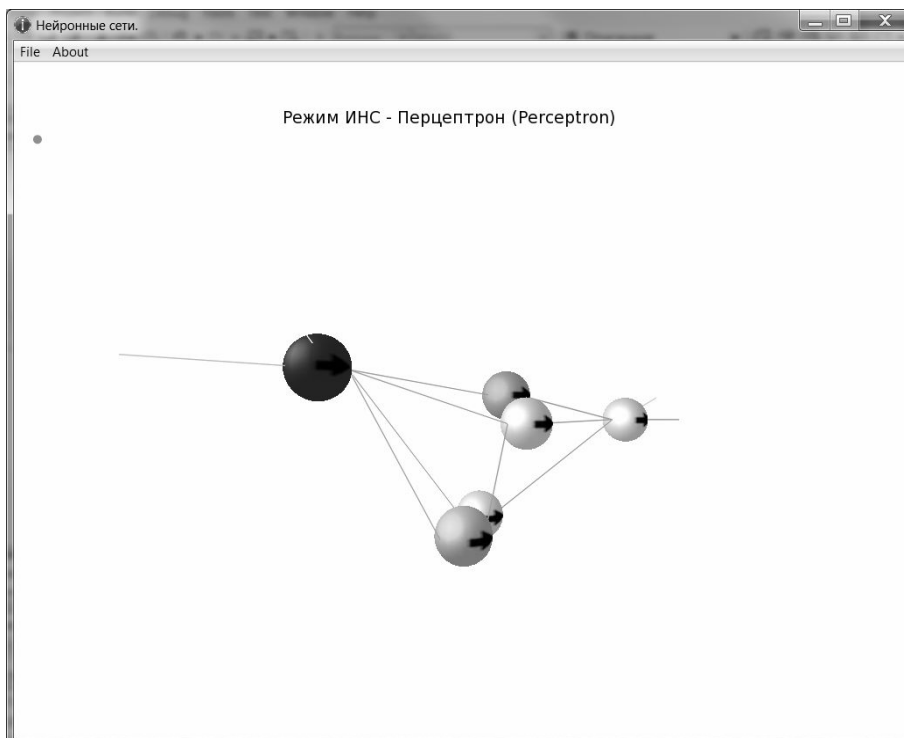


Рис. 3

Ни табличное представление, ни графики не позволяют так наглядно отображать информацию в данном случае. Представление результатов моделирования в виде видеопроцесса моделирования не интерактивно.

При подаче на входы ИНС сигналов можно наблюдать процесс распространения сигналов по ИНС, отмечать участки сети усиления или затухания сигналов. При обучении ИНС в масштабе реального времени можно наблюдать изменения, которые происходят в ИНС.

Вывод. Использование графических библиотек OpenGL и Direct3D в задачах компьютерного моделирования позволяет отразить процессы, происходящие в модели при компьютерном моделировании, и результаты моделирования в наиболее наглядной форме без дополнительной нагрузки на центральный процессор.

Литература

1. Компьютерное моделирование [Электронный ресурс] // URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Компьютерное_моделирование (дата обращения: 28.09.2010).
2. Сайт технической поддержки XNeuron3D [Электронный ресурс] // URL: <http://www.XNeuron3D.ru> (дата обращения: 28.09.2010).

ПОДСИСТЕМА ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ В СОСТАВЕ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМ ПРОЦЕССОМ ВУЗА

*Н. О. Ризун, Ю. К. Тараненко, Р. С. Морзун
Днепропетровский университет экономики и права*

В последние годы отмечен резкий подъем интереса к стандартизованным технологическим методам оценки знаний, основанным на тестовом контроле. Унификация оценочных технологий и применение компьютерных средств создают условия для использования методики тестирования как инструмента повышения уровня показателей качества, точности и объективности оценивания; степени справедливости условий, в которых находятся студенты, как на этапе контроля, так и на этапе идентификации результатов тестирования; объема неконтролируемого материала; мотивировании учащегося к активизации работы по усвоению учебного материала, а также эффективности использования учебного времени и, как следствие – организации учебного процесса в целом.

Целью функционирования предлагаемой подсистемы тестового контроля знаний студентов является оптимизация частного критерия комплексной автоматизированной системы управления учебным процессом вуза – показателя качества системы оценивания знаний K_t путем: совершенствования технологии оценки качества тестового материала (K_{tm}); повышения эффективности организации тестового сеанса (K_{to}); обеспечения объективности идентификации результатов тестирования уровня знаний студентов (K_{tr}).

Результатом декомпозиции рассматриваемой задачи по критериальному признаку является выделение комплекса подзадач (рис. 1), поочередное решение которых методом покомпонентного спуска [1] позволяет получить субоптимальные значение показателя качества системы оценивания знаний.

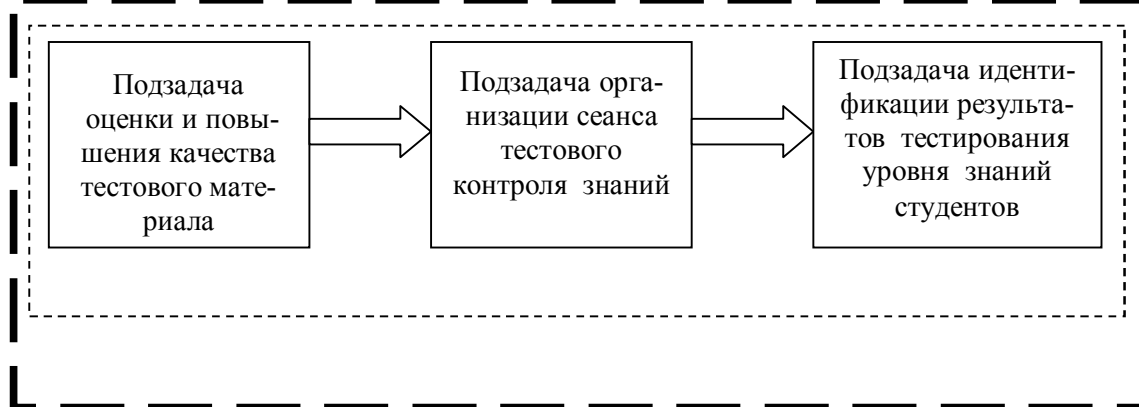


Рис. 1. Декомпозиция подсистемы тестового контроля знаний студентов по критериальному признаку

Управление процессом решения подзадачи «Оценки и повышение качества тестового материала» осуществляется с помощью разработанного авторами алгоритма U_1 расширенного анализа качества тестового материала [2] на основании показателя фактической скорости выполнения тестовых заданий (ТЗ) различной сложности, обеспечивающего совершенствование технологии оценки качества тестового материала и оптимизацию показателей объективности (K_{tm_o}), надежности (K_{tm_n}) и валидности теста (K_{tm_v}).

Данный алгоритм U_1 базируется на следующих эвристиках:

1. Задания в тестовом материале (ТМ) характеризуются различным уровнем сложности. Значения уровня сложности необходимо идентифицировать и учитывать на этапах оценки качества знаний и формализации результатов тестирования.
2. Показатель времени выполнения ТЗ является характеристикой устойчивости знания студента; вероятного угадывания правильного результата; степени сложности тестового задания.
3. Эталонном времени (НВ) на выполнение ТЗ определенной сложности можно считать время, потраченное на него преподавателем-экспертом.
4. На этапе оценки качества ТМ соотношение между нормативным (установленным экспертным путем) и фактическим временем (ФВ) на выполнение ТЗ можно рассматривать как показатель объективности нормативно установленного времени, дифференцирующей способности теста.

Автоматизация данного алгоритма предполагает разработку и программную реализацию следующих этапов, представленных в табл. 1.

Автоматизация алгоритма

Этапы	Используемые инструменты	Критерий
1. Разработка и реализация алгоритма идентификации уровня сложности ТЗ с использованием методики [3]	Многокритериальный анализ вариантов на основе нечеткой логики и экспертных оценок	Объективность тестового контроля (K_{tm_o})
2. Установление значения среднего нормативного времени на выполнение ТЗ	Организация экспертизы	–
3. Анализ качества исходного ТМ	Классическая теория тестирования	Надежность (K_{tm_n}) и валидность теста (K_{tm_v})
4. Разработка и реализация алгоритма расширенного анализа качества ТМ [2]	Показатель фактической скорости выполнения ТЗ различной сложности	Надежность (K_{tm_n}) и валидность теста (K_{tm_v})
5. Формализация процедуры переработки ТМ по результатам расширенного анализа качества ТМ [4]	Результаты сравнения ФВ и НВ выполнения ТЗ. Правила устранения "проблемности" вопросов	Надежность (K_{tm_n}) и валидность теста (K_{tm_v})
6. Проведение контрольного тестирования на откорректированном ТМ	Классическая теория тестирования	Надежность (K_{tm_n}) и валидность теста (K_{tm_v})

Управление процессом решения подзадачи «Организация сеанса тестового контроля знаний» осуществляется с помощью разработанного авторами алгоритма U_2 последовательной подачи ТЗ разных типов и необходимости перехода на следующий уровень тестирования в зависимости от индивидуальных знаний и умений каждого студента проведения тестового сеанса, позволяющего повысить дифференцирующую способность теста (K_{to_d}) и уровень адекватности идентификации результатов тестирования (K_{to_a}), а также оптимизировать время прохождения тестового сеанса (K_{to_t}).

В основу алгоритма U_2 положены следующие эвристики:

1. Целесообразным принципом является подача в процессе тестового сеанса ТЗ разных типов в порядке уменьшения уровня сложности.

2. Эффективным инструментом оптимизации фактического времени прохождения тестового сеанса (ТС) является реализация правила принципа достаточности прохождения студентом в процессе компьютерного тестирования определенного количества типов ТЗ, которое зависит от фактически установленного в процессе тестирования уровня знаний и умений каждого отдельного студента уровня сложности.

Алгоритм практической реализации предлагаемой авторами методики организации и проведения тестового контроля знаний состоит из следующих этапов (табл. 2):

Алгоритм практической реализации

Этапы	Используемые инструменты	Критерии
1. Формирование набора заданий для ТС	ТЗ закрытого типа с одним правильным ответом (1-й уровень сложности) ТЗ закрытого типа с множественным выбором (2-й уровень сложности) ТЗ на установление соответствия (3-й уровень сложности) ТЗ открытого типа на установление последовательности (4-й уровень сложности)	Объективность тестового контроля (K_{tm_o})
2. Идентификация нормативного количества баллов за правильный ответ на ТЗ каждого уровня сложности	Методика многокритериального анализа вариантов на основе нечеткой логики и экспертных оценок [3]	Объективность тестового контроля (K_{tm_o}). Дифференцирующая способность теста (K_{to_d})
3. Формализация правила определения количества типов ТЗ, достаточного для прохождения конкретным студентом в процессе ТЗ	Результаты сравнения граничного и фактического процента правильных ответов на ТЗ текущего уровня	Дифференцирующая способность теста (K_{to_d}). Время прохождения ТС (K_{to_t})
4. Идентификация результатов тестирования	Алгоритм корректировки фактической набранной суммы баллов за правильные ответы в зависимости от количества пройденных уровней сложности ТЗ	Уровень адекватности идентификации результатов тестирования (K_{to_a})

Управление процессом решения данной подзадачи осуществляется с помощью разработанного алгоритма U_3 расширенного анализа и идентификации результатов тестирования с учетом динамического коэффициента и нормативного количества баллов за ответы на вопросы различной степени сложности (табл. 3), обеспечивающего повышение уровня объективности оценки знаний студентов (K_{tr}).

В основу алгоритма положены следующие эвристики:

1. Объективным инструментом оценки степени устойчивости знаний является коэффициент корреляции $K_i(X_i, Y_i)$ между рядами фактического X_i и нормативного Y_i времени, потраченного на правильный ответ.

2. Эффективным механизмом защиты от «угадывания» правильных ответов является использование динамического коэффициента для реализации алгоритма корректировки фактического набранного количества баллов $S_{НБ}$ в зависимости от величины коэффициента корреляции между фактическим и нормативным временем; уровня сложности вопроса; степени несоответствия эталону $S_{НБ}$ фактического времени, потраченного на правильный ответ $S_{ФБ}$.

Разработанный алгоритм

Значение $K_i (X_i, Y_i)$	Характеристика тесноты связи	Эвристическое правило	Алгоритм идентификации результатов тестирования
Меньше 0,29	Противоположная или слабая	Малые затраты времени на сложные вопросы и длительные ответы на простые вопросы	$S_{oc} = \sum_{i=1}^n \left(S_{HBi} * \frac{S_{\Phi Bi}}{S_{HBi}} \right)$
От 0,3 до 0,49	Умеренная	«Штрафуются» только слишком быстрые ответы	$S_{oc} = \sum_{i=1}^n S_{HBi} * \frac{\sum_{i=1}^n S_{\Phi Bi}}{\sum_{i=1}^n S_{HBi}}$
Больше 0,5	Средняя и сильная	Осмысленное распределение времени на ответы между сложными и простыми вопросами	$S_{oc} = \sum_{i=1}^n S_{HBi}$

Таким образом, функционирование предлагаемой подсистемы тестового контроля знаний студентов в составе комплексной автоматизированной системы управления учебным процессом вуза:

- позволяет повысить значения показателей надёжности и валидности тестового материала;
- гарантирует высокий уровень дифференцирующей способности теста и адекватности идентификации результатов тестирования, а также оптимизацию времени прохождения тестового сеанса;
- обеспечивает объективность оценки знаний студентов.

Литература

1. Методы решения задач оптимизации в АСУ [Электронный ресурс] / URL: <http://www.studatf.com/33-200905.html> (дата обращения 18.05.2010).
2. Ризун Н. О. Эвристический алгоритм совершенствования технологии оценки качества тестовых заданий // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – № 3/11 (45). – С. 40–49.
3. Ризун Н. О. Использование теории нечетких множеств для идентификации степени сложности темы в системах компьютерного тестирования знаний // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2009. – № 6/2 (42). – С. 32–37.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ОБЛАСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

А. В. Бобов

Саратовский государственный технический университет

В рыночной экономике важным фактором конкурентоспособности предприятия является его способность быстро налаживать производство новых изделий. Поэтому актуальна задача ускорения процесса постановки изделий на производство. Необходимым условием для решения этой задачи является автоматизация конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) предприятия.

Для проведения автоматизации КТПП следует: 1) определить этапы процесса промышленного производства и их последовательность; 2) выделить область, автоматизацию которой предполагается провести, и установить ее границы и место в промышленном производстве; 3) формализовать процесс КТПП в рамках выделенной области; 4) разработать методы и средства автоматизации задач КТПП, реализовать их и внедрить в производство.

В статье решены задачи 1 и 2 из требуемых, а именно: показаны этапы промышленного производства, их последовательность и взаимосвязь, а также указана область автоматизации (приведены технологические документы, разработку которых предполагается автоматизировать).

Промышленное производство есть деятельность по разработке, производству, реализации и поддержке эксплуатации изделий машиностроения. Согласно ГОСТу, ОСТу и разрабатываемым на их основе стандартам предприятия (СТП) эта деятельность может быть представлена как совокупность ряда процессов [1], последовательно выполняемых согласно рис. 1.



Рис. 1. Основные процессы промышленного производства

Каждому из указанных процессов свойственны некоторые характеристики (цели, входы, выходы, решаемые задачи, критерии результативности). Эти данные позволяют более точно представить взаимосвязь процессов с учетом движения информации и материальных компонентов производства в виде рис. 2.

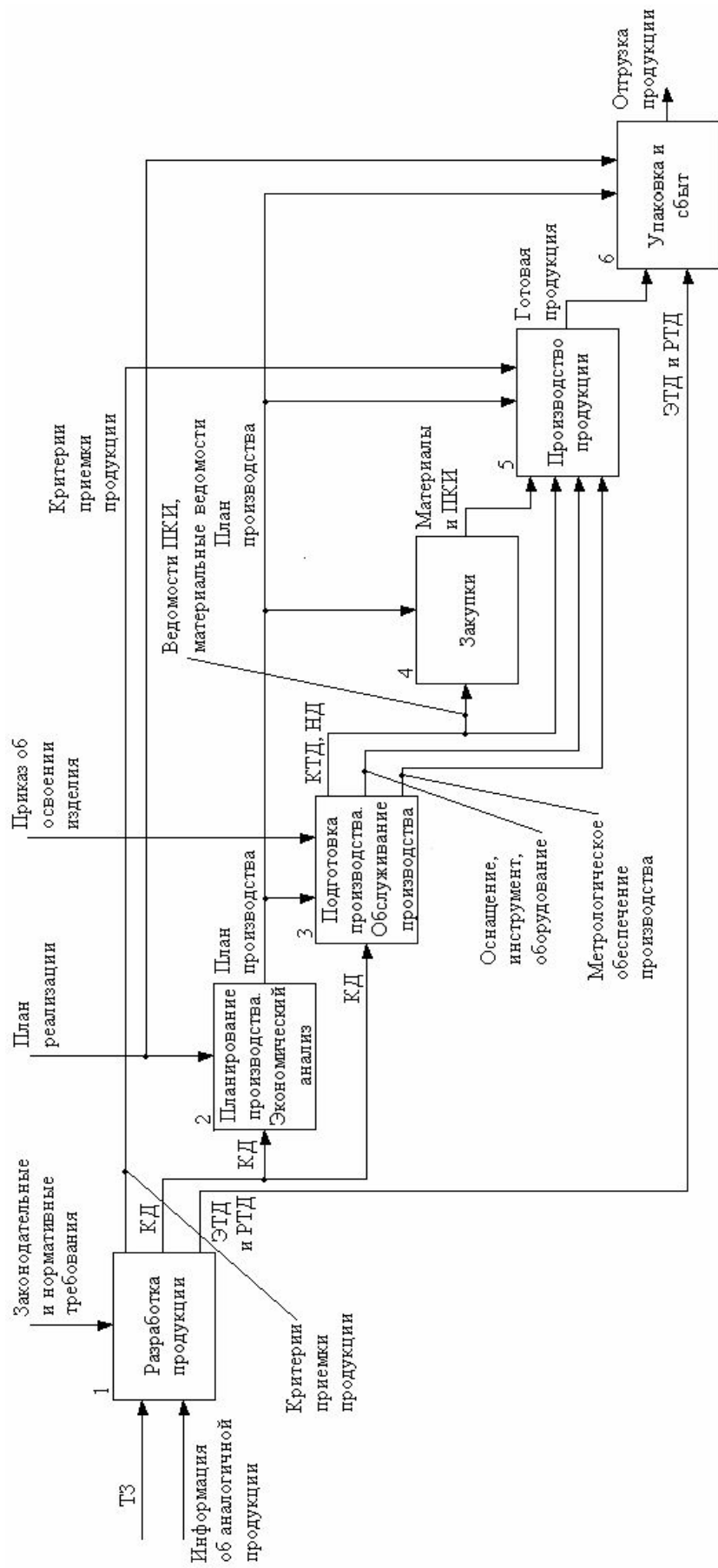


Рис. 2. Процессы «Разработка продукции» – «Упаковка и сбыт»

КТПП является частью процесса «Подготовка производства. Обслуживание производства», являющегося одной из важнейших частей производства. Подготовка производства должна давать уверенность в том, что технологический процесс и состояние всех элементов производства (оборудования, материалов и комплектующих, технологической оснастки и инструмента, вспомогательных материалов, технической документации, производственного персонала, производственной среды и т. д.) обеспечат изготовление продукции в соответствии с требованиями технической документации [2]. Организационно процесс подготовки производства состоит из следующего ряда этапов [2]: конструкторская подготовка, технологическая подготовка, метрологическая подготовка, организация рабочих мест, подготовка технического контроля и испытаний.

Технологическая подготовка производства представляет собой совокупность мероприятий, обеспечивающих технологическую готовность производства, под которой понимается наличие на предприятии полных комплектов конструкторской и технологической документации, средств технологического оснащения и оборудования, необходимых для изготовления, контроля, испытаний и выпуска продукции с установленными технико-экономическими показателями и требуемого качества. В ходе технологической подготовки производства выполняются следующие действия: составление графиков разработки технологических процессов (ТП) и карт контроля, формирование базы данных изделия в электронном архиве предприятия, разработка ТП изготовления деталей и сборки сборочных единиц, разработка технологических спецификаций, разработка материальных ведомостей, составление заказов на проектирование, изготовление и приобретение необходимого технологического оснащения, оборудования, покупного инструмента, средств измерения и контроля, разработка графиков проектирования и изготовления технологического оснащения, рассылка разработанной документации по спискам рассылки, оформление извещений на запуск в производство разработанной документации, разработка технологических планировок рабочих мест и размещения оборудования, изготовление установочной партии деталей (сборочных единиц) и испытание ее по специальной программе, внедрение нового ТП в установленном на предприятии порядке (рис. 3).

На Саратовском электроприборостроительном заводе областью первоочередной автоматизации были выбраны разработка и оформление технологических документов в ходе технологической подготовки производства.

Из перечисленных действий в область моделирования вошли: разработка документов, входящих в единичные технологические процессы (ТП), и типовые технологические процессы (ТТП) изготовления деталей и сборки, а также разработка технологических спецификаций, заказов на технологическое оснащение, графиков проектирования и изготовления технологического оснащения, ведомостей материалов, которые являются неотъемлемой частью комплекта документов ТП, хотя и не входят в него формально.

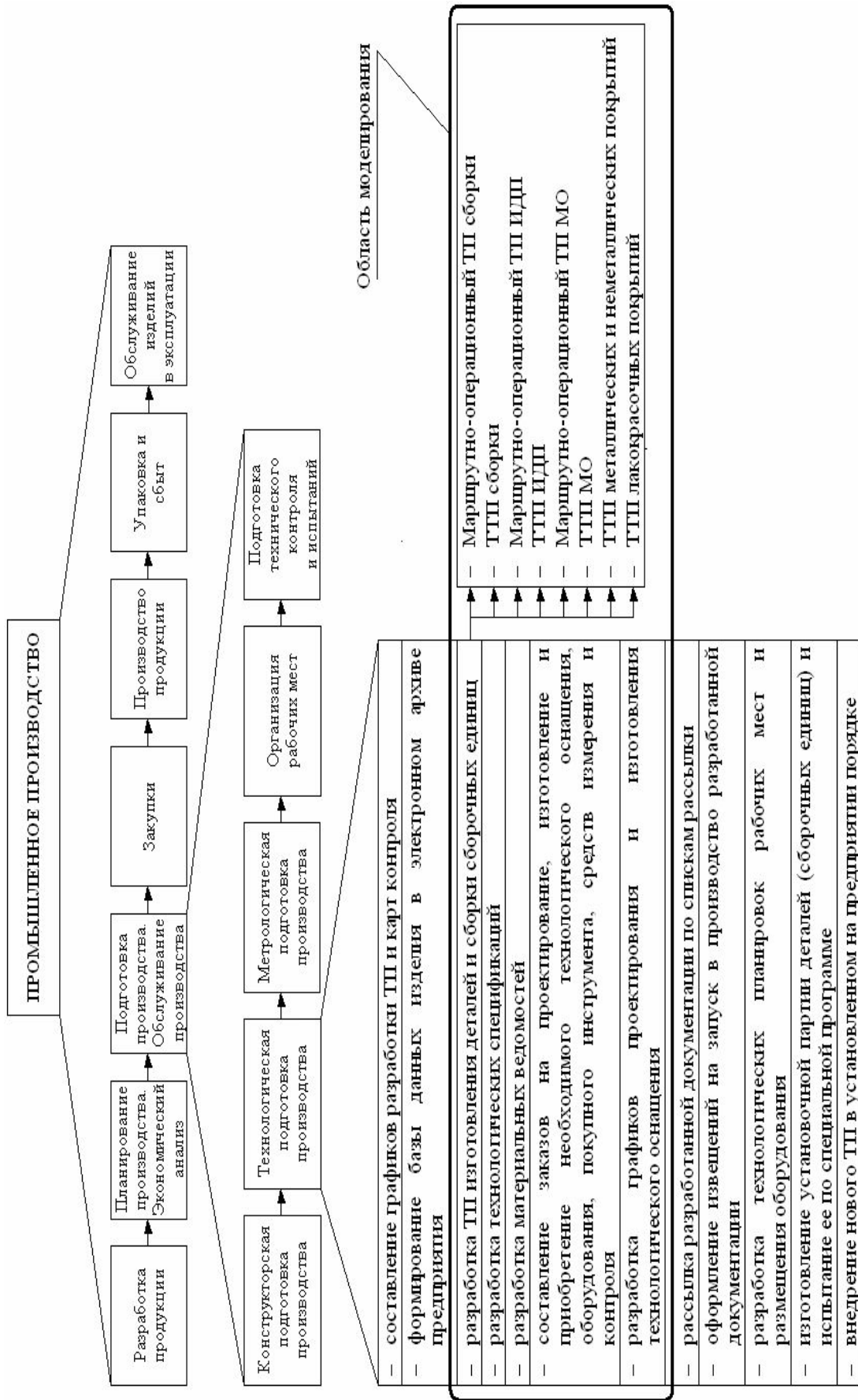


Рис. 3. Место рассматриваемых процессов среды всех процессов промышленного производства

Область моделирования для первоочередной автоматизации (место моделируемых процессов среди всех процессов промышленного производства) показана на рис. 3.

Таким образом, для получения практического результата необходимо разработать средство автоматизированного получения технологических документов, включенных в область моделирования.

Литература

1. СТП 579.19.309–2007. Система менеджмента качества. Производство продукции.
2. СТП 579.14.296–2008. Система менеджмента качества. Организация подготовки производства.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА РАСЧЕТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

А. М. Гудов, С. Ю. Завозкин, Т. О. Маренина, Т. О. Миронова
Кемеровский государственный университет

В сложившейся в ЕЭС России оперативно-диспетчерской системе управления особое место занимают задачи оптимизации режимов работы энергосистем. Их роль в значительной степени возрастает в условиях рыночной экономики. Задачи оптимизации режимов решаются на всех уровнях управления, начиная с нижнего – уровня электростанций [3].

Построение энергетических характеристик тепловых электростанций (ТЭС) является важным этапом на пути решения задачи оптимального распределения электрических нагрузок между агрегатами станции [2].

Целью работы является создание информационной системы, предназначенной для проведения расчёта энергетических характеристик ТЭС. Полученные характеристики должны стать основой для принятия управленческих решений по ведению оптимального режима работы станции.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. На основе изученных информационных источников построить математическую модель расчета характеристик ТЭС.
2. Составить требования к будущей системе.
3. На основе составленных требований построить информационную модель системы.
4. Реализовать систему и провести её апробацию.

Математическая модель

Энергетические характеристики ТЭС представляют собой зависимости полного часового расхода условного топлива B^{cm} и относительного при-

роста расхода условного топлива b^{cm} на станции от электрической нагрузки N этой станции [1]:

$$B^{cm} = f(N),$$

$$b^{cm} = g(N).$$

Характеристика относительного прироста (ХОП) станции – это дополнительный часовой расход топлива на станции при изменении электрической нагрузки на 1 МВт. Характеристики станции строятся для определенного состава работающих турбоагрегатов и котлов в диапазоне от значения минимальной электрической нагрузки, которую может обеспечить данный состав, до значения максимальной [1].

При расчете энергетических характеристик ТЭС рассматривают три этапа преобразования энергии [2]:

- 1) переход энергии топлива в тепловую энергию пара;
- 2) транспортировка пара, питательной воды по станции;
- 3) переход энергии пара в электроэнергию.

Входными данными для проведения расчета энергетических характеристик являются:

- принципиальная тепловая схема ТЭС;
- состав оборудования, при работе которого проводится расчет;
- вид сжигаемого топлива;
- характеристики оборудования, входящего в состав;
- значение эксплуатационного коэффициента станции $K_{\text{эпл}}$;
- зависимости расхода электроэнергии и тепла на собственные нужды агрегатов.

Характеристика котельного агрегата представляет собой зависимость расхода топлива B^k , т/ч, от величины его полезной тепловой нагрузки Q , ГДж/ч:

$$B^k = f(Q),$$

при $Q_{\min} \leq Q \leq Q_{\max}$.

Характеристика турбоагрегата представляет собой зависимость расхода тепла Q , ГДж/ч, от величины его электрической нагрузки N , МВт:

$$Q = f(N),$$

при $N_{\min} \leq N \leq N_{\max}$.

Расчет энергетических характеристик включает в себя следующие этапы:

1. Для каждого котла, входящего в состав, по его расходной характеристике $B^k = f(Q)$ строится ХОП – $b^k = b^k(Q)$, т/ГДж. По своему определению при бесконечно малом приросте нагрузки Q относительный прирост котла b^k находится как [1]

$$b^k = \frac{dB^k}{dQ}.$$

По полученным зависимостям $b_i^k, i=1..n$, где n – число котлов в сочетании, строится ХОП котельного цеха. Общая характеристика строится путем суммирования нагрузок отдельных котлов при равных значениях b_i^k , от значения минимального прироста среди всех котлов до значения максимального с некоторым шагом.

2. Строится ХОП турбинного цеха. Принцип сходен с составлением ХОП для котельного цеха [2]. По расходной характеристике i -й турбины $Q_i = Q_i(N), i=1..m$ строится ХОП i -й турбины $q_i = q_i(N), i=1..m$, где m – число турбин рассматриваемого сочетания.

По полученным зависимостям строится общая ХОП $q = q(N)$. Расчет ведется по точкам, которые являются изломами характеристик для каждой турбины по принципу поочередной загрузки однотипных агрегатов [2]. На этом этапе суммарный расход тепла корректируется с учетом $K_{\text{эпл}}$ станции [1].

3. Определяется минимальная и максимальная электрическая нагрузка станции для данного состава оборудования исходя из минимальной и максимальной нагрузки котельного цеха и минимальным и максимальным потреблением тепла машинным залом.

4. Строится ХОП в целом по станции. Расчет делается исходя из того, что характеристика относительного прироста b^{cm} при определенной электрической нагрузке N равна произведению относительного прироста турбинного цеха q при этой электрической нагрузке на относительный прирост котельного цеха b^k при тепловой нагрузке Q , соответствующей той же электрической нагрузке станции:

$$b^{cm}(N) = q(N)b^k(Q)|_{Q=Q(N)},$$

$$B^{cm}(N) = B^{cm}(Q)|_{Q=Q(N)}.$$

Требования к системе

Разрабатываемая информационная система должна обеспечить:

- поддержку нескольких типов пользователей и разграничение их привилегий;
- возможность занесения, просмотра, модификации, удаления информации о станции, тепловой схеме, оборудовании станции, пользователях системы;
- проведение расчета энергетических характеристик для заданного состава оборудования;
- просмотр рассчитанных энергетических характеристик.

Информационная модель системы

В информационной модели системы введены следующие понятия:

- объект – сущность с определенными свойствами;
- метаданное – элемент, описывающий свойство объекта;
- связь – отношение между объектами, влияющее на их характеристики.

ки.

В модели выделены следующие объекты:

- станция;
- тепловая схема станции – показывает основные потоки теплоносителей, связанные оборудованием в процессах преобразования теплоты для выработки электроэнергии;
- котел;
- турбина;
- редуционно-охладительная установка (РОУ);
- коллектор;
- состав оборудования;
- характеристика котла (строится при работе котла на определенном виде топлива, для одного котла может быть заведено несколько характеристик);
- характеристика турбины (для одной турбины может храниться несколько характеристик, составленных для разных режимов работы);
- ХОП станции;
- пользователь системы.

На рис. 1 представлены связи между объектами в виде RDF-графа.



Рис. 1. RDF-граф связей объектов системы

Типы данных [4]:

– Строка – наиболее общий тип данных, представляющий собой последовательность символов.

– Число – тип данных для задания числовых значений.

– Дата – тип данных для задания информации о датах и времени в специальном символьном формате.

– Словарь – специальный тип данных для задания значений выбираемых словарей.

– Контейнер – составной элемент, включающий один или несколько подчинённых элементов, представляющих взаимосвязанные характеристики описываемого объекта.

Пример описания объекта «Характеристика котла» представлены в таблице.

Метаданные объекта «Характеристика котла»

Название	Описание	Тип данных
fuel	Вид топлива	Словарь
Qmin	Минимальная теплопроизводительность котла	Число
Qmax	Максимальная теплопроизводительность котла	Число
ras_har_k	Расходная характеристика	Контейнер
a	Коэффициент расходной характеристики	Число
b	Коэффициент расходной характеристики	Число
c	Коэффициент расходной характеристики	Число
d	Коэффициент расходной характеристики	Число
Trw	Температура питательной воды	Число
Pp	Давление свежего пара	Число
Tr	Температура свежего пара	Число
comments	Примечания	Строка

В соответствии с построенной математической моделью реализован пакет процедур и функций на языке PL/SQL, обеспечивающий механизм расчета энергетических характеристик ТЭС. Проведен тестовый расчет для станции с котлами и турбинами одного давления с характеристиками оборудования, приведенными в [1]. Сравнение результатов расчета с энергетическими характеристиками, полученными в [1], подтвердило корректность работы механизма расчета.

Заключение

Построена математическая модель расчета энергетических характеристик ТЭС. Выдвинуты требования к системе, в соответствии с которыми построена информационная модель системы. Реализован механизм

расчета энергетических характеристик ТЭС. В настоящее время реализуется прототип системы.

Дальнейшее развитие системы предполагает реализацию возможности проведения комплексной (не только по электрическим, но и по тепловым нагрузкам) оптимизации работы ТЭС, а также добавление функций для формирования различных аналитических отчетов для нужд оперативно-диспетчерской службы.

Литература

1. Расчет технических характеристик тепловых электростанций // Расчеты наилучших режимов энергосистем. – М.: БТИ, 1961. – Вып. 1.
2. Горнштейн, В. М. Методы оптимизации режимов энергосистем. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 336 с.
3. Летун В. М., Глуз И. С. Оптимальное управление режимом работы электростанций в условиях оптового рынка // Электрические станции. – 2003. – Вып. 3. – С. 82–86.
4. Гудов А. М., Завозкин С. Ю. Информационные и математические модели, заложенные в систему электронного документооборота КемГУ // Вестник НГУ. – 2005. – Т. 2, вып. 1. (Сер. Информационные технологии в образовании). – С. 68–73.

COMPARISON OF NONPARAMETRIC FILTRATION ALGORITHMS WITH KALMAN FILTER*

A. V. Dobrovidov, G. M. Koshkin

*Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences, Moscow,
Tomsk State University, Informatization Problems Department
of Tomsk Scientific Center of Siberian Branch
of Russian Academy of Sciences*

Results in nonparametric bandwidth selection [1, 2] allow us to create data-based algorithms of automatic nonparametric signal filtration. Such algorithms are based on the optimal filtering equation and its nonparametric counterpart from the theory of nonparametric signal processing [3, 4]. This approach was developed for the case when state equation and probability distribution of unobservable useful signal (S_n) are unknown, but the observation equation and perturbation distribution are known completely. Term «automatic filtration» means that the output data of the observation equation is solely used to derive a nonparametric signal filtration equation. The estimation equation contains a term that is a non-parametric estimator of logarithmic derivative of density, which depends on bandwidths for probability and its derivative estimates. Using the results of [5, 6] for bandwidth selection by Smoothed Cross-Validation method, we give an automatic filtration method. To obtain a stable non-parametric estimator of logarithmic density derivative some regularization procedure is used that is named piecewise smooth approximation [7].

* The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project № 09-08-00595-a and Program № 29 of the Presidium of the Russian Academy of Sciences.

Modeling was carried out to compare the behavior of nonparametric estimates with the optimal Kalman estimates. Comparison of nonparametric plug-in estimate \tilde{S}_n and regularization estimate \bar{S}_n with optimal Kalman estimate \hat{S}_n is carried out by calculating the relative error ε in percentage

$$\varepsilon = \frac{u_{non} - u_{kal}}{u_{kal}} 100,$$

where

$$u_{non} = (\tilde{u}_{non} \text{ or } \bar{u}_{non}), \quad \tilde{u}_{non} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_k (S_k - \tilde{S}_k)^2},$$

$$\bar{u}_{non} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_k (S_k - \bar{S}_k)^2}, \quad u_{kal} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_k (S_k - \hat{S}_k)^2}.$$

Unfortunately the plug-in estimate is unstable. In this case plug-in estimate may have spikes (see fig. 1), that can sharply ruin the performance of this nonparametric estimate. To eliminate the spikes we use the regularized estimates (see fig. 2).

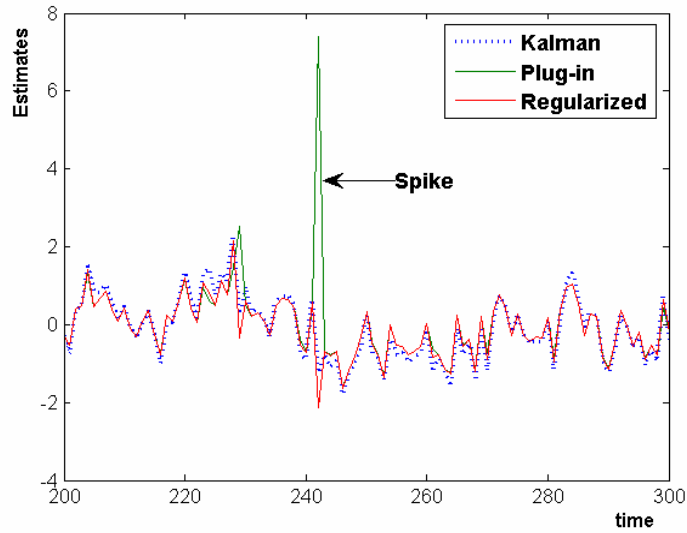


Fig. 1. Comparison of nonparametric and optimal Kalman filtration with spikes

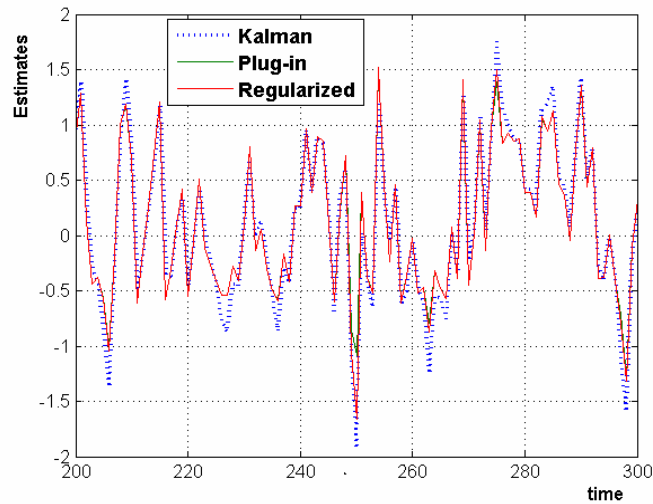


Fig. 2. Comparison of nonparametric and optimal Kalman filtration without spikes

The distances between nonparametric estimates \tilde{S}_n and $\tilde{\tilde{S}}_n$ and optimal Kalman estimate \hat{S}_n in ε -units are reflected in the following table, received by simulation.

Measure of closeness of estimates \tilde{S}_n and $\tilde{\tilde{S}}_n$ to Kalman estimate \hat{S}_n

Plug-in $\tilde{\varepsilon}$	Regularized $\tilde{\varepsilon}$	Spikes
83,13%	1,42%	yes
1,13%	1,31%	no

So, the discrepancy ε between both estimates is very little when the signal spikes are out. And when the spikes are present the advantage of the regularization procedure becomes obvious.

References

1. Bowman A. An alternative method of cross-validation for the smoothing of density estimates // *Biometrika*. – 1984. – Vol. 71. – P. 353–360.
2. Park B. and Marron J. Comparison of data-driven bandwidth selectors // *J. Amer. Statist. Assoc.* – 1990. – Vol. 85. – P. 66–72.
3. Dobrovidov A. V. Nonparametric methods of nonlinear filtering of stationary random sequences // *Automat. and Remote Control*. – 1983/ Vol. 44 (6). – P. 757–768.
4. Dobrovidov A. V. and Koshkin G. M. Nonparametric signal estimation: monogr. Moscow: Phizmatlit, 1997 (in Russian).
5. Duong T. and Hazelton M. L. Cross-validation bandwidth matrices for multivariate kernel density estimation // *Scand. J. Statist.* – 2005. – Vol. 32. – P. 485–506.
6. Dobrovidov A. V. and Rudko I. M. Bandwidth selection in nonparametric estimator of density derivative by smoothed cross-validation method // *Automat. and Remote Control*. – 2010. – Vol. 71 (2). – P. 45–57.
7. Dobrovidov A. V., Koshkin G. M., Vasiliev V. A. Nonparametric estimation of functionals of stationary sequences distributions: monogr. – Moscow: Nauka, 2004 (in Russian).

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ ВКЛЮЧЕНИЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ

***И. Ю. Зыков, А. В. Каленский, А. А. Звекон**
Кемеровский государственный университет*

Микроочаговая модель инициирования взрывного разложения энергетических материалов лазерным излучением основывается на предположении, что в объеме вещества находятся включения размером порядка 100 нм, сильно поглощающие лазерное излучение [1]. Предполагается, что вблизи включения во время действия импульса происходит значительное повышение температуры и образования очага реакции. Сечение поглощения излучения включением принимается равным геометрическому [1, 2], то есть фактор эффективности поглощения $Q_{abs} = 1$. Данное предположение нуждается в дополнительном обосновании, так как размер включений сопоставим с длиной волны света, что должно приводить к сильным дифракционным эффектам.

Цели работы: оценить в рамках теории Ми [3] коэффициенты эффективности поглощения лазерного излучения малыми металлическими включениями в объеме азида серебра (АС); построить зависимость плотности энергии инициирования от времени импульса для включений различного радиуса с учётом рассчитанных коэффициентов эффективности поглощения излучения материалом включения.

Коэффициент эффективности поглощения (Q_{abs}) сферическим включением радиуса r в рамках теории Ми рассчитывается как сумма бесконечного ряда от коэффициентов разложения электрического и магнитного поля рассеянной световой волны по специальным функциям.

$$Q = Q_{sca} + Q_{abs}, \quad (1)$$

$$Q_{sca} = \frac{2\pi}{k_a^2} \sum_{l=1}^{\infty} \frac{l^2(l+1)^2}{2l+1} (|c_l|^2 + |b_l|^2), \quad (2)$$

$$Q = \frac{2\pi}{k_a^2} \text{Im} \sum_{l=1}^{\infty} l(l+1)(-1)^l (c_l - b_l), \quad (3)$$

где $k_a = k_0 \cdot n$ – величина волнового вектора падающего излучения в среде.

$$c_l = i^l C_l, \quad (4)$$

$$C_l = i^{l+1} \frac{2l+1}{l(l+1)} \frac{\psi_l(\rho)\psi_l'(m\rho) - m\psi_l'(\rho)\psi_l(m\rho)}{\zeta_l(\rho)\psi_l'(m\rho) - m\zeta_l'(\rho)\psi_l(m\rho)}, \quad (5)$$

$$b_l = -i^l B_l, \quad (6)$$

$$B_l = i^{l+1} \frac{2l+1}{l(l+1)} \frac{\psi_l'(\rho)\psi_l(m\rho) - m\psi_l(\rho)\psi_l'(m\rho)}{\zeta_l'(\rho)\psi_l(m\rho) - m\zeta_l(\rho)\psi_l'(m\rho)}, \quad (7)$$

где $\rho = n \cdot r$, $m = n_i/n$ – комплексный показатель преломления включения относительно среды. Для вычисления специальных функций использовались рекуррентные соотношения [3]:

$$\psi_{l+1}(z) = \frac{2l+1}{z} \psi_l(z) - \psi_{l-1}(z), \quad (8)$$

$$\psi_l'(z) = \psi_{l-1}(z) - \frac{l}{z} \psi_l(z). \quad (9)$$

Специальные функции при $l = 1-3$ имеют вид:

$$\psi_0(z) = \sin z, \quad (10)$$

$$\psi_1(z) = \frac{\sin z}{z} - \cos z, \quad (11)$$

$$\psi_2(z) = \left(\frac{3}{z^2} - 1 \right) \sin z - \frac{3}{z} \cos z, \quad (12)$$

$$\zeta_0(z) = ie^{-iz}, \quad (13)$$

$$\zeta_1(z) = -e^{-iz} (1 - i/z), \quad (14)$$

$$\zeta_2(z) = -ie^{-iz} \left(1 - \frac{3i}{z} - \frac{3}{z^2} \right). \quad (15)$$

На рис. 1 представлены рассчитанные зависимости коэффициента эффективности поглощения излучения с длиной волны 1064 нм (первая гармоника неодимового лазера) от радиуса серебряного включения в матрице азид серебра (комплексные показатели преломления $n_i = 0,15 - 6,0i$ [4] и $n = 2$ соответственно) и вакууме.

Из рис. 1 следует, что включения серебра в азидной матрице поглощают излучение малоэффективно. Максимальная эффективность поглощения ($Q_{abs} \approx 0,204$) наблюдается при радиусе включения $r = 70$ нм, что сопоставимо с радиусом наиболее прогретых включений при длительности импульса 30 нс [1]. При меньших значениях радиуса включения Q_{abs} монотонно уменьшается и стремится к нулю, при больших – Q_{abs} уменьшается с затухающими осцилляциями, приближаясь к удвоенному коэффициенту поглощения массивного металла. Малые значения Q_{abs} серебряными включениями связаны с выраженными металлическими свойствами серебра, которые проявляются в малой величине действительной и большой величине мнимой части показателя преломления. В результате для включений Ag в матрице АС фактор эффективности поглощения меньше предполагаемого в 5 раз и более.

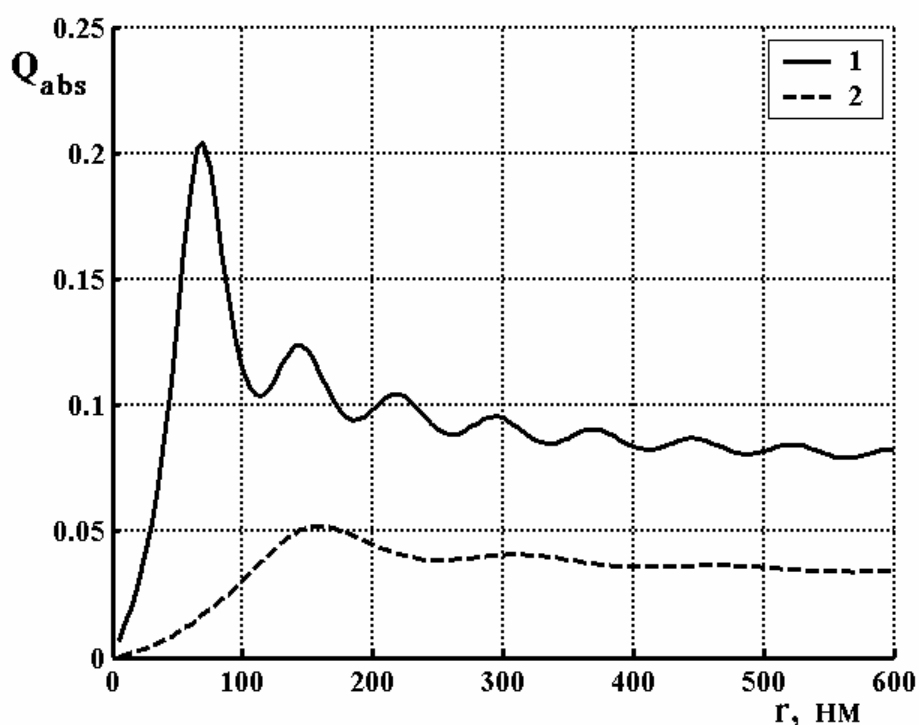


Рис. 1. Коэффициент эффективности поглощения света (1064 нм) включениями Ag различного радиуса в матрице АС (1) и вакууме (2)

Критические параметры инициирования теплового взрыва при нагреве включений различных радиусов были исследованы в [1, 2]. На рис. 2 пред-

ставлена рассчитанная в работе [2] зависимость плотности энергии инициирования от длительности импульса при различных радиусах включения в предположении $Q_{abs}=1$. На рис. 3 представлена та же зависимость, скорректированная с использованием рассчитанной в настоящей работе зависимости $Q_{abs}(r)$.

Из сравнения данных зависимостей видно, что при учёте Q_{abs} значения критической плотности энергии инициирования возрастают более чем на порядок.

В случае ансамбля включений для определения интегральной зависимости от длительности импульса используется огибающая к семейству кривых $H_r(t_i)$ [1]. Данная огибающая кривая в случае $Q_{abs}=1$ может быть приближенно описана выражением $H \approx const \cdot t_i^{0,4}$ [1,2].

Из сравнения рис. 2 и 3 следует, что учёт зависимости $Q_{abs}(r)$ изменяет относительное расположение кривых при различных радиусах. Так как $Q_{abs}(r) \rightarrow const$ при $r \rightarrow \infty$, при больших длительностях импульса, когда огибающая обеспечивается массивными включениями, закон $H \approx const \cdot t_i^{0,4}$ сохраняется. При длительностях импульса малых по сравнению с временем теплоотдачи с поверхности включения $r=70$ нм (при котором наблюдается максимум на зависимости $Q_{abs}(r)$) огибающая кривая может быть приближённо описана выражением $H \approx const$. Причиной этого является быстрое уменьшение $Q_{abs}(r)$ при $r < 70$ нм.

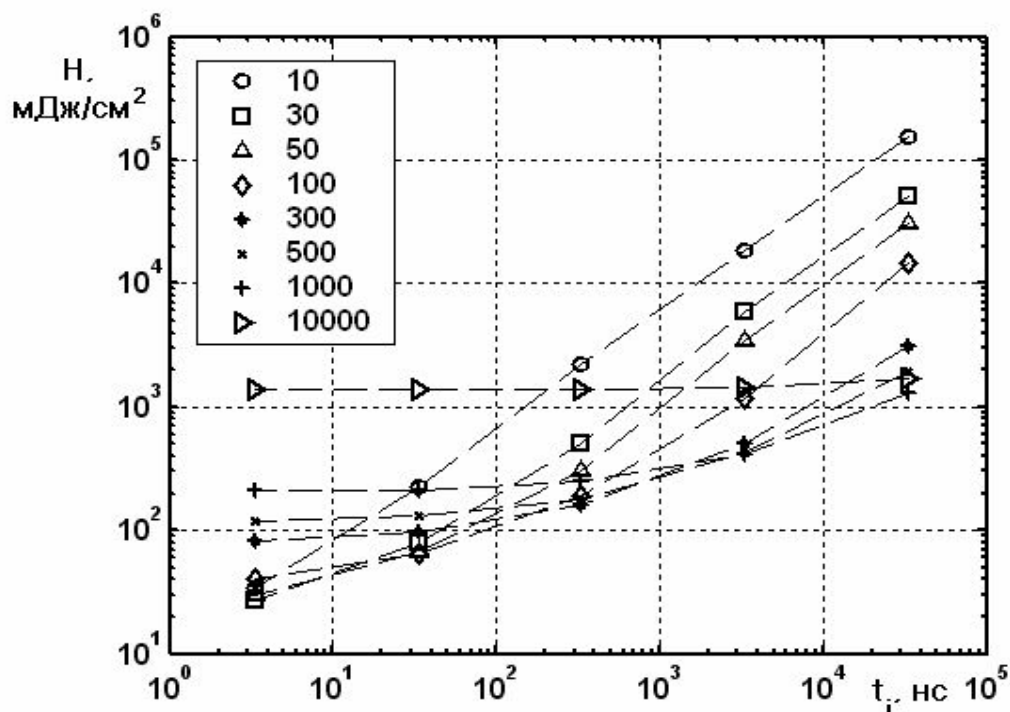


Рис. 2. Зависимость критической плотности энергии от длительности импульса при $Q_{abs}=1$ для АС с включением серебра различного радиуса (нм) [2]. Радиус включения приведён на легенде

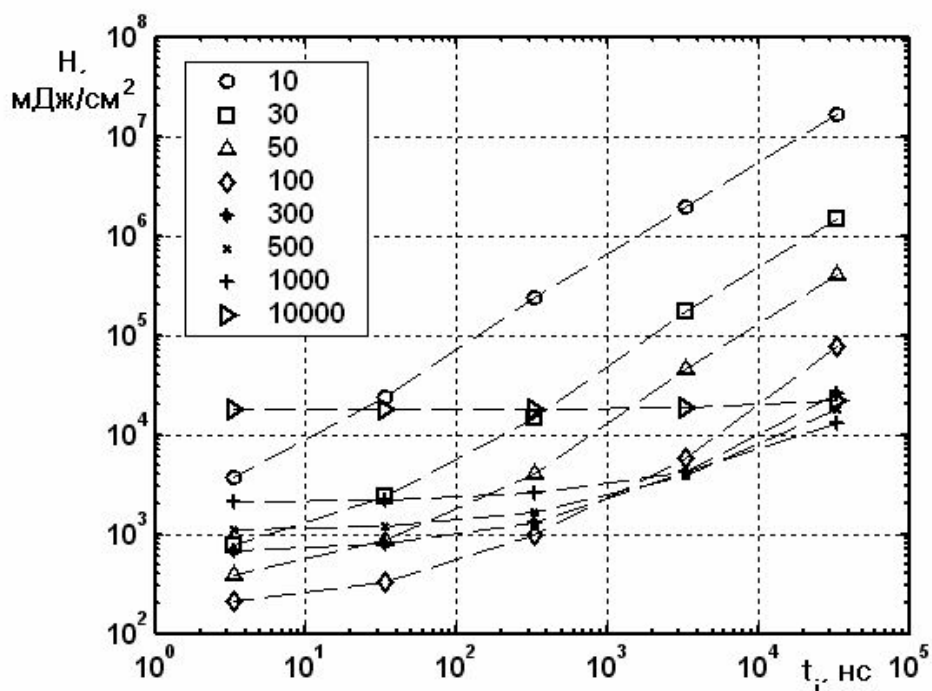


Рис. 3. Зависимость критической плотности энергии от длительности импульса с учётом зависимости $Q_{abs}(r)$ для АС с включением серебра различного радиуса (нм). Радиус включения приведён на легенде

Выводы. В рамках теории Ми рассчитаны значения коэффициента эффективности поглощения света включениями серебра различного радиуса в матрице азида серебра. Получена зависимость плотности энергии инициирования от длительности импульса при различных радиусах включения с учётом неполного поглощения падающего излучения.

Литература

1. Александров Е. И., Ципилев В. П. // Физика горения и взрыва. – 1984. – Т. 20, № 6. – С. 104–108.
2. Кригер В. Г., Каленский А. В., Звекон А. А. Тепловая микроочаговая модель инициирования взрывчатых веществ импульсным излучением // Современные проблемы химической и радиационной физики. – М.: ОИХФ РАН, 2009. – С. 322–325.
3. Шифрин К. С. Рассеяние света в мутной среде. – М.; Л.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1951. – С. 38–67.
4. Андреев С. В., Губанова Л. А., Путилин Э. С. Оптические покрытия. – СПб.: СПбГУИТМО, 2006. – С. 9–13.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ

Ю. Н. Исаев, О. В. Васильева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Приведем моделирование и расчет электрической части коаксиально-го магнитоплазменного ускорителя (КМПУ). На рис. 1 представлена упрощенная модель КМПУ. Для описания процессов, происходящих в КМПУ, представим его как электромеханическое устройство, считая, что масса и сопротивление плазмы постоянны.

На том же рисунке приводится электротехническая схема замещения, в которой C – емкость батареи конденсаторов; $L(z(t))$ – индуктивность плазменного шнура; R – сопротивление плазменного сгустка; L_0 – индуктивность индуктора.

Для математического описания рассматриваемого устройства необходимо иметь величины параметров $L_0, R, L(t), C$ электромеханической модели. Приведем их описание.

В электротехнической схеме батарея конденсаторов емкостью $C = 12 \cdot 10^{-3} \text{ Ф}$ заряжается до напряжения $U_0 = 3 \text{ кВ}$ [1]. Энергия электростатического поля, запасенная в конденсаторе, передается в электрическую цепь. Сопротивление цепи будем считать равным $R = 10^{-3} \text{ Ом}$ [1–3]. Далее необходимо рассчитать два следующих параметра: L_0 и $L(t)$.

Индуктивность коаксиальной системы жгут – электрод $L(t)$ определяем из энергетического соотношения $W = I^2 L / 2$, магнитное поле системы определяется по закону (1):

$$H_{\text{пл}}(x, y) = \frac{I}{2\pi r(x, y)}, \quad (1)$$

где I – ток, $r(x, y) = \sqrt{x^2 + y^2}$.

Запишем энергию системы (2):

$$W(z) = \mu \int \frac{H_{\text{пл}}^2}{2} dV = \frac{I^2 \mu 2\pi}{2(2\pi)^2} \int_0^z dz \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{r} = \frac{z \mu I^2}{4\pi} \ln \left(\frac{R_2}{R_1} \right), \quad (2)$$

здесь $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – магнитная проницаемость воздуха; R_2, R_1 – радиусы электрода ствола и плазменного жгута соответственно; z – координата распространения жгута.

Из последнего соотношения (2) следует, что индуктивность можно записать в виде линейной функции координаты распространения (3):

$$L(z) = \frac{z \mu I^2}{4\pi} \ln \left(\frac{R_2}{R_1} \right) = L' z. \quad (3)$$

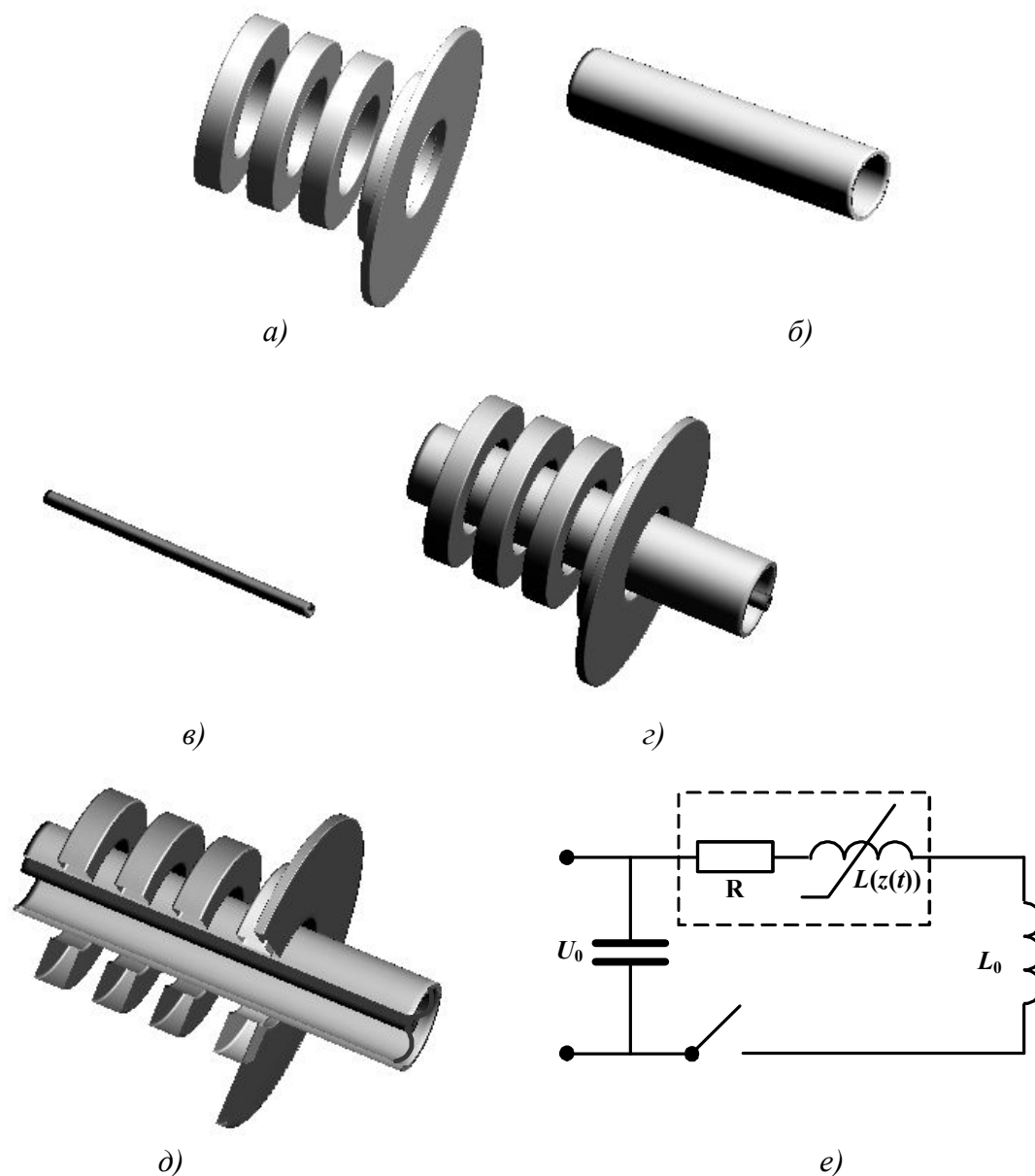


Рис. 1. Внешний вид модели плазменного ускорителя и его электротехническая схема замещения: а – индуктор-соленоид; б – электрод-ствол; в – плазменный ствол; г – магнитоплазменный ускоритель; д – плазменный жгут, электрически соединенный со стволом; е – электротехническая схема замещения МПУ

Постоянный коэффициент L' при координате z при единичном токе называется погонной индуктивностью (индуктивность единицы длины). После подстановки необходимых величин получаем величину погонной индуктивности (4):

$$L' = \frac{\mu I^2}{4\pi} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) = 10^{-7} \ln(4) = 3,2 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}, \quad (4)$$

здесь $R_1 = 10^{-3}$ м, $R_2 = 25 \cdot 10^{-3}$ м – радиусы плазменного сгустка и электрода соответственно.

Индуктор имеет сложную конфигурацию электродов, поэтому расчет индуктивности индуктора также проведен через известное энергетическое соотношение, в соответствии с которым получаем (5):

$$W_M = \frac{I^2 L_0}{2} \rightarrow L_0 = \frac{2W_M}{I^2}, \quad (5)$$

здесь I – ток в цепи; W_M – энергия магнитного поля; L – индуктивность. В свою очередь энергию магнитного поля (6) при заданной конфигурации электродов и заданного распределения токов можно определить, используя последовательность соотношений [4]:

$$W_M = \frac{1}{2} \int_V \mathbf{A} \delta dV \rightarrow L_0 = \frac{2W_M}{I^2} = \frac{1}{I^2} \int_V \mathbf{A} \delta dV, \quad (6)$$

где \mathbf{A} – векторный магнитный потенциал; δ – вектор плотности тока.

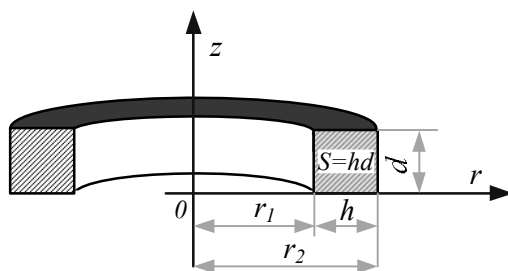


Рис. 2. Сечение проводника в виде кольца

После несложных преобразований получим выражение для индуктивности одного кольца с прямоугольным сечением (7), с учетом того, что интегрирование производится только по объему проводника [5] и что ток в кольце равен $I = 1$ А (параметры кольца приведены на рис. 2):

$$L = \frac{2\pi}{S^2} \int_{r_1}^{r_2} \int_0^d A(z, \rho) \rho d\rho dz. \quad (7)$$

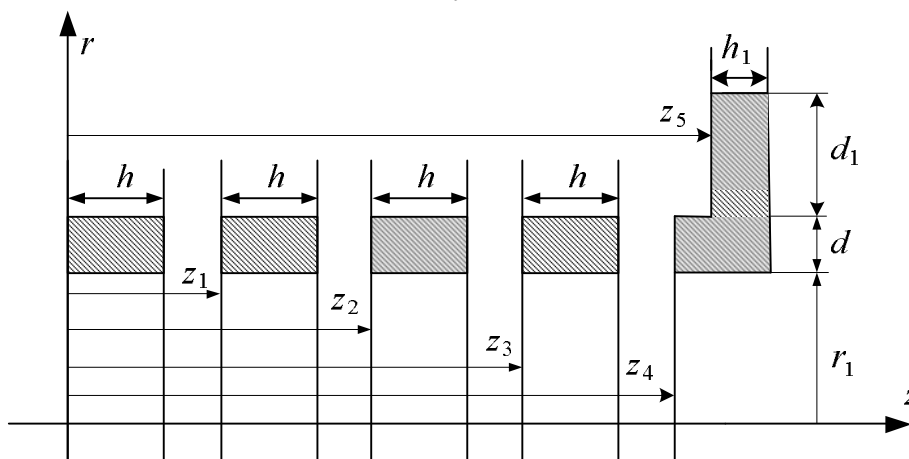


Рис. 3. Сечение индуктора

Векторный магнитный потенциал $\mathbf{A}(z, r)$ рассчитывался для конфигурации индуктора, приведенного на рис. 1, 3. При расчете $A(z, r)$ использовалось уравнение Пуассона (8) в цилиндрической системе координат:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial z} A(z, r) \right) + \frac{\partial}{\partial r} \frac{1}{r\mu} \frac{\partial}{\partial r} A(z, r) = -\delta. \quad (8)$$

В результате расчетов (см. рис. 3) получена индуктивность индуктора $L_0 = 1.722 \cdot 10^{-7}$ Гн.

Расчет дифференциальных уравнений был произведен методом Рунге – Кутты с фиксированным шагом. Число точек дискретизации временного интервала выбиралось равным $N = 3 \cdot 10^2$. Начальные данные для координаты, скорости, тока и напряжения выбирались равными соответственно $z(0) = 0, v(0) = 0, i(0) = 0, u_c(0) = U_0$.

Результаты расчетов приведены на рис. 4 и 5.

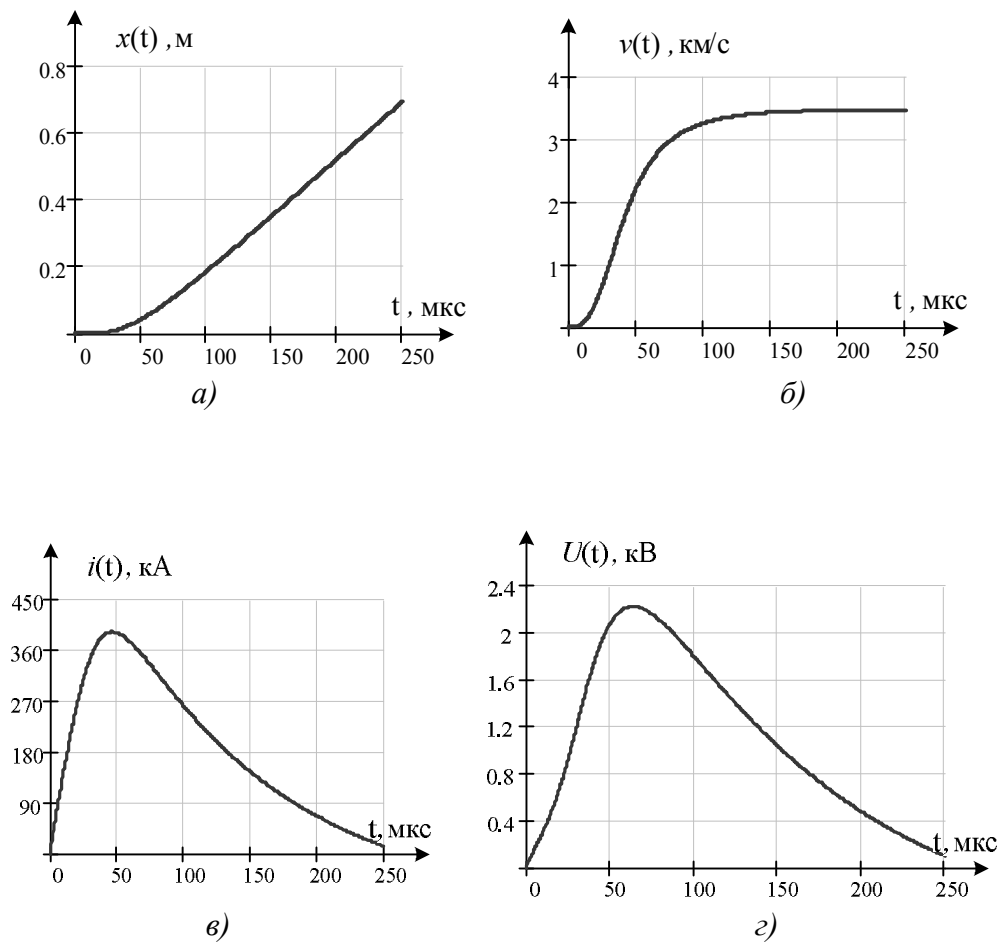


Рис. 4. Результаты расчетов без учета эрозии при значениях параметров цепи:

$$C = 12 \cdot 10^{-3} \text{ Ф}, L_0 = 1.722 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}, L' = 3,2 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}, U_0 = 3 \text{ кВ},$$

a – координата распространения; *б* – скорость сгустка;

в – ток; *г* – напряжение на плазменном жгуте

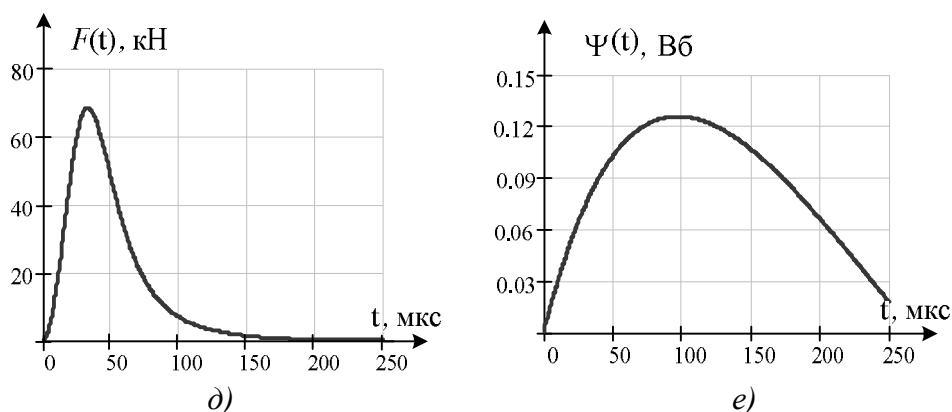


Рис. 5. Результаты расчетов без учета эрозии при значениях параметров цепи:

$$C = 12 \cdot 10^{-3} \text{ Ф}, L_0 = 1.722 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}, L' = 3,2 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}, U_0 = 3 \text{ кВ},$$

δ – сила; действующая на плазменный сгусток; e – потокосцепление

Таким образом, при рассмотренной конфигурации КМПУ скорость на срезе ствола находится в интервале 1–3 км/с.

Литература

1. Сивков А. А., Герасимов Д. Ю., Цыбина А. С. Электроэрозийная наработка материала в коаксиальном магнитоплазменном ускорителе для нанесения покрытий // Электротехника. – 2005. – №. 6. – С. 25–38.
2. Морозов А. И. Введение в плазмодинамику. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 613 с.
3. Колесников П. М. Электродинамическое ускорение плазмы. – М.: Атомиздат, 1971. – 388 с.
4. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. – Т. 8: Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 1992. – 664 с.
5. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. – Т. 1: Механика. – М.: Наука, 1992. – 533 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КОНТАКТНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

О. Н. Колмогорова, В. Г. Кригер, А. В. Каленский, А. А. Звекон

Кемеровский государственный университет

Инжекция носителей заряда в диэлектриках является достаточно распространенным и хорошо изученным явлением [1]. Наиболее интересным ее применением является разложение энергетических материалов в контактном электрическом поле. Важным отличием этого случая от классических задач [1] является химическое взаимодействие между инжектированными носителями заряда и дефектами решетки, способное привести к взрыву образца.

Цель настоящей работы: создание методики численного моделирования кинетических закономерностей инжекции носителей заряда в диэлектрик. Данная задача является необходимым этапом разработки методики мо-

делирования реакции разложения энергетических материалов, инициированной контактным электрическим полем.

Рассмотрим тонкий кристалл диэлектрика, находящийся между двумя электродами. Считая, что толщина кристалла мала по сравнению с остальными размерами системы, можно рассматривать диффузионно-дрейфовые процессы в одномерном приближении.

Система дифференциальных уравнений, описывающая изменения концентраций электронов и дырок внутри кристалла, соответствовала приведенной в работе [2]. Для решения системы дифференциальных уравнений использовался метод Рунге-Кутты переменного порядка (от 1 до 5) с переменным шагом по времени. При расчетах рассматривался кристалл длиной 0,4 см, который разбивался на 100 ячеек равного размера. Кроме того, с каждой стороны к кристаллу добавлялось еще по ячейке, которые моделировали электроды. В каждой из ячеек рассматривалась кинетика двух реагентов: дырок p и электронов n .

Поле в i -й ячейке рассчитывалось как суперпозиция полей, создаваемых зарядами во всех остальных ячейках. Для реализации этого механизма вводилась рекурсивная функция, выражающая поле в i -й ячейке через поле в предыдущей ячейке, что значительно сокращало количество необходимых для расчета операций. Так как расчет проводился в одномерном приближении, поле, создаваемое пространственным зарядом в каждой ячейке, рассчитывалось как поле бесконечной плоскости.

В каждой ячейке изменение концентраций дырок и электронов описывалось следующей системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{p}_i = G + D_p \frac{p_{i-1} + p_{i+1} - 2p_i}{h^2} + \frac{eD_p}{kT} \frac{((E_{i-1} + E_i)(p_{i-1} + p_i) - (E_{i+1} + E_i)(p_{i+1} + p_i))}{4h} + \\ + k_R \frac{p_i n_i}{n_i + \gamma p_i}, \\ \dot{n}_i = G + D_n \frac{n_{i-1} + n_{i+1} - 2n_i}{h^2} + \frac{eD_n}{kT} \frac{((E_{i-1} + E_i)(p_{i-1} + p_i) - (E_{i+1} + E_i)(p_{i+1} + p_i))}{4h} + \\ + k_R \frac{p_i n_i}{n_i + \gamma p_i}, \end{array} \right.$$

где p , n – концентрации дырок и электронов; G – темп термической генерации; γ – отношение констант захвата на нейтральных и заряженных центрах; D_p , D_n – коэффициенты диффузии дырок и электронов; E – напряженность электрического поля создаваемого пространственным зарядом; h – размер ячейки; k – постоянная Больцмана; T – температура; kR – константа скорости рекомбинации Шокли – Рида.

Темп термической генерации задавался в виде

$$G = gk_R \exp\left(\frac{A_2 - A_3}{2kT}\right),$$

где A_2 – работа выхода со дна зоны проводимости диэлектрика; A_3 – со дна валентной зоны диэлектрика; g – средняя плотность состояний в валентной зоне и зоне проводимости.

Граничные условия на контактах задавались исходя из следующих соображений. Во-первых, концентрации электронов и дырок в металле определяются распределением Ферми. Поэтому их отношение определяется формулой (предполагается, что уровень Ферми находится далеко от краев энергетических зон диэлектрика):

$$\frac{p_e}{n_e} = \exp\left(\frac{2A_1 - A_2 - A_3 + 2W}{kT}\right),$$

где A_1 – работа выхода электронов с поверхности электродов (металл); W – потенциал на электроде, который рассчитывался через напряженность поля в кристалле. Во-вторых, концентрации должны одновременно быть равновесными и в диэлектрике, что приводит к соотношению

$$\frac{G}{k_R} = \frac{p_e}{1 + \gamma \frac{p_e}{n_e}}.$$

В результате концентрации электронов и дырок на электродах выражаются через потенциал W :

$$\begin{cases} p_e = \frac{G / k_R}{1 + \gamma \exp\left(\frac{2A_1 - A_2 - A_3 + 2W}{kT}\right)}, \\ n_e = p_e \exp\left(\frac{A_2 + A_3 - 2A_1 - 2W}{kT}\right). \end{cases}$$

Изменение зарядов на электродах за счет диффузионно-дрейфовых процессов описывалось выражениями:

$$\begin{cases} \dot{q}_{e1} = D_p \frac{p_1 - p_{e1}}{h^2} + \frac{D_p (E_1 + E_{e1})(p_1 + p_{e1})}{kT} - D_n \frac{n_1 - n_{e1}}{h^2} - \frac{D_n (E_1 + E_{e1})(n_1 + n_{e1})}{kT}, \\ \dot{q}_{e2} = D_p \frac{p_n - p_{e2}}{h^2} + \frac{D_p (E_n + E_{e2})(p_n + p_{e2})}{kT} - D_n \frac{n_n - n_{e2}}{h^2} - \frac{D_n (E_n + E_{e2})(n_n + n_{e2})}{kT}. \end{cases}$$

При моделировании были заданы следующие значения основных параметров: $D_p=0,25 \text{ см}^{-1}\text{с}^{-1}$; $D_n=0,08 \text{ см}^{-1}\text{с}^{-1}$; $T=300 \text{ К}$; $k_R=10^6 \text{ с}^{-1}$; $g=10^{19} \text{ см}^{-3}$; $A_1=4,3 \text{ эВ}$; $A_2=3,8 \text{ эВ}$; $A_3=5,3 \text{ эВ}$. Были получены стационарные распределения заряда, напряженности поля и концентраций электронов и дырок в кристалле в случае отсутствия внешнего поля.

Заключение

Разработан программный пакет для расчета кинетических закономерностей инъекции электронных носителей заряда в диэлектрик.

Литература

1. Ламперт М., Марк П. Инжекционные токи в твердых телах. – М.: Мир, 1973. – 416 с.
2. Колмогорова О. Н., Звеков А. А. Моделирование твердофазных процессов в электрическом поле // Сборник тезисов Пятнадцатой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых. – Т. 1. – Екатеринбург; Кемерово: АСФ России, 2009. – С. 490–491.

СИСТЕМА НОРМАЛИЗАЦИИ И ПОДДЕРЖАНИЯ ВЕСА С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ПО ВЕСУ ПАЦИЕНТА

В. В. Кромер

Русско-немецкий университет, г. Новосибирск

Ожирение в большинстве случаев поддается лечению диетотерапией, повышением физической активности и коррекцией пищевого поведения. При диетотерапии обеспечивается отрицательный баланс энергии, т. е. расход энергии должен превышать поступление ее с пищей. В данной работе рассматриваются некоторые квантитативные аспекты диетотерапии [1] с приложением к системе нормализации и поддержания нормального веса «Минус фунт»¹.

Система базируется на математической модели зависимости дисбаланса при гипокалорийной терапии от калорийности рациона питания [3].

Известно, что зависимость между дисбалансом и интенсивностью потери веса линейная (исходя из расчета 1 г потери веса на каждые 7 ккал дисбаланса), но в устоявшемся режиме зависимость интенсивности снижения веса от калорийности рациона нелинейная. Нелинейный характер этой зависимости связан с зависимостью уровня основного обмена (УОО) от калорийности рациона. Данное обстоятельство является одной из причин известного эффекта *плато*, когда в ходе гипокалорийной диетотерапии с течением времени уменьшается ежедневная убыль веса и даже наступает стабилизация веса при данной (редуцированной) калорийности.

В [3] на основе положенных в основу модели предположений рассчитана зависимость дисбаланса от калорийности рациона и сделан вывод, что при снижении калорийности ежедневного рациона на 400 ккал по сравнению с калорийностью, восполняющей энергозатраты, снижением УОО можно пренебречь, и тогда интенсивность похудения составит 400 г (русский фунт) в неделю, что и дало название рассматриваемой системе.

Величина дисбаланса в 400 ккал является достаточно критической. Уменьшение дисбаланса ведет к замедлению похудения и тем самым к поте-

¹ <http://minusfunt.ru>

ре мотивации у пациента и затягиванию сроков нормализации веса. Увеличение дисбаланса вначале ведет к более интенсивному похудению, а затем к уменьшению УОО со всеми вытекающими из этого последствиями.

В то же время поддержание постоянства дисбаланса на уровне 400 ккал затруднено вследствие изменения УОО, специфического динамического действия пищи и физической активности. При постоянстве калорийности ежедневного рациона питания все эти изменения, рассматриваемые как случайные, будут изменять дисбаланс. Все это приводит к выводу, что для поддержания постоянства дисбаланса необходимо охватить систему «пациент – рацион питания» цепью отрицательной обратной связи. Поскольку дисбаланс линейно связан с изменением веса пациента, о величине дисбаланса можно судить по динамике веса, т. е. по величине изменения веса за определенный промежуток времени. Поскольку при изменении условий (питания, физической активности), новое значение УОО устанавливается примерно за три недели, изменение веса отмечается за недельный интервал. Увеличение этого интервала приводит к заметному увеличению инерционности системы, уменьшение – к возрастанию влияния «шумов».

Таким образом, в системе «Минус фунт» величина недельного изменения веса сравнивается с желаемой (уменьшение веса на 400 г в неделю), и в зависимости от знака отклонения вводится коррекция калорийности ежедневного рациона питания в ту или иную сторону. В системе решен вопрос о характеристиках обратной связи. Полная коррекция предполагала бы пропорциональное изменение калорийности из расчета 100 ккал на каждые 100 г сигнала ошибки (которым является разница между фактическим и желаемым недельным изменением веса). Но сигнал ошибки в реальных условиях существенно зашумлен (нерегулярность работы желудочно-кишечного тракта, колебания водно-солевого равновесия, погрешности измерения веса), и в этих условиях целесообразно ограничить величину еженедельной коррекции калорийности ежедневного рациона питания на уровне 100–200 ккал.

Для вхождения в систему и подключения обратной связи необходимо ориентироваться на расчетную величину энергозатрат, в соответствии с которой определяется калорийность рациона на первые две недели гипокалорийной диетотерапии. Для человека, не занятого тяжелой физической работой и не являющегося профессиональным спортсменом с сопутствующими этому роду деятельности физическими нагрузками, энергозатраты в ккал вычисляются по формулам: $\mathcal{E} = 6(P - B) + 20M$ для мужчин и $\mathcal{E} = 6(P - B) + 20M - 200$ для женщин, где P – рост пациента в см, B – его возраст в годах, M – масса тела в кг.

От полученного значения отнимается 400 ккал для создания расчетного дисбаланса. По завершении второй недели гипокалорийной диетотерапии по разнице типичных весов двух недель определяется недельное изменение веса и в соответствии с этим вводится коррекция калорийности рациона питания.

Другим вопросом, решенным в системе «Минус фунт», является методика определения недельных изменений веса. Ввиду случайных колебаний веса вокруг значения математического ожидания веса, прямое сравнение значений веса в определенный день недели двух соседних недель неприемлемо. Более приемлемым окажется нахождение типичного веса недели по результатам ежедневных измерений веса, поскольку при этом происходит частичная компенсация отдельных случайных изменений. Ввиду явного отклонения закона распределения случайных отклонений веса от математических ожиданий от нормального, обычно рекомендуемое вычисление среднего арифметического (как и построение линии линейной регрессии) ведет к большим погрешностям, и выходом из положения является применение свободных от распределения методов непараметрической статистики.

В работе [2] рассмотрены шесть различных мер центральной тенденции в качестве типичного веса недели – середина размаха, значение веса в средний день недели, среднее арифметическое, медиана, середина межквартильного размаха, трехсреднее значение Тьюки [4, с. 64]. Для оценки эффективности перечисленных мер центральной тенденции в качестве типичного веса недели введено 6-мерное пространство, где началу координат соответствует некая гипотетическая идеальная мера центральной тенденции, а все рассматриваемые меры наносятся на соответствующую рассматриваемой мере ось координат с учетом эмпирически определенных расстояний между мерами. С учетом переопределенности решаемой системы уравнений находится наиболее вероятное отстояние каждой из рассмотренных мер от идеальной меры (начала координат), и меры удается ранжировать в порядке их предпочтения: трехсреднее значение Тьюки, затем с равной степенью предпочтения медиана и середина межквартильного размаха, далее среднее арифметическое, вес в средний день недели, середина размаха.

Таким образом, при компьютерной обработке данных наиболее предпочтительно использование в качестве меры центральной тенденции трехсреднего значения Тьюки, а при ручной обработке данных для избавления от вычислительных трудностей – медианы.

Для отнесения типичного веса недели точно к середине недели необходимо определение меры центральной тенденции не по семи значениям (что дает смещенную оценку), а по массиву из 14 значений, в который значения веса в первый день предыдущей недели и первый день текущей недели входят по одному разу, а значения весов за 2–7-й дни предыдущей недели – по два раза.

В упрощенном варианте системы допустимо пользоваться медианой семи значений, при этом следует иметь в виду, что результат утреннего измерения веса следует относить к предыдущему дню, т. к. этот результат является итогом пищевого поведения и физической активности предыдущего дня.

Поскольку мы оцениваем недельное изменение веса по типичным весам соседних недель, при введении коррекции калорийности следует иметь в виду, что это изменение веса регулировалось в течение двух половин разных недель разными калорийностями, поскольку коррекция калорийности вносится в начале недели, а типичный вес недели относится к середине недели, что требует наложения коррекции на среднюю калорийность двух последних недель.

В упрощенной версии системы «Минус фунт» вполне допустимо корректировать калорийность по последней неделе, что несколько ухудшает управляемость весом пациента, но обеспечивает системе очевидную валидность (понятность и общедоступность для неспециалистов, к каковым следует отнести большинство пользователей системы).

При достижении пациентом своего желаемого (нормального) веса система переводится в режим поддержания веса (с нулевым желаемым недельным изменением веса), а еще ранее, когда до желаемого веса остается 2 кг, – в режим торможения (с желаемым недельным изменением веса 200 г). Общие принципы функционирования системы и коррекции калорийности при этом не меняются.

На рис. 1 представлен пример графика изменения веса пациента в диапазоне от 68 кг до желаемых 53 кг за 32 нед с последующим поддержанием его на этом уровне в течение 6 нед. Тонкой линией на рисунке отображен график изменения веса с ежедневными отметками, толстой линией – эти же значения, сглаженные 7-точечным трехсредним значением Тьюки для выявления тренда.

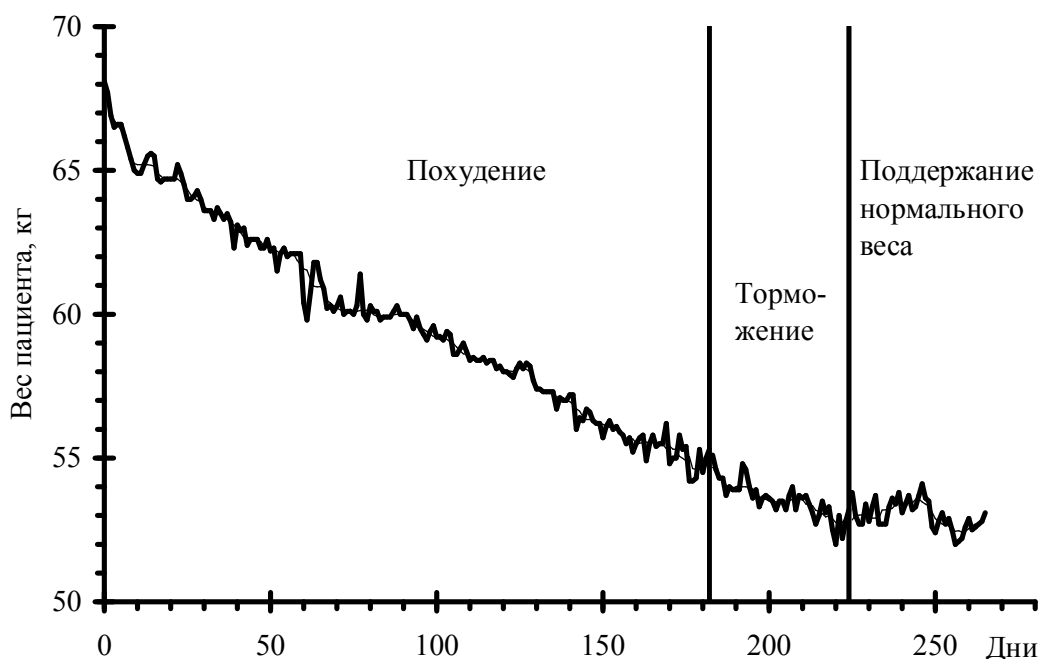


Рис. 1. График веса пациента в ходе гипокалорийной диетотерапии

На рис. 2 представлен пример диаграммы сигнала ошибки (разницы между фактическим и желаемым изменением веса за неделю), по значению и знаку которого проводится коррекция калорийности. Сигнал ошибки рассчитывается с использованием трехсреднего значения Тьюки.

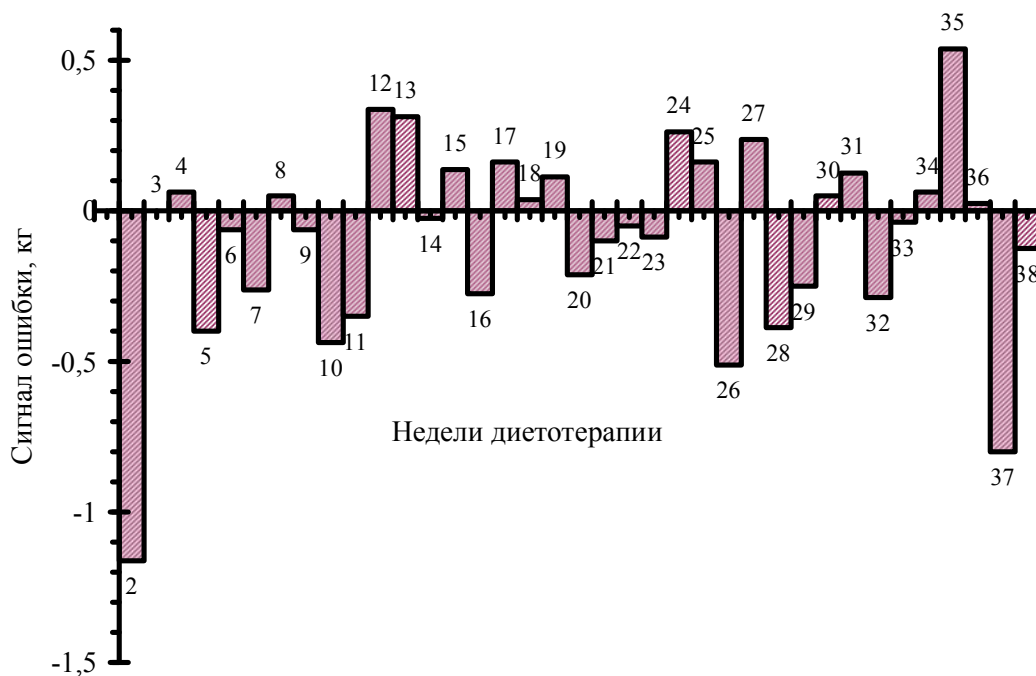


Рис. 2. Диаграмма сигнала ошибки в ходе гипокалорийной диетотерапии

Литература

1. Кромер В. В. Квантитативные аспекты гипокалорийной диетотерапии // Исследовано в России. – 2010. – С. 46–51.
2. Кромер В. В. Сравнение различных мер центральной тенденции в качестве типичной недельной массы тела // Материалы Второй Международной телеконференции (18 мая 2010 г.) / Сибирский государственный медицинский университет [Электронный ресурс] // URL: <http://tele-conf.ru/aktualnyie-problemyi-zdorovya-cheloveka/sravnenie-razlichnyih-mer-tsentralnoy-tendentsii-v-kachestve-tipichnoy-nedelnoy-massyi-tela.html>.
3. Кромер В. В. Об одной математической модели зависимости дисбаланса при гипокалорийной диетотерапии от калорийности рациона питания // Материалы Третьей Международной телеконференции (3 сентября 2010 г.) / Сибирский государственный медицинский университет [Электронный ресурс] // URL: <http://tele-conf.ru/aktualnyie-problemyi-zdorovya-cheloveka/mat.-mode-zavisimosti-disbalansa-pri-gipokaloriynoy-dietoterapii-ot-kaloriynosti-ratsiona-pitaniya.html>
4. Тьюки Дж. Анализ результатов наблюдений. Разведочный анализ. – М.: Мир, 1981.

О ПОСТРОЕНИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Г. Е. Маркелов

*Московский государственный технический университет
им. Н. Э. Баумана*

В настоящее время математическое моделирование получило широкое распространение как способ исследования и получения новых знаний. Однако в некоторых случаях возможности математического моделирования используются недостаточно рационально.

Одна из причин нерационального использования возможностей математического моделирования заключается в том, что разрабатываемые математические модели не обладают в полной мере нужными свойствами. Основными из таких свойств являются: свойство полноты, точности, адекватности, продуктивности, экономичности, робастности и свойство наглядности.

Построение математической модели, обладающей нужными свойствами, предполагает выполнение соответствующих требований, предъявляемых к математической модели. Очевидно, что такие требования противоречивы и на практике могут быть удовлетворены на основе разумного компромисса. Последнее в значительной мере зависит от профессионального уровня исследователя, его творческого потенциала и интуиции.

С целью получения математической модели с нужными свойствами имеет смысл выполнять правила и рекомендации, которые стали итогом обобщения практического опыта, накопленного при построении математических моделей.

В этой связи представляют интерес принципы построения математических моделей. Так, например, в [1, 2] сформулированы следующие принципы: отказ от построения математической модели с широкой областью адекватности; принцип постепенного усложнения математической модели; принцип согласованности; принцип перехода к стохастической модели.

Эти принципы носят общий и универсальный характер. Их разумное использование в совокупности позволяет разработать математическую модель с нужными свойствами, уменьшая негативное влияние субъективного фактора при принятии решений на некоторых этапах математического моделирования.

Далее рассмотрим конкретный пример построения математической модели, которая использовалась в исследовании функционирования кумулятивного заряда при реализации тепловых воздействий на кумулятивную облицовку. Некоторые результаты этого исследования изложены в работах [3–5].

Обычный вариант кумулятивного заряда содержит заряд бризантного взрывчатого вещества с осевой симметрией и кумулятивную выемку на одном из его торцов, в которой расположена металлическая облицовка, называемая кумулятивной. В начальный момент времени заряд инициируется со стороны, противоположной кумулятивной выемке, тогда образуются продук-

ты детонации, воздействующие на кумулятивную облицовку, что приводит к ее схлопыванию и формированию металлической струи из внутреннего (струеобразующего) слоя облицовки.

Пусть кумулятивный заряд формирует пластически разрушающуюся кумулятивную струю как при реализации, так и при отсутствии (начального) нагрева струеобразующего слоя в начальный момент времени. На начальной стадии существования большинства таких струй происходит равномерное растяжение без сосредоточенной деформации. Затем растяжение локализуется в областях образования шеек. В результате происходит пластическое разрушение, т. е. распад кумулятивной струи на определенное количество отдельных элементов, которые в дальнейшем не изменяют свою длину. Такой вид разрушения, например, характерен для кумулятивных струй из меди, никеля и ниобия. Для количественной оценки способности элементов таких кумулятивных струй к удлинению без разрыва используют так называемый коэффициент предельного удлинения, определяемый отношением общей длины элемента струи после разрыва к его начальной длине.

Установим относительное изменение коэффициента предельного удлинения при реализации начального нагрева струеобразующего слоя кумулятивной облицовки, опираясь на современные представления о деформировании металлов и пластическом разрушении кумулятивных струй.

Отказываясь от построения модели с широкой областью адекватности и учитывая принцип постепенного усложнения математической модели, установим искомую зависимость, начиная с построения достаточной простой модели.

В настоящее время известны установленные в результате зарубежных и отечественных исследований близкие друг к другу зависимости коэффициента предельного удлинения от безразмерного комплекса

$$U = \frac{Y}{\rho G^2 R^2},$$

в который входят начальные значения радиуса R элемента кумулятивной струи, осевой скорости деформаций G , динамического предела текучести Y и плотности ρ материала элемента кумулятивной струи. Тогда с учетом известных зависимостей можно записать:

$$\frac{n_b(T_I)}{n_b^*} = \left(\frac{U^*}{U} \right)^p, \quad (1)$$

где $n_b(T_I)$ – значение коэффициента предельного удлинения элемента струи при температуре T_I начального нагрева материала струеобразующего слоя кумулятивной облицовки; n_b^* и U^* – значения n_b^* и U , полученные при отсутствии начального нагрева; p – показатель степени. Согласно [6] показатель степени p можно считать приближенно равным 0,4. В дальнейшем верхним индексом * будем отмечать величины, определяемые в случае, когда началь-

ный нагрев материала облицовки отсутствует, т. е. $\Delta T_I = T_I - T_R = 0$, где T_R – температура окружающей среды при нормальных условиях.

Сначала определим температуру и динамический предел текучести материала кумулятивной струи, воспользовавшись приведенной в [7] зависимостью динамического предела текучести Y от температуры T материала:

$$Y = \tilde{Y} \left[1 - \left(\frac{T - T_R}{T_M - T_R} \right)^z \right], \quad (2)$$

где \tilde{Y} – динамический предел текучести материала при фиксированной температуре T_R ; T_M – температура плавления материала; z – константа материала. Первый множитель в правой части этого уравнения определяет механическое поведение среды при температуре T_R , а второй множитель – характер изменения предела текучести от температуры материала.

В общем случае \tilde{Y} зависит от интенсивности пластических деформаций ε_i , скорости пластических деформаций e_i и других параметров.

Пусть для любой индивидуальной точки N струеобразующего слоя облицовки применительно к конкретным условиям обжатия и деформирования известна величина динамического предела текучести \tilde{Y} как функция интенсивности пластических деформаций ε_i и скорости пластических деформаций e_i при средних значениях других параметров:

$$\tilde{Y}_N = \tilde{Y}_N(\varepsilon_i, e_i). \quad (3)$$

Подставляя (3) в уравнение (2), получим

$$Y_N = \tilde{Y}_N \left[1 - \left(\frac{T - T_R}{T_M - T_R} \right)^z \right]. \quad (4)$$

Для определения предела текучести Y_N в индивидуальной точке N материала кумулятивной струи необходимо знать результирующую температуру T в этой точке. Известно, что разогрев металла струи происходит за счет начального нагрева, ударно-волнового нагружения и пластической деформации материала струеобразующего слоя кумулятивной облицовки в процессе ее обжатия и формирования струи.

Применительно к конкретным условиям обжатия облицовки и формирования кумулятивной струи выразим результирующую температуру T в индивидуальной точке N через температуру T^* точки N того же материала, деформированного при тех же условиях, но в отсутствие начального нагрева материала облицовки, т. е.

$$T = T^* + \Delta T, \quad (5)$$

где ΔT – прирост температуры материала кумулятивной струи.

Достаточно простую зависимость можно получить, если принять допущение о том, что $\Delta T = \Delta T_I$. Это справедливо, если в рассматриваемой индивидуальной точке начальный нагрев материала облицовки не оказывает существенного влияния на приращение результирующей температуры T за счет пластической деформации. Тогда, используя уравнение (4), приходим к следующему отношению:

$$\frac{Y_N}{Y_N^*} = \frac{1 - \left[(T^* + \Delta T_I - T_R) / (T_M - T_R) \right]^z}{1 - \left[(T^* - T_R) / (T_M - T_R) \right]^z}.$$

Данные, полученные в работе [7] для различных металлов, показывают, что для меди и других металлов параметр z может быть принят равным 1. Тогда

$$\frac{Y_N}{Y_N^*} = \frac{T_M - T^* - \Delta T_I}{T_M - T^*}.$$

Затем, переходя от значений величин, определяемых в индивидуальной точке N , к средним значениям этих же величин в элементе кумулятивной струи, запишем

$$\frac{Y}{Y^*} = \frac{T_M - T^* - \Delta T_I}{T_M - T^*}. \quad (6)$$

Как известно из результатов численных расчетов, разупрочнение материала кумулятивной облицовки при прочих равных условиях не оказывает существенного влияния на кинематические характеристики процесса схлопывания облицовки. Следовательно, имеем

$$\frac{U^*}{U} = \frac{Y^*}{Y}.$$

Тогда, используя зависимости (1) и (6), получим

$$\frac{n_b(T_I)}{n_b^*} = \left(\frac{Y}{Y^*} \right)^{-p} = \left(\frac{T_M - T^* - \Delta T_I}{T_M - T^*} \right)^{-p}.$$

С помощью похожей зависимости в [6] сделаны оценки влияния начального нагрева кумулятивной облицовки на предельное удлинение кумулятивной струи.

Использование введенного допущения привело к тому, что полученная зависимость справедлива при достаточно малых значениях ΔT_I . Действительно, с ростом температуры начального нагрева материала облицовки вклад ΔT в результирующую температуру T уменьшается по сравнению с ΔT_I . Это означает, что при приближении величины $T^* + \Delta T_I$ к значению T_M

относительная погрешность полученной зависимости неограниченно возрастает. Очевидно, что принцип согласованности не выполняется и полученная зависимость не пригодна для практического применения. Следовательно, необходим следующий этап модификации математической модели.

Отказываясь от построения модели с широкой областью адекватности и учитывая принцип постепенного усложнения, уточним результирующую температуру T , определяемую по формуле (5). Тогда, осуществляя приведенные в [3] выкладки, получим отношение коэффициента предельного удлинения $n_b(T_I)$ элемента струи, сформированного из нагреваемой облицовки, к коэффициенту предельного удлинения n_b^* элемента, образованного при тех же условиях, но в отсутствие начального нагрева:

$$\frac{n_b(T_I)}{n_b^*} = \left(\frac{Y}{Y^*} \right)^{-p} = \left(1 - \frac{T_I - T_R}{T_M - T_K} \right)^{-p},$$

$$0 \leq \frac{T_I - T_R}{T_M - T_K} < 1,$$

где T_K – остаточная температура после ударно-волнового нагружения материала облицовки, из которого сформирован элемент кумулятивной струи.

Построенная зависимость была использована для расчета глубины пробития кумулятивного заряда при реализации начального нагрева материала облицовки. Сравнение результатов расчетов с известными экспериментальными данными обнаружило их удовлетворительное соответствие, что позволило сделать вывод о пригодности полученной модели для практического использования. Некоторые результаты такого сравнения приведены в [4, 5].

Если были бы получены экспериментальные данные, которые существенно отличаются от расчетных, то тогда необходим следующий этап модификации модели с использованием более точных исходных зависимостей, а это, в свою очередь, порождало бы потребность в их нахождении.

Пренебрегая принципами построения математических моделей, можно, например, прийти к модели [6], в которой для определения относительного изменения коэффициента предельного удлинения при реализации начального нагрева облицовки применяется инженерная методика оценки температуры кумулятивной струи. Анализ такой модели позволяет легко установить, что она не обладает в полной мере нужными свойствами, и это делает ее бесполезной с практической точки зрения.

Обучение построению математических моделей, обладающих нужными свойствами, является одной из важнейших задач курса «Основы математического моделирования», который автор читает в МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Литература

1. Маркелов Г. Е. Основные принципы построения математических моделей // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Естественные науки. – 2005. – № 4. – С. 59–70.
2. Маркелов Г. Е. Принципы построения математических моделей // Тихонов и современная математика: Матем. моделирование: Тезисы докладов международной конференции. – М.: Изд. отд. ВМиК МГУ им. В. М. Ломоносова, 2006. – С. 128–129.
3. Маркелов Г. Е. О влиянии начального нагрева струеобразующего слоя облицовки кумулятивного заряда на предельное удлинение элементов струи // ПМТФ. – 2000. – Т. 41, № 2. – С. 32–36.
4. Маркелов Г. Е. О влиянии начального нагрева облицовки на пробивное действие кумулятивного заряда // ПМТФ. – 2000. – Т. 41, № 5. – С. 27–31.
5. Markelov G. E. Influence of heating temperature on the ultimate elongation of shaped-charge jet elements // Proc. of the 5th Int. Conf. “Lavrentyev Readings on Mathematics, Mechanics and Physics”. – Novosibirsk: Lavrentyev Institute of Hydrodynamics in Russian, 2000. – P. 170.
6. Физика взрыва / Под ред. Л. П. Орленко. – Т. 2. – М.: Физматлит, 2002. – 656 с.
7. Johnson G. R., Cook W. N. A constitutive model and data for metals subjected to large strains. High rates and high temperatures // Proc. of the 7th Intern. Symp. on Ballistics. – Hague: Royal Institution of Engineers in the Netherlands, 1983. – P. 541–547.

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЯЮЩЕГО АЛГОРИТМА ПРИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

О. А. Махарева, А. Р. Жинкина

Кемеровский государственный университет

Центральной проблемой в проектировании адаптивных алгоритмов управления технологическими процессами является адаптация регулятора в реальном масштабе времени. При этом следует отметить, что оптимизация в реальном масштабе времени требует полного использования имеющейся априорной информации в виде математической модели управляемого процесса или объекта, заданной в дискретной форме. Описание в дискретной форме позволяет упростить как синтез алгоритма, так и его реализацию с точки зрения алгоритмического обеспечения. Поскольку требования, предъявляемые к автоматизированной системе управления, оказывают влияние на возможности и показатели оптимального управления в системах реального времени, оптимальное управление возможно лишь при оптимальной обработке информации. Но располагаемой априорной информации обычно недостаточно для осуществления оптимизации в процессе управления. Поэтому особо важной является структурно-параметрическая идентификация, выполняемая в реальном масштабе времени в эксплуатационных режимах объекта управления.

В работе используется настройка регулятора с обратной связью, при этом необходимым минимумом является информация об объекте (его порядок и параметры), которые получают с помощью метода текущей идентификации на основе вход-выходных измерений сигналов. Для определения по-

рядка и параметров объекта моделирования применяется модифицированный метод В. Висковатова [2]. Затем по полученным данным производится расчет параметров регулятора на основе метода полиномиальных уравнений [1]. Задачей работы является достижение наилучшего качества управления по критерию быстродействия при наличии информации об изменившемся объекте управления.

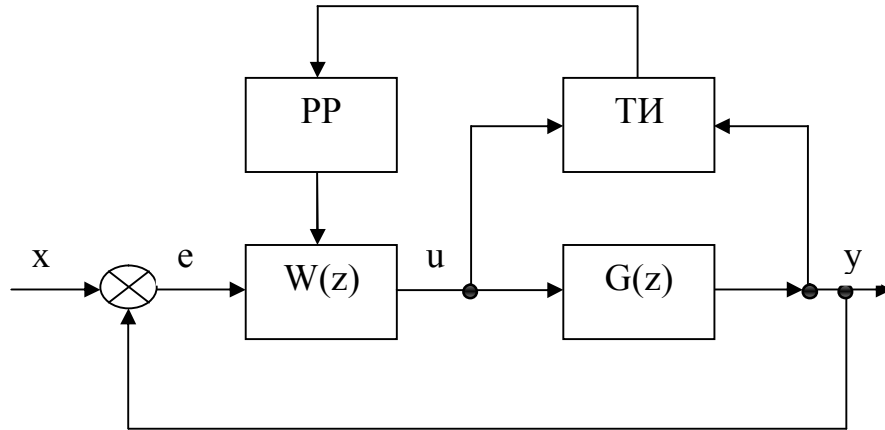


Рис. 1. Адаптивный регулятор: PP – расчет регулятора; TI – текущая идентификация для новых характеристик объекта

Процесс адаптации в замкнутой системе управления с адаптивным регулятором (рис. 1) проходит в три этапа [3]:

1. Текущая идентификация объекта управления.
2. Расчет параметров регулятора заданной структуры.
3. Настройка регулятора (изменение его параметров и структуры в соответствии с изменившейся моделью объекта управления).

Блок TI

Для дробно-рациональной аппроксимации дискретной передаточной функции (ДПФ) $G(z)$ на основе текущей идентификации воспользуемся представлением в виде непрерывной дроби, применив модифицированный алгоритм Висковатова. По исходным данным вход-выходных измерений переменных рассчитывается идентифицирующая матрица: (0)-строка 1-строка m -строка

$$\begin{array}{l}
 (-1)\text{-строка} \\
 (0)\text{-строка} \\
 1\text{-строка} \\
 \dots \\
 m\text{-строка}
 \end{array}
 \begin{pmatrix}
 u(0) & u(\Delta t) & u(2\Delta t) & \dots & u(n\Delta t) & \dots \\
 y(0) & y(\Delta t) & y(2\Delta t) & \dots & y(n\Delta t) & \dots \\
 \alpha_{10} & \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1n} & \dots \\
 \alpha_{20} & \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2n} & \dots \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \alpha_{m0} & \alpha_{m1} & \alpha_{m2} & \dots & \alpha_{mn} & \dots \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots
 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

в которой элементы α_{mn} определяются по следующему алгоритму:

$$\alpha_{mn} = \frac{\alpha_{m-2, n+1}}{\alpha_{m-2, 0}} - \frac{\alpha_{m-1, n+1}}{\alpha_{m-1, 0}} ; m = 1, 2, 3, \dots, n = 0, 2, \dots,$$

где $\alpha_{0, n} = y(n \Delta t)$; $\alpha_{-1, n} = u(n \Delta t)$

Расчет идентифицирующей матрицы (1) можно осуществлять последовательно по мере поступления исходных данных, т. е. матрица доопределяется в реальном масштабе времени. Первый столбец образует непрерывную дробь, которая отражает свойства динамического процесса и относится к классу правильных С-дробей [2] вида

$$G(z) = \frac{y(0)/u(0)}{1 + \frac{\alpha_{10}z^{-1}}{1 + \frac{\alpha_{20}z^{-1}}{1 + \dots \frac{\alpha_{m0}z^{-1}}{1 + \dots}}}}$$

Для получения ДПФ $y(0) = 0$, тогда (0)-строка сдвигается на один элемент влево ($y(\Delta t) \neq 0$), а вся дробь умножается на оператор обратного сдвига z^{-1} . Затем, сворачивая С-дробь «снизу-вверх», получаем дробно-рациональную функцию, то есть в форме ДПФ.

Пусть ДПФ объекта управления представляет собой отношение полиномов степеней m и n ($m \leq n$):

$$G(z) = \frac{P(z)}{Q(z)} = \frac{\sum_{i=0}^m p_i z^{-i}}{\sum_{i=0}^n q_i z^{-i}}, \quad (2)$$

где $P(z)$, $Q(z)$ – заданные полиномы от z . На вход подается ступенчатое воздействие с ДПФ вида

$$X(z) = \frac{A(z)}{B(z)} = \frac{1}{1 - z^{-1}}.$$

Блок РР

Настройка регулятора выполняется с помощью полиномиальных уравнений [1].

1. Составляем полиномиальное уравнение

$$P(z)\theta(z) + B(z)\pi(z) = A(z), \quad (3)$$

где $\theta(z)$ и $\pi(z)$ – минимальные полиномы с выбором следующих степеней: $\deg \theta(z) = \deg B(z) - 1 = 0$, $\deg \pi(z) = \deg P(z) - 1$. То есть имеем: $\theta(z) = \theta$, $\pi(z) = \pi_0 + \pi_1 z^{-1} + \dots + \pi_{n-1} z^{n-1}$.

2. Находим значения коэффициентов:

$$\theta = \frac{1}{\sum_{i=1}^n p_i}, \quad \pi_0 = 1, \quad \pi_1 = 1 - p_1\theta, \quad \pi_2 = 1 - (p_1 + p_2)\theta, \dots, \\ \pi_{n-2} = 1 - (p_1 + p_2 + \dots + p_{n-2})\theta, \quad \pi_{n-1} = p_n\theta. \quad (4)$$

3. Составляем программу управления в виде ДПФ:

$$W(z) = \frac{Q(z)\theta(z)}{B(z)\pi(z)}. \quad (5)$$

4. Переходим к конечно-разностным уравнениям:

$e(n\Delta t) = x(n\Delta t) - y(n\Delta t)$, $u(n\Delta t) = W(z)e(n\Delta t)$, $y(n\Delta t) = G(z)u(n\Delta t)$, где Δt – заданный шаг дискретизации, $n = 0, 1, 2, \dots$.

5. Определяем минимальное время установления переходного процесса: $t_{min} = (t_p + t_n + t_a)\Delta t$, где t_p – время регулирования; t_n – время идентификации; t_a – время адаптации регулятора.

В качестве примера рассмотрим апериодический объект второго порядка с непрерывной передаточной функцией

$$G(s) = \frac{1}{(1 + 2s)(1 + 5s)}.$$

Выберем шаг дискретизации $\Delta t = 5$ с. Применяя модифицированный метод В. Висковатова [2], получим дискретную модель в форме ДПФ (2):

$$G(z) = \frac{0,441591z^{-1} + 0,138642z^{-2}}{1 - 0,449964z^{-1} + 0,030197z^{-2}}. \quad (6)$$

Построение оптимального алгоритма управления выполним с помощью полиномиальных уравнений. Для этого составляем полиномиальное уравнение (3):

$$(0,441591z^{-1} + 0,138642z^{-2})\theta(z) + (1 - z^{-1})\pi(z) = 1.$$

Находим полиномы по формуле (4):

$$\theta(z) = 1,723446, \quad \pi(z) = 1 + 0,238942z^{-1},$$

которые дают возможность построить программу управления (5) в виде конечно-разностного уравнения:

$$u(n\Delta t) = 0,761058u((n-1)\Delta t) + 0,238942u((n-2)\Delta t) + 1,723446e(n\Delta t) - \\ - 0,775489e((n-1)\Delta t) + 0,052044e((n-2)\Delta t). \quad (7)$$

Теперь изменяем структуру объекта со второго на первый порядок, для чего проводим следующие выкладки. Пусть непрерывная передаточная функция объекта первого порядка имеет вид

$$G(s) = \frac{1}{1 + 2s}.$$

Дискретная передаточная функция, полученная с помощью модифицированного метода В. Висковатова, имеет вид

$$G(z) = \frac{0,917915z^{-1}}{1 - 0,082085z^{-1}}. \quad (8)$$

В результате моделирования в таблице наблюдаем, что уравнение выхода (y -нач) не устанавливается на желаемое значение, равное 1, поэтому проводим текущую идентификацию (блок ТИ) для определения характеристик изменившегося объекта. Расчетная идентифицирующая матрица (1) имеет вид

$$\begin{pmatrix} 1,723446 & -0,466852 & 2,798057 \\ 1,581977 & -0,298674 & 2,543862 \\ -0,08208 & 0,015497 & \dots \\ 0,00000 & \dots & \dots \end{pmatrix}$$

Сворачивая непрерывную S -дробь в дробно-рациональное выражение, получим ДПФ объекта:

$$G(z) = \frac{0,917915z^{-1}}{1 - 0,082085z^{-1}}$$

Полученная ДПФ совпадает с (8), т. е. текущая идентификация с помощью метода В. Висковатова позволяет получать точную дискретную модель объекта.

Для определения момента времени внедрения программы адаптации управления необходимо иметь $m = 2n+1$ измерений [2], где n – порядок объекта. Определяем время идентификации: $t_{и} = m\Delta t = 3\Delta t$ временных отсчетов. Следовательно, алгоритм адаптации управления включаем в момент времени $3\Delta t$.

Переходя к расчету регулятора (блок РР), с помощью полиномиального уравнения (3) находим значения полиномов (4):

$$\theta(z) = 1,089425 \text{ и } \pi(z) = 1.$$

Тогда уравнение адаптивного управления имеет вид

$$u(n \Delta t) = u((n-1)\Delta t) + 1,089425e(n\Delta t) - 0,089425e((n-1)\Delta t). \quad (9)$$

По результатам таблицы можно определить время установления переходного процесса $t_{min} = 6\Delta t$.

Моделирование процесса адаптации в замкнутой системе управления объектом первого порядка

n	x	e	u -нач	y -нач	u -адапт	y - дапт
0	1	1,000000	1,723446	0,000000	1,723446	0,000000
1	1	-0,581977	-0,466852	1,581977	-0,466852	1,581977
2	1	1,298674	2,798057	-0,298674	2,798057	-0,298674
3	1	-1,543862	-1,680225	2,543862	1,000000	2,543862
4	1	-0,126728	0,436252	-1,333491	1,000000	1,126728
5	1	-0,010402	-0,069463	0,290982	1,000000	1,010402
6	1	-0,000854	0,051373	-0,039876	1,000000	1,000854
7	1	-0,000070	0,022500	0,043883	1,000000	1,000070
8	1	-0,000006	0,029399	0,024255	1,000000	1,000006
9	1	0,000000	0,027751	0,028977	1,000000	1,000000
10	1	0,000000	0,028145	0,027851	1,000000	1,000000

Построим графики для уравнений управления и выхода замкнутой системы управления (рис. 2).

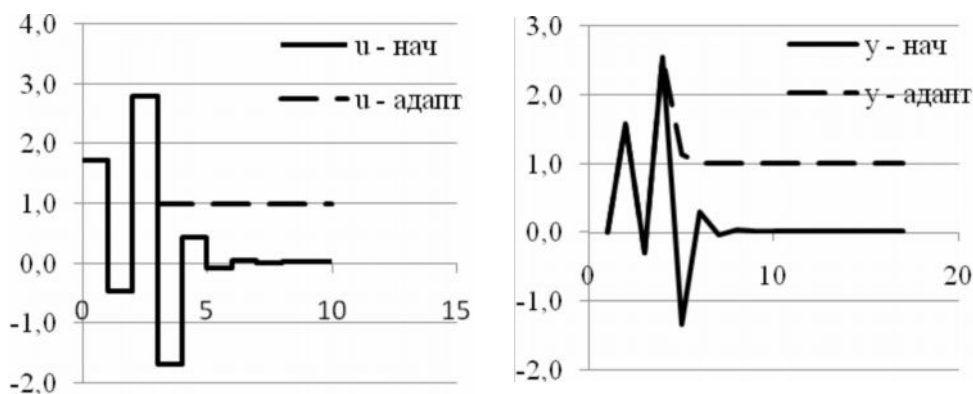


Рис. 2. Графики уравнений управления и выходных переменных

Таким образом, разработанный алгоритм адаптивного управления позволяет улучшить качество системы регулирования и повысить возможность использования на практике, благодаря уточнению модели в процессе эксплуатации путем текущей идентификации.

Литература

1. Волгин Л. Н. Оптимальное дискретное управление динамическими системами. – М.: Наука, 1986. – 240 с.
2. Карташов В. Я. Анализ и исследование аппроксимационных свойств непрерывных дробей при решении задачи структурно-параметрической идентификации динамических объектов. Препринт № 22 – Барнаул, 1996. – 40 с.
3. Изерман Р. Цифровые системы управления. – М.: Мир, 1984. – 541 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СПАРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В ИОНЕ ЛИТИЯ

Н. В. Островский

Вятский государственный университет

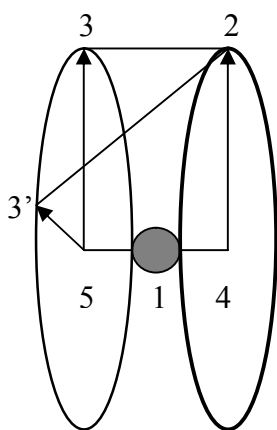


Рис. 1. Схема иона Li^+ : 1 – ядро; 2 и 3 – орбиты электронов; 4 и 5 – центры электронных орбит; 3' – элемент заряда

В предыдущей работе [1] было показано, что с использованием модифицированной теории строения атома Нильса Бора можно найти полную электронную энергию атома лития с точностью 1,3% отн. Однако точность вычисления энергии ионизации атома лития при этом составляет всего 50%. То есть ошибка, в основном, связана с верхней электронной орбитой. Причина этого состоит в том, что в использованной модели [1] спаренные электроны на нижней орбите рассматривались как квазичастица с удвоенными массой и зарядом.

В работе [2] была предложена модель, описывающая структуру и взаимодействие спаренных электронов (рис. 1).

В ней электроны движутся в противоположных направлениях по круговым орбитам, плоскости которых сдвинуты относительно ядра. Такая система находится в равновесии, если нормальная составляющая (т. е. перпендикулярная плоскости орбиты) силы электростатического притяжения электрона к ядру ($F_{21,N}$) уравновешена силой магнитного отталкивания между электронными токами ($F_{23,M}$). Согласно модифицированному уравнению электростатического взаимодействия сила отталкивания между электронами непосредственно не рассчитывается, но их взаимодействие учитывается при расчёте силы притяжения электрона к ядру:

$$F_{E,21} = \frac{Ze^2}{r_{12}^2} - r_{21} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\sigma_2(\alpha)\sigma_3(\alpha + \pi)\cos\beta \cdot d\alpha}{r_{23}^3}, \quad (1)$$

где Z – заряд ядра; e – заряд электрона; r_{21} – расстояние между ядром и орбитой электрона; r_{23} – расстояние между элементами заряда электронов; $\sigma(\alpha)$ – линейная плотность заряда; β – угол между r_{21} и r_{23} ; $d\alpha$ – элемент орбиты электрона.

Равновесие в системе может быть достигнуто только в том случае, если электроны представляют собой стоячие волны. Стационарность электронных волн, связанных с гармоническими колебаниями плотности заряда, возникает, когда частота колебаний плотности заряда ν_σ равна частоте движения электрона по круговой орбите: $\nu_e = u/2\pi r$. Тогда типичное волновое уравнение:

$$q_{ij} = e \cos \left[2\pi\nu_e \left(t_i - x_j/u_e \right) + a \right], \quad (2)$$

где: q_{ij} – величина заряда в момент времени t_i в точке x_j орбиты электрона; u_e – орбитальная скорость движения электрона; $a = \pm 2\pi ut/\lambda_e q_{ij} = e \cos \left[2\pi\nu_e \left(t_i - x_j/u_e \right) + a \right]$ – сдвиг фазы; λ_e – длина волны электрона; u – скорость движения волны электрона, преобразуется в

$$q_{ij} = e \cos \left(2\pi x_i / \lambda_e \right). \quad (3)$$

То есть величина заряда в каждой точке орбиты не зависит от времени.

Функция, описывающая распределение заряда по орбите, должна обладать двумя свойствами: 1) быть неотрицательной и 2) интеграл по окружности (от 0 до 2π) должен быть равен 1. Этим условиям удовлетворяют такие функции, $(1 + \cos \alpha)/2\pi$ и $|\sin(\alpha/2)/4|$. Поэтому поиск адекватной функции плотности заряда проводился для уравнения с вариационными коэффициентами X и Y ($X+Y=1$):

$$\sigma = e \left[X(1 + \cos \alpha)/2\pi + Y|\sin(\alpha/2)/4| \right]. \quad (4)$$

Движущиеся электроны представляют собой электрический ток, который создаёт магнитное поле. Сила тока, создаваемого электроном на орбите, будет равна (в системе СГСЭ) [3]:

$$i_E = e\nu_e = eu_e/2\pi r = enh/4\pi^2 mr^2. \quad (5)$$

Для перехода в систему СГСМ необходимо величину, найденную по уравнению (5), разделить на скорость света.

Магнитное поле dH , создаваемое элементом тока idl в некоторой точке, равно (в системе СГСМ) [4, с. 185]:

$$dH = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{idl \sin \delta}{\rho^2}, \quad (6)$$

где ρ – расстояние от элемента тока до пробной точки; δ – угол между вектором тока (касательной в случае кругового тока) и радиус-вектором точки относительно элемента тока.

Сила, действующая на электрический ток со стороны магнитного поля, равна [4, с. 195]:

$$F = ilB \sin(\vec{l}, \vec{B}), \quad (7)$$

где l – длина проводника; $B = \mu_0 H$ – магнитная индукция; μ_0 – магнитная постоянная (равна 1 в системе СГСМ).

Теперь мы можем перейти к расчётам полной энергии системы. Ограниченность объёма работы не позволяет дать полное описание алгоритмов. Вспомним, однако, что величина радиуса орбиты электрона определяется из равенства силы притяжения электрона центробежной силе [3]. Но ввиду того, что плоскость орбиты электрона сдвинута относительно ядра, мы должны использовать равенство (см. рис. 1):

$$F_{21} \sin \angle 214 = u_e^2 / r_{24}, \quad (8)$$

откуда следует, что [1]:

$$a_0 - r_{24}^3 F_{21} \sin \angle 214 / e^2 = 0, \quad (9)$$

где $a_0 = 5,292 \cdot 10^{-9}$ см – радиус орбиты электрона в атоме водорода.

Потенциальная и кинетическая энергия электрона могут быть найдены по уравнениям:

$$E_{Pot} = -F_{21} r_{21}, \quad (10)$$

$$E_{Kin} = F_{21} r_{24} \sin \angle 214 / 2. \quad (11)$$

В расчетах были использованы следующие значения атомных констант: $m_e = 9,1091 \cdot 10^{-28}$ г; $e = 4,803 \cdot 10^{-10}$ см $^{3/2}$ г $^{1/2}$ с $^{-1}$; $c = 2,9979 \cdot 10^{10}$ см/с; $h = 6,6256 \cdot 10^{-27}$ эрг·с [5]. Экспериментальная величина полной энергии электронов в ионе Li^+ была рассчитана как сумма энергий ионизации [6, с. 103] и составляет $-3,174 \cdot 10^{-10}$ эрг ($-7,280$ Хартри).

В использованном алгоритме есть два варьируемых параметра: расстояние между плоскостями орбит (r_{45}) и коэффициент X в волновом уравнении (4). Численное интегрирование по окружности при вычислении F_{21} проводилось с шагом $\pi/180$, а при вычислении H – с шагом $\pi/18000$. Корень уравнения (9) вычислялся с точностью $0,001 a_0$.

Предварительная оценка влияния расстояния между плоскостями орбит электронов на энергию электронов была проведена без учёта отталкивания

между электронами при вычислении F_{21} . При этом в расчётах была использована эмпирическая поправка (эрг) [7]:

$$\Delta E_I = 1,440/r_Z - 6,620 \cdot 10^{-12}, \quad (12)$$

где r_Z – радиус орбиты электрона, вычисленный по уравнению Бора.

Радиус орбиты электрона по Бору обратно пропорционален заряду ядра и в ионе лития должен быть равен $0,333 a_0$. При увеличении расстояния между плоскостями орбит полная энергия системы возрастает, что связано с уменьшением F_{21} .

В случае равномерного распределения заряда по окружности орбиты ($\sigma=e/2\pi$) минимальное расстояние, на которое могут сблизиться электроны, равно $0,12 a_0$. При этом $r_{24} = 0,55 a_0$, а полная энергия электронов – $-3,37$ Хартри. При меньших значениях r_{45} уравнение (9) не имеет решений. Минимальное значение полной энергии ($-5,78$ Хартри) достигается при $r_{45} = 0,3 a_0$ и $r_{24} = 0,45 a_0$.

Результаты расчётов для линейной плотности заряда, описываемой функцией (4), приведены в таблице. Как видно из таблицы равновесие в системе возникает при расстоянии между плоскостями орбит электронов порядка $0,001 a_0$. Этим равновесным состояниям отвечают различные радиусы орбит. Функция $(1+\cos\alpha)/2\pi$ даёт меньшее «перекрытие» зарядов по сравнению с функцией $|\sin(\alpha/2)/4|$, вследствие чего для неё равновесная (квантованная) величина радиуса орбиты электрона несколько меньше, а величина силы притяжения электрона к ядру значительно больше. Величина полной энергии электронов, наиболее близкая к экспериментальной (относительное отклонение $0,2\%$), была найдена для линейной комбинации функций при $X=0,89$ и $Y=0,11$.

Результаты расчётов полной энергии иона лития +1 для функции распределения заряда $\sigma = e \left[X(1 + \cos\alpha)/2\pi + Y|\sin(\alpha/2)/4| \right]$

X	Y	r_{45}, a_0	r_{24}, a_0	F_{21}, F_0	$i, \text{ед. СГСМ}$	$H, \text{эрсед}$	$\frac{F_{23,M}}{F_{21,N}}$	$E_s, \text{Хартри}$
0	1	0,0011	0,444	11,421	$5,35 \cdot 10^{-4}$	$1,47 \cdot 10^7$	1,00	-5,071
0,5	0,5	0,0011	0,400	15,633	$6,59 \cdot 10^{-4}$	$1,90 \cdot 10^7$	0,98	-6,253
0,8	0,2	0,0010	0,377	18,652	$6,42 \cdot 10^{-4}$	$2,24 \cdot 10^7$	1,02	-7,032
0,89	0,11	0,0020	0,371	19,595	$7,66 \cdot 10^{-4}$	$1,16 \cdot 10^7$	0,25	-7,270
0,89	0,11	0,0011	0,371	19,587	$7,66 \cdot 10^{-4}$	$2,11 \cdot 10^7$	0,83	-7,267
0,89	0,11	0,0010	0,371	19,586	$7,66 \cdot 10^{-4}$	$2,32 \cdot 10^7$	1,01	-7,267
0,89	0,11	0,0009	0,371	19,586	$7,66 \cdot 10^{-4}$	$2,57 \cdot 10^7$	1,24	-7,266
0,89	0,11	0,0008	0,371	19,585	$7,66 \cdot 10^{-4}$	$2,89 \cdot 10^7$	1,57	-7,266
1	0	0,0010	0,363	20,854	$7,99 \cdot 10^{-4}$	$2,42 \cdot 10^7$	0,99	-7,574

Примечание. $F_0 = 0,008237$ дин – сила притяжения электрона к ядру в атоме. Величина H рассчитана на расстоянии r_{45} от орбиты.

Таким образом, использование описанной выше модели позволяет с достаточно высокой точностью вычислить энергию спаренных электронов, что свидетельствует о её адекватности.

Литература

1. Островский Н. В. Нахождение квантованного радиуса орбиты электрона // Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2009): Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2009. – Ч. 2. – С. 152–155.
2. Островский Н. В. О взаимодействии спаренных электронов // Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции «Общество – наука – инновации». – Киров: Вятский государственный университет, 2010. – Т. 2. – С. 303–307.
3. Бор Н. Избранные научные труды. – Т. 1. – М.: Наука, 1970. – С. 84–148.
4. Калашников С. Г. Электричество: учеб. пособие. – М.: Наука; ГРФМЛ, 1985. – 576 с.
5. Коттон Ф., Уилкинсон Дж. Современная неорганическая химия. – М.: Мир, 1969. – 224 с.
6. Эмсли Дж. Элементы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1993. – 256 с.
7. Островский Н. В. Об энергии основных состояний и энергии ионизации двухэлектронных атомов и ионов (на основе теории строения атома Нильса Бора) // Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции «Наука – производство – технологии – экология». – Киров: Вятский государственный университет, 2008. – Т. 3. – С. 197–199.

О ДИССИПАТИВНОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ ЯЗЫКОВЫХ ЗНАКОВ

В. В. Поддубный, А. А. Поликарпов

*Томский государственный университет,
Московский государственный университет*

Согласно современным лингвистическим представлениям о развитии жизненного цикла языкового знака [1], любой языковой знак (слово) после своего появления в языке в некотором начальном значении может либо сохранять это значение в течение всей своей жизни, либо претерпевать эволюцию, последовательно рождая новые значения, всё более и более абстрактные по смыслу, пока не будет полностью израсходован его так называемый ассоциативно-семантический потенциал (АСП) – способность порождать новые значения (своя для каждого знака). При этом скорость рождения новых значений на начальном участке процесса эволюции знака максимальна (хотя и своя для каждого знака), а затем постепенно падает до нуля. Через некоторое время τ_0 (свое для каждого знака) начинается аналогичный процесс выпадения из употребления сначала наименее абстрактных (наиболее конкретных) значений знака, а затем всё более абстрактных, пока все значения знака не выйдут из употребления. При этом начальный участок процесса выпадения из употребления значений знака характеризуется наибольшей скоростью, которая затем постепенно уменьшается до нуля. Весь процесс выпадения значений знака из употребления идёт более медленно, чем процесс рождения новых значений. В результате в каждый данный момент текущего времени после момента возникновения знака число актуальных (живущих) значений знака (его полисемия) сначала растёт, достигает максимума, а затем постепенно падает. Через некоторое время (время жизни знака) это число стано-

вится равным нулю – знак исчезает из употребления. Кривая развития этого процесса во времени (кривая жизненного цикла языкового знака) – унимодальная кривая с максимумом, смещённым влево, к началу процесса.

Возникает вопрос, какой математической моделью может быть описан процесс развития языкового знака?

Введём переменные, характеризующие этот процесс. Обозначим через G максимальный АСП знака; через k – номер значения, появившегося на k -м шаге эволюции значений знака, $k = 1, 2, \dots, G$; через t_k – момент появления k -го значения ($t_1 = 0$ – начальный момент, момент появления знака в его начальном значении); через v_k – скорость роста числа значений знака на k -м шаге эволюции (v_1 – начальная скорость).

Очевидно,

$$v_k = ((k+1) - k) / (t_{k+1} - t_k) = 1 / \Delta t_k, \quad \Delta t_k = t_{k+1} - t_k, \quad (1)$$

где Δt_k – промежуток времени между рожденьями $k+1$ -го и k -го значений знака. В процессе рождения новых значений знака его АСП растрачивается, уменьшаясь на единицу при каждом рождении нового значения, так что на k -м шаге (уровне) эволюции АСП знака оказывается равным $G - k$ (после рождения k -го значения знака может родиться только $G - k$ новых значений). Естественно предположить, что скорость эволюции знака v_k пропорциональна АСП знака на k -м уровне эволюции:

$$v_k = a(G - k), \quad k = \overline{1, G}. \quad (2)$$

Тогда максимальная скорость эволюции равна $v_1 = a(G - 1)$, а минимальная – нулю: $v_G = a(G - G) = 0$. Из соотношений (1)–(2) получаем рекуррентную формулу для моментов появления новых значений знака:

$$t_{k+1} = t_k + 1 / (a(G - k)), \quad k = \overline{1, G-1}, \quad t_1 = 0. \quad (3)$$

Отсюда видно, что интервал времени $\Delta t_k = t_{k+1} - t_k$ обратно пропорционален АСП k -го значения знака, причём чем больше коэффициент пропорциональности $1/a$, тем длиннее этот интервал. Следовательно, коэффициент $1/a$ имеет смысл некоторой «постоянной времени» $\tau = 1/a$ роста числа новых значений знака (чем больше τ , тем медленнее рост, т. к. больше Δt_k , и наоборот). Поэтому вместо коэффициента a более резонно использовать обратную величину τ , так что рекуррентное соотношение (3) примет вид

$$t_{k+1} = t_k + \tau / (G - k), \quad k = \overline{1, G-1}, \quad t_1 = 0. \quad (4)$$

К сожалению, проанализировать характер поведения решения этого рекуррентного уравнения затруднительно. Однако если перейти временно к непрерывной переменной k , то рекуррентное уравнение (2) с учётом (1) и обозначения $\tau = 1/a$ можно записать в виде дифференциального уравнения:

$$dk(t) / dt = (G - k(t)) / \tau, \quad k(0) = 1. \quad (5)$$

Это линейное дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными. Его решение имеет вид

$$k(t) = G - (G - 1)\exp(-t/\tau), \quad t \geq 0. \quad (6)$$

Как видим, $k(t)$ экспоненциально растёт с ростом t от значения $k(0) = 1$ до $k(\infty) = G$. Очевидно,

$$v(t) = dk(t)/dt = (G - k(t))/\tau, \quad (7)$$

$$d^2k(t)/dt^2 = -(1/\tau)dk(t)/dt = -(1/\tau)v(t). \quad (8)$$

Последнее равенство означает, что «сила инерции» $d^2k(t)/dt^2$ в каждый момент текущего времени t уравнивается «силой вязкого трения» – $(1/\tau)v(t)$. Следовательно, процесс роста новых значений знака является диссипативным процессом [2]. Первоначальная «кинетическая энергия» такого процесса, равная $T(0) = v^2(0)/2 = (G - 1)^2/(2\tau^2)$, растрачивается на преодоление «сил вязкого трения», так что к моменту времени $t > 0$ её остаётся

$$T(t) = v^2(t)/2 = (G - k(t))^2 / (2\tau^2) < T(0). \quad (9)$$

С другой стороны, этот остаток «кинетической энергии» способен совершить «работу» против «сил вязкого трения», равную

$$U(t) = -\int_{k(t)}^G (1/\tau)v(t)dk(t) = (G - k(t))^2 / (2\tau^2). \quad (10)$$

Эта «работа» называется «потенциальной энергией» (потенциальной функцией). Как видим, «потенциальная энергия» знака $U(t)$ на каждом уровне $k(t)$, то есть в каждый момент времени t , равна «кинетической энергии» знака $T(t)$, $U(t) = T(t)$, так что его «функция действия» $S(t) = |T(t) - U(t)| \equiv 0$ и соответственно «функционал действия» $S = \int_0^\infty |T - U|dt = 0$ принимают минимальные (а именно, равные нулю) значения. Следовательно, процесс $k(t)$ роста числа новых значений знака в рассматриваемой математической модели подчиняется принципу «наименьшего действия» [3, 4], одному из фундаментальных вариационных принципов природы, впервые сформулированному Пьером Мопертюи в 40-х гг. XVIII в.

Частная производная $\partial U/\partial k(t) = -(1/\tau)v(t)$ от потенциальной функции по координате $k(t)$ определяет «силу вязкого трения», «силу сопротивления движению», что характерно для диссипативных систем. Применительно к языковому знаку можно сказать, что она определяет силу сопротивления языковой среды рождению новых значений знака. Возвращаясь к дискретной модели роста числа новых значений знака, можно сказать, что процесс эволюции языкового знака есть дискретный аналог диссипативного процесса.

Естественно предположить, что аналогично, но более медленно протекает процесс выхода из употребления значений знака. Тогда, снабдив верхними индексами процесс рождения новых значений (индекс 1) и процесс выпадения значений из употребления (индекс 2), для i -го знака получим из (4):

$$\begin{aligned} t_{i,k+1}^{(1,2)} &= t_{i,k}^{(1,2)} + \tau_i^{(1,2)} / (G_i - k), \quad k = \overline{1, G_i - 1}, \\ t_{i,1}^{(1)} &= t_i, \quad t_{i,1}^{(2)} = \tau_{0i} + t_i, \quad \tau_i^{(2)} > \tau_i^{(1)}, \quad i = \overline{1, N}, \end{aligned} \quad (11)$$

где t_i – момент появления в языке i -го знака (слова); N – число слов в языке. Очевидно, $L_{i,k} = t_{i,k}^{(2)} - t_{i,k}^{(1)}$ – длительность жизни k -го значения i -го знака. Нетрудно видеть, что эта величина подчиняется рекуррентному соотношению

$$L_{i,k+1} = L_{i,k} + (\tau_i^{(2)} - \tau_i^{(1)}) / (G_i - k), \quad L_{i,1} = \tau_{0i}, \quad k = \overline{1, G_i - 1}, \quad i = \overline{1, N}, \quad (12)$$

так что $L_{i,k+1} > L_{i,k}$, т. е. длительность жизни каждого значения любого i -го знака увеличивается с ростом k .

Полисемия i -го знака развивается с момента $t_{i,1}^{(1)} = t_i$ появления i -го знака в языке до момента $t_{i,G_i}^{(2)} = t_i + \tau_{0i} + L_{i,G_i}$ выхода из употребления последнего (G_i -го) значения i -го знака. Интервал времени длиной $L_i = \tau_{0i} + L_{i,G_i}$ от $t = t_{i,1}^{(1)}$ до $t = t_{i,G_i}^{(2)}$ – интервал жизненного цикла i -го знака.

Модель (11)–(12) является детерминированной дискретной диссипативной динамической моделью развития жизненного цикла языкового знака.

Очевидно, параметры жизненного цикла i -го знака (их 5 в нашей детерминированной модели) t_i , τ_{0i} , $\tau_i^{(1)}$, $\tau_i^{(2)}$, G_i различны для различных знаков. Этими параметрами определяются и моменты рождения $t_{i,k}^{(1)}$, и моменты выхода из употребления $t_{i,k}^{(2)}$, и длительности жизни $L_{i,k}$ каждого k -го значения i -го знака, и, наконец, само число G_i различных значений i -го знака (его АСП). Параметры $\tau_i^{(1)}$ и G_i определяют активность i -го знака, параметры τ_{0i} и L_{i,G_i} (т. е. τ_{0i} , $\tau_i^{(2)} - \tau_i^{(1)}$, G_i) – его стабильность.

Поскольку параметры модели характеризуют каждый знак, а все знаки разные, можно считать эти параметры для случайно выбранного знака случайными, подчиняющимися некоторым устойчивым законам распределения (в стационарном режиме появления, развития жизненного цикла и смены языковых знаков, то есть в стационарном процессе функционирования языка). Эти законы распределения должны проявляться во временных сечениях процесса функционирования языка. Именно на таких сечениях могут быть проверены (путём сравнения со словарями или путём анализа текстов) предполагаемые законы распределения параметров, а также предсказаны путём компьютерного моделирования законы распределения характеристик, определяемых этими параметрами (частотного распределения полисемии, распределения уровней абстрактности значений знаков, времени жизни, возраста знаков и т. п.).

В статистической модели развития во времени процессов функционирования больших ансамблей знаков на основе предложенной модели жизненного цикла отдельного языкового знака предполагается, что знаки возникают в языке в случайные моменты времени, образуя пуассоновский поток событий некоторой интенсивности. В этом случае интервал времени между появлением соседних по времени знаков языка имеет экспоненциальное распределение со средним значением, обратным интенсивности по-

тока. Предполагается также, что постоянные времени $\tau_i^{(1)}$ и $\tau_i^{(2)}$ пропорциональны G_i для всех знаков, а сами G_i образуют статистический ансамбль с экспоненциальным законом распределения. Предполагается, что задержки τ_{0i} начала выхода значений знаков из употребления также подчиняются экспоненциальному закону распределения и не зависят статистически от значений G_i . Кроме того, в статистической модели предполагается, что моменты $t_{i,k}^{(1)}$ рождения новых значений и $t_{i,k}^{(2)}$ выхода из употребления этих значений также флуктуируют для каждого знака и значения, но так, что рождение значения более высокого уровня $k + 1$ происходит не раньше рождения значения предыдущего, более низкого уровня k , то есть так, что $t_{i,k+1}^{(1)} \geq t_{i,k}^{(1)}$, и аналогично $t_{i,k+1}^{(2)} \geq t_{i,k}^{(2)}$, $\forall k, \forall i$. Эти флуктуации в модели описываются независимыми равномерно распределёнными случайными величинами с нулевыми средними значениями и полуширинами плотностей распределения $t_{i,k+1}^{(1,2)} - t_{i,k}^{(1,2)} = \tau_i^{(1,2)} / (G_i - k)$ соответственно.

На рис. 1, 2 в качестве примера результатов моделирования приведены эмпирические распределения абсолютных частот всех актуальных (живущих) уровней значений знаков и всех актуальных значений полисемии, усреднённые по 10 разнесённым временным сечениям (разрезам) моделирования динамики развития ансамбля 5000 знаков. Среднее значение интервалов между появлением знаков выбиралось равным $\langle t_{i+1} - t_i \rangle = 1$, среднее значение АСП $\langle G \rangle = 10$, среднее значение $\langle \tau_0 \rangle = 100$. При этом принимались случайные значения $\tau^{(1)} = 3G$, $\tau^{(2)} = 9G$. На рис. 3, 4 представлены распределения длительности жизни и возраста знаков.

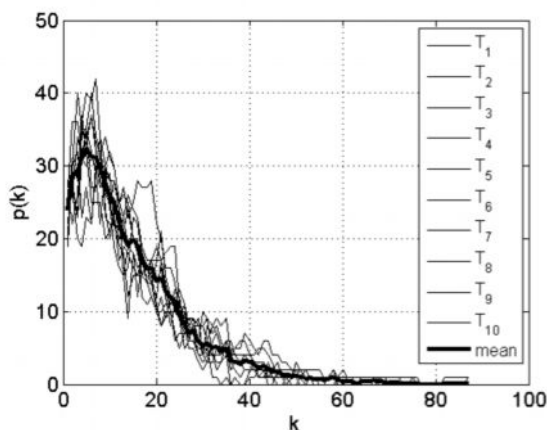


Рис. 1. Распределение уровней значений знаков

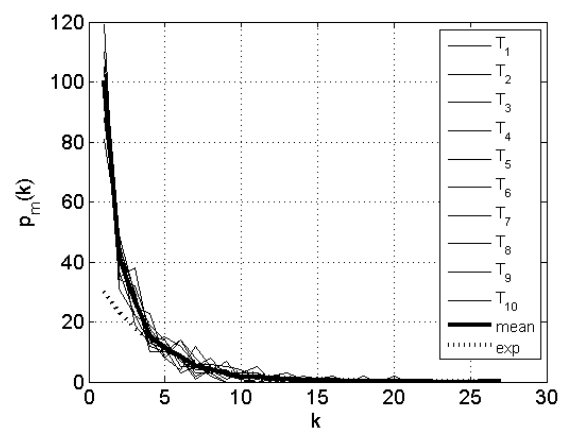


Рис. 2. Распределение актуальной полисемии

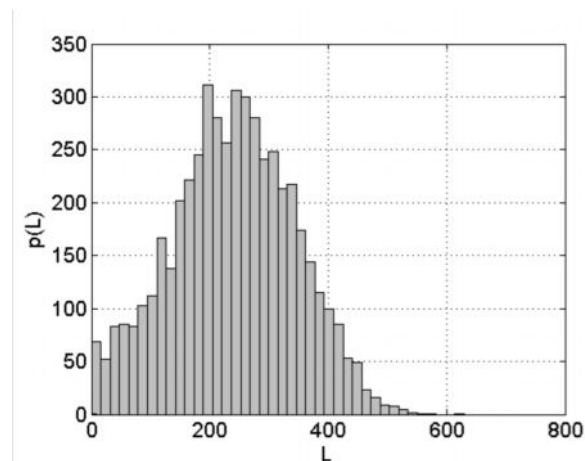


Рис. 3. Распределение длительности жизни знаков

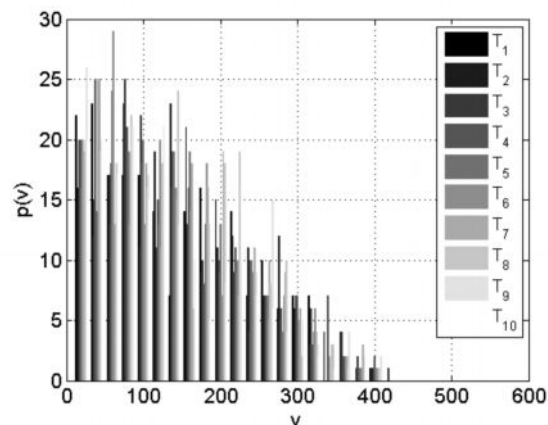


Рис. 4. Распределение возраста знаков (по сечениям)

Литература

1. Поликарпов А. А. Системно-квантитативный подход в лингвистике // Филологические школы и их роль в систематизации научных исследований (Вестник Смоленского государственного университета. – Сер. 1: Филология. – Т. 1). – Смоленск: Маджента, 2007. – С. 35–59.
2. Лоскутов А. Ю., Михайлов А. С. Основы теории сложных систем. – Москва; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2007. – 620 с.
3. Айзерман М. А. Классическая механика. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1980. – 368 с.
4. Маркеев А. П. Теоретическая механика: учеб. для университетов. – М.: ЧеРо, 1999. – 572 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ОЦЕНКИ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Н. И. Саватейкина

Кемеровский государственный университет

Необходимость решения проблем, связанных со здоровьем населения, требует от математиков разработки специальных методов построения и исследования математических моделей оценки здоровья.

Качество или эффективность многих систем различного назначения нередко характеризуют одним интегральным показателем (*ИП*). В данной работе рассматривается одна из формул расчета интегрального показателя оценки здоровья населения. За основу берется методика расчета *ИП* Российской Федерации и проводятся вычисления по данным Кемеровской области.

Основной целью работы являются анализ этого показателя, выявление тенденции его изменения, составление прогнозов.

Расчет параметров модели интегрального показателя здоровья населения для Кемеровской области был произведен на основе модели *ИП* здоровья населения Российской Федерации, построенной Б. Ф. Кирьяновым. Эта

модель представляет собой линейную модель *ИП* здоровья населения, задаваемую следующей зависимостью: $ИП = K_{ОРЖ} * ОРЖ + K_{СППЖ} * СППЖ - K_{ОЗО} * ОЗО - K_{ОСМ} * ОСМ - K_{ПИНВ} * ПИНВ + C$, где *ОРЖ*, *СППЖ*, *ОЗО*, *ПИНВ*, *ОСМ* – основные показатели здоровья населения, публикуемые в государственной статистике (*ОРЖ* характеризует воспроизводство населения; *СППЖ* – расчетный показатель, аккумулирующий повозрастные показатели смертности; *ОЗО* – общая заболеваемость по обращениям населения в учреждения здравоохранения; *ПИНВ* – первичная инвалидность; *ОСМ* – общая смертность).

K_i – весовые коэффициенты этих показателей здоровья, а *C* – число, определяющее среднее значение *ИП* для рассматриваемой модели. При этом *ИП* и все показатели здоровья являются безразмерными величинами (используются относительные значения показателей здоровья). Также к *ИП* предъявляется требование нормированности, т. е. модель должна обеспечить изменение *ИП* в заданном интервале [0, 1].

Модель интегрального показателя здоровья населения Кемеровской области была построена по значениям указанных пяти показателей на интервале за 1995–2008 г.

Таким образом, модель *ИП* с числовыми значениями всех коэффициентов принимает вид: $ИП = 0,025126 * ОРЖ + 0,001977 * СППЖ - 0,000352 * ОЗО - 0,007529 * ОСМ - 0,043734 * ПИНВ + 0,75$.

По данной модели были получены значения *ИП*, представленные на рис. 1.

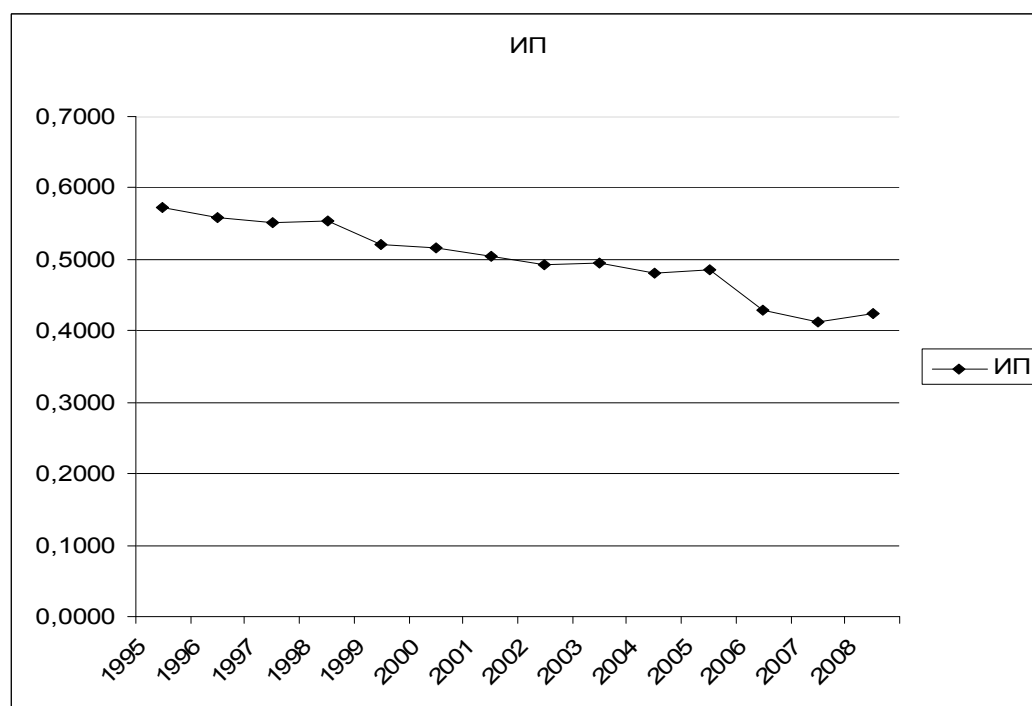


Рис. 1. Динамика интегрального показателя здоровья населения Кемеровской области за 1995–2008 г.

Полученные значения *ИП* представляют собой временной ряд. Исходные уровни ряда были проверены на сопоставимость, представительность, однородность и устойчивость.

Проведенный анализ показал, что временной ряд значений *ИП* является сопоставимым, представительным, однородным (после соответствующих преобразований) и устойчивым. Это позволило перейти к дальнейшим исследованиям.

Для построения трендов используем средства Microsoft Excel, с помощью которых были рассмотрены следующие зависимости: линейная, экспоненциальная, логарифмическая, парабола второй степени, парабола третьей степени. Авторегрессионная зависимость рассматривалась в виде линейной авторегрессии второго порядка:

$$\bar{y}_t = a_0 + a_1 * y_{t-1} + a_2 * y_{t-2}.$$

Так как данные по каждому из показателей здоровья за 14 лет, то тренды строились по 11 годам и прогнозировались на 3 года вперед, для того, чтобы по трем оставшимся фактическим данным проверить точность прогноза и из прогностических моделей выбрать лучшую.

Чтобы убедиться в существовании в явном виде тенденции для исследуемого ряда *ИП*, использовался критерий Фостера – Стюарта, по которому получилось, что с доверительной вероятностью *alfa* нулевая гипотеза H_0 существования тренда принимается.

В результате выяснилось, что лучшая модель при построении – парабола третьей степени, лучшая прогностическая модель экспоненциальная. Эти модели не совпадают. Остальные модели оказались также не намного хуже указанных. Поэтому при построении итогового прогноза желательно было бы учесть их все. Такую возможность дает синтез прогнозов.

Синтез прогнозов дает определенное объединение прогнозных результатов, так называемый синтез прогнозных оценок в целях построения комбинированного прогноза. Сущность процедуры синтеза состоит в том, что определяется средневзвешенный результат прогнозов, полученный различными методами с учетом их достоверности. Чем менее достоверен результат, тем меньше его вес, вклад в окончательный прогноз.

Рассмотрим непосредственно процедуру синтеза прогнозных оценок, сущность которой состоит в следующем. По результатам прогнозирования, полученных с помощью различных методов, определены значения A_1, A_2, \dots, A_n с ошибками, характеризующимися дисперсиями $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$. Необходимо построить некоторую средневзвешенную оценку A^* , которая была бы линейной комбинацией частных прогнозов, т. е.

$$A^* = \sum_{i=1}^n \mu_i * A_i,$$

где A_i – значение частных *i*-х прогнозов; μ_i – вес *i*-го прогноза.

Веса μ_i вычисляются следующим образом:

$$\mu_i = \frac{1}{\sigma_{A_i}^2 * \sum_{j=1}^n \frac{1}{\sigma_{A_j}^2}}.$$

Применяя этот подход к прогнозам *ИП* на 12, 13, 14-й моменты, получили, что по сравнению с рассмотренными ранее моделями этот ряд имеет минимальное среднеквадратическое отклонение от фактических данных.

Для получения надежного прогноза трендовая модель была проверена на адекватность.

Таким образом, проверяются следующие гипотезы:

А) О случайности ряда остатков методом разности средних уровней.

В этом методе исходный временной ряд разбивается на две примерно равные части: y_1, y_2, \dots, y_7 и y_8, y_9, \dots, y_{14} . Для каждой части вычисляются средние значения и несмещенные дисперсии:

$$\bar{y}_I = \frac{1}{7} \sum_{t=1}^7 y_t = 0,012557, \quad \bar{y}_{II} = \frac{1}{7} \sum_{t=8}^{14} y_t = 0,021443,$$

$$S_I^2 = \frac{1}{6} \sum_{t=1}^7 (y_t - \bar{y}_I)^2 = 0,0000534, \quad S_{II}^2 = \frac{1}{6} \sum_{t=8}^{14} (y_t - \bar{y}_{II})^2 = 0,00023438.$$

Затем с помощью критерия Фишера проверялась гипотеза об однородности дисперсий: было вычислено расчетное значение *f*-критерия $f_{\text{расч}} = 0,228189119$ как отношение большей дисперсии к меньшей, и находится табличное значение $f_{\text{таб}} = f(\alpha, n-1, T-n-1) = 4,284$ при заданном уровне значимости α и степенях свободы $(n-1, T-n-1)$.

Так как $f_{\text{расч}} < f_{\text{таб}}$, то находится величина

$$s = \sqrt{\frac{(n-1)^2 s_I^2 + (T-n-1)^2 s_{II}^2}{T-2}} \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{T-n}} = 0,015708$$

и с помощью критерия Стьюдента проверяется гипотеза о существовании тенденции в средней.

Для этого вычисляется расчетное значение *t*-критерия

$$t_{\text{расч}} = \frac{|\bar{y}_I - \bar{y}_{II}|}{s} = 0,565683$$

и определяется табличное значение $t_{\text{таб}} = t(\alpha, T-2) = 2,179$.

Так как $t_{\text{расч}} < t_{\text{таб}}$, поэтому наличие тенденции по методу разности средних уровней не выявлено.

В) О равенстве математического ожидания ряда остатков нулю по статистике:

$$t = \bar{\varepsilon}_t * \sqrt{n} / s_\varepsilon = 2,0599652,$$

где $\bar{\varepsilon}_t = 0,017$ – среднее значение ряда остатков; $s_\varepsilon = 0,0207$ – среднее квадратическое ряда остатков. На 5% уровне значимости $t < t_{таб}$, где $t_{таб} = 2,146$, то гипотеза о равенстве математического ожидания ряда остатков нулю принимается.

С) Отсутствие автокорреляции ряда остатков.

Для проверки этой гипотезы используется критерий Дарбина – Уотсона со статистикой:

$$D = \sum_{t=2}^n (\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1})^2 / \sum_{t=1}^n \varepsilon_t^2 = 1,499302.$$

Расчетное значение D сравнивается с верхним d_2 и нижним d_1 критическими значениями статистики Дарбина – Уотсона для длины ряда $N=14$ и числа определяемых параметров модели $k=1$ на уровне значимости 5%: $d_1=1,08$, $d_2 = 1,36$. Так как расчетное значение критерия D больше верхнего табличного значения d_2 , то гипотеза о независимости уровней остаточной последовательности, то есть об отсутствии в ней автокорреляции, принимается. Трендовая модель считается адекватной, так как подтверждены все три гипотезы – А, В, С.

Поэтому для получения итогового прогноза на 5 лет вперед использовалась процедура синтеза. В результате получился прогноз ИП, показанный на рис. 2.

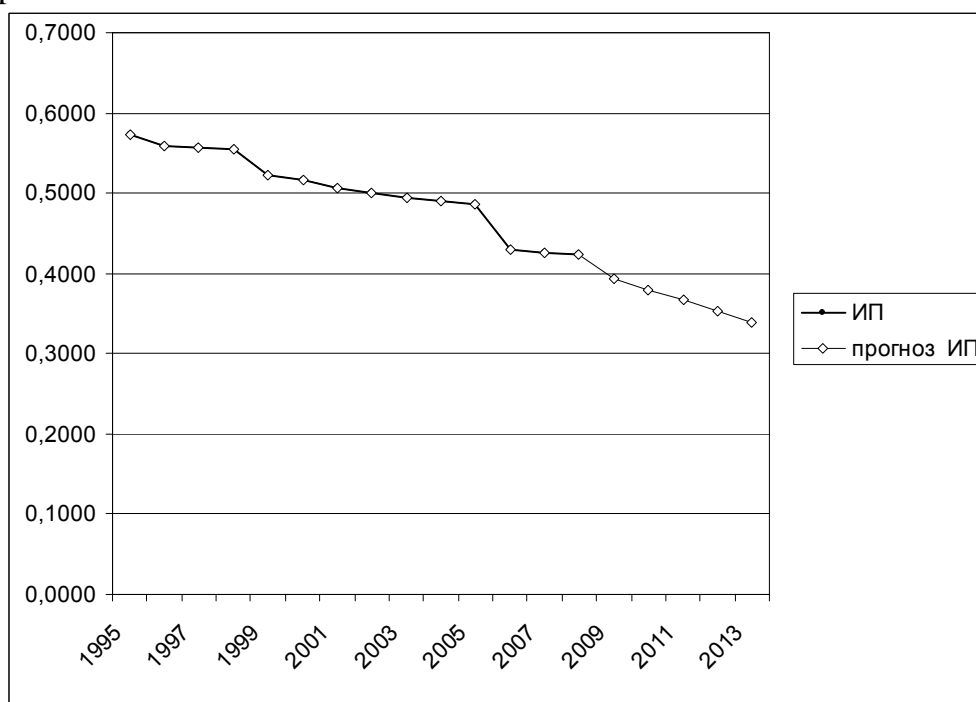


Рис. 2. Прогноз ИП оценки здоровья населения Кемеровской области

Исследуемый в данной работе *ИП* дает комплексную оценку состояния здоровья населения Кемеровской области и может быть в дальнейшем использован как критерий качества при построении оптимизационных задач или задач оптимального управления региона.

Литература

1. Кирьянов Б. Ф., Медик В. А., Токмачёв М. С. // Вестник НовГУ. – Сер.: Техн. науки. – 2004. – № 26. – С. 114–116.
2. Кирьянов Б. Ф., Медик В. А. Усовершенствованные многопараметрические модели интегрального показателя общественного здоровья населения // Охрана здоровья населения – национальный приоритет государственной политики: Сб. науч. тр. НИЦ СЗО РАМН. – М.: Медицина, 2006. – Т. 5. – С. 67–73.
3. Кирьянов Б. Ф. Математические модели интегрального показателя здоровья населения. – М.: Фундаментальные исследования. – 2008. – № 9. – С. 99–100.
4. Кирьянов Б. Ф. Методика определения значений параметров моделей интегрального показателя общественного здоровья // Охрана здоровья населения – национальный приоритет государственной политики (Сб. науч. тр. НИЦ Северо-Западного Отделения РАМН. – Том 5). – М.: Медицина, 2006. – С. 125–130.
5. Кирьянов Б. Ф. К проблеме определения весовых коэффициентов параметров линейных моделей интегральных показателей качества систем // Вестник НовГУ. – 2007. – № 44. – С. 33–37.
6. Кирьянов Б. Ф., Кирьянов Д. В. К теории построения интегральных показателей качества систем на основе линейных математических моделей // Современные наукоёмкие технологии. 2008. – № 4. – С. 73–74.
7. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] // URL: <http://www.gks.ru>

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ РАЗРАБОТЧИКА

Н. Е. Андреев, К. Е. Афанасьев
Кемеровский государственный университет

Введение

Эффективность современных высокопроизводительных кластеров по разным оценкам не превышает 15 или даже 3–5% [1] от пиковой производительности. Чтобы эффективно использовать потенциал дорогостоящих вычислительных установок, сообществу специалистов в области высокопроизводительных вычислений необходимы инструменты анализа производительности. С одной стороны, они помогают увеличить эффективность и масштабируемость параллельных программ, а с другой – позволяют ученому сконцентрироваться на научной составляющей своего приложения, нежели на кропотливом процессе ручной оптимизации.

Разработка комплексов параллельных программ для высокопроизводительных систем является сложной задачей. Суперкомпьютеры могут иметь разную архитектуру и коммуникационную сеть [2], существует ряд алгоритмов распараллеливания, а также технологий и средств для написания параллельных программ [3]. Стандартом де-факто среди таких средств на сегодня является MPI. Несмотря на сравнительно высокую производительность MPI-программ, процесс разработки приложений с использованием данной библиотеки трудоемок и подвержен ошибкам. Ограничения программной модели передачи сообщений широко признаны, а саму библиотеку MPI иногда называют «ассемблером параллельного программирования». Альтернативой MPI является набирающая популярность модель программирования с разделенным глобальным адресным пространством (PGAS) [4]. В модели PGAS используются односторонние коммуникации, где при передаче данных нет необходимости в явном отображении на двухсторонние пары send и receive – трудоемкий, подверженный ошибкам процесс, серьезно влияющий на продуктивность программиста. Обычное присвоение значения переменной массива $x[i] = a$ автоматически порождает необходимые коммуникации между узлами кластера. Программы, написанные в этой модели, проще для понимания, чем MPI-версии, и имеют сравнительную или даже более высокую производительность. К группе PGAS относятся такие языки, как Unified Parallel C (UPC) [5], Co-Array Fortran (CAF), Titanium, Cray Chapel, IBM X10, Sun Fortress. Язык UPC является наиболее “взрослым” представителем модели. Компиляторы для языка UPC разработаны всеми основными вендорами суперком-

пьютерного рынка. Существуют реализации от компаний IBM, HP, Cray, SGI. Серия суперкомпьютеров Cray Baker, анонсированная во втором квартале 2010 г., построена на основе коммуникационной сети Gemini, которая специально разработана для поддержки программной модели PGAS на аппаратном уровне. IBM планирует к 2011 г. выпустить машину Blue Waters, которая также поддерживает парадигму PGAS на аппаратном уровне. Все это говорит о том, что в ближайшее время данная программная модель получит широкое распространение. Однако ввиду относительной молодости модели PGAS для нее существует не так много инструментальных средств. Хотя определенная работа в этом направлении была выполнена, такие известные инструменты, как Intel Trace Analyzer, TAU, Cray Apprentice и др., работают с ограниченным набором программных моделей, преимущественно моделью передачи сообщений. В результате разработчики, использующие новые модели параллельного программирования, зачастую вынуждены самостоятельно выполнять трудоемкий анализ при оптимизации своей программы.

Идея метода

Основные методы, которые предлагаются сегодня инструментами анализа производительности параллельных программ, – это профилирование и анализ временных шкал. Выходной информацией профилировщика является трасса – список событий, произошедших в приложении (исполненные инструкции, вызовы функций, вызовы операционной системы). После получения трассы профилировщик обрабатывает собранную информацию и строит профиль приложения – статистическую сводку о работе приложения. Затем профиль представляется в графическом виде, удобном для анализа. Разработчик изучает его, определяет проблемные места и ищет способы оптимизации своего приложения. Проблема со статистическими сводками заключается в том, что зачастую их бывает недостаточно для выявления истинной проблемы производительности. Полагаясь только на профилировку, программист рискует упустить действительные причины, приведшие к низкой эффективности его приложения.

Другим типичным подходом является анализ временных шкал (timeline). Временная шкала отражает цепочку событий, возникших в процессах (или нитях) параллельного приложения за время его выполнения. Каждому процессу на такой диаграмме соответствует строка, которая разбита на последовательность вызовов функций. Линиями или стрелками отмечаются связи между событиями. Для работы с временной шкалой обычно предлагаются средства масштабирования и поиска. Такие шкалы предоставляют исчерпывающую информацию о работе программы и с годами получили широкое распространение. К сожалению, использование таких инструментов становится менее эффективным с ростом количества ядер в современных кластерах. Объем данных на шкалах может стать настолько большим, что поиск проблем производительности таким способом становится чрезвычайно слож-

ным. Чтобы справиться с этой проблемой, инструменты такого типа зачастую позволяют осуществлять фильтрацию, чтобы ограничить объем отображаемых данных. Например, многие визуализаторы трасс MPI позволяют пользователю ограничить отображаемые передачи сообщений при помощи выбора тэга источника и назначения. Несмотря на это, проблема остается острой.

Подходом, который позволяет в той или иной степени решить ряд поставленных проблем, является автоматизированный анализ производительности. Большинство стратегий используют приемы и методы из области искусственного интеллекта, такие как экспертные системы на основе баз знаний и методы автоматической классификации. Одним из таких методов является метод поиска шаблонов неэффективного поведения, предложенный F. Wolf и V. Mohr [6]. Суть метода заключается в следующем. Различным моделям параллельного программирования присущ ряд типичных проблем производительности или, другими словами, шаблонов неэффективного поведения. Разработчик, как эксперт в определенной модели, может разработать набор таких шаблонов и в процессе анализа трассы выполнять поиск этих шаблонов, последовательно проверяя все события трассы на соответствие каждому из них. По сути, шаблон – это набор найденных в трассировочном файле событий, которые удовлетворяют условиям возникновения некоторой ситуации, которую описывает шаблон. Такой способ представления шаблона позволяет фиксировать сложные ситуации, не охватываемые профилировочными инструментами и визуализаторами трасс. Так как подобные составные события обычно включают в себя сложные межсобытийные связи, необходимы высокоуровневые структуры данных, которые способны отслеживать и предоставлять в нужный момент такую информацию. Поэтому для работы с трассой удобно использовать некий инструмент доступа к трассировочным файлам, который бы позволял упростить описание шаблонов, обеспечивал произвольный доступ к различным событиям, а также представлял некоторые абстракции, отражающие различные аспекты общего состояния выполнения программы и связи между событиями. Приведем пример одного из шаблонов.

Шаблон «Синхронизация на входе в коллективную операцию» справедлив для всех операций релокализации, в которых используется тип синхронизации *UPC_IN_ALLSYNC* (рис. 1). Данный тип синхронизации обязывает каждую нить дождаться на входе всех остальных. Когда нити входят в операцию релокализации в разные моменты времени, это вносит нежелательные накладные расходы на синхронизацию. Данный шаблон не встречается в программной модели передачи сообщений и характерен только для языка UPC. Это объясняется тем, что стандарт MPI не накладывает строгих ограничений на порядок входа нитей в коллективную операцию. Будут ли нити ожидать друг друга, как при использовании барьерной синхронизации, или же будет использован более оптимальный алгоритм, определяется реализацией, и этого нельзя отследить. В случае с UPC синхронизация указывается программистом явно, что позволяет сформулировать данный шаблон. Здесь

черный круг обозначает событие начала операции, белый – конец. Идентификатор события входа является атрибутом операции выхода. Прерывистая стрелка – это графическое представление данной связи.

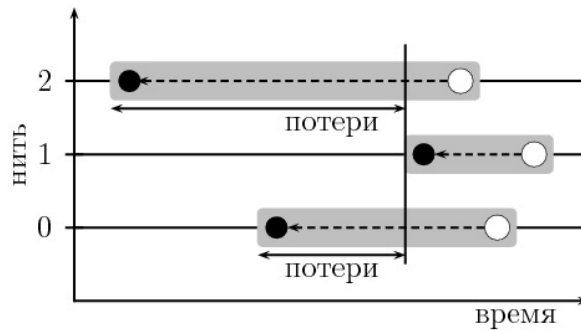


Рис. 1. Шаблон «Синхронизация на входе в коллективную операцию»

Данный шаблон имеет следующий алгоритм поиска. Предположим, что в данном примере используется операция релокации `upc_all_broadcast()`, которая выполняет рассылку значения переменной всем нитям. На первом этапе для всех событий трассы проверяется следующие условие:

$$\begin{aligned} &type(last) = CExit \wedge \\ &coll(last) \neq \emptyset \wedge \\ &last.reg = upc_all_broadcast. \end{aligned}$$

Если встретилось событие выхода из коллективной операции, это событие выхода последней нитью и функцией, из которой был выполнен выход, является `upc_all_broadcast()`, то выполняется переход к анализу. Здесь функция `type()` возвращает тип события, `coll()` возвращает непустое множество, если все нити завершили выполнение коллективной операции и пустое множество в обратном случае. Атрибут `reg` для каждого события содержит название функции, с которой связано событие.

Далее проверяется условие срабатывания шаблона:

$$\begin{aligned} E_1 &:= coll(last), \\ E_2 &:= \begin{cases} E_1.enterptr, & \text{если } \exists e_i, e_j \in E_1.enterptr : e_i.time \neq e_j.time, \\ \text{неудача,} & \text{иначе.} \end{cases} \end{aligned}$$

Множество E_1 содержит события выхода из функции `upc_all_broadcast()` всех нитей. Далее выполняется проверка, если нити вошли в операции не одновременно, то есть существуют события с разным временем входа в операцию, то E_2 присваиваются все события входа. В данном случае `enterptr` – это атрибут события выхода из операции, который указывает на соответствующее событие входа.

Если шаблон сработал, то на последнем этапе алгоритма рассчитывается время, потерянное на синхронизацию:

$$wasted = \sum_{e \in E_2} \max(E_2.time) - e.time$$

Результаты работы

На основе метода поиска шаблонов неэффективного поведения был разработан набор из 13 шаблонов для языка Unified Parallel C, который был реализован в инструментальном средстве автоматизированного анализа производительности UPC-программ. Данное средство отличается от других инструментов анализа производительности UPC-программ поддержкой автоматизированного анализа, который сокращает временные затраты программиста на оптимизацию приложения.

В процессе тестирования инструмента были получены оптимизированные версии алгоритмов быстрого преобразования Фурье и блочной сортировки целых чисел из пакета UPC NPВ, которые совместно с Университетом Джорджа Вашингтона были добавлены [7] в исходный пакет, разрабатываемый международным коллективом программистов.

Литература

1. High-End Computing Revitalization Task Force. Federal Plan for High-End Computing [Электронный ресурс] // URL: http://www.nitrd.gov/pubs/2004_hecrtf/20040702_hecrtf.pdf (Дата обращения: 30.08.2010)
2. Сушенко С. П. Организация ЭВМ: учеб. пособие. – Томск, 2003. – 196 с.
3. Воеводин В. В., Воеводин Вл. В. Параллельные вычисления. – СПб.: БХВ, 2002. – 608 с.
4. High Productivity Computing Systems Program [Электронный ресурс] // URL: <http://www.highproductivity.org/> (Дата обращения: 30.08.2010)
5. El-Ghazawi T. UPC Language Specifications [Электронный ресурс] // <http://www.gwu.edu/~upc/documentation.html>, 2003. (Дата обращения: 30.08.2010)
6. Wolf F., Mohr B. Specifying Performance Properties of Parallel Applications Using Compound Events [Текст] // Parallel and Distributed Computing Practices, 2001. – Vol. 4, № 3. – P. 301–317.
7. Сайт пакета UPC NAS Parallel Benchmarks [Электронный ресурс] // <http://threads.hpcl.gwu.edu/sites/npb-upc>. (Дата обращения: 30.08.2010).

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ТРЕХ ТЕЛ

В. А. Антипина, Е. А. Душин

Кемеровский государственный университет

Исследуются эффективность ряда алгоритмов численного решения задачи Коши для систем обыкновенных дифференциальных уравнений в применении к задаче трех тел [1]. Система уравнений задачи трех тел представляет из себя 18-мерную автономную систему обыкновенных дифференциальных уравнений, правая часть которой имеет разрыв второго рода при столкновении тел. В случае сближения пары тел система может становиться

«жесткой» [2], что затрудняет численный анализ решений системы. Анализировалась эффективность методов Рунге – Кутты – Фельберга – «rkf45», Розенброка – «rosenbrock», реализованных в пакете Maple, и методов Адамса и Гира, в режиме внутренней аппроксимации матрицы Якоби, реализованных в программе Diff4 [3].

В качестве критериев оценки эффективности метода использовались следующие показатели:

- достижимая длина интервала интегрирования с сохранением допустимой глобальной погрешности решения;
- достижимая глобальная погрешность вычисления на интервалах интегрирования большой длины;
- время вычисления;
- возможность решать жесткие задачи.

Поскольку система уравнений задачи трех тел неинтегрируема в квадратурах за исключением тривиальных случаев, для оценки глобальной погрешности использовались 10 классических первых интегралов, которые всегда существуют у системы [4]. На точном решении системы первые интегралы сохраняют постоянные значения при любых значениях переменной t . При подстановке же приближенного численного решения, первые интегралы становятся функциями от t , и по их отклонению от начального значения можно судить о глобальной погрешности численного решения. При анализе эффективности численных методов оценивалось нарастание относительной (абсолютной в случае близкого к нулю значения) погрешности значений первых интегралов.

Были проведены расчеты различных задач Коши для системы трех тел с помощью упомянутых выше методов. По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что с интегрированием нежестких задач на коротких промежутках времени справляется любой из перечисленных методов, надо только иметь в виду, что метод «rosenbrock» при значениях параметров по умолчанию дает лучшую точность, но время вычислений будет значительно больше. В сравнении с методом «rkf45» погрешности первых интегралов метода «rosenbrock» получаются приблизительно на порядок лучше, но время интегрирования оказывается на порядок больше. На длинных промежутках времени для нежестких задач наиболее подходящим является метод «rkf45». Расчет методом Адамса в тех же условиях занимает приблизительно в 1,5 раза больше времени, методом Гира – в 2,5 раза, а методом «rosenbrock» – в 10 раз. Увеличение точности вычислений достигается уменьшением параметров допустимой локальной погрешности `abserr`, `relerr` в Maple и `eps` в Diff4. В программе Diff4 минимальное значение параметра `eps` равно 10^{-16} , оценки же локальной погрешности в Maple, которые по умолчанию равны 10^{-7} , могут быть установлены на меньшие значения. Для того чтобы эти изменения привели к уменьшению глобальной погрешности, мо-

жет понадобится увеличение значения системного параметра Digits по сравнению с его значением, по умолчанию равным 10.

Для решения жестких задач следует применять метод Гира.

Литература

1. Зигель К., Мозер Ю. Лекции по небесной механике. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 384 с.
2. Холоднюк М., Клич А., Кубичек М., Марек М. Методы анализа нелинейных динамических моделей. – М.: Мир, 1991.
3. Каков Р. Н., Ганеев Д. Р. Программа Diff4 для численного и качественного анализа решений обыкновенных дифференциальных уравнений // Материалы V Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Образование, наука, инновации – вклад молодых исследователей». – Кемерово, 2010.
4. Справочное руководство по небесной механике / Под ред. Г. Н. Дубошина. – М.: Наука, 1976. – 896 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ БИФУРКАЦИЙ ПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ ДВУХ СВЯЗАННЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ

В. Г. Борисов, Е. И. Штаб

Кемеровский государственный университет

Исследуются бифуркации периодических решений автономной системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = y_2 - \gamma \cdot y_3 \\ \dot{y}_2 = y_2 \cdot (1 - \delta \cdot y_1^2) - y_1 \\ \dot{y}_3 = \alpha \cdot (y_3 \cdot (\mu - y_3^2 - y_4^2) + y_4) - \beta \cdot y_2 \\ \dot{y}_4 = \alpha \cdot (y_4 \cdot (\mu - y_3^2 - y_4^2) - y_3) \end{cases} \quad (1)$$

Здесь y_1, y_2, y_3, y_4 искомые функции независимой переменной t ; $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \mu$ – числовые параметры. Система представляет собой модель двух осцилляторов, связанных друг с другом через члены $\gamma \cdot y_3$ и $\beta \cdot y_2$, входящие в первое и третье уравнения соответственно. В [1] было показано, что в некотором интервале значений параметров от тривиального решения системы (1) ответвляется устойчивое периодическое решение, которое при дальнейшем изменении параметра α претерпевает бифуркацию, в ходе которой цикл переходит в ортогональную плоскость (рис. 1). При значении параметра, близком к бифуркационному, были обнаружены траектории, сходящиеся к многообразию, напоминающему устойчивый инвариантный тор. Целью настоящей работы является численное исследование описанной бифуркации. Для исследования используется метод, состоящий в том, что периодическому решению сопоставляется неподвижная точка отображения последования Пуанкаре [2], определенного на некотором многообразии, трансверсальном к траекториям сис-

темы. Неподвижная точка отображения Пуанкаре может быть построена численно с использованием какого-либо итерационного метода.

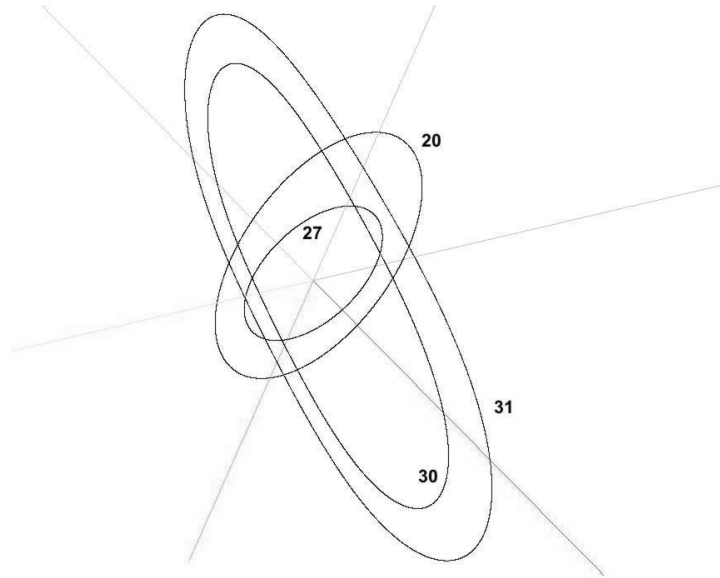


Рис. 1 Бифуркация устойчивого цикла системы (1)

В [3] описано применение метода Пуанкаре к исследованию бифуркации удвоения периода цикла в системе уравнений Ресслера. Эта же методология применяется к исследованию поставленной задачи, для решения которой написана программа на языке Fortran. В качестве многообразия используется координатная плоскость трансверсальная циклам (см. рис. 1) как до, так и после бифуркации. Для построения неподвижной точки используются итерации метода Ньютона, при этом численно строится дифференциал отображения Пуанкаре (матрица монодромии) и вычисляются его собственные значения – мультипликаторы цикла, позволяющие судить о характере его бифуркации.

Литература

1. Кузенкова Я. И., Борисов В. Г. Бифуркации стационарных решений модели двух связанных нелинейных осцилляторов // Материалы VIII Международной научной конференции «Наука и образование». – Белово, 2010.
2. Эроусмит Д., Плейс К. Обыкновенные дифференциальные уравнения. – М.: Мир, 1986.
3. Штаб Е. И., Борисов В. Г. Локализация и численное исследование бифуркаций периодических решений ОДУ // Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции «Научное творчество молодежи». – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2010. – С. 10–13.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СВОЙСТВ БЕТА-СПЛАЙНОВЫХ КРИВЫХ ОТ ПАРАМЕТРОВ

А. Ю. Вельбовец

Кемеровский государственный университет

Сплайновые кривые широко используются в представлении геометрических образов, которые имеют довольно сложную форму, не допускающую универсально-аналитического задания в целом с помощью одной функции. Поэтому исследуемую кривую представляют в виде объединения конечного числа гладких кривых $R_i(t)$, параметрические уравнения которых задаются с помощью кубических многочленов от t .

Рассмотрим элементарную бета-сплайновую кривую, которая по заданному массиву P_0, P_1, P_2, P_3 определяется при помощи векторного уравнения вида

$$R(t) = b_0(t)P_0 + b_1(t)P_1 + b_2(t)P_2 + b_3(t)P_3, \quad 0 \leq t \leq 1. \quad (1)$$

Здесь функциональные коэффициенты $b_i(t)$, которые задаются следующими формулами:

$$b_{-2}(t) = \frac{2\beta_1^3}{\delta},$$

$$b_{-2}(t) = \frac{1}{\delta}(2\beta_1^3 t(t^2 - 3t + 3) + 2\beta_1^2(t^3 - 3t^2 + 2) + 2\beta_1(t^3 - 3t^2 + 2) + \beta_2(2t^3 - 3t^2 + 1)), \quad (2)$$

$$b_0(t) = \frac{1}{\delta}(2\beta_1^2 t^2(-t - 3) + 2\beta_1 t(-t^2 + 3) + \beta_2 t^2(-2t + 3) + 2(-t^3 + 1)),$$

$$b_1(t) = \frac{2t^3}{\delta},$$

где $\beta_1 > 0$ и $\beta_2 \geq 0$ и $\delta = 2\beta_1^3 + 4\beta_1^2 + 4\beta_1 + \beta_2 + 2$.

Числовые параметры β_1 и β_2 называются параметрами формы бета-сплайновой кривой, при этом параметр β_1 называется параметром скоса (смещения), а $\beta_2 \geq 0$ – параметром напряжения.

Пусть составная бета-сплайновая кривая $R(t)$ является объединением N элементарных бета-сплайновых кривых $R_i(t)$, каждая из которых задается векторным уравнением (1). Потребуем, чтобы в точках стыка две смежные кривые $R_i(t)$ и $R_{i+1}(t)$ имели общую касательную и непрерывный вектор кривизны. Получим следующую краевую задачу (3):

$$\begin{aligned} R_{i+1}(0) &= R_i(1), \\ R'_{i+1}(0) &= \beta R'_i(1), \\ R''_{i+1}(0) &= \beta_i^2 R''_i(1) + \beta_{i+1} R'_i(1). \end{aligned} \quad (3)$$

Решением этой задачи являются коэффициенты $b_i(t)$.

При $\beta_1=1$ и $\beta_2=0$ получается элементарная кубическая В-сплайновая кривая (получила наибольшее распространение)

$$R(t) = \frac{(1-t)^3}{6} P_0 + \frac{3t^3 - 6t^2 + 4}{6} P_1 + \frac{-3t^3 + 3t^2 + 3t + 1}{6} P_2 + \frac{t^3}{6} P_3.$$

Свойства функциональных весовых коэффициентов $b_0(t), b_1(t), b_2(t), b_3(t)$ оказывают существенное влияние на поведение элементарной бета-сплайновой кривой:

1. Неотрицательны.
2. В сумме составляют единицу.
3. Не зависят от вершин массива P_0, P_1, P_2, P_3 (универсальны).

Элементарная бета-сплайновая кривая лежит внутри выпуклой оболочки заданных вершин P_0, P_1, P_2, P_3 – четырехугольника (в плоском случае), и как правило, не проходит ни через одну из опорных вершин.

В отличие от В-сплайновых кривых в уравнениях бета-сплайновых кривых содержатся параметры β_1, β_2 , изменяя которые, можно менять форму кривой, не меняя точек опорного массива.

Рассмотрим зависимость формы бета-сплайновой кривой от значений параметров β_1 и β_2 и проиллюстрируем ее в системе Maple 8. В частности, проверим, при каких значениях β_1 и β_2 кривая «выходит» за пределы выпуклой оболочки точек массива. Для этого зафиксируем точки P_0, P_1, P_2, P_3 . Далее, выбрав значения β_1 и β_2 , найдем δ и подсчитаем коэффициенты $b_i(t)$. Найдя параметрические уравнения кривой, построим ее вместе с опорным массивом в системе Maple 8 (рис. 1–5).

1. $\beta_1 = 1; \beta_2 = 0$.

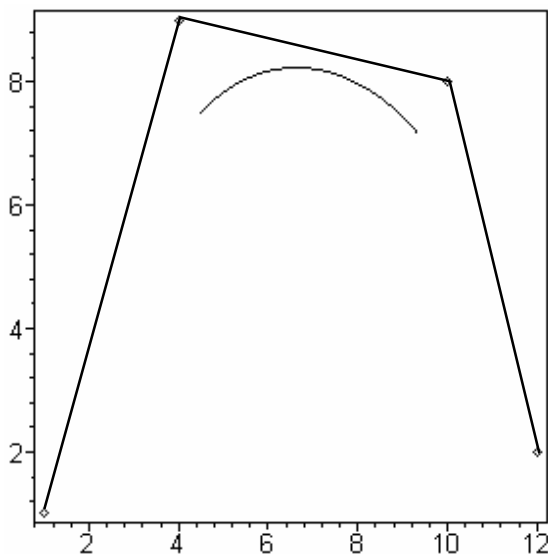


Рис. 1

2. $\beta_1 = 1; \beta_2 = 0,5$

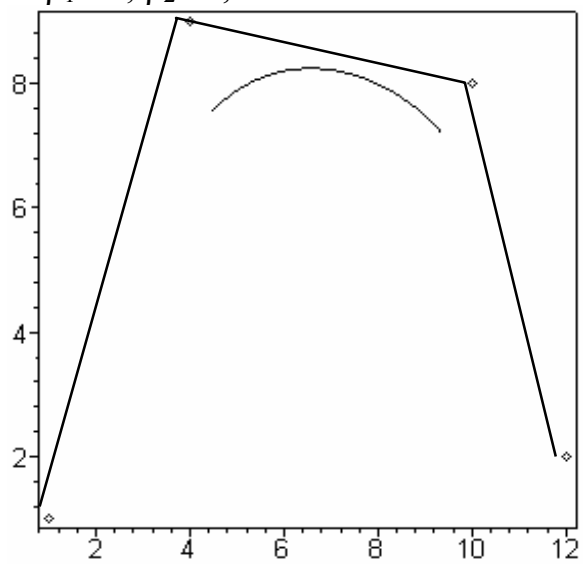


Рис. 2

3. $\beta_1 = 1/4; \beta_2 = 3/4$

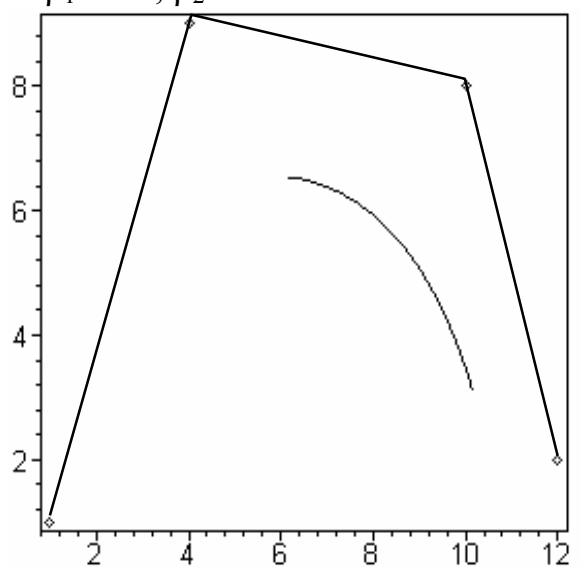


Рис. 3

4. $\beta_1 = 0,5; \beta_2 = 1.$

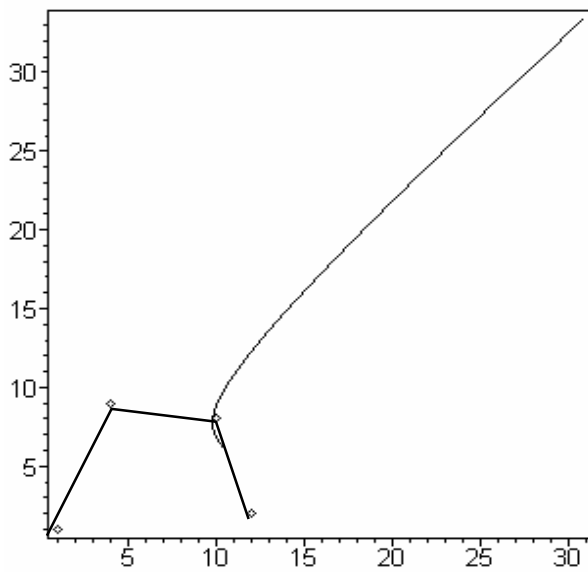


Рис. 4

5. $\beta_1 = 2; \beta_2 = 1.$

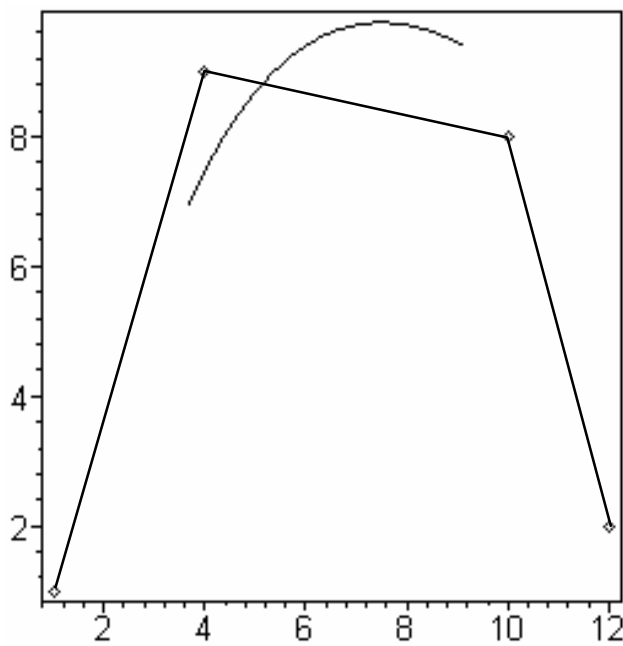


Рис. 5

Опираясь на проведенные исследования, можно сформулировать следующие результаты:

1. При $\beta_1 = 1, \forall \beta_2$ – кривая располагается по центру вершин P_0, P_1 .
2. При $\beta_1 \rightarrow 1, \beta_2 < 1$ – кривая располагается в пределах четырехугольника P_0, P_1, P_2, P_3 .
3. При $\beta_1 > 1, \forall \beta_2$ – кривая выходит за пределы четырехугольника P_0, P_1, P_2, P_3 .

В дальнейшем предполагается продолжить исследования зависимости свойств составной кривой от параметров β_1 и β_2 . В частности, интересен вопрос, могут ли две смежные элементарные кривые иметь разные значения β_1 и β_2 .

Литература

1. Шикин Е. В. Компьютерная графика. – М.: Диалог-Мифи, 1998. – 178 с.
2. Шикин Е. В., Плис А. И. Кривые и поверхности на экране компьютера. – М.: Диалог-Мифи, 1996. – 130 с.

ЧИСЛЕННЫЙ АЛГОРИТМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДАЧИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА МАТЕРИАЛА ПРИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

В. Д. Власенко

Вычислительный центр ДВО РАН, Хабаровск

Тепломассоперенос материалов при электрофизическом воздействии низковольтными разрядами является чрезвычайно многогранным и интересным физическим явлением. Современное состояние знаний в этой области позволяет дать качественное толкование физической природы этого процесса.

Практическое значение тепломассопереноса материалов при электрофизическом воздействии низковольтными разрядами, как нового технологического средства, обуславливает необходимость построения точной количественной теории электрической эрозии металлов, что невозможно без решения ряда проблем физики этого явления. К числу таких проблем можно отнести изучение процессов ионизации и структуры канала разряда на малых промежутках, распределение энергии внутри промежутка и на электродах, сведения об энергетических характеристиках термохимических реакций, протекающих на электродах, а также другие сведения.

Сущность процесса электроискрового легирования (ЭИЛ) основана на том, что под воздействием низковольтных искровых, импульсных электрических разрядов в газовой среде происходит разогрев микрообъемов электродов, эрозия, преимущественный перенос материала анода на катод, диффузия, перемешивание материалов в жидком состоянии, их кристаллизация с образованием на катоде измененного поверхностного слоя.

При ЭИЛ происходит взаимодействие катода (обрабатываемой детали) и анода (легирующего инструмента). В результате на катоде образуется лунка, заполненная материалом, полученным при взаимодействии катода, анода и межэлектродной среды [1–3]. Перенос частиц эрозии материала анода на катод осуществляется в жидкой и твердой фазах. Одним из характерных вариантов является перенос горячей частицы (температура которой близка к температуре плавления) на холодную поверхность (температура которой близка к температуре окружающей среды). При этом возможно закре-

пление частицы на поверхности без образования зоны взаимной кристаллизации. Для указанного случая далее рассматривается математическая модель для определения температурного поля катода и массопереноса материала.

Рассмотрим задачу нагрева при ЭИЛ прямоугольного катода-параллелепипеда Q_0 с рабочей поверхностью Π_0 (рис. 1), расположенного так, что:

$$Q_0 = \{x \in R^3 : |x_i| < a_i, \quad i=1,2, \quad 0 < x_3 < a_3\}, \quad \Pi_0 = \{x \in R^3 : |x_i| < a_i, \quad i=1,2, \quad x_3 = 0\}.$$

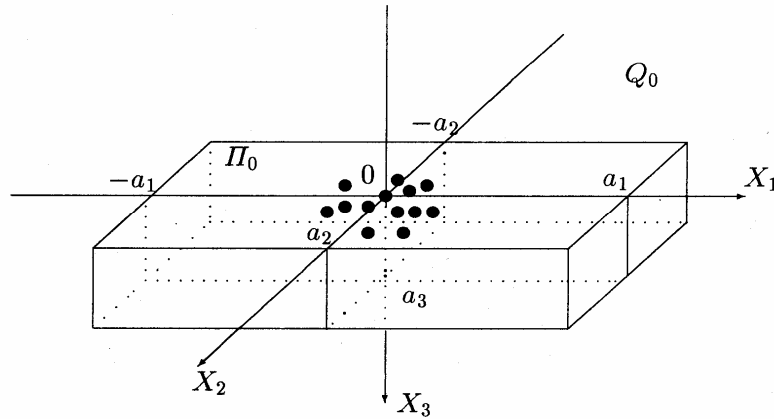


Рис. 1. Катод с каплями на его поверхности

Источниками тепла являются поверхностный тепловой поток q_0 , возникший в результате электроискрового разряда, а также сильно разогретый жидкий металл, который в виде капель Q_i попадает с анода на рабочую поверхность Π_0 . Здесь $q_0(x, t) = q_0(x', 0, t)$, $x' = (x_1, x_2)$, $t > 0$ – время, $i = \overline{1, N}$, N – количество капель.

Предполагается, что за один электроискровой разряд капли образуются одновременно и равномерно заполняют некоторую часть поверхности Π_0 (рис. 1). Упав на нее, они мгновенно отвердевают, отдавая катоду свою теплоту плавления. Периодически перемещая анод над поверхностью катода, добиваются ее полного покрытия. Капли Q_i отдают путём теплопроводности и излучения тепловой поток

$$q_{li} = \alpha_i (T_i - T_{cp}) + \varepsilon_i \sigma_0 T_i^4, \quad i = \overline{1, N},$$

где T_i – температура i -й капли; T_{cp} – температура окружающей среды; ε_i – степень черноты; σ_0 – универсальная постоянная Стефана – Больцмана.

Перейдём к новым обозначениям: $U_i = T_i - T_{cp}$, $i = \overline{0, N}$. Рассмотрим следующую начально-краевую задачу, которая характеризует тепловой баланс в катоде и каплях:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_i}{\partial t} &= \kappa_i^2 \Delta U_i, & x \in Q_i, & \quad i = \overline{0, N}, \\ \frac{\partial U_0}{\partial n} &= 0, & x \in \partial Q_0 \setminus \overline{\Pi_0}, \\ \lambda_0 \frac{\partial U_0}{\partial x_3} + \alpha_0 U_0 &= q_0, & x \in \Pi_0 \setminus \overline{\Pi'}, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
U_0 &= U_i, & \lambda_0 \partial U_0 / \partial x_3 &= \lambda_i \partial U_i / \partial x_3, & x &\in \Pi_i, & i &= \overline{1, N}, \\
\lambda_i \partial U_i / \partial n + \alpha_i U_i + \varepsilon_i \sigma_0 (U_i + T_{cp})^4 &= q_0, & x &\in S_i, & i &= \overline{1, N}, \\
U_i|_{t=0} &= \varphi_i(x) - T_{cp}, & x &\in Q_i, & i &= \overline{0, N}.
\end{aligned}$$

Здесь: Π_i – основание i -ой капли, $\Pi_i \subset \Pi_0$, $\Pi' = \bigcup_{i=1}^N \Pi_i$; U_i – температура катода при $i=0$ и i -ой капли при $i \neq 0$; $\Delta = \sum_{i=1}^3 \partial^2 / \partial x_i^2$ – оператор Лапласа; n – внешняя нормаль; λ_i , c_i , ρ_i , α_i – коэффициенты теплопроводности, удельной теплоёмкости, удельной плотности и теплоотдачи (здесь и далее коэффициенты с индексом $i=0$ относятся к подложке Q_0 , с индексами $i \neq 0$ – к i -й капле); $\kappa_i^2 = \lambda_i / (c_i \rho_i)$ – коэффициент температуропроводности.

Рассматриваемая задача является нелинейной и определена в сложной трехмерной области $Q_0 \cup Q'$, где $Q' = \bigcup_{i=1}^N Q_i$ с увеличивающимся числом капель после каждого электроискрового разряда.

Перенос эродированного материала анода на катод позволяет в процессе ЭИЛ формировать на катоде поверхностные слои, являющиеся результатом взаимодействия между собой материалов электродов и среды МЭП. Преимущественный перенос материала анода на катод определяется соотношением эрозии материалов анода и катода

$$\Delta^a \gg \Delta_T^k + \Delta_{ЭР}^k,$$

где Δ^a – удельная эрозия анода; Δ_T^k и $\Delta_{ЭР}^k$ – удельная эрозия катода соответственно в твердой и жидко-паровой фазе.

Используя критерий взаимодействия материалов, связанный с физическими константами материалов электродов, и зависимость для относительной эрозионной стойкости, соотношение можно записать в виде

$$\frac{\Delta^a}{\Delta_T^k + \Delta_{ЭР}^k} = \frac{C_k \cdot \rho_k \cdot \lambda_k \cdot (T_{пл}^k - T_{хл}^k)^2}{C_a \cdot \rho_a \cdot \lambda_a \cdot (T_{пл}^a - T_{хл}^a)^2} \gg 1,$$

где C , ρ , λ – соответственно теплоёмкость, плотность и теплопроводность; $T_{пл}$, $T_{хл}$ – температуры плавления и хладноломкости материалов анода и катода.

Задача разбивается на два этапа.

Первый этап: пусть U^0 – решение нелинейной задачи:

$$\begin{aligned}
\partial U^0 / \partial t &= \kappa^2 \Delta U^0, & x &\in Q_0, & \partial U^0 / \partial n &= 0, & x &\in \partial Q_0 \setminus \bar{\Pi}_0, & (2) \\
\hat{q}(U^0) &\equiv \partial U^0 / \partial x_3 + h U^0 = \begin{cases} q, & x \notin \bar{\Pi}, \\ q - (c_0 \partial U^0 / \partial t + c_1 U^0 + c_2 f(U^0)), & x \in \bar{\Pi}, \end{cases} \\
U^0|_{t=0} &= \hat{\varphi}(x), & x &\in Q_0 \cup \Pi.
\end{aligned}$$

С помощью U^0 – найденного решения задачи (2) – определяется

$$\psi(t) = q - \left(c_0 \partial U^0 / \partial t + c_1 U^0 + c_2 f(U^0) \right).$$

Второй этап: сложный нелинейный теплообмен между каплями Q_i , $i = \overline{1, N}$, и подложкой Q_0 в граничном условии задачи (1) заменяется линейным:

$$\partial U / \partial x_3 + hU = \begin{cases} 0, & x \notin \overline{\Pi}', \\ \psi(t), & x \in \overline{\Pi}', \end{cases} \quad t > 0.$$

(В данной работе рассматривается первый этап).

Для решения (2) используем функцию Грина $G(x, \xi, t - \tau)$, где $t, \tau > 0$, которая является решением соответствующей задачи.

От задачи (2) можно перейти к эквивалентным ей интегральным соотношениям:

$$U(x, t) = V(x, t, t') - \kappa^2 \int_{t'}^t \int_0^a \int_0^b G(x, \xi', 0, t - \tau) \cdot \Psi(\xi', 0, \tau) d\xi', \quad x \in Q_0^1 \cup \Pi^1, \quad t > t', \quad (3)$$

$$V(x, t, t') = \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty G(x, \xi, t - t') U(\xi, t') d\xi + \kappa^2 \int_{t'}^t \int_0^a \int_0^b G(x, \xi', 0, t - \tau) \cdot q(\xi', 0, \tau) d\xi',$$

$$\Psi(\xi', 0, \tau) = c_0 \partial U(\xi', 0, \tau) / \partial \tau + c_1 U(\xi', 0, \tau) + c_2 f(U(\xi', 0, \tau)),$$

$$U(x, 0) = \hat{\varphi}(x), \quad x \in Q_0^1 \cup \Pi^1,$$

где $\Pi^1 = \{x : 0 < x_1 < a, \quad 0 < x_2 < b, \quad x_3 = 0\}$, $a = l_1/2$, $b = l_2/2$.

Интегральные соотношения (3), как и задача (2), приближённо описывают процесс передачи тепла теплопроводящей подложке каплей, помещённой на её границу.

Разработан алгоритм численного решения. Построены разностные аппроксимации для полученных уравнений.

Литература

1. Албу А. Ф. Оптимальное управление процессом плавления / А. Ф. Албу, В. И. Горбунов, В. И. Зубов // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2000. – Т. 40, № 4. – С. 517–531.
2. Верхотуров А. Д. Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании. – Владивосток: Дальнаука, 1995. – 324 с.
3. Верхотуров А. Д. Физико-химические основы процесса электроискрового легирования металлических поверхностей. – Владивосток: Дальнаука, 1992. – 176 с.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России». Госконтракт № 02.740.11.0626.

О ПОПЫТКАХ РЕШЕНИЯ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ

И. Б. Гетманюк

Ижевский государственный технический университет

Как известно, в компьютерной графике большое значение уделяется нахождению точек пересечения различных кривых. Такое же значение придается в точном машиностроении. При проектировании фигур или деталей, казалось бы, имеющих простую геометрию кривых второго порядка, возникает множество проблем с нахождением точек пересечений. Неточности при проектировании в САПРах являются большим недостатком. Ведь чем больше деталь, тем более высока погрешность. Хорошо, если проектируемые изделия не представляют угрозу для человека, но при неправильном проектировании, например, параболических мостов существуют риски гибели человека. До недавнего времени максимальным результатом решения данной проблемы пересечения прямой и эллипса на плоскости было описано П. С. Александровым более 40 лет назад.

На кафедре АСОИУ ИжГТУ было предложено вместо исследования квадратичной функции в классическом базисе, рассмотреть ее в ортонормированном базисе. На основе неортогонального базиса появилась возможность аналитического нахождения точек пересечения различных кривых второго порядка [1, с. 42–57]. Первостепенной задачей данного метода решения является нахождение углов наклона и параметров квадратичных функций. Автором статьи было рассмотрено вырожденное коническое сечение – парабола. Пусть задана парабола $P \equiv \langle x, y, p, \varphi \rangle$, где вершина параболы $(x, y) \in \mathbb{R} \times \mathbb{R}$, параметр и угол наклона параболы $p, \varphi \in \mathbb{R}$, $\varphi \in [-\pi; \pi]$, как и все описываемые далее тригонометрические функции, кроме тангенса и котангенса, область определения которых $[-\pi/2; \pi/2]$. Предлагается рассматривать параболу в параметрическом виде:
$$\begin{cases} x = \cos^{1/2} \tau, \\ y = \cos \tau / 2p, \end{cases} \text{ или}$$

$$\begin{cases} x = \cos \tau / 2p, \\ y = \cos^{1/2} \tau. \end{cases}$$

При интерпретации евклидовой плоскости как таблицы реляционной БД, переставная симметрия $\begin{pmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{1} \\ \mathbf{1} & \mathbf{0} \end{pmatrix}$ является синтаксическим правилом ее построения.

Симметрия порядка является синтаксическим правилом построения евклидовой плоскости, структурно более ранним, чем переставная симметрия [2, с. 161].

В работе используется переставная симметрия (используя угол α, β), но, работая с параметрической системой параболы, мы используем симметрию математического порядка, т. е. ищем такую систему, чтобы она удовлетворяла нашей параболе и хранила данный вид автоморфизма евклидовой

плоскости явно. Пусть имеется параметрическая система уравнений, определяющая произвольное преобразование $\begin{pmatrix} \mathbf{a} & \mathbf{h} \\ \mathbf{g} & \mathbf{b} \end{pmatrix}$ над параболой P в начале координат, где $a, b, h, g \in \mathbb{R}$. Заметим, что после произвольного преобразования парабола изменяет свой параметр и сдвигает свою вершину на некоторую величину по осям X и Y . Определим параметры новой параболы из системы:

$$\begin{cases} \cos^{1/2}(\tau + \alpha) - \Delta_x = a \cos^{1/2}(\tau + \beta) + \frac{h}{2p} \cos(\tau + \beta), \\ \frac{\cos(\tau + \alpha)}{k_y} - \Delta_y = g \cos^{1/2}(\tau + \beta) + \frac{b}{2p} \cos(\tau + \beta), \end{cases}$$

где $p_1 = F(k_x, k_y)$, $k_x, k_y, p_1, \Delta_x, \Delta_y \in \mathbb{R}$. Угол симметрии неортогонального базиса будет определяться из формулы $\cos \beta = 2p(a \cos \alpha + g \sin \alpha) / k_y(ab - hg)$.

Собственный угол равен $\operatorname{tg} \alpha = -\frac{h}{b}$. Величины $k_x = \frac{g - a \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\Delta_y(g \cdot \operatorname{tg} \alpha + a) - \Delta_x(g - a \cdot \operatorname{tg} \alpha)}$ и $k_y = k_x \frac{2p(a + g \cdot \operatorname{tg} \alpha)}{b - h \cdot \operatorname{tg} \alpha}$ будут определять новый параметр параболы.

Еще одним вариантом нахождения параметров параболы после преобразования является продолжение решения классического метода. Его суть заключается в дополнительном преобразовании параболы путем поворота на угол, обратный получаемому углу при произвольном преобразовании. Таким образом, по формулам аналитической геометрии мы легко находим новый параметр p_1 и вершину параболы, а соответственно, и величины параллельных переносов по осям координат.

Результаты исследования планируется внедрить на Чайковском заводе нестандартного оборудования ООО «Уникон» для повышения точности в производстве нестандартных изделий, оборудования и конструкций из металла, пластмассы и в производстве изделий из закаленного стекла путем изменения программного ядра в станках с ЧПУ. Математические результаты могут применяться для построения точной геометрической модели, в состав которой входят параболические кривые, а также использоваться в машиностроении для расчета точного нанесения гравировки на изделия и ее реставрации с применением параболических борфрез.

Литература

1. Ложкин А. Г. Вычислительная планиметрия с вырожденными преобразованиями. – Екатеринбург: Изд-во Института экономики Уро РАН, 2009. – 158 с.
2. Lozhkin A. G. About definition of singular transformation by N. V. Efimov // Geometry, topology, algebra and number theory, applications: Abstracts of International conference dedicate to the 120th anniversary of B. N. Delone. – М.: Steklov mathematical institute of RAS, Moscow State University, 2010. – P.160–162.

СЕМЕЙСТВО МЕТОДОВ МИНИМИЗАЦИИ С ДВУХРАНГОВОЙ КОРРЕКЦИЕЙ МАТРИЦ МЕТРИКИ

Т. А. Горская

Кемеровский государственный университет

Семейство методов минимизации с двухранговой коррекцией матриц метрики $R_{\alpha\beta}$ принадлежит классу релаксационных методов ε -субградиентного типа с растяжением пространства (RPCM). Актуальность исследования и совершенствования подобного рода алгоритмов обусловлена тем, что при относительно невысоких вычислительных затратах на итерации они имеют высокую скорость сходимости и работоспособны в условиях отсутствия выпуклости и гладкости, в силу чего дополняют по области применимости и вычислительной эффективности известные методы минимизации, основанные на квадратичной либо кусочно-линейной моделях функции, в частности, квазиньютоновские и алгоритмы, определяемые идеологией метода уровней.

Пусть решается задача минимизации выпуклой на R^n функции $f(x)$. В релаксационных субградиентных методах последовательные приближения строятся по формулам:

$$x_{i+1} = x_i - \gamma_i s_i, \quad \gamma_i = \operatorname{argmin}_\gamma f(x_i - \gamma s_i),$$

где направление спуска s_i выбирается как решение неравенств:

$$(s, g) > 0 \quad \forall g \in G. \quad (1)$$

Здесь множество $G = \partial_\varepsilon f(x_i)$ – ε -субградиентное множество в точке x_i . Обозначим через $S(G)$ множество решений неравенства (1), $\partial f(x) = \partial f_0(x)$ – субградиентное множество в точке x . В релаксационных субградиентных методах для решения систем неравенств (1) применяют итерационные методы (алгоритмы обучения), где в качестве элементов ε -субградиентных множеств, поскольку их явное задание отсутствует, используют субградиенты, вычисляемые на траектории спуска алгоритма минимизации.

Идея построения быстросходящихся алгоритмов обучения для методов класса RPCM состоит в распространении итерационного метода наименьших квадратов (ИМНК) на решение систем неравенств типа (1) на отдельных множествах, близких к плоским множествам (содержащихся в некоторой гиперплоскости). Подобным образом получены алгоритм с растяжением пространства в направлении субградиента (МРП) и одноранговое семейство методов с растяжением пространства R_α .

Дано обоснование сходимости этого алгоритма, сформулировано семейство алгоритмов решения неравенств с двухранговой коррекцией матриц метрики, включающее в себя алгоритмы обучения семейства R_α , обоснованы ограничения на характеристики делимых множеств и параметры алгоритмов обучения, обеспечивающие их сходимость. На базе предложенного семейства алгоритмов обучения разработано двухранговое семейство методов минимизации $R_{\alpha\beta}$ и на строго выпуклых функциях, при соответствующих ограничениях на субградиентные множества, обоснована сходимость его алгоритмов.

РАЗРАБОТКА ПАКЕТА ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ РАСЧЕТА КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ

Е. А. Гришаева, А. А. Звекон

Кемеровский государственный университет

Цель работы: разработка пакета прикладных программ для расчета кинетических закономерностей реакции разложения азида серебра (АС).

Схема элементарных стадий разложения АС и их параметры приведены в таблице [1, 2].

Стадии разложения

№	Реакции	Тепловой эффект, эВ	Кинетические параметры прямой реакции		Кинетические параметры обратной реакции	
			k_0	E_a , эВ	k'_0	E'_a , эВ
1	$Ag_x \leftrightarrow V_k^- + Ag_i^+$	-1,24	$9,7 \cdot 10^{39} \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$	1,44	$1,3 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	0,8
2	$h + V_k^- \leftrightarrow V_k^0$	0,9	$1,9 \cdot 10^{-7} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	-	$2,7 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$	0,8
3	$h + V_k^0 \leftrightarrow V_k^+$	0,09	$8,1 \cdot 10^{-9} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	-	$2,2 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$	0,3
4	$Ag_i^+ + e \leftrightarrow Ag_i^0$	0,44	$9 \cdot 10^{-7} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	-	$9,7 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$	0,44
5	$Ag_i^0 + Ag_i^+ \rightarrow Ag_2^+$	2,74	$7,5 \cdot 10^{-11} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	0,56	-	-
6	$Ag_2^+ + e \leftrightarrow Ag_2^0$	0,7	$9 \cdot 10^{-7} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	-	$5,6 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$	0,8
7	$Ag_2^0 + Ag_i^+ \leftrightarrow Ag_3^+$	2,84	$7,5 \cdot 10^{-11} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	0,56	$8,3 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1}$	0,74
8	$Ag_3^+ + e \leftrightarrow Ag_3^0$	0,6	$9 \cdot 10^{-7} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	-	$7 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$	0,6
9	$Ag_3^0 + Ag_i^+ \rightarrow Ag_4^+$	2,56	$7,5 \cdot 10^{-11} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	0,56	-	-
10	$Ag_4^0 + h \leftrightarrow Ag_4^+$	0,88	$8,1 \cdot 10^{-9} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	-	$2,7 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$	0,88
11	$Ag_4^+ + e \leftrightarrow Ag_4^0$	0,41	$9 \cdot 10^{-7} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	-	$5,9 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$	0,88
12	$Ag_4^0 + Ag_i^+ \rightarrow Ag_5^+$	2,56	$7,5 \cdot 10^{-11} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	0,56	-	-
13	$Ag_5^+ + e \rightarrow Ag_5^0$	0,88	$9 \cdot 10^{-7} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	-	-	-
14	$V_k^+ \rightarrow 3N_2^* + 2V_a^+ + V_k^-$	12	$6 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1}$	0,3	-	-
15	$N_2^* + V_a^+ \rightarrow h + F'$	-	10^{12} с^{-1}	-	-	-
16	$N_2^* \rightarrow h + e$	-	10^{12} с^{-1}	-	-	-
17	$N_2^* \rightarrow V_k^- + Ag_i^+$	-	$5 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$	-	-	-
18	$R^0 + h \leftrightarrow R^+$	0,9	$8,1 \cdot 10^{-9} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	-	$2,7 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$	0,8
19	$R^+ + e \leftrightarrow R^0$	0,9	$9 \cdot 10^{-7} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	-	$5,9 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$	0,88
20	$F' + V_k^0 \rightarrow D$	-	$4,5 \cdot 10^{-11} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	1,4	-	-

Стадия 1 – образование и рекомбинация пар Френкелевских дефектов. Стадии 2 и 3 – последовательная локализация двух дырок на катионной вакансии. Стадии 4–13 описывают рост кластеров металла по схеме Митчелла. При этом предполагается, что реакция образования трехатомного серебряного кластера (стадия 7) сильно обратима, остальные стадии взаимодействия межузельных катионов с металлическими кластерами (5, 9, 12) – необрати-

мы. Так как конечным продуктом разложения в катионной подрешетке является пятиатомный кластер, стадия 13 также считается необратимой. Четырехатомный серебряный кластер выступает в роли центра рекомбинации электронов и дырок (стадии 10, 11). Стадия 14 – взаимодействие двух локализованных на катионной вакансии радикалов N_3 с образованием возбужденных молекул азота, 2-анионных вакансий и восстановлением катионной вакансии. Стадии 15–17 описывают процесс дезактивации электронно- и колебательно-возбужденных молекул азота, образовавшихся в предыдущей стадии. Предполагается, что выделение энергии при дезактивации может вызвать выброс дырки в валентную зону с образовавшегося положительно заряженного центра, привести к генерации электронно-дырочной пары либо френкелевской пары. Вероятность разветвления цепи по аналогии с газофазными цепными реакциями предполагается равной доле невозбужденных узлов кристаллической решетки. Поэтому считалось, что при дезактивации трех молекул азота в невозбужденной решетке (вероятность разветвления равна 1) происходит генерация $(3 - b)$ электронно-дырочных пар и b френкелевских пар. В настоящей работе параметр b принимался равным 0,05. Стадии 18–19 описывают процессы генерации и рекомбинации e.h. пар, с участием объемных и поверхностных локальных центров. В последней стадии реакции взаимодействуют нейтральная катионная вакансия со сложным центром, образованным по стадии 15, что приводит к конечному продукту разложения анионной подрешетки D-бивакансии.

Кинетические уравнения, соответствующие описанной системе, имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}
\frac{dp}{dt} &= -k_{11} \cdot pV_k^- + k_{11}' \cdot V_k^0 - k_{12} \cdot V_k^0 p + k_{13} \cdot V_k^+ - k_{12} \cdot Ag_4^0 p + \\
&+ k_{12}' \cdot Ag_4^+ \frac{N_{3x}}{L} + (3-b)k_{14} \cdot V_k^+ \frac{N_{3x} Ag_x}{L^2} + k_{12}' \cdot R^+ \frac{N_{3x}}{L} - k_{12} \cdot R^0 p, \\
\frac{dn}{dt} &= k_3 \cdot Ag_i^0 \cdot \frac{Ag_x}{L} - k_4 \cdot n \left(Ag_i^+ + Ag_2^+ + Ag_3^+ + Ag_4^+ + Ag_5^+ \right) + \\
&+ k_6 \cdot Ag_2^0 \frac{Ag_x}{L} + k_{15} \cdot Ag_3^0 \frac{Ag_x}{L} + k_4' \cdot Ag_4^0 \frac{Ag_x}{L} + (3-b) \cdot k_{14} \cdot V_k^+ \frac{N_{3x} Ag_x}{L^2} - \\
&- 2 \cdot k_{14} \cdot V_k^+ + k_4' \cdot R^0 \frac{Ag_x}{L} - k_4 \cdot R^+ n, \\
\frac{dAg_i^+}{dt} &= k_1 \cdot \frac{Ag_x}{L} - k_2 \cdot V_k^- Ag_i^+ - k_4 \cdot Ag_i^+ n + k_3 \cdot Ag_i^0 \frac{Ag_x}{L} - \\
&- k_5 \cdot Ag_i^+ \left(Ag_i^0 + Ag_2^0 + Ag_3^0 + Ag_4^0 \right) + k_5' \cdot Ag_3^- + \beta \cdot k_{14} \cdot V_k^+ \frac{Ag_x}{L}, \\
\frac{dAg_i^0}{dt} &= k_4 \cdot Ag_i^+ n - k_3 \cdot Ag_i^0 \frac{Ag_x}{L} - k_5 \cdot Ag_i^0 Ag_i^+,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{dAg_2^+}{dt} &= k_5 \cdot Ag_i^0 Ag_i^+ - k_4 \cdot Ag_2^+ n + k_6 \cdot Ag_2^0 \frac{Ag_x}{L}, \\
\frac{dAg_2^0}{dt} &= k_4 \cdot Ag_2^+ n - k_6 \cdot Ag_2^0 \frac{Ag_x}{L} - k_5 \cdot Ag_2^0 Ag_i^+ + k_5' \cdot Ag_3^+, \\
\frac{dAg_3^+}{dt} &= k_5 \cdot Ag_2^0 Ag_i^+ - k_5' \cdot Ag_3^+ - k_4 \cdot Ag_3^+ n + k_{15} \cdot Ag_3^0 \frac{Ag_x}{L}, \\
\frac{dAg_3^0}{dt} &= k_4 \cdot Ag_3^+ n - k_{15} \cdot Ag_3^0 \frac{Ag_x}{L} - k_5 \cdot Ag_3^0 Ag_i^+, \\
\frac{dAg_4^+}{dt} &= k_5 \cdot Ag_3^0 Ag_i^+ + k_{12} \cdot Ag_4^0 p - k_{12}' \cdot Ag_4^+ \frac{N_{3x}}{L} - k_4 \cdot Ag_4^+ n + k_4' \cdot Ag_4^0 \frac{Ag_x}{L}, \\
\frac{dAg_4^0}{dt} &= k_4 \cdot Ag_4^+ n - k_4' \cdot Ag_4^0 \frac{Ag_x}{L} - k_5 \cdot Ag_4^0 Ag_i^+ - k_{12} \cdot Ag_4^0 p + k_{12}' Ag_4^+ \frac{N_{3x}}{L}, \\
\frac{dAg_5^+}{dt} &= k_5 \cdot Ag_4^0 Ag_i^+ - k_4 \cdot Ag_5^+ n, \\
\frac{dAg_5^0}{dt} &= 5 \cdot k_4 \cdot Ag_5^+ n, \\
\frac{dV_k^-}{dt} &= k_1 \cdot \frac{Ag_x}{L} - k_2 \cdot V_k^- Ag_i^+ - k_{11} \cdot V_k^- p + k_{11}' \cdot V_k^0 + \left(1 + b \cdot \frac{Ag_x}{L}\right) k_{14} \cdot V_k^+, \\
\frac{dV_k^0}{dt} &= k_{11} \cdot V_k^- p - k_{11}' \cdot V_k^0 - k_{12} \cdot V_k^0 p + k_{13} \cdot V_k^+ - k_7 \cdot V_k^0 \cdot F'', \\
\frac{dV_k^+}{dt} &= k_{12} \cdot V_k^0 p - (k_{13} + k_{14}) V_k^+, \\
\frac{dN_2}{dt} &= 2 \cdot k_{14} V_k^+, \\
\frac{dR^0}{dt} &= k_4 \cdot R^+ n - k_4' \cdot R^0 \frac{Ag_x}{L} + k_{12}' \cdot R^+ \frac{N_{3x}}{L} - k_{12} \cdot R^0 p, \\
\frac{dR^+}{dt} &= k_4' \cdot R^0 \frac{Ag_x}{L} - k_4 \cdot R^+ n + k_{12} \cdot R^0 p - k_{12}' \cdot R^+ \frac{N_{3x}}{L}, \\
\frac{dF''}{dt} &= 2 \cdot k_{14} V_k^+ - k_7 \cdot F'' V_k^0, \\
\frac{dDD}{dt} &= k_7 \cdot F'' V_k^0,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{dAg_x}{dt} &= k_2 \cdot V_k^- Ag_i^+ + k_4 \cdot n (Ag_i^+ + Ag_2^+ + Ag_3^+ + Ag_4^+ + Ag_5^+ + R^+) - \\
&- \left(k_1 + \beta \cdot k_{14} \cdot V_k^+ + k_3 \cdot Ag_i^0 + k_6 \cdot Ag_2^0 + k_{15} \cdot Ag_3^0 + k_4' \cdot (Ag_4^0 + R^0) \right) \frac{Ag_x}{L} - \\
&\quad - (3-b) k_{14} \cdot V_k^+ \frac{Ag_x N_{3x}}{L^2}, \\
\frac{dN_{3x}}{dt} &= k_{12} \cdot Ag_4^0 p - k_{12}' \cdot Ag_4^+ \frac{N_{3x}}{L} + k_{12} \cdot R^0 p - k_{12}' \cdot R^+ \frac{N_{3x}}{L} - \\
&\quad - (3-b) k_{14} \cdot V_k^+ \frac{N_{3x} Ag_x}{L^2} - 2k_{14} \cdot V_k^+. \\
\frac{dT}{dt} &= 7,4 \cdot 10^{-20} \left[\begin{aligned}
&E_1 (k_{11} V_k^- p - k_{11}' V_k^0) + E_2 (k_{12} V_k^0 p - k_{13} V_k^+) + \\
&+ E_4 \left(k_4 Ag_i^+ e - k_3 Ag_i^0 \frac{Ag_x}{L} \right) + E_5 \left(k_4 Ag_2^+ e - k_6 Ag_2^0 \frac{Ag_x}{L} \right) + \\
&+ E_6 \left(k_4 Ag_3^+ e - k_{15} Ag_3^0 \frac{Ag_x}{L} \right) + \\
&+ E_7 \left(-k_{12}' Ag_4^+ \frac{Ag_x}{L} + k_{12} Ag_4^0 p + k_4 Ag_4^+ e - k_4' Ag_4^0 \frac{N_3}{L} + k_4 Ag_5^+ e \right) + \\
&+ E_8 \left(k_{12} R^0 p - k_{12}' R^+ \frac{N_3}{L} + k_4 R^+ e - k_4' R^0 \frac{Ag_x}{L} \right) + \\
&+ E_3 \left(k_2 V_k^- Ag_i^+ - k_1 \frac{Ag_x}{L} \right) + \\
&+ k_{14} \left(Q - (1-b) \frac{N_3 Ag_x}{L^2} E_{13} + 2(E_{13} - E_{14}) - b \frac{Ag_x}{L} E_3 \right) + \\
&+ k_5 Ag_i^+ (Ag_i^{0+} E_9 + Ag_4^+ E_{11}) + \\
&+ E_{10} (k_5 Ag_2^0 Ag_i^+ - k_5' Ag_3^+) + E_{11} k_5 Ag_3^0 Ag_i^+.
\end{aligned} \right]
\end{aligned}$$

Для решения данной системы уравнения использовался метод Рунге – Кутты 2-го порядка с переменным шагом по времени с относительной погрешностью 10^{-12} . Для исследования закономерностей перехода системы в стационарное состояние в качестве начальных концентрации были установлены: $V_k^- = Ag_i^+ = \sqrt{K_F}$, $Ag_x = N_3 = L$, $R^0 = 2 \cdot 10^{14}$, $T = 300$ К, остальные брались равными нулю. Результаты расчетов показаны на рис. 1–2.

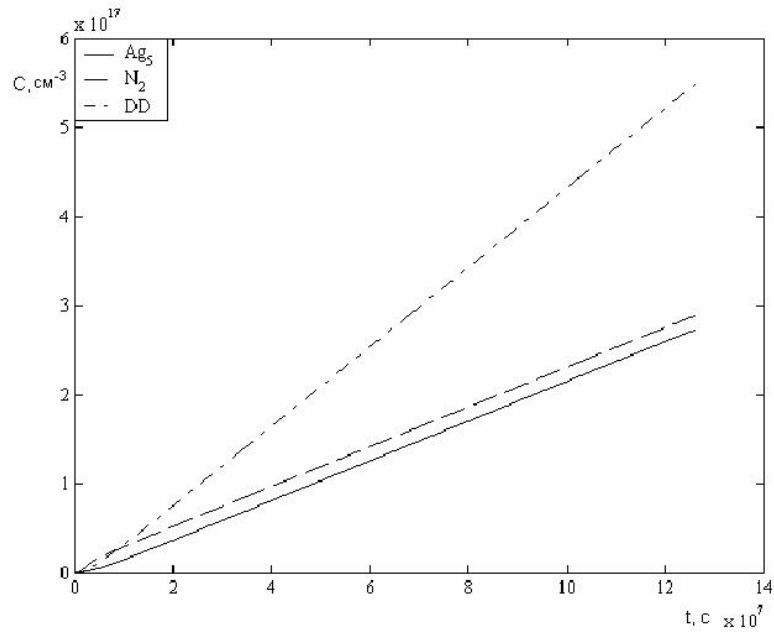


Рис. 1. Кинетика выделения азота, образования металла и бивакансии при разложении АТМ

На рис. 1 показано образование продуктов реакции по времени. Как видно из рисунка, после начального нестационарного участка выделение металла и газа происходит по линейному закону.

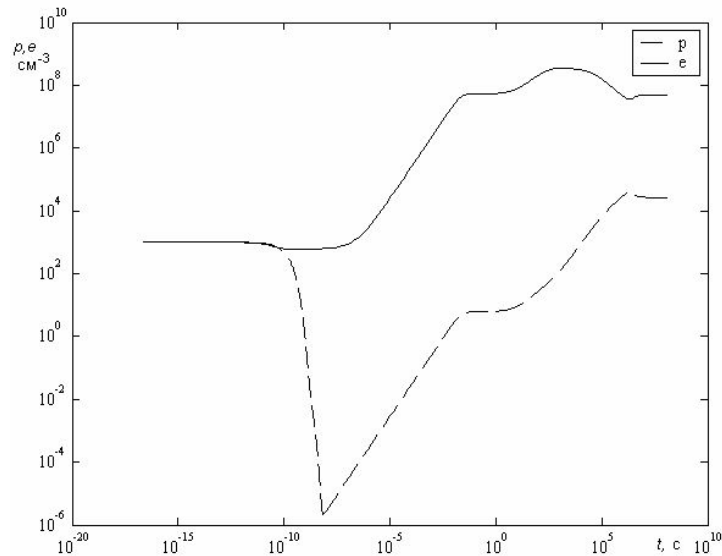


Рис. 2. Кинетические зависимости изменения концентрации электронов и дырок в течение времени

На рис. 2 приведены кинетические зависимости изменения концентрации электронов и дырок.

Резкое уменьшение концентрации дырок в области 10^{-10} – 10^{-5} вызвано захватом исходного затравочного количества на катионные вакансии. Далее идет ее восстановление за счет генерации через локальные уровни запрещенной зоны.

Согласно результатам расчетов для перехода системы в режим стационарного разложения требуется примерно два года. В течение этого вре-

мени кристаллы могут проявлять повышенную реакционную способность вследствие малой концентрации промежуточных продуктов реакции (кластеров металлов), которые являются центрами рекомбинации (стадии 10–11).

Заключение. Разработан программный пакет для расчета кинетических закономерностей реакции разложения азидов серебра. В результате моделирования получены кинетические закономерности перехода реакции в режим стационарного разложения. Показано, что для установления стационарного состояния требуется время, равное двум годам при комнатной температуре.

Литература

1. Кригер В. Г., Каленский А. В. Собственно-дефектная модель цепной реакции инициирования азидов тяжелых металлов // 6-я Международная конференция «Радиационные гетерогенные процессы»: Тез. докл. – Ч.1. – Кемерово, 1995. – С. 100–101.
2. Кригер В. Г., Каленский А. В., Вельк В. В. Собственно-дефектная модель разложения азидов тяжелых металлов // Известия вузов. Физика. – 2000. – Том 43, № 11, – С. 118–123.

РЕШЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЗАДАЧИ О ДВИЖЕНИИ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ

Е. Э. Гуммель

Кемеровский государственный университет

Двумерное движение вязкой несжимаемой жидкости описывается системой уравнений Навье – Стокса:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= \mathcal{G} \Delta u - \frac{\partial p}{\partial x}; \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= \mathcal{G} \Delta v - \frac{\partial p}{\partial y}; \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Область решения – прямоугольный канал $[0;2] \times [0;1]$ (рис. 1).

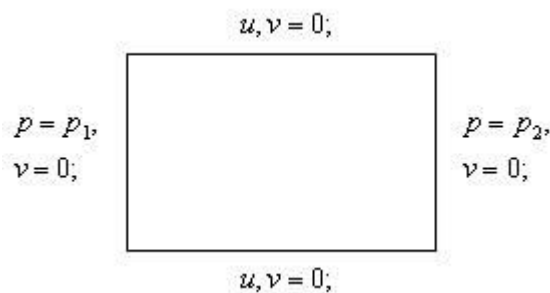


Рис. 1. Область решения

Главной проблемой при решении данной задачи является то, что на входе и выходе из канала поставлено граничное условие на давление, а не на скорость u . Был рассмотрен частный случай, когда давление на входе и выходе – константа, не зависящая от пространственной координаты. В связи с этим можно предположить, что производная скорости u на границе $\left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{x=0, x=2} = 0$; таким образом, используя данное граничное условие, можно решать уравнения движения методом продольно-поперечной прогонки.

Для решения уравнения Пуассона на давление нужно поставить граничные условия на твердых стенках. Было задано условие второго рода – $\frac{\partial p}{\partial n}$, выраженное из уравнения движения. Таким образом, получена смешанная краевая задача для уравнения Пуассона. Поскольку матрица системы в этой задаче является несамосопряженной, то для решения была использована следующая итерационная схема:

$$B_i \frac{u^{n+2^i} - u^n}{\tau_*} + Au^n = f, u^0 = u_0, \quad (2)$$

$$B_k = \frac{1}{1 + \omega_k} B_{k-1} (E + G_{k-1}), G_{k-1} = E - \tau_* B_{k-1}^{-1} A,$$

$$\omega_k = \frac{\omega_{k-1}^2}{2 - \omega_{k-1}^2}, k = 1, 2, \dots, i, B_0 = B(\tau_*), \omega_0 = \rho_*,$$

где τ_* – значение оптимального итерационного параметра одношаговой итерационной схемы; S_0 – оператор шага одношаговой итерационной схемы и $\rho_* = \|S_0\|$ – норма оператора шага одношаговой итерационной схемы при оптимальном значении итерационного параметра. Эта схема есть другая запись чебышевского итерационного процесса [1], ее преимущество в том, что самосопряженность оператора используется только при оценке сходимости, это делает возможным ее применение в нашем случае – когда оператор системы несамосопряжен.

Наконец, третьей существенной проблемой явилось то, что при использовании совмещенной сетки в ходе итераций переставало выполняться уравнение неразрывности. Для этого была построена разнесенная сетка [2], а для нахождения значений искомых переменных в исходных узлах использовалась интерполяция.

Была проведена серия тестовых расчетов на сетках с различным количеством узлов от 40×20 до 100×50 ; давление $p_2 = 0, p_1 = \begin{cases} 0,4t, 0 < t < 0,5, \\ 0,2, t > 0,5. \end{cases}$. В результате, как и ожидалось, было получено течение Пуазейля.

Литература

1. Захаров Ю. Н. Градиентные итерационные методы решения задач гидродинамики. – Новосибирск: Наука, 2005. – 239 с.
2. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 124 с.

РАСЧЕТ ДВИЖЕНИЯ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ В ДВУМЕРНОМ КАНАЛЕ

Д. А. Желнерович

Кемеровский государственный университет

Изучение гидродинамических процессов имеет огромное теоретическое и практическое значение. Исследования в данной области являются неотъемлемой частью проектирования трубопроводов и водохранилищ, прогнозирования природных катаклизмов, а также обеспечения безопасности затопленных шахт. Исследуемое в данной работе течение вязкой несжимаемой жидкости моделируется уравнениями Навье – Стокса (см. [1], [2]), записанными в физических переменных (\vec{V}, p – скорость, давление). С помощью сред программирования Microsoft Visual C++, Borland Delphi и графического редактора Tecplot численно изучен процесс течения несжимаемой вязкой жидкости в заданных двумерных каналах. Для более точного численного расчета в работе использовалась так называемая «разнесенная» сетка, где каждая сеточная функция рассчитывается на своем наборе узлов. Был выведен алгоритм для построения разнесенных сеток из обычной сетки.

Рассматривается задача о протекании вязкой однородной несжимаемой жидкости в криволинейном канале с заданным перепадом давления на границе втекания и границе вытекания.

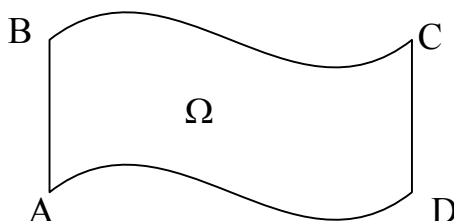


Рис. 1

На рис. 1 Ω – криволинейный канал, являющийся областью решения; AB , CD – входное и выходное отверстия соответственно; BC , AD – твердые стенки. На входной границе AB задано давление p_1 , а на выходной границе CD – давление p_2 так, что $p_1 > p_2$ (т. е. основное направление движения – от входного отверстия AB к выходному CD в сторону убывания дав-

ления). На твердых стенках BC и AD ставим условие прилипания (вектор скорости $\vec{V} = 0$). Также для существования и единственности сильного решения на входном и выходном отверстиях, помимо давления необходимо задать дополнительное условие на скорость. В работах [3, 4] предлагается задание нулевой касательной составляющей скорости. Формальная запись системы дифференциальных уравнений в двумерном случае:

$$\begin{aligned} v\Delta u - \frac{\partial(u^2)}{\partial x} - \frac{\partial(uv)}{\partial y} &= \frac{\partial p}{\partial x}, \\ v\Delta v - \frac{\partial(uv)}{\partial x} - \frac{\partial(v^2)}{\partial y} &= \frac{\partial p}{\partial y}, \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} &= 0, \end{aligned} \quad (1.1)$$

где (u, v) – вектор скорости; p – давление; ν – коэффициент кинематической вязкости; $u = u(x, y)$, $v = v(x, y)$. Краевые условия в дифференциальном виде:

$$p|_{AB} = p_1, \quad p|_{CD} = p_2, \quad (1.2a)$$

$$\vec{u}|_{BC} = 0, \quad \vec{u}|_{AD} = 0, \quad (1.2b)$$

$$\left|(\vec{u}|_{AB}, \vec{n})\right| = |\vec{u}|_{AB}, \quad \left|(\vec{u}|_{CD}, \vec{n})\right| = |\vec{u}|_{CD}. \quad (1.2c)$$

Здесь: (1.2a) – задание давления на входе и выходе; (1.2b) – условие прилипания на твердых стенках; (1.2c) – задание нулевой касательной составляющей на тех участках границы, где фиксировано давление.

Для решения полученной дифференциальной задачи введем в ограниченной области $\Omega \subset R^n$ прямоугольную и в общем случае неравномерную сетку Ω_h , согласующуюся с границей Γ , с сеточной границей

$$\Gamma_h = AB_h \cup BC_h \cup CD_h \cup DA_h.$$

На узлах (x_i, y_j) введем сеточные функции $u_{ij} = u(x_i, y_j)$, $v_{ij} = v(x_i, y_j)$, $p_{ij} = p(x_i, y_j)$ и аппроксимируем систему дифференциальных уравнений (1.1) на Ω_h в дивергентном виде:

$$\begin{aligned} v\Delta_h u_{ij} - \frac{u_{i+1j}^2 - u_{i-1j}^2}{h_{xi+1} + h_{xi}} - \frac{u_{ij+1}v_{ij+1} - u_{ij-1}v_{ij-1}}{h_{yj+1} + h_{yj}} &= \frac{p_{i+1j} - p_{i-1j}}{h_{xi+1} + h_{xi}}, \\ v\Delta_h v_{ij} - \frac{v_{i+1j}u_{i+1j} - v_{i-1j}u_{i-1j}}{h_{xi+1} + h_{xi}} - \frac{v_{ij+1}^2 - v_{ij-1}^2}{h_{yj+1} + h_{yj}} &= \frac{p_{ij+1} - p_{ij-1}}{h_{yj+1} + h_{yj}}, \\ \frac{u_{i+1j} - u_{i-1j}}{h_{xi+1} + h_{xi}} + \frac{v_{ij+1} - v_{ij-1}}{h_{yj+1} + h_{yj}} &= 0, \quad (i, j) \in J, \end{aligned}$$

где J – множество индексов (i, j) , отвечающих внутренним точкам. Разностный оператор Δ_h аппроксимирует оператор Лапласа:

$$\Delta f_{ij} = \frac{\frac{f_{i+1j} - f_{ij}}{h_{xi+1}} - \frac{f_{ij} - f_{i-1j}}{h_{xi}}}{\frac{h_{xi+1} + h_{xi}}{2}} + \frac{\frac{f_{ij+1} - f_{ij}}{h_{yj+1}} - \frac{f_{ij} - f_{ij-1}}{h_{yj}}}{\frac{h_{yj+1} + h_{yj}}{2}}.$$

Аппроксимация проводится на «разнесенной» сетке: каждая из переменных u , v и p рассчитывается на своем наборе узлов. Компонентам p соответствуют "точки", компонентам u соответствуют "прямоугольники", а компонентам v соответствуют "треугольники". На рис. 2 показано, как для узла сетки с координатами i, j расположены компоненты.



Рис. 2. Соответствие компонент

Не всегда можно задать наклонную границу области узлами сетки с подобными координатами (i, j) , $(i+1, j+1)$, $(i+2, j+2)$ и т. д. Мы сталкиваемся с проблемой несогласованности узлов с границей. Особенно возникает проблема в согласованности границ с узлами сетки в случае, если две наклонные стенки имеют одну общую вершину и лежат в одной четверти декартовой системы координат с центром в этой вершине. Если взять только ту часть сетки, которая необходима для задания какой-либо наклонной границы нашей области и представить её как матрицу, содержащую значения узлов сетки (1 – узел лежит на границе; 0 – не лежит), то эта матрица должна быть квадратной и иметь единицы на главной или побочной диагонали (в зависимости от ориентации наклонной границы). Чтобы границы области согласовывались таким образом с узлами сетки, приходится исключать из множества возможных областей те области, для которых построение сетки приводит к неизбежному заданию узлов, не согласованных с границей или границами. Отсеиваются те области, для которых алгоритм построения сетки, согласованной с их границами, приводит к неизбежному «зацикливанию», а следовательно, к появлению узлов, не согласованных с границами или границей.

Для получения разнесенной сетки из обычной используется алгоритм, учитывающий всевозможные ориентации границ области, а также их взаимное расположение.

Для удобства построения канала в среде программирования Borland Delphi разработан интерфейсный модуль, позволяющий при помощи определенных команд моделировать каналы различной формы, задавать величину давления на свободных границах, а также строить простую и разнесенную сетку для дальнейших численных вычислений в расчетном модуле, написанном на языке программирования C++. На рис. 3 приведен результат тестового расчета для области, описанной с помощью интерфейсного модуля.

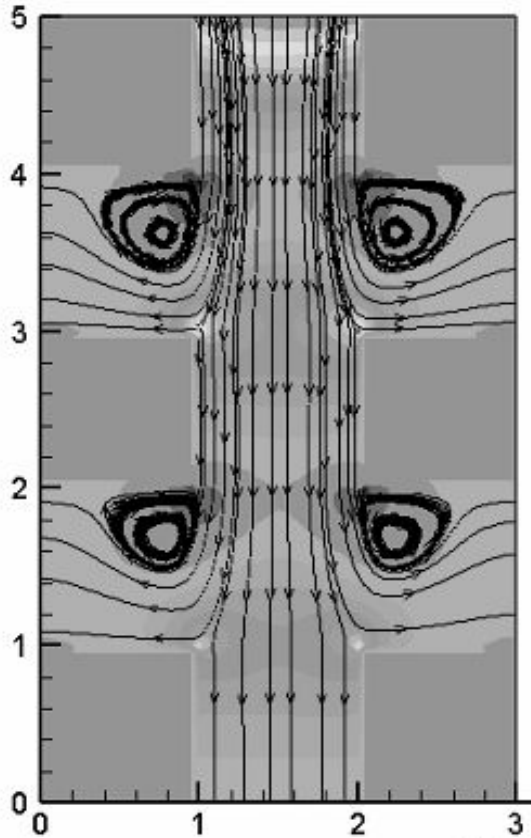


Рис. 3. Тестовый расчет

Результаты расчета визуализированы при помощи программы Tecplot. Входные данные: коэффициент вязкости $\nu=0,01$, давление на границе втекания равно 0,1, давление на границах вытекания равно 0. Количество итераций равно 20000, $Rn = 0,01133$.

Литература

1. Седов, Л. И. Механика сплошной среды. – Т. 1. – М.: Наука, 1980. – 492 с.
2. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980. – 616 с.
3. Рагулин, В. В. О гидродинамическом моделировании мембранного фильтрования вязкой жидкости // Вестник КемГУ. – Кемерово, 2005. – Вып. 4(24). – С. 133–137.
4. Кузнецов Б. Г. Численное исследование течения вязкой несжимаемой жидкости в каналах при заданных перепадах давлений / Б. Г. Кузнецов, Н. П. Мошкин, Ш. Смагулов // Численные методы динамики вязкой жидкости. – Новосибирск, 1983. – С. 203–207.

ОБ ОДНОЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ В ЗАКРЫТЫХ ВОДОЕМАХ

К. С. Иванов, Л. В. Кемерова

Кемеровский государственный университет

Кузбасс является одним из наиболее промышленно развитых регионов России. Для нашего края весьма актуальна проблема утилизации отходов различных промышленных предприятий, в особенности углеперерабаты-

вающих и углеобогащительных фабрик. Промышленные отходы угольной промышленности сложны по своей структуре и особо вредны для окружающей среды и человека.

Существующие технологии очистки и утилизации промышленных вод дорогостоящи или недостаточно эффективны. Альтернативным способом очистки шламовых вод был предложен метод отстаивания с использованием отработанных горных выработок. Применение этой технологии позволит значительно сократить затраты на очистку промышленных вод от опасных для окружающей среды примесей.

Предложенная методика заключается в следующем: в отработанную горную выработку подаются промышленные воды, разбавленные проточными водами, скорость подачи регулируется системой насосов и поддерживается на определенном уровне; скорость откачивания воды из шахты также регулируется; через кровлю выработки происходит дополнительная, нерегулируемая фильтрация жидкости. За счет регулирования работы системы насосов на входе и выходе из шахты поддерживается определенный уровень вод внутри выработки, а также сохраняются низкие скорости течения. В данное время такая технология очистки шламовых вод применяется на шахте Кольчугинской (рис. 1).

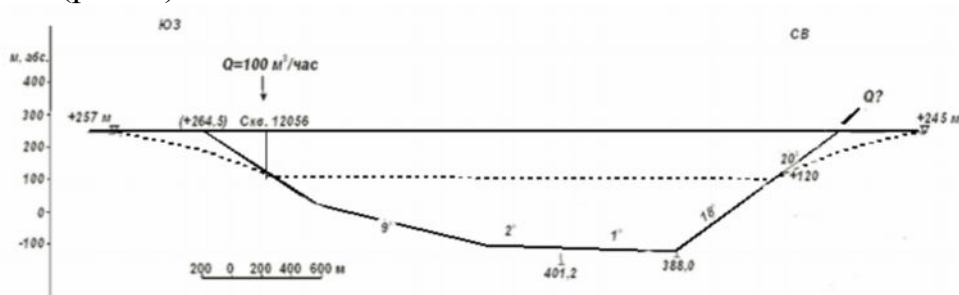


Рис. 1. Схема шахты Кольчугинской

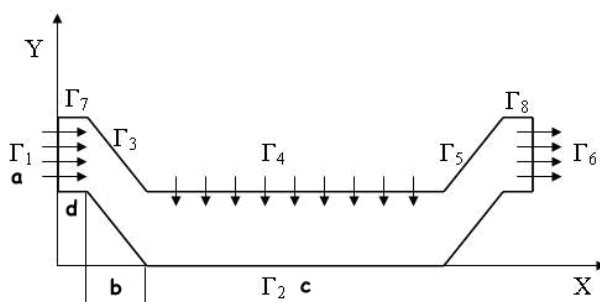


Рис.2. Геометрия области решения

Изучение процессов, протекающих в закрытых водоемах, представляет определенные практические сложности. В связи с этим возникает необходимость в применении математического моделирования и численных экспериментов как инструментов для прогнозирования вероятных сценариев протекания процесса. Главной задачей математического и численного моделиро-

вания процесса движения примесей в закрытом водоеме является прогнозирование заиливания шахты и возможных выбросов вредных веществ из горной выработки при изменении характера течения.

В рамках решения данной практической задачи была разработана нестационарная модель течения жидкости в области со сложной геометрией, соответствующей реальной топологии угольной шахты в ее упрощенном виде.

Область решения представлена на рис. 2, где Γ_1, Γ_6 – входное и выходное отверстия, соответственно высоты a ; Γ_2 – нижняя граница области определения; Γ_4 – горизонтальная часть верхней кровли длинны c ; Γ_3, Γ_5 – наклонные границы области определения высоты b ; Γ_7, Γ_8 – горизонтальные сегменты длинны d .

Для определения поля скоростей, решалась система уравнений Навье – Стокса в переменных функция тока – вихрь (1) с соответствующими начальными и краевыми условиями для скоростей, вихря и функции тока (3)–(5).

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} = -\nabla(V\Omega) + \frac{1}{\text{Re}} \Delta \Omega + \Omega \nabla V, \quad (1)$$

$$\Delta \psi = -\omega, \quad (2)$$

$$V|_{t=0} = 0, \quad V|_{\partial G} = V(x, y, t), \quad (3)$$

$$\omega|_{t=0} = 0, \quad \omega|_{\partial G} = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right)_{\partial G} \quad (4)$$

$$\psi|_{t=0} = 0, \quad \psi|_{\partial G} = \psi(x, y, t), \quad (5)$$

где Re – число Рейнольдса; ∇ – градиент, Δ – оператор Лапласа.

Решение ищется на временном интервале $t \in [0, T]$ в области $G = \{(x, y) : x \in [0, l], y \in [0, h]\}$. Поставленная дифференциальная задача аппроксимируется на равномерной конечно-разностной сетке с шагом h_x, h_y по пространственным переменным и шагом τ о времени:

$$G_h = \left\{ (x_i, y_j) : x_i = ih_x, y_j = jh_y, i = 0..n, j = 0..m \right\}, t_k = k\tau, k = 0..T,$$

$$\frac{\delta \omega_h}{\delta t} = -u_h^n \frac{\delta \omega_h}{\delta x} - v_h^n \frac{\delta \omega_h}{\delta y} + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\delta^2 \omega_h}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 \omega_h}{\delta y^2} \right), \quad (6)$$

$$\frac{\delta^2 \psi_h^{n+1}}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 \psi_h^{n+1}}{\delta y^2} = -\omega_h^{n+1}, \quad (7)$$

$$V_h|_{t=0} = 0, \quad V_h|_{\partial G} = V_h(x_i, y_j, t_k) \quad (8)$$

$$\omega_h|_{t=0} = 0, \quad \omega_h|_{\partial G} = \left(\frac{\partial v_h}{\partial x} - \frac{\partial u_h}{\partial y} \right)_{\partial G}, \quad (9)$$

$$\psi_h|_{t=0} = 0, \quad \psi_h|_{\partial G} = \psi_h(x, y, t), \quad (10)$$

где $\frac{\delta}{\delta x}$, $\frac{\delta}{\delta y}$ и $\frac{\delta^2}{\delta x^2}$, $\frac{\delta^2}{\delta y^2}$ – аппроксимации с центральными разностями производных второго и первого порядков по пространственным переменным; $\frac{\delta}{\delta t}$ – односторонняя аппроксимация для частной производной по времени; $\omega_h, u_h, v_h, \psi_h$ – дискретные аналоги искомых величин, аппроксимированных в узлах конечно-разностной сетки.

Для компонентов вектора скорости ставятся граничные условия вида:

$$\begin{aligned} \Gamma_1 : u &= \frac{6u_0}{a^2}(a(y-b) - (y-b)^2), \quad u_0 = \frac{2}{3}\left(1 - \frac{1}{(1+t)^{10}}\right), \quad v = 0, \\ \Gamma_4 : u &= 0, \quad v = \frac{6v_0}{c^2}(c(x-b) - (x-b)^2), \quad v_0 = -\frac{u_0 a}{4c}, \\ \Gamma_6 : u &= \frac{6u_1}{a^2}(a(y-b) - (y-b)^2), \quad u_1 = \frac{1}{a}(u_0 a - v_0 c), \quad v = 0, \\ \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_5, \Gamma_7, \Gamma_8 : u &= v = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

На входном, выходном отверстии и верхней кровле используются параболические профили скоростей. Это означает, что максимальное значение скорости достигается в середине отрезка, а на концах отрезков скорость равна нулю. Соотношение между значениями скоростей выбирается таким образом, что выполняется соотношение баланса между втекающей и вытекающей жидкостью, а через верхнюю кровлю подается четыре объема жидкости, втекающей через входное отверстие. В начальный момент времени скорость поступления воды через входное отверстие равна нулю и возрастает с течением времени до константы.

Полученная разностная задача решается в три этапа. Сначала решается уравнение переноса вихря методом продольно-поперечной прогонки. Далее полученное значение вихря подставляется в правую часть уравнения Пуассона для функции тока. Уравнение (7) решается методом минимальных невязок неполной аппроксимации, так как этот метод не требует от оператора уравнения обладания свойствами самосопряженности и положительной определенности. Из определения функции тока (12) по найденному значению определяются значения компонентов вектора скорости на текущем шаге по времени:

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} = v, \quad \frac{\partial \psi}{\partial x} = -u. \quad (12)$$

Далее с использованием найденных скоростей решается уравнение переноса примеси (13):

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + (v - v_s) \frac{\partial C}{\partial y} = D \Delta C, \quad (13)$$

где $C = C(x, y, t)$ – концентрация примеси; $V = (u, v)$ – вектор скорости; v_s – скорость оседания примеси; D – коэффициент диффузии; Δ – оператор Лапласа.

Для примесей ставится начально-краевая задача (14)–(15):

$$C(x, y, 0) = C_0(x, y), \quad (14)$$

$$\Gamma_1 : C = C_1(x, y, t),$$

$$\Gamma_4 : C = C_2(x, y, t),$$

$$\Gamma_6 : \frac{\partial C}{\partial x} = 0, \quad (15)$$

$$\Gamma_3, \Gamma_5, \Gamma_7, \Gamma_8 : \frac{\partial C}{\partial y} = 0,$$

$$\Gamma_2 : \frac{\partial C}{\partial y} = \alpha C,$$

где α – коэффициент, характеризующий интенсивность образования твердого осадка на нижней границе области решения.

Граничные условия для примесей ставятся таким образом, что концентрация примеси промышленных вод на входе и грунтовых вод, подаваемых через верхнюю кровлю, известны. На выходном отверстии ставится условие свободного вытекания примеси. На нижней границе области решения ставится условие непроницаемости стенки с возможностью образования твердого осадка. На всех остальных границах ставится условие непроницаемости стенок.

Были проведены тестовые расчеты поставленной задачи с разными входными данными. На рис. 3 представлена картина установившегося течения со следующими числовыми значениями параметров

$$a=0,5; b=0,5; c=2; d=0,1; \operatorname{tg} \alpha=1; h_x=h_y=0,02; \tau=0,01; T=1000.$$



Рис. 3. Картина течения

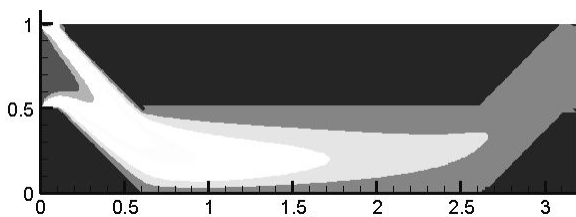


Рис. 4. Картина распространения примеси

На рис. 3 представлены треки движения жидкости. В левом нижнем углу области решения образуется вихрь.

При данных характеристиках течения была проведена серия расчетов для разных коэффициентов диффузии, скорости оседания примеси, начальных значений концентрации примеси в грунтовых и шламовых водах.

На рис. 4 представлена картина распределения примеси при установившемся течении и со следующими значениями входных параметров:

$$D=0,02; v_s = 0,02; C_0(x, y, t)=1; C_1(x, y, t) = 0,01; \alpha=0,01.$$

Как видно из рис. 4, у примеси есть ядро с наибольшей концентрацией, концентрация примеси на выходе значительно меньше, за счет фильтрации воды через верхнюю кровлю примеси вытесняются к нижней границе области решения, что дополнительно препятствует выходу примеси.

Литература

1. Захаров Ю. Н. Градиентные итерационные методы решения задач гидродинамики. – Новосибирск: Наука, 2004.
2. Роч П. Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980.

В-СПЛАЙНОВЫЕ ПОВЕРХНОСТИ В АЛГОРИТМЕ АДАПТАЦИИ ФОРМЫ СПЛЭТОВ К ИЗМЕНЯЕМОЙ ТОПОЛОГИИ НАПЫЛЯЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОКРЫТИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ФОРМИРОВАНИЯ ЕГО СТРУКТУРЫ

В. И. Иордан, В. А. Бледнов*, О. П. Солоненко*

Алтайский государственный университет, г. Барнаул

**Учреждение Российской академии наук*

Институт теоретической и прикладной механики

им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск

Моделирование слоистой структуры покрытия, формируемого из полностью расплавленных частиц при их напылении на подложку струей плазматрона, играет важную роль для предсказания свойств и структуры напыляемого покрытия. При плазменном напылении [1] частицы порошкового материала подвергаются полному плавлению, и покрытие формируется путем послойной стохастической укладки отдельных сплэтов – растекшихся и затвердевших на напыляемом покрытии капель расплава. На структурные и функциональные свойства формирующегося в процессе напыления покрытия в значительной степени оказывают влияние «ключевые физические параметры (КФП)» соударения капли расплава с основой: скорость, температура и размер частицы, температура основы и топология ее поверхности. В работе [1] развита и апробирована теория равновесного затвердевания капель металлических расплавов при их деформации на подложках. Для идеальной (зеркальной) подложки, как показывают эксперименты [1], в качестве модели сплэта может быть принята форма диска (круглого цилиндра малой высоты) с диаметром основания $D_s = 2R_s$ и много меньшей высотой (толщиной) h_s . Параметры каждого сплэта D_s и h_s рассчитываются по значениям КФП, сгенерированных датчиками «псевдослучайных» чисел согласно заданным исследователем гистограммам плотностей распределений. Для сплэтов, образующих первый монослой на идеальной подложке, модель диска оказывается вполне адекватна [1]. Для последующих наносимых на поверхность покрытия слоев сплэтов необходимо учитывать изменяемую топологию напыляе-

мой поверхности покрытия и, как следствие этого, деформацию поверхностей нижнего и верхнего оснований укладываемых на поверхность покрытия сплэтов. Следовательно, достоверность результатов моделирования структуры напыляемого покрытия во многом определяется точностью расчета формы отдельных сплэтов при заданных значениях КФП.

Алгоритм укладки каждого сплэта на напыляемую поверхность учитывает изменение топологии напыляемой поверхности в результате каждой такой укладки, использует для расчета диаметра и толщины сплэта генерируемые датчиками «псевдослучайных» чисел значения КФП капли расплава. Кроме того, в алгоритме моделирования используется дискретная прямоугольная сетка «узловых» точек в плоскости XY (d_x и d_y – шаги дискретизации, соответственно по осям X и Y). А именно, дискретность X, Y -координат всех точек поверхности (в отличие от их Z -координат) позволяет оперировать этими координатами в целочисленном виде – «обезразмеренными» на масштабы d_x и d_y (Z -координаты соответствуют реальным размерам покрытия). Алгоритм укладки сплэтов на напыляемую поверхность реализуется в два этапа.

На первом этапе алгоритма вычисляются в вещественном формате «оценки» Z -координат так называемого «опорного» массива вершин, проекция которого на плоскость XY составляет «квадрат» с центром, соответствующим «лобовой» точке столкновения очередной капли с поверхностью (ее координаты обозначены (x_p, y_p, z_p) соответственно), и со стороной, равной диаметру сплэта D_S , то есть.

$$P_{i,j} = (X_{i,j} = i; Y_{i,j} = j; Z_{i,j}), \left\{ \begin{array}{l} i = x_p - R_S, \dots, x_p, \dots, x_p + R_S; \\ j = y_p - R_S, \dots, y_p, \dots, y_p + R_S, \end{array} \right\} \quad (1)$$

где x_p, y_p – «обезразмеренные» целочисленные координаты, а реальные координаты равны, соответственно, $x_p d_x$ и $y_p d_y$. Аналогично реальные X, Y -координаты «опорных» вершин равны, соответственно, $i d_x$ и $j d_y$.

На втором этапе алгоритма методом «сплайн-аппроксимации» производится сглаживание Z -координат «опорного» массива вершин. На участок сглаженной поверхности $Z = F(X, Y)$, проекция которого является вписанным в квадрат кругом, производится укладка очередного сплэта (этот участок сглаженной поверхности принимается в качестве поверхности нижнего основания сплэта).

Возвращаясь к первому этапу алгоритма укладки, можно отметить, что при формировании «опорного» массива вершин Z -координаты опорных вершин, проекции которых на плоскость XY не «захватываются» вписанным в квадрат кругом (проекцией сплэта), приравниваются Z -координатам соответствующих точек напыляемой поверхности. Для оценки Z -координат вершин, проекции которых попадают в проекцию сплэта на плоскость XY , в процедуре оценки этих координат принято вполне обоснованное допущение:

центральная часть сплэта – ядро сплэта, также представляющее собой диск диаметром $D_0 = 2R_0 = k_D \cdot D_p$, немногим больше диаметра D_p исходной капли ($1 < k_D < 1,3$), своим нижним основанием полностью повторяет контактную часть напыляемой поверхности, так как жидкая капля при столкновении с поверхностью имеет большое напорное давление. Поэтому Z -координаты опорных вершин, на которые «опирается» ядро сплэта, приравниваются Z -координатам соответствующих точек напыляемой поверхности.

Периферийная же часть сплэта в виде кольца, ограниченного двумя окружностями с диаметрами D_0 и D_s , образуется растеканием капли за пределы ядра сплэта вдоль шероховатой поверхности за счет превосходства высокой радиальной над направленной вниз нормальной составляющей скорости растекания (жидкость пролетает по инерции, образуя поры). Процедура оценивания Z -координат опорных вершин для кольца сплэта учитывает физический аспект растекания капли в виде «цилиндрической» волны и использует так называемый «шаблон узловых точек (ШУТ)» проекции сплэта на плоскость XU с учетом исходной дискретизации X, Y -координат. Порядок последовательного оценивания Z -координат опорных вершин задается обходом по часовой стрелке ломаных кривых ШУТ, являющихся дискретным представлением дуг окружностей – текущих состояний границы фронта этой волны. Оценивание текущей Z -координаты опорной вершины можно пояснить рис. 1, который отображает в виде «жирной» кривой линии профиль напыляемой поверхности вдоль выделенного радиального направления к этой текущей точке. На рис. 1 точка A соответствует «лобовой» точке столкновения с координатами (x_p, y_p, z_p) , с которой совмещен центр сплэта. Как уже отмечалось выше, для точек поверхности в зоне ядра сплэта независимо от топологии шероховатости (на рис. 1 от точки A до B) Z -координаты опорных вершин будут повторять Z -координаты точек напыляемой поверхности. За пределами ядра сплэта в выделенном радиальном направлении возможны различные варианты сочетаний его участков, помеченных на рис. 2 значениями признака K ($K = 0, K = 1, K = 2, K = 3$).

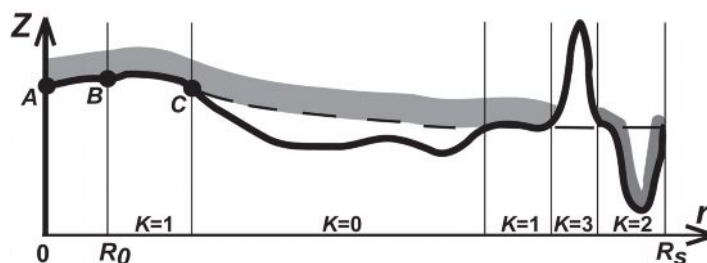


Рис. 1. Образец профиля поверхности вдоль выделенного радиального направления

На рис. 1 рассмотрен вариант сочетания участков, в котором Z -координаты точек профиля поверхности непосредственно за ядром сплэта не превосходят Z -координату точки B на величину, большую $h_0 = k_h \cdot h_s$ (коэффициент

k_h немногим больше 1). Такие и подобные этому участки помечаются признаком $K = 1$, т. е. на таких участках профиля допускается натекание жидкости растекающейся капли, в противном же случае этот участок был бы помечен признаком $K = 3$, на который жидкость капли натекать не смогла бы (рис. 1 содержит подобный участок).

За препятствием жидкость, обтекая его с боковых направлений в данном радиальном направлении, может затечь (на рис. 1 участок помечен признаком $K = 2$) только в случае, когда профиль поверхности оказывается ниже расчетной траектории (на рис. 1 помечена пунктиром) вязкого растекания капли, определяемой с помощью радиальной ($u_r = \beta \cdot r \cdot z$) и нормальной составляющих ($u_z = -\beta \cdot z^2$) скорости растекания капли из дифференциального уравнения (производная от функции профиля в радиальном направлении равна тангенсу угла затекания жидкости, равного отношению составляющих скорости растекания с учетом поправочного параметра α):

$$\frac{dz}{dr} = \alpha \frac{u_z}{u_r} = -\alpha \frac{z}{r}. \quad (2)$$

Решением (2) с учетом начального условия $z(r_c) = z_c$ является зависимость

$$z(r) = z_c + R_0 \cdot \left[(r / R_0)^{-\alpha} - (r_c / R_0)^{-\alpha} \right]. \quad (3)$$

Точки расчетной траектории (3) растекания капли, которые оказываются выше точек профиля поверхности, на рис. 1 определяют участок с признаком $K = 0$, и именно, они сохраняются в массиве опорных вершин. Участок с признаком $K = 0$ может следовать только за участком ядра сплэта или только, как показано на рис. 1, за участком $K = 1$ (и не может следовать за участками с признаками $K = 3$ и $K = 2$).

Таким образом, в опорный массив вершин $P_{i,j}$ вместо точек профиля из участков типа $K = 0$ войдут точки расчетных (пунктирных) траекторий этих участков и все точки профиля оставшихся участков каждого из этих направлений. В опорный массив, кроме опорных вершин, на которые «опирается» сплэт, войдут и точки поверхности, проекции которых на плоскость XU дополняют проекцию сплэта до «опорного» квадрата вершин, центрированного в лобовой точке.

В сформированный для второго этапа алгоритма укладки сплэта двумерный массив опорных вершин $\{P_{i,j}\}$ добавляются путем вставки 4 строки и 4 столбца для того, чтобы обеспечить «повторность» с кратностью 3 вершин круговой границы ядра сплэта. Повторность вершин границы ядра сплэта с учетом свойства «составных рациональных B -сплайновых поверхностей» в параметрической форме [2], используемых для сглаживания «опорного» массива вершин, обеспечивает во избежание перепадов и разрезов гладкость

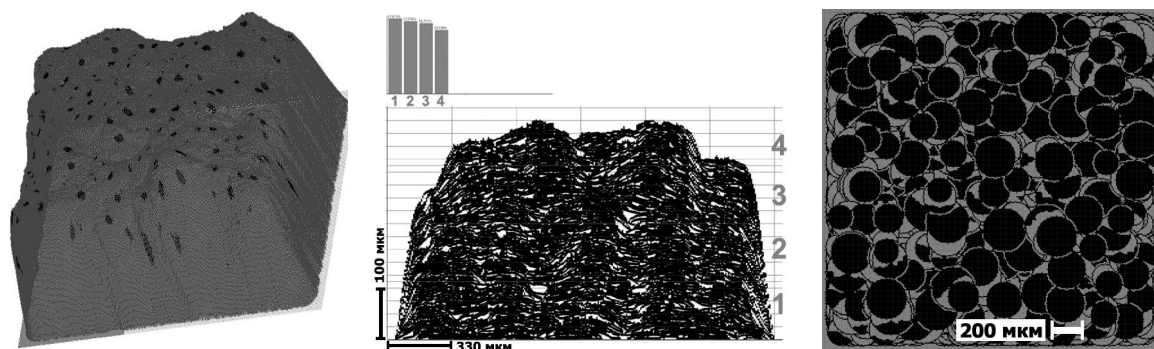
B -сплайновой поверхности на границе раздела ядра и периферийного кольца сплэта (затвердевание растекшейся капли физически обеспечивает гладкую поверхность сплэта). Таким образом, по расширенному опорному массиву вершин рассчитывается гладкая поверхность $Z = F(X, Y)$ с использованием «составных рациональных B -сплайновых поверхностей» в параметрической форме [2]

$$R_{i,j}(u, v) = \begin{pmatrix} X_{i,j}(u, v) \\ Y_{i,j}(u, v) \\ Z_{i,j}(u, v) \end{pmatrix} = \frac{\sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 w_{kl} \cdot n_k(u) \cdot n_l(v) \cdot P_{k-1+i, l-1+j}}{\sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 w_{kl} \cdot n_k(u) \cdot n_l(v)}, \quad 0 \leq u, v \leq 1;$$

$$i = 0, 1, 2, \dots, m; \quad j = 0, 1, 2, \dots, n; \quad m = n = D_S + 4.$$

Функциональные коэффициенты $n_k(u)$ определяются по формулам $n_0(u) = (1-u)^3/6$, $n_1(u) = (3u^3 - 6u^2 + 4)/6$, $n_2(u) = (-3u^3 + 3u^2 + 3u + 1)/6$, $n_3(u) = u^3/6$ и подчиняются условию «нормировки» $\sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 n_k(u) \cdot n_l(v) = 1$. При этом кубические многочлены $n_l(v)$ рассчитываются по аналогичным формулам с учетом замены параметра u на v . Коэффициенты w_{kl} определяют «вес» соответствующей вершины и позволяют «регулировать» форму нижнего основания сплэта и тем самым «регулировать» форму и «эффективные» размеры пор, образующихся под сплэтами.

Затем из массива пересчитанных в результате сплайн-аппроксимации вершин отбрасываются предварительно добавленные строки и столбцы повторных вершин, а также и не входящие в зону кругового сплэта вершины поверхности. Вершины с признаком $K = 3$ уменьшают величину эффективной площади S_{eff} поверхности нижнего основания сплэта, на которую затем равномерно распределяется весь объем сплэта. То есть исходную расчетную толщину h_s сплэта необходимо скорректировать (увеличить) с учетом равенства объемов укладываемого сплэта и исходной капли, как $\bar{h}_s = h_s \cdot (\pi R_s^2 / S_{eff})$. Затем в соответствующей структуре данных фиксируются координаты точек верхнего основания, параллельного нижнему основанию укладываемого сплэта с высотой \bar{h}_s . Тем самым завершается моделирование укладки на напыляемую поверхность очередного сплэта. Алгоритм укладки на поверхность очередного сплэта циклически повторяется до тех пор, пока не будет «исчерпано» заданное значение расхода частиц N_p . Затем рассчитываются структурные характеристики покрытия (пористость, адгезионная прочность связи покрытия с подложкой и т. п.), показанные на рис. 2.



а)

б)

в)

Рис. 2. Результаты моделирования: а – внешний вид покрытия; б – пример изображения шлифа (вертикального разреза покрытия) с гистограммой пористости по слоям; в – изображение первого монослоя покрытия (вид сверху)

Литература

1. Солоненко О. П. Высокоэнергетические процессы обработки материалов / О. П. Солоненко, А. П. Алхимов, В. В. Марусин и др. – Новосибирск: Наука; Сибирская издательская фирма РАН, 2000. – 425 с.
2. Шикин Е. В., Плис А. И. Кривые и поверхности на экране компьютера: Руководство по сплайнам для пользователя. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1996. – 240 с.

ПАКЕТ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ РАСЧЕТА КИНЕТИКИ ТВЕРДОФАЗНЫХ ЦЕПНЫХ РЕАКЦИЙ С УЧЕТОМ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ

*А. В. Каленский, М. В. Ананьева, А. П. Боровикова
Кемеровский государственный университет*

Процессы разложения, протекающие в твердых телах под воздействием внешних факторов (свет, излучение и т. д.), являются частным случаем неравновесных процессов физической и химической кинетики. Протекающие при разложении химические реакции являются одним из каналов перераспределения энергии в системе и влияют на кинетику установления стационарного состояния и его характеристики.

В работе рассмотрена методика моделирования разветвленной твердофазной цепной реакции в твердом теле на примере кристалла азида серебра, инициированного импульсным излучением. При моделировании учитываются диффузия активных частиц и передача энергии химической реакции кристаллической решетке. Предложенные методики учета процессов переноса учитывают реальную геометрию образца и параметры инициирующего импульса.

Для моделирования процесса разложения кристаллов азида серебра в системе Matlab создан пакет прикладных программ, численно решающих систему до 2000 интегродифференциальных уравнений. Он позволяет рас-

считывать кинетику процесса разложения азиды серебра, а также критические параметры инициирования взрывного разложения.

Моделирование процесса разложения в азиде серебра осуществлялось на основе модели разветвленной твердофазной цепной реакции [1], учитывающей диффузию носителей цепи и возможность передачи энергии химической реакции кристаллической решетке, приводящей к генерации e.h. пары в r_0 -окрестности области протекания реакции.

При моделировании использовался метод Рунге – Кутты с переменным шагом по времени 1–5-го порядка. Рассматриваемый класс методов имеет большое преимущество перед остальными, состоящее в том, что скорость счета слабо зависит от точности вычисления якобиана системы, который может определяться численным дифференцированием. Эффективность пакета обусловлена удачными оценками погрешности интегрирования и тем обстоятельством, что якобиан системы пересчитывается не на каждом шаге интегрирования.

Распределенная задача решалась методом конечных разностей с переменным и постоянным шагом по координате.

Скорость рекомбинации на поверхности кристалла значительно превышает объемную [1], поэтому граничное условие имеет вид

$$\begin{cases} p = 0, \\ A = 0, \\ N_2 = 0, \end{cases}$$

при $x = R/2$, где R – размер кристалла.

При моделировании инициирования взрывного разложения кристаллов импульсами с различным диаметром зоны облучения ($d < R$) зависимость плотности энергии инициирующего импульса от пространственной координаты имела вид:

$$\begin{cases} H(x) = const, & x \leq d/2, \\ H(x) = 0, & x > d/2. \end{cases}$$

Размер кристалла принимался постоянным и равным 1 мм.

При моделировании инициирования взрывного разложения микрокристаллов ($d > R$) плотность энергии инициирующего импульса принималась постоянной и не зависящей от размера образца. В этих условиях рассчитаны зависимости пороговой плотности энергии инициирования от диаметра зоны облучения и размера микрокристаллов. В качестве пороговой принималась наименьшая плотность энергии инициирования, при которой наблюдалось взрывное разложение образца (степень разложения превышала 50%).

С использованием модели и экспериментально оцененных ранее констант [1] рассмотрено решение прямой кинетической задачи: получен вид кинетических зависимостей, отражающих изменение распределения реагентов по кристаллу с момента зарождения до окончания реакции, рассчитана зависимость плотности энергии лазерного импульса, необходимая для инициирования взрыв-

ного разложения, от размеров образца, диаметра зоны облучения и показателя поглощения образцом энергии иницирующего импульса. На рис. 1 представлено распределение концентрации дырок в образце азиде серебра в случае локального импульсного иницирования при диаметре зоны облучения 600 мкм.

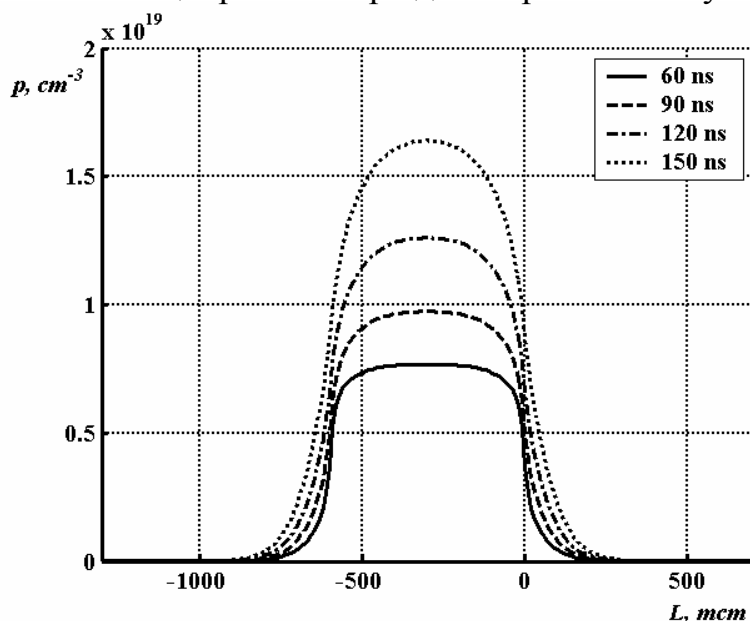


Рис. 1. Распределение концентрации дырок по кристаллу на стадии развития реакции в зоне облучения

С использованием пакета прикладных программ было проведено математическое моделирование движения волны цепной реакции по кристаллам АТМ (рис. 2). В рамках этих расчетов было показано, что наличие градиента сечения в нитевидном кристалле AgN_3 приводит к изменению значения средней скорости волны взрывного разложения: при уменьшении сечения скорость реакции возрастает, при увеличении – уменьшается.

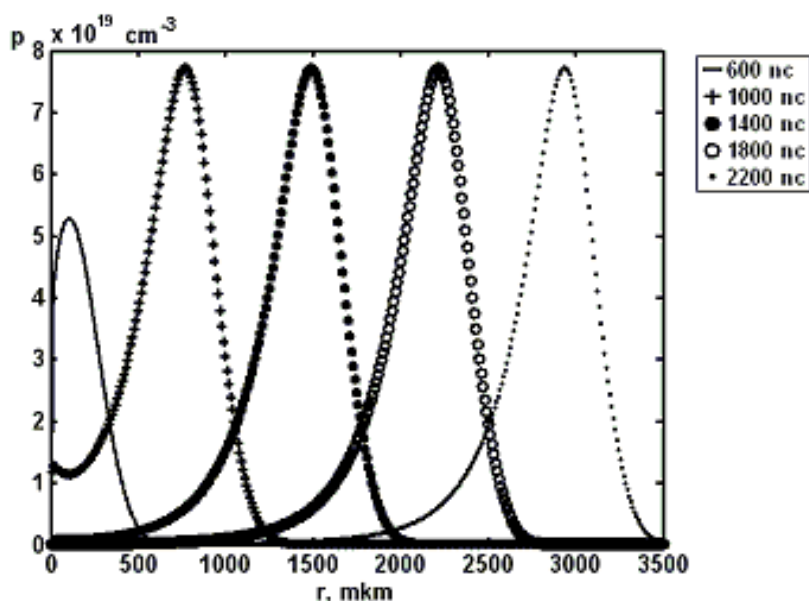


Рис. 2. Распределение концентрации дырок через 600, 1000, 1400, 1800 и 2200 нс после начала реакции

Пакет прикладных программ позволяет рассчитывать значения критической плотности энергии инициирования разветвленных твердофазных цепных реакций в зависимости от размеров микрокристаллов АС, диаметра зоны облучения и показателя поглощения. Показано, что причиной проявления размерных эффектов разветвленных твердофазных цепных реакций являются ингибирующее действие поверхности и возможность быстрой передачи энергии химической реакции кристаллической решетке, приводящей к нелокальности акта ветвления цепи [2].

Литература

1. Кригер В. Г. Размерный эффект при инициировании разложения азидов тяжелых металлов импульсным излучением / В. Г. Кригер, А. В. Каленский // Химическая физика. – 1996. – № 3. – С. 40–47.
2. Кригер В. Г. Новый механизм распространения твердофазной цепной реакции / А. В. Каленский, В. Г. Кригер, Б. П. Сечкарев, и др. // Вестник ТГУ. Сер. Математика. Кибернетика. Информатика. Приложение. – 2006. – № 19. – С. 87–90.
3. Кригер, В. Г. Зависимость критической плотности энергии инициирования взрывного разложения азидов серебра от размеров монокристаллов / В. Г. Кригер, А. В. Каленский, М. В. Ананьева, А. П. Боровикова // ФГВ – 2008. – Т. 44, № 2. – С. 76.

О МЕХАНИЗМЕ УСКОРЕНИЯ ОБУЧАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ С РАСТЯЖЕНИЕМ ПРОСТРАНСТВА

В. Н. Крутиков

Кемеровский государственный университет

На основе алгоритмов обучения с растяжением пространства строятся эффективные релаксационные субградиентные методы решения негладких задач минимизации [1–3]. Целью работы является расчленение алгоритмов обучения с растяжением пространства на шаги процесса, модификация которых позволит построить более эффективные методы.

Постановка задачи обучения следующая. По данным наблюдения $g_i \in R^n$, $y_i \in R^1$, $i = 0, 1, 2, \dots$, процесса $y_i = (s^*, g_i) + \xi_i$, где ξ_i – ошибка наблюдения, необходимо найти вектор неизвестных параметров $s^* \in R^n$. Алгоритм обучения с растяжением пространства имеет вид [1, 3]:

$$s_{i+1} = s_i + H_i g_i \frac{[y_i - (s_i, g_i)]}{(g_i, H_i g_i)}, \quad (1)$$

$$H_{i+1} = H_i - \left(1 - \frac{1}{\alpha^2}\right) \frac{H_i g_i g_i^T H_i^T}{(g_i, H_i g_i)}, \quad (2)$$

где $\alpha \geq 1$, $H_i \in R^{n \times n}$ – симметричная, строго положительно определенная матрица (такие матрицы будем обозначать $H > 0$).

В настоящей работе выделяются и анализируются элементы, обеспечивающие сходимость алгоритма обучения (1), (2). В результате анализа выделены две фазы алгоритма обучения. На первой фазе (1) производятся со-

кращение невязки за счет операции смещения вдоль вектора. На второй фазе (2) производится растяжение пространства вдоль заданного вектора.

В алгоритме обучения (1), (2) смещение и растяжение производятся вдоль одного и того же вектора. В работе предлагается использовать для смещения и растяжения различные векторы, обеспечивающие более быструю сходимость алгоритма обучения. Подобное расчленение позволяет расширить класс алгоритмов обучения с растяжением пространства и получить новые быстроходящиеся субградиентные методы минимизации.

Литература

1. Крутиков В. Н., Петрова Т. В. Релаксационный метод минимизации с растяжением пространства в направлении субградиента // Экономика и мат. методы. – 2003. – Т. 39, вып. 1. – С. 106–119.
2. Крутиков В. Н., Горская Т. А. Семейство релаксационных субградиентных методов с двухранговой коррекцией матриц метрики // Экономика и мат. методы. – 2009. – Т. 45, №4. – С. 105–120.
3. Крутиков В. Н. Обучающиеся методы безусловной оптимизации и их применение. – Томск: Изд-во Том. гос. пед. ун-та, 2008. – 264 с.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО НЕОДНОРОДНЫХ СТАЦИОНАРНЫХ РЕШЕНИЙ ОДНОЙ СИСТЕМЫ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Е. О. Малашкевич, Н. В. Емельяненко
Кемеровский государственный университет

В прямоугольнике $[0, L] \times [0, T]$ рассматривается система дифференциальных уравнений, моделирующая процесс взаимодействия зоо- и фитопланктона [1]:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = d_1 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + ((\alpha + \beta u + \gamma u^2) - v), \\ \frac{\partial v}{\partial t} = d_2 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + (u - (1 + \delta v))v. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь u, v – плотности взаимодействующих популяций; d_1, d_2 – коэффициенты диффузии; $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ – неотрицательные коэффициенты, описывающие процессы развития и взаимодействия популяций. Для системы (1) ставятся начальные и краевые условия:

$$\begin{cases} u|_{t=0} = u_0(x), \quad v|_{t=0} = v_0(x), \\ \left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_0 = \left. \frac{\partial v}{\partial x} \right|_0 = \left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_L = \left. \frac{\partial v}{\partial x} \right|_L = 0 \end{cases} \quad (2)$$

с некоторыми функциями $u_0(x)$, $v_0(x)$, задающими начальное распределение плотностей.

В силу того, что в условии (2) ставится вторая краевая задача, каждому решению алгебраической системы

$$\begin{cases} 0 = (\alpha + \beta u + \gamma u^2) - v \\ 0 = u - (1 + \delta v) \end{cases} \quad (3)$$

соответствует пространственно однородное стационарное решение задачи (1), (2). Известно [2], что при некоторых значениях параметров в системе проявляется так называемый эффект диффузионной неустойчивости, заключающийся в том, что устойчивое пространственно однородное (т. е. соответствующее равным нулю коэффициентам диффузии) стационарное решение системы (1) с ростом коэффициентов диффузии теряет устойчивость и в его окрестности рождается асимптотически устойчивое пространственно неоднородное стационарное решение краевой задачи (1), (2).

Целью работы является численное исследование пространственно неоднородных стационарных решений задачи (1), (2), их областей притяжения, зависимости их свойств от значений параметров. Для построения решений использовался метод стабилизации при $t \rightarrow +\infty$, что возможно в силу их асимптотической устойчивости. Для решения задачи (1), (2) была написана программа, использующая метод прогонки [3] и включающая на каждом слое по t итерации для аппроксимации нелинейных членов в системе (1).

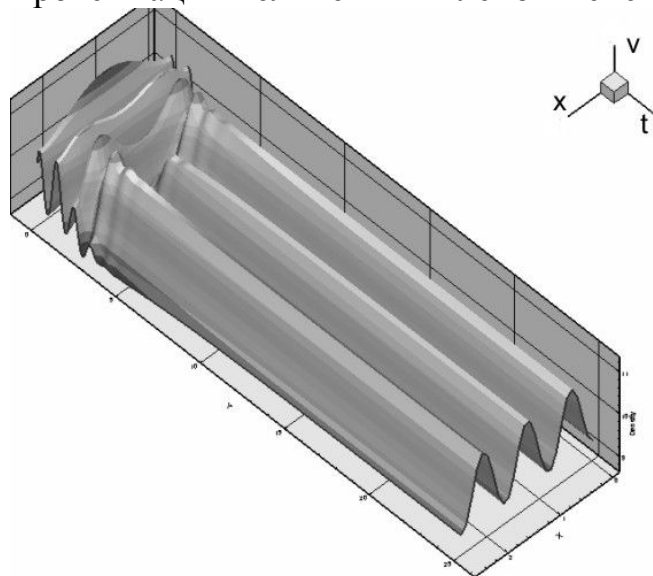


Рис. 1. Стабилизация компоненты v к пространственно неоднородному стационарному решению

На рис. 1 изображен график компоненты $v(x,t)$ решения задачи (1), (2), стабилизирующейся к пространственно неоднородному стационарному решению.

Литература

1. Марри Дж. Нелинейные дифференциальные уравнения в биологии. Лекции о моделях. – М.: Мир, 1983. – 397 с.
2. Медвинский А. Б. Формирование пространственно-временных структур, фракталы и хаос в концептуальных экологических моделях на примере динамики взаимодействующих популяций планктона и рыбы // УФН. – Т. 132, №1. – 2002. – С. 31–66.
3. Вержбицкий В. М. Основы численных методов. – М.: Высш. шк., 2002. – 840 с.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СБОРА РЕЗУЛЬТАТОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

А. Н. Моисеев¹, М. В. Синяков²

¹Томский государственный университет

*²Филиал Кемеровского государственного университета
в г. Анжеро-Судженске*

Основным требованием к системе имитационного моделирования процессов массового обслуживания является предоставление системой достоверного результата функционирования.

В процессе имитационного моделирования модель (как следует из названия вида моделирования) имитирует работу реальной системы, т. е. воспроизводит процесс функционирования реальной системы во времени. При этом происходит постоянная смена состояний системы, называемых событиями [1]. Каждое событие системы представляет собой движение заявки, то есть ее вход или выход на соответствующем элементе системы. Стоит отметить, что очередное событие влечет за собой изменение соответствующей характеристики системы.

Например, поступление заявки в систему изменяет общее число заявок системы, влияя на показатель среднего числа заявок в системе. Или поступление заявки в очередь изменяет длину очереди, а следовательно, влечет изменение средней длины очереди и т. д.

Таким образом, основные числовые характеристики системы складываются из входов и выходов заявок на соответствующих элементах системы.

За сбор статистики отвечает класс `Statistic` [2], представляющий собой линейный список, каждый элемент которого – это пара значений типа `<double, int>`.

Значение `<double>` хранит время наступления очередного события (входа или выхода заявки), `<int>` – значение величины, представляющей собой количественную характеристику соответствующего элемента системы.

Например, рассмотрим объект статистики для длины очереди `QueueLength`, он хранит значение длины очереди в соответствующий момент времени. При изменении длины очереди (в случае поступления очередной

заявки или ухода заявки) происходит запись нового элемента статистики: записываются время наступления события и текущая длина очереди.

Таким образом, в процессе моделирования будет сформирован массив данных, представляющий собой статистику изменения длины очереди, из которого несложно получить значение средней длины.

Для некоторых видов статистики допускается отсутствие первого или второго значения. Отсутствие второго значения (`<int>`) возможно в том случае, если необходимо знать только моменты времени наступления события. Например, объект статистики `TimeStayInSystem` содержит время пребывания очередной заявки в системе. Данная статистика хранит только значение периода времени, в течение которого заявка находится в системе (ожидает в очереди или источнике повторных вызовов (ИПВ), либо находится на обслуживании). При этом ему не соответствует никакая числовая характеристика.

Первое же значение может отсутствовать, если собираются только количественные показатели статистики (вне зависимости от времени наступления события, повлекшего изменение показателя). Например, статистика `CountTryService` содержит число попыток обращения к обслуживаемому устройству из ИПВ до успешного обслуживания заявки. Время в данном случае неважно.

Таким образом, был разработан алгоритм сбора и хранения результатов функционирования имитационной модели системы имитационного моделирования в виде статистик отдельных элементов, представляющих собой динамику изменения числовых характеристик системы во времени.

Литература

1. Моисеев А. Н., Синяков М. В. Разработка объектно-ориентированной модели системы имитационного моделирования процессов массового обслуживания // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2010. – № 1. – С. 89–93.

2. Моисеев А. Н., Синяков М. В. Объектная модель событий системы имитационного моделирования процессов массового обслуживания // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур: тезисы докладов Восьмой Российской конференции с международным участием. – Томск: Изд-во НТЛ, 2010. – С. 40.

Работа выполнена в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)», проект № 4761.

РЕЛАКСАЦИИ РАЗРЕЗНОГО МНОГОГРАННИКА И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ЗАДАЧАМ ДИСКРЕТНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

А. В. Николаев

Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова

На практике одной из важнейших задач прикладной математики является задача дискретной оптимизации, т. е. выбора оптимального элемента из

конечного набора однотипных элементов. Примерами таких задач являются: поиск кратчайшего пути в графе, задача о назначениях, нахождение минимального остовного дерева, задача коммивояжера и многие другие.

Перспективным направлением исследования задач дискретной оптимизации является изучение ассоциированных с задачами выпуклых многогранников, свойства которых отражают вычислительную сложность порождающих их задач [1–3]. В частности, заметную роль играет плотность графов многогранников, которая служит нижней границей временной трудоемкости алгоритмов из широкого класса, включающего большинство известных комбинаторных методов. Также показано, что плотность полиномиальна по размерности для полиномиально разрешимых задач и экспоненциальна для труднорешаемых [4].

Таким образом, большой интерес представляют многогранники с высокой плотностью графа, но компактным внешним описанием, что позволяет применять на них эффективные алгоритмы линейного программирования. К ним, в частности, относится рассматриваемый в данной статье многогранник $M_n \in R^{4n^2}$, известный как «корневой полуметрический», определяемый системой ограничений вида:

$$x_{i,j} + y_{i,j} + z_{i,j} + t_{i,j} = 1, \quad (1)$$

$$x_{i,j} + y_{i,j} = x_{k,j} + y_{k,j}, \quad (2)$$

$$x_{i,j} + z_{i,j} = x_{i,k} + z_{i,k}, \quad (3)$$

$$x_{i,j} = x_{j,i}, \quad t_{i,j} = t_{j,i}, \quad y_{i,j} = z_{j,i}, \quad (4)$$

$$y_{i,i} = z_{i,i} = 0, \quad (5)$$

$$x_{i,j} \geq 0, \quad y_{i,j} \geq 0, \quad z_{i,j} \geq 0, \quad t_{i,j} \geq 0, \quad (6)$$

где i, j, k независимо пробегает значения $1, \dots, n$.

Отметим, что координаты точек многогранника M_n удобно представлять в виде матрицы $n \times n$ блоков (рис. 1).

$x_{i,j}$	$y_{i,j}$
$z_{i,j}$	$t_{i,j}$

Рис. 1. Блок координат

Ограничения (4) задают симметрию относительно главной диагонали в матрице из блоков, и, следовательно, достаточно ограничиться рассмотрением лишь верхней половины матрицы координат ($i < j$).

Многогранники этого класса обладают рядом особенностей, обуславливающих значительный к ним интерес (см. [3–5]). В частности, в статье [5] была установлена полиномиальная разрешимость задачи следующего вида:

для заданной линейной целевой функции f требуется выяснить, достигается ли $\max f(u): u \in M_n$ в целой вершине многогранника M_n .

Многогранник M_n^Z , порождаемый целыми вершинами из M_n , называется разрезным многогранником, так как известная NP -полная задача о максимальном разрезе (как, впрочем, и ряд других) сводится к оптимизации линейной функции на M_n^Z . Поэтому M_n является релаксационным многогранником задачи о разрезе, или релаксацией разрезного многогранника.

Определим, следуя [3], релаксации разрезного многогранника. С этой целью выберем натуральное k ($k < n$) и рассмотрим систему неравенств S , задающую многогранник M_k^Z ; обозначим через Θ число этих неравенств. Далее для каждого k -элементного подмножества $v = \{v_1, \dots, v_k\}$ множества $\{1, \dots, n\} = N_n$ рассмотрим систему S_v , получающуюся из системы неравенств S заменой переменных $x_{i,j}$, $y_{i,j}$, $z_{i,j}$ и $t_{i,j}$ на x_{v_i, v_j} , y_{v_i, v_j} , z_{v_i, v_j} и t_{v_i, v_j} . Дополним систему (1)–(6) совокупностью всех $\Theta \cdot C_n^k$ указанных неравенств, а многогранник, который задается расширенной системой ограничений, обозначим через $M_{n,k}$.

1. Нетрудно заметить, что многогранники M_1 и M_2 не имеют нецелочисленных вершин и совпадают с M_1^Z и M_2^Z соответственно, а значит, и релаксации $M_{n,1}$ и $M_{n,2}$ будут совпадать с самим многогранником M_n . Соответственно, $M_{n,3}$ – это первая отличная от M_n релаксация. $M_{n,3}$ задается системой (1)–(6) и дополнительными ограничениями

$$x_{i,i}^{a_i, a_i} + x_{j,j}^{a_j, a_j} + x_{k,k}^{a_k, a_k} - x_{i,j}^{a_j, a_i} - x_{i,k}^{a_k, a_i} - x_{j,k}^{a_k, a_j} \leq 1, \quad (7)$$

для каждой тройки i, j, k , где $1 \leq i < j < k \leq n$, и всех векторов $a \in [1, 2]^n$.

Теорема 1. а) Многогранник $M_{n,k}$ задается системой (1)–(6) и дополнительными ограничениями, среди которых присутствуют ограничения вида

$$x_{v_1, v_1}^{a_{v_1}, a_{v_1}} + x_{v_2, v_2}^{a_{v_2}, a_{v_2}} + \dots + x_{v_k, v_k}^{a_{v_k}, a_{v_k}} - x_{v_1, v_2}^{a_{v_2}, a_{v_1}} - x_{v_1, v_3}^{a_{v_3}, a_{v_1}} - \dots - x_{v_{k-1}, v_k}^{a_{v_k}, a_{v_{k-1}}} \leq 1, \quad (8)$$

для каждого k -элементного подмножества $v = \{v_1, \dots, v_k\}$ множества $\{1, \dots, n\}$ и всех векторов $a \in [1, 2]^n$.

б) Точка с координатами

$$x_{i,i}^{3-a_i, 3-a_i} = \frac{k-1}{k}, \quad x_{i,j}^{a_j, a_i} = 0$$

для всех i, j , где $1 \leq i < j \leq n$, и для всех векторов $a \in [1, 2]^n$ является вершиной многогранника $M_{n,k}$.

Утверждение « b » можно доказать по индукции, начав с $M_{n,3}$, и постепенно увеличивая размерность многогранника. Утверждение « a » напрямую следует из « b ».

Следствием теоремы является принципиальная сложность многогранников $M_{n,k}$. Для них число внешних ограничений экспоненциально по размерности пространства и превосходит $\sum_{i=3}^k C_n^i 2^i$. Количество нецелых вершин также экспоненциально и превосходит 2^n . Однако многогранники $M_{n,k}$ имеют еще более сложную структуру, чем описано в теореме 1. Начиная с $M_{n,5}$, появляются новые классы линейных ограничений, принципиально отличные от (8).

Теорема 2. Многогранник $M_{n,4}$ задается системой (1)–(6), (8) и дополнительными ограничениями вида

$$x_{i,i}^{a_i,a_i} + x_{j,j}^{a_j,a_j} + x_{k,k}^{a_k,a_k} + x_{l,l}^{a_l,a_l} - x_{i,j}^{a_j,a_i} - x_{i,k}^{a_k,a_i} - x_{i,l}^{a_l,a_i} - x_{j,k}^{a_k,a_j} - x_{j,l}^{a_l,a_j} - x_{k,l}^{a_l,a_k} \leq 1, \quad (9)$$

для каждой четверки индексов i, j, k, l , где $1 \leq i < j < k < l \leq n$, и для всех векторов $a \in [1, 2]^n$.

Теорема 3. Многогранник $M_{n,5}$ задается системой (1)–(6), (8)–(9) и дополнительными ограничениями вида

$$\begin{aligned} & \forall i, j, k, l, p: 1 \leq i < j < k < l < p \leq n, \forall a, b \in [1, 2]^n: \\ & x_{i,i}^{a_i,a_i} + x_{j,j}^{a_j,a_j} + x_{k,k}^{a_k,a_k} + x_{l,l}^{a_l,a_l} + x_{p,p}^{a_p,a_p} - x_{i,j}^{a_j,a_i} - x_{i,k}^{a_k,a_i} - x_{i,l}^{a_l,a_i} - x_{i,p}^{a_p,a_i} - \\ & - x_{j,k}^{a_k,a_j} - x_{j,l}^{a_l,a_j} - x_{j,p}^{a_p,a_j} - x_{k,l}^{a_l,a_k} - x_{k,p}^{a_p,a_k} - x_{l,p}^{a_p,a_l} \leq 1, \\ & 2 \left(x_{i,i}^{b_i,b_i} + x_{j,j}^{b_j,b_j} + x_{k,k}^{b_k,b_k} + x_{l,l}^{b_l,b_l} + x_{p,p}^{b_p,b_p} \right) - x_{i,j}^{b_j,b_i} - x_{i,k}^{b_k,b_i} - x_{i,l}^{b_l,b_i} - \\ & - x_{i,p}^{b_p,b_i} - x_{j,k}^{b_k,b_j} - x_{j,l}^{b_l,b_j} - x_{j,p}^{b_p,b_j} - x_{k,l}^{b_l,b_k} - x_{k,p}^{b_p,b_k} - x_{l,p}^{b_p,b_l} \leq 3, \\ & \forall i, j, k, l: 1 \leq i < j < k < l \leq n, \forall p \in N_n \setminus \{i, j, k, l\}, \forall c \in [1, 2]^n: \\ & 3 \cdot x_{p,p}^{1-c_p, 1-c_p} + 2 \cdot \left(x_{p,i}^{c_i,c_p} + x_{p,j}^{c_j,c_p} + x_{p,k}^{c_k,c_p} + x_{p,l}^{c_l,c_p} \right) - \\ & - x_{i,j}^{c_j,c_i} - x_{i,k}^{c_k,c_i} - x_{i,l}^{c_l,c_i} - x_{j,k}^{c_k,c_j} - x_{j,l}^{c_l,c_j} - x_{k,l}^{c_l,c_k} \leq 3. \end{aligned}$$

Нетрудно проверить, что определенные в теоремах 2 и 3 многогранники не имеют нецелочисленных вершин при n , равном 4 и 5 соответственно, и совпадают с многогранниками $M_{n,4}$ и $M_{n,5}$ по определению.

2. Как упоминалось выше, для многогранника M_n была установлена полиномиальная разрешимость задачи следующего вида: для заданной линейной целевой функции f требуется выяснить, достигается ли тах $f(u)$: $u \in M_n$ в целой вершине многогранника M_n . В основе этого результата лежит следующее

Утверждение. Каждая точка многогранника $M_{n,3}$ представляет собой выпуклую комбинацию вершин многогранника M_n , среди которых есть хотя бы одна целая.

Однако ситуация оказывается принципиально иной при переходе уже к следующей релаксации:

Теорема 4. Существуют точки $M_{n,4}$, в любом разложении которых в выпуклые комбинации вершин $M_{n,3}$, нет ни одной целой вершины.

В частности, этому условию удовлетворяет точка u , приведенная на рис. 2.

$\frac{1}{2}$		$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$
		$\frac{1}{2}$		$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$
			$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$
				$\frac{1}{2}$		$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$
					$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$
						$\frac{1}{2}$		$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$
							$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$
								$\frac{1}{2}$	
									$\frac{1}{2}$

Рис. 2. Координаты точки $u \in R^{60}$.

В общем случае, нетрудно доказать, что точки $u_n \in M_{n,4}$ ($n \geq 5$) следующего вида:

$$\forall i, j (i < j): x_{i,j} = t_{i,j} = \frac{1}{6}, y_{i,j} = z_{i,j} = \frac{1}{3}$$

раскладываются в выпуклые комбинации вершин $M_{n,3}$, среди которых нет целых. Однако ни одна из них не сохраняется уже на следующей релаксации: $M_{n,5}$.

Таким образом, ситуация для $M_{n,3}$ и произвольного многогранника $M_{n,k}$ остается невыясненной и требует дальнейшего изучения. Предположительно, имеет место следующая

Гипотеза. Для любого k найдется такое значение n , что существуют точки многогранника $M_{n,k}$, в любом разложении которых в выпуклые комбинации вершин $M_{n,3}$ нет ни одной целой вершины.

Литература

1. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. – М.: Мир, 1982. – 416 с.
2. Емеличев В. А., Ковалев М. М., Кравцов М. К. Многогранники, графы, оптимизация. – М.: Наука, 1981. – 344 с.
3. Деза М. М., Лоран М. Геометрия разрезов и метрик: Пер. с англ. Е. Пантелеевой и П. Сергеева / Под ред. В. Гришукина. – М.: МЦНМО, 2001.
4. Бондаренко В. А., Максименко А. Н. Геометрические конструкции и сложность в комбинаторной оптимизации. – М.: ЛКИ, 2008. – 84 с.
5. Бондаренко В. А., Урываев Б. В. Об одной задаче целочисленной оптимизации // Автоматика и телемеханика. – 2007. – №6. – С. 18–23.
6. PORTA: Polyhedron Representation Transformation Algorithm 1.4.0. Thomas Christof, Andreas Loebel. The Konrad-Zuse-Zentrum fur Informationstechnik Berlin, <http://www.zib.de/Optimization/Software/Porta/>

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К УЛУЧШЕНИЮ КАЧЕСТВА СЕТКИ НА ПРИМЕРЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О СХЛОПЫВАНИИ ПОЛУКРУГОВОЙ ВЫЕМКИ БЕССЕТОЧНЫМ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*Т. С. Рейн, С. Н. Карабцев, В. Н. Кленче
Кемеровский государственный университет*

Методы численного моделирования задач гидродинамики можно условно разделить на два класса. Во-первых, это классические сеточные методы (n-р метод конечных элементов), основным недостатком которых является то, что для каждого временного шага сетка, на которой строится решение, не теряет свою узловую связность, что, в свою очередь, при больших деформациях жидкости может быстро приводить к вырожденности сетки. В связи с этим развитие получили методы, в которых интерполяционные полиномы зависят только от набора соседних узлов без знания дополнительной информации о структуре сетки.

Характерным представителем этой группы является бессеточный метод конечных элементов (Meshless Finite Element Method). Идея MFEM заключается в использовании интерполяций Сибсона и Лапласа, базирующихся на ячейках Вороного первого и второго порядков. Все уравнения представлены в слабой форме. Для формирования дискретной системы уравнений используется метод взвешенных невязок в интегральной форме. При этом интегралы берутся по треугольным элементам, которые образуют с текущим узлом пары его естественных соседей. Множество естественных соседей для каждого узла, а также узлы свободной границы на новом временном шаге определяются с помощью методов «sweep line» и α -share, описанных в работе [1]. Характерной чертой метода MFEM является возможность с высокой степенью точности численно определять поле давления, которое необходимо для расчета гидродинамических нагрузок.

Для корректного разбиения области течения на треугольные элементы могут использоваться различные способы. При этом точность интерполяции зависит от качества триангуляции; например, в работе [2] показано, что для МКЭ якобиан преобразования треугольных элементов зависит от минимального угла элемента. В работе представлены реализация алгоритма Shimada [3] улучшения качества расчетной сетки. Сила межчастичного взаимодействия $f(t)$ подобна силе Ван-дер-Ваальса. В случае, если две частицы находятся ближе равновесного расстояния, возникает сила отталкивания, в противном случае – сила притяжения. При этом все “плохие” частицы неустойчивы и пытаются занять положение устойчивости.

На примере задачи о схлопывании полукруговой выемки (вязкая несжимаемая жидкость) проведено исследование влияния схемной вязкости, которая появляется в результате применения алгоритма Shimada, что дополнительно приводит к сглаживанию расчетной сетки.

Литература

1. Карабцев С. Н., Стуколов С. В. Эффективный алгоритм генерации конечноэлементной сетки для метода естественных соседей // Материалы III международной научной летней школы «Гидродинамика больших скоростей и численное моделирование». – Кемерово: ИНТ, 2006. – С. 401–409.
2. Терентьев А. Г., Афанасьев К. Е. Численные методы в гидродинамике: Учеб. пособие. – Чебоксары: Чуваш. ун-т, 1987. – 80 с.
3. Shimada K. Physically-Based Mesh Generation: Automated Triangulation of Surface and Volumes via Bubble Packing / Kenji Shimada // Massachusetts Institute of Technology, 1993. – P. 101–109.

ТЕЧЕНИЕ НЕОДНОРОДНОГО ГАЗА В ПОДЗЕМНОМ ГАЗИФИКАТОРЕ

М. С. Родина

Кемеровский государственный университет

1. Газификация угля – производство горючего (технологического) газа при неполном окислении органической массы угля, имеет давнюю историю с периодами бурного развития и спадами. Для стабильного получения горючего газа под землей необходимо учитывать особенности как самого пласта топлива, так и вмещающих его пород. Подземная газификация угля осуществляется под действием высокой температуры (1000–2000 °С) и подаваемого под давлением дутья – различных окислителей (как правило, воздуха, O_2 и водяного пара, реже – CO_2).

Для подвода дутья и отвода газа газификацию проводят в скважинах, расположенных в определенном порядке и образующих так называемый подземный генератор (рис. 1). В нем идут те же химические реакции, что и в обычных газогенераторах. Однако условия подземной газификации специфичны. Вмещающие пласт топлива горные породы представляют собой своеобразные стенки реактора и одновременно материал, заполняющий вы-

газованное пространство. В газификации участвуют подземные воды, а также влага угля и горных пород. В отличие от наземной газификации, где топливо по мере расходования поступает в газогенератор, в случае подземной газификации при выгзовывании одного участка пласта топлива требуется переход к другому. Возникает необходимость параллельно с газификацией одних участков пласта подготавливать к газификации иные его участки.

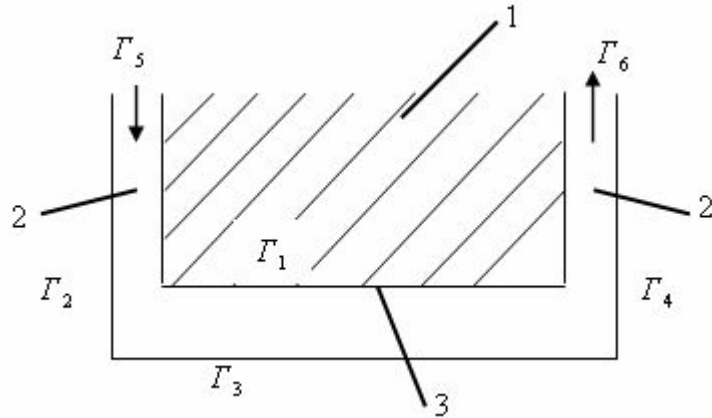


Рис. 1 Схема подземного генератора:
1 – пласт угля; 2 – скважины; 3 – фронт горения

Ввиду сложности модели разобьем её на несколько взаимосвязанных подсистем. В данной работе будет рассмотрен блок, связанный с моделированием движения совершенного газа внутри газификатора.

2. Движение неоднородного сжимаемого газа в подземном генераторе опишем следующей системой уравнений:

$$\rho(x, y, t) \cdot C_p \cdot \left(\frac{\partial T(x, y, t)}{\partial t} + U(x, y, t) \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial x} + V(x, y, t) \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial y} \right) =$$

$$= \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial y} \right) + \sum_{i=3}^6 q_i \cdot P_i, \quad (1)$$

$$T|_{\Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4, \Gamma_6} \cdot \frac{\partial T}{\partial n} = 0, \quad T|_{\Gamma_1} = T_1, \quad T|_{\Gamma_5} = T_5,$$

$$P = \frac{\rho \cdot R \cdot T}{\mu}, \quad (2)$$

$$\rho(x, y, t) \cdot \left(\frac{\partial U(x, y, t)}{\partial t} + U(x, y, t) \frac{\partial U(x, y, t)}{\partial x} + V(x, y, t) \frac{\partial U(x, y, t)}{\partial y} \right) +$$

$$+ \frac{\partial P(x, y, t)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial U(x, y, t)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial U(x, y, t)}{\partial y} \right), \quad (3)$$

$$\rho(x, y, t) \cdot \left(\frac{\partial V(x, y, t)}{\partial t} + U(x, y, t) \frac{\partial V(x, y, t)}{\partial x} + V(x, y, t) \frac{\partial V(x, y, t)}{\partial y} \right) + \frac{\partial P(x, y, t)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial V(x, y, t)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial V(x, y, t)}{\partial y} \right),$$

$$V|_{\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4} = U|_{\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4} = 0, \quad U|_{\Gamma_5, \Gamma_6} = 0, \quad V|_{\Gamma_5} = V_5, \quad V|_{\Gamma_6} = V_6,$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho U) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho V) = 0. \quad (4)$$

где $\rho(x, y, t)$ – плотность жидкости; $T(x, y, t)$ – температура; $U(x, y, t)$ и $V(x, y, t)$ – скорости по осям X и Y соответственно; $P(x, y, t)$ – давление; C_p – теплоёмкость газа; R – универсальная газовая постоянная; μ – коэффициент динамической вязкости воздуха; λ – коэффициент теплопроводности; $\sum_{i=3}^6 q_i^* p_i$ – тепловые эффекты химических реакций.

3. На прямоугольной области Ω введём сетку с шагами h_x по оси OX и h_y по OY . Введём τ – шаг по времени, затем аппроксимируем системы соответствующими центральными разностями. Сохраняя порядок уравнений, будем считать системы, полученные из (1) и (3), методом продольно-поперечной прогонки, полученную из (4) – методом Мак-Кормака. Предположим, что граница Γ_1 неподвижна, то есть изменения фронта горения не происходит, в этом случае модель подземного газогенератора упрощается (рис. 2).

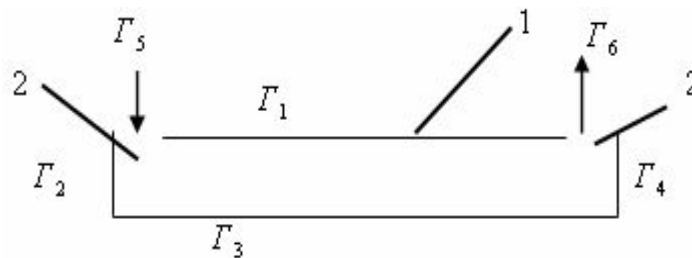


Рис. 2 Схема подземного генератора:
1 – пласт угля; 2 – скважины

4. При расчётах использовались следующие константы и начальные значения: $T_5 = 1$; $T_1 = 3$; $V_5 = -2$; $V_1 = 2$; $\rho_0 = 0,001$; $U_0 = V_0 = T_0 = 0$; $R = 8,31451$; $\lambda = 1$; $\mu = 1$; $C_p = 1$.

Расчёты проведены в прямоугольной области размерами 3×1 , $h_x = 0,3$; $h_y = 0,1$; $\tau = 0,001$ (рис. 3). Изображение получено при помощи программы Tecplot 360.

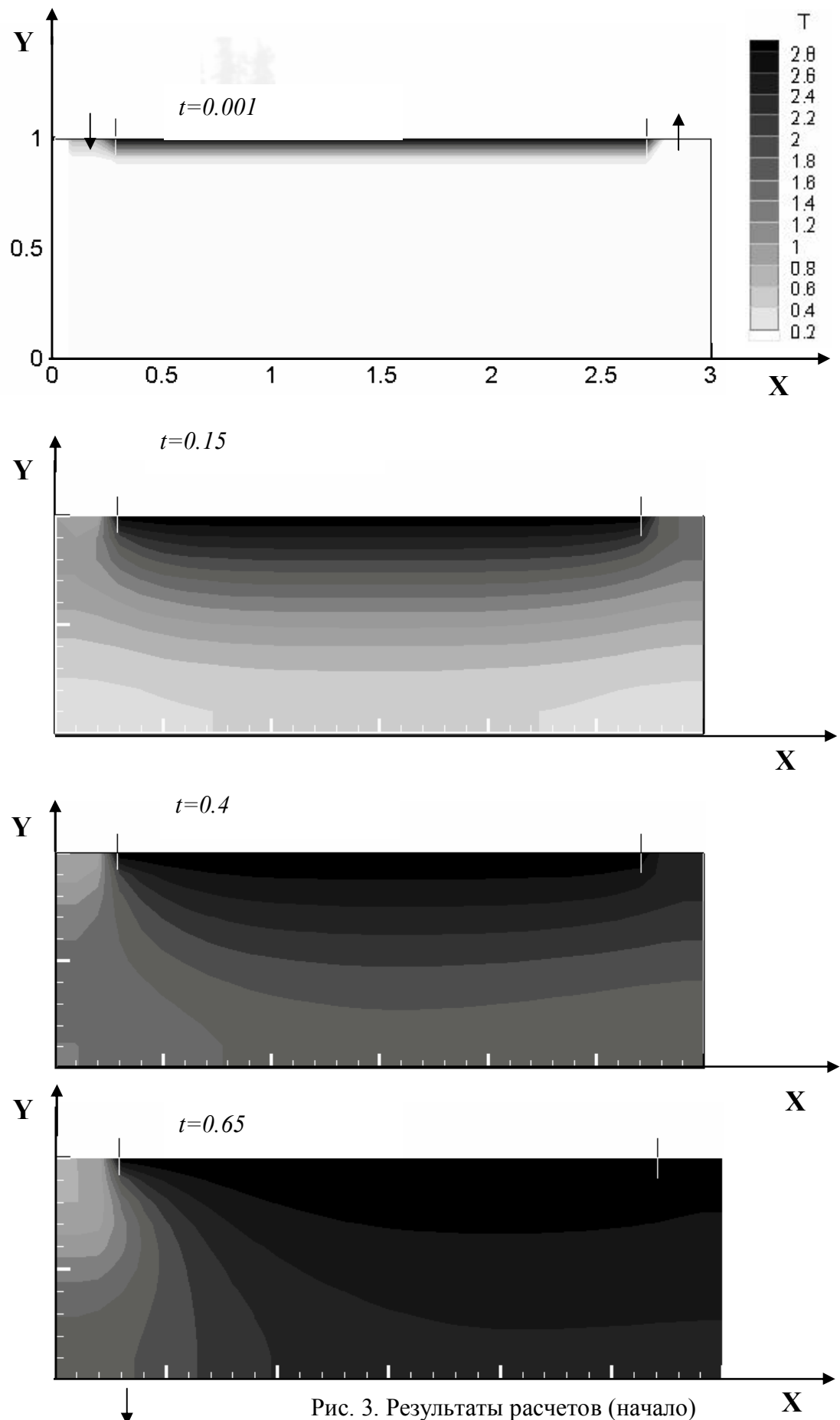


Рис. 3. Результаты расчетов (начало)

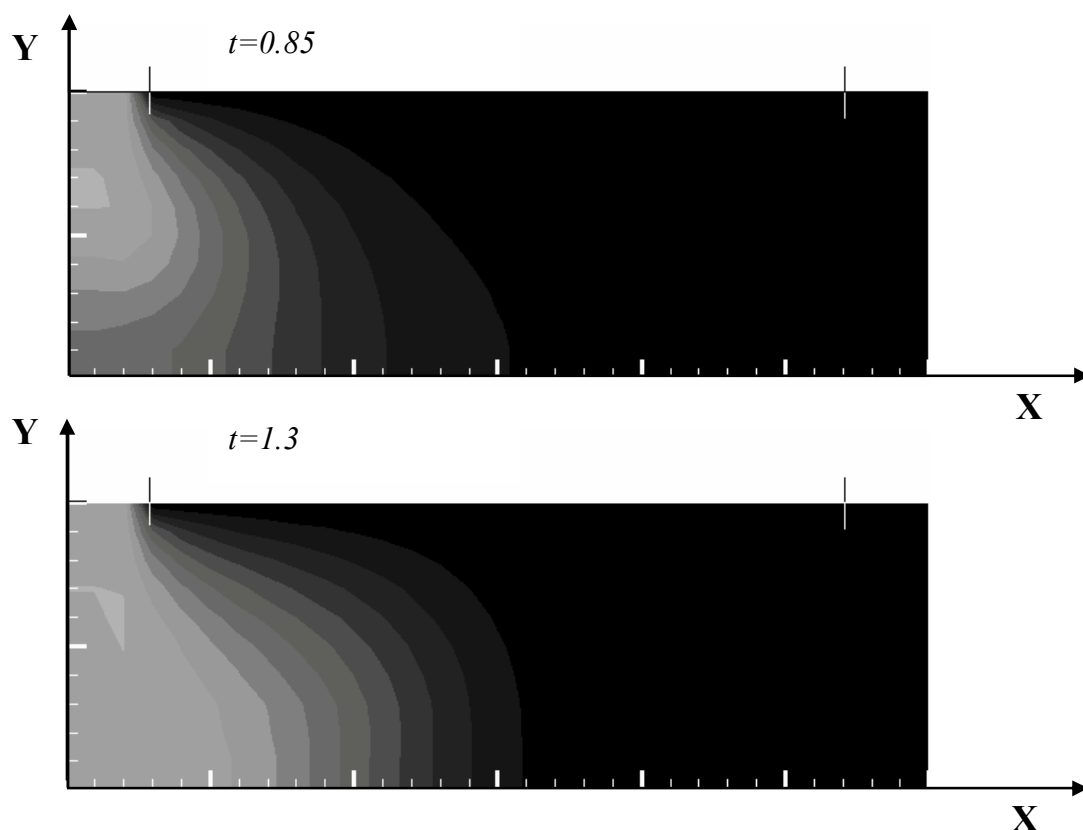


Рис. 3 Результаты расчётов (окончание)

5. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что рассматриваемая математическая модель, отображающая отдельные физические особенности процесса движения газа в подземном газификаторе, применима для решения задач подобного типа.

Литература

1. Газификация твердых топлив подземная. Химическая энциклопедия [Электронный ресурс] // www.ximik.ru (дата обращения: 22.01.2010)
2. Крейнин Е. В. Нетрадиционные термические технологии добычи трудноизвлекаемых топлив: уголь, углеводородное сырьё. – М., 2004. – 301 с.
3. Яненко Н. Н. Метод дробных шагов решения многомерных задач математической физики. – Новосибирск: Наука, 1967. – 197 с.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИТНЫХ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ МЕТОДОМ ИНВАРИАНТНОГО ПОГРУЖЕНИЯ

А. В. Рябкова

Кемеровский государственный университет

Рассматривается класс линейных краевых задач для систем обыкновенных дифференциальных уравнений, возникающих при анализе осесимметричного напряженно-деформированного состояния слоистых композит-

ных оболочек вращения. Исследование таких оболочек требует привлечения неклассических дифференциальных уравнений, позволяющих учесть поперечно-сдвиговые деформации. Существенной особенностью таких уравнений является наличие резко выраженных краевых эффектов, затрудняющих численное исследование решений традиционными методами, такими, например, как метод дискретной ортогонализации С. К. Годунова [2], конечно-разностные методы [3] и др. В работе [1] предложен эффективный метод решения таких задач, основанный на идее инвариантного погружения. В этом методе первоначальная линейная краевая задача для системы обыкновенных дифференциальных уравнений сводится к нелинейной задаче Коши для двух жестких матричных дифференциальных уравнений, решение которых может быть эффективно вычислено.

В настоящей работе дано краткое описание этого метода и его применение к задаче цилиндрического изгиба прямоугольной пластинки.

1. Рассмотрим краевую задачу

$$y'(x) = A(x)y(x) + f(x), \quad x \in [0;1], \quad (1.1)$$

$$My(0) = a, \quad Ny(1) = b. \quad (1.2)$$

Здесь x – независимая переменная; $y(x)$ – искомая $2s \times L$ матрица; $A(x)$, $f(x)$ – заданные непрерывные $2s \times 2s$ и $2s \times L$ матрицы соответственно; a , b – числовые $s \times L$ матрицы; M , N – числовые $s \times 2s$ матрицы, причем M представлена в виде $M = [E_s, O_s]$, где E_s , O_s – $s \times s$ единичная и нулевая матрицы.

Следуя [1], введем $s \times (s+L)$ матрицы $\Lambda(t)$, $\bar{A}_{12}(t)$, Λ_0 : $\Lambda(t) = [U_1(t), W_1(t)]$, $\bar{A}_{12}(t) = [A_{12}(t), f_1(t)]$, $\Lambda_0 = [O_s, a]$, $(s \times L) \times s$ матрицу $\bar{A}_{21}(t)$ и $(s+L) \times (s+L)$ матрицу $\bar{A}_{22}(t)$:

$$\bar{A}_{21}(t) = \begin{bmatrix} A_{21} \\ O_{L \times s} \end{bmatrix}, \quad \bar{A}_{22}(t) = \begin{bmatrix} A_{22} & f_2(t) \\ O_{L \times s} & O_L \end{bmatrix}$$

и, наконец, $2s \times (s+L)$ матрицы $\bar{V}(x,t)$, $P(x)$:

$$\bar{V}(x,t) = [V(x,t), z(x,t)], \quad P(x) = \begin{bmatrix} U_1(x) & W_1(x) \\ E_s & O_{s \times L} \end{bmatrix},$$

где $V(x,t)$, $z(x,t)$, $U_1(t)$, $W_1(t)$ определяются из матричных дифференциальных уравнений:

$$V'(x,t) = A(x)V(x,t),$$

$$z'(x,t) = A(x)z(x,t) + f(x),$$

$$\frac{dU_1}{dt} = A_{12}(t) + A_{11}(t)U_1(t) - U_1(t)(A_{22}(t) + A_{21}(t)U_1(t)),$$

$$\frac{dW_1}{dt} = f_1(t) + A_{11}(t)W_1(t) - U_1(t)(f_2(t) + A_{21}(t)W_1(t))$$

соответственно.

Пусть требуется определить $2s \times L$ матрицу $y(x)$ – решение краевой задачи (1.1), (1.2) – в точках $0 = x_0 < x_1 < \dots < x_n = 1$. Процесс численного определения искомых величин $y(x_0), y(x_1), \dots, y(x_n)$ по методу инвариантного погружения осуществляется в несколько шагов.

1) Проинтегрировать на $[0, 1]$ задачу Коши

$$\frac{d\Lambda}{dt} = \bar{A}_{12}(t) + A_{11}(t)\Lambda(t) - \Lambda(t)(\bar{A}_{22}(t) + \bar{A}_{21}(t)\Lambda(t)), \quad (1.3)$$

$$\Lambda(0) = \Lambda_0 \quad (0 \leq t \leq 1)$$

совместно с уравнением

$$\frac{d\Psi}{dt} = -\Psi(t)(\bar{A}_{22}(t) + \bar{A}_{21}(t)\Lambda(t)), \quad (1.4)$$

$$\Psi|_{t=x} = [E_s, O_{s \times L}],$$

строая в процессе численного решения $s \times (s + L)$ матрицы $\Lambda(x_i)$ ($i = 0, 1, \dots, n$) и $\Psi(x_{i+1}, x_i)$ ($i = 0, 1, \dots, n-1$).

2) Найти $s \times L$ матрицу Q из линейной алгебраической системы уравнений

$$NU(1)Q = b - NW(1),$$

получающейся в результате подчинения решения $y(x)$ в форме

$$y(x) = y(x, 1) = V(x, 1)Q + z(x, 1) \quad (1.5)$$

краевому условию (1.2) в точке $x = 1$.

3) Положить $i = n$ и равенством $M_i = E_{s+L}$ определить $(s + L) \times (s + L)$ матрицу M_i .

4) Восстановить матрицу $\bar{V}(x_i, 1)$:

$$\bar{V}(x_i, 1) = P(x_i)M_i$$

и по формуле (1.5) вычислить решение $y(x_i)$.

5) Если $i > 0$, то уменьшить i на 1 и выполнить следующие операции:

а) восстановить матрицу $\Phi(x_{i+1}, x_i)$ по формуле

$$\Phi(t, x) = \begin{bmatrix} \Phi_{11}(t, x) & \Phi_{12}(t, x) \\ O_{L \times s} & E_L \end{bmatrix},$$

где $\Phi_{11}(t, x), \Phi_{12}(t, x)$ – $s \times s$ и $s \times L$ матрицы соответственно;

б) сформировать $(s + L) \times (s + L)$ матрицу M_i :

$$M_i = \Phi(x_{i+1}, x_i)M_{i+1};$$

в) перейти к пункту 4.

В ходе расчетов, выполненных в [1] для слоистых оболочек вращения важных частных классов (цилиндрических, конических и др.) с использованием разработанных в [1] неклассических уравнений, выявлено, что спектральный радиус матрицы Якоби правой части системы дифференциальных уравнений (1.3), (1.4) и спектральный радиус матрицы коэффициентов пер-

воначальной системы уравнений изгиба – величины одного порядка. Спектр матрицы Якоби характеризуется большим разбросом и, что существенно, весь лежит в левой комплексной полуплоскости. Такие системы дифференциальных уравнений относятся к классу жестких (в смысле определения [4]). Их устойчивое численное решение классическими явными методами Рунге – Кутты, Адамса и др. возможно лишь при существенном ограничении на шаг интегрирования h :

$$|\lambda h| < \text{const} ,$$

приводящем при большой жесткости системы к совершенно неприемлемым затратам машинного времени.

2. В качестве примера применения метода рассмотрена задача цилиндрического изгиба жестко-защемленной прямоугольной пластинки, нагруженной равномерно распределенным давлением интенсивности P (рис. 1).

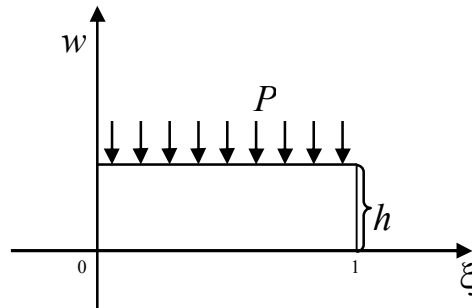


Рис. 1. Прямоугольная пластинка, жестко защемленная на концах

Решение этой задачи сводится к интегрированию уравнения

$$D \frac{d^4 w}{dx^4} = -P \quad (2.1)$$

при краевых условиях

$$\begin{aligned} w(0) = w(l) = 0, \\ w'(0) = w'(l) = 0. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Здесь $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ – жесткость пластинки при изгибе; E – модуль Юнга; ν – коэффициент Пуассона; h – толщина пластинки; l – ширина пластинки.

Приведем задачу (2.1), (2.2) к матричной форме. С этой целью введем безразмерные переменные и параметры

$$Y_1 = w, Y_2 = \frac{dY_1}{d\xi}, Y_3 = \frac{dY_2}{d\xi}, Y_4 = \frac{dY_3}{d\xi}, \text{ где } \xi = \frac{x}{l}.$$

В этих переменных задача цилиндрического изгиба прямоугольной пластинки запишется следующим образом:

$$\frac{dY}{d\xi} = Ay + f, \quad (2.3)$$

$$M_y(0) =, N_y(1) = 0, \quad (2.4)$$

$$\text{где } M = N = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, f = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -\frac{2(1-\nu^2)}{\gamma^4} \end{bmatrix} \left(\gamma = \frac{h}{l} \right).$$

К задаче (2.3),(2.4) применен алгоритм метода инвариантного погружения. Получены соответствующие числовые данные:

ξ	w (при $\gamma = 0,1$)	w (при $\gamma = 0,05$)
0	0	0
0,1	-36,85	-0,06
0,2	-116,48	-0,18
0,3	-200,65	-0,32
0,4	-262,08	-0,42
0,5	-284,37	-0,45
0,6	-262,08	-0,42
0,7	-200,65	-0,32
0,8	-116,48	-0,18
0,9	-36,85	-0,06
1	0	0

Литература

1. Андреев А. Н., Немировский Ю. В. Многослойные анизотропные оболочки и пластины: Изгиб, устойчивость, колебания – Новосибирск: Наука, 2001. – 287 с.
2. Годунов С. К. О численном решении краевых задач для систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений // Успехи математических наук. – 1961. – Т. 16, № 3. – С. 171–174.
3. Марчук Г. И. Методы вычислительной математики. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1973. – С. 351.
4. Деккер К., Вервер Я. Устойчивость методов Рунге – Кутты для жестких нелинейных дифференциальных уравнений. – М.: Мир, 1988. – 332 с.

ПЛАНИРОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИОННОГО СИНТЕЗА ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

И. Н. Статников, Г. И. Фирсов

Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, г. Москва

Существующие программные решения, реализованные в форме различного рода систем так называемого инженерного анализа (Computer Aided

Engineering или CAE-систем), включают в себя комплексы моделирования динамических систем с помощью методов конечных и граничных элементов. Наличие графического интерфейса и средств обмена информацией с CAD-системами и математическими пакетами типа MATLAB и MathCAD позволяет использовать CAE-пакеты (например, ADAMS, SAMSEF, MSC.NASTRAN, MSC.PATRAN) не только для решения задач анализа, но и переходить к синтезу динамических систем. Известно, что в основе содержания фундаментальных задач оптимизационного синтеза динамических систем лежат технические требования, регламентирующие основные эксплуатационные характеристики проектируемого технического устройства. Вместе с тем реализованные на сегодня в перечисленных пакетах методы оптимального поиска направлены в основном на решение задач сравнительно невысокой размерности и плохо приспособлены для оценки чувствительности получаемых решений от параметров и величин областей их изменения.

В связи со сказанным резко возрастает значение различных эвристических способов обработки добываемой информации на вычислительных машинах. С теоретической точки зрения эффективность того или иного эвристического метода оптимизации, понимаемой широко, существенно зависит от степени адекватности используемой математической модели (ММ) реальным динамическим процессам, происходящим в синтезируемом или усовершенствуемом устройстве.

Поэтому кажется очевидным, что достаточно привлекательными становятся такие методы, которые, при условии наличия адекватной ММ, требуют минимума априорной информации о решаемой задаче, более того, позволяют по ходу решения получать такую информацию легко и просто. Такие методы естественно назвать универсальными. К ним будем относить метод Монте-Карло и его различные модификации [1]. В основе использования метода Монте-Карло и его модификаций лежат принципы случайного поиска решения задачи, что и делает такой подход универсальным. Но платой за такую универсальность является определенная «слепота», и это приводит к громадным объемам вычислений даже для современных вычислительных машин, тем более, что имеет место рост размерности решаемых задач (растет число фазовых координат и число конструктивных (оптимизируемых) параметров, растет число критериев качества, характеризующих систему). А громадные объемы получаемой информации затрудняют ее интерпретацию (кризис жанра). Возникла потребность сочетания универсальности метода Монте-Карло с элементами более интеллектуального анализа результатов численных экспериментов, чем простая констатация статистических оценок, то есть усовершенствование технологии проведения математических экспериментов. Как представляется, в значительной степени эту потребность реализует благодаря одновременной реализации в нем идеи дискретного квазиравномерного по вероятности зондирования J -мерного пространства варьируемых параметров α_j ($j = 1, \dots, J$) и методологии планируемого математиче-

ского эксперимента [2]. Сочетание таких идей в алгоритме планируемого ЛП-поиска (ПЛП-поиска) позволило, с одной стороны, осуществлять глобальный квазиравномерный просмотр заданной области варьируемых параметров, а с другой стороны, применить многие формальные оценки из математической статистики [3].

Рассмотрим формализованную постановку решаемой задачи, когда используется ПЛП-поиск.

Пусть задана математическая модель исследуемой системы в виде

$$L(\bar{y}(\bar{\alpha}, t), \bar{\alpha}) = 0, \quad (1)$$

$$\bar{\varphi}(\bar{\alpha}) \geq 0, \quad (2)$$

где L – оператор, действующий на систему уравнений (1) (линейный или нелинейный); $\bar{y}(\bar{\alpha}, t)$ – вектор фазовых координат системы; $\bar{\varphi}(\bar{\alpha})$ – вектор функциональных ограничений на параметры и поведение системы (1); $\bar{\alpha} = (\alpha_1, \dots, \alpha_I)$ – вектор коэффициентов уравнений (заметим, что всюду ниже понятия “рассчитать значения критериев качества в точке $\bar{\alpha}$ ” и “один эксперимент на ЭВМ” идентичны). Исходная область $G(\bar{\alpha})$ изменения коэффициентов задается в виде I -мерного параллелепипеда

$$\alpha_{j*} \leq \alpha_j \leq \alpha_{j**}, \quad (3)$$

где α_{j*} и α_{j**} – соответственно нижние и верхние граничные значения j -го коэффициента $j = \overline{1, I}$. И, наконец, задается система критериев качества функционирования устройства (в явном или неявном виде)

$$\{\Phi_k = \Phi_k(\bar{\alpha}), \bar{\alpha} \in G(\bar{\alpha}), k = \overline{1, K}\}. \quad (4)$$

На основе проведенных численных экспериментов на ЭВМ необходимо:

– выявить релевантные параметры $\alpha_m (m \leq I)$ в смысле их влияния на значения каждого критерия $\Phi_k(\bar{\alpha})$, иначе говоря, статистическим путем оценить изменения производных $\partial \Phi_k(\bar{\alpha}) / \partial \alpha_j$ в области $\alpha_j \in (\alpha_{j*}, \alpha_{j**})$;

– определить области концентрации $G_k(\bar{\alpha})$ наилучших решений по каждому критерию $\Phi_k(\bar{\alpha})$, для чего, основываясь на заданной метрике $\rho(\Phi_k(\bar{\alpha}), \Phi_k^+)$ (Φ_k^+ – экспериментальное значение k -го критерия качества, заранее известное или определяемое по ходу проведения численных экспериментов), отыскать область $G_k(\bar{\alpha})$, в которой выполнялись бы одновременно два условия:

$$P[\rho(\Phi_k(\bar{\alpha}_u), \Phi_k^+) \leq \varepsilon_k, u = \overline{1, n}; n \leq N] \geq P_3 \quad (5)$$

и

$$n/N \geq 1 - \delta, \quad (6)$$

где $\alpha_u \in G_k(\bar{\alpha})$, $0 < \varepsilon_k, \delta \ll 1$, P_3 – заданная вероятность; N – общее число проведенных численных экспериментов;

– на основе определенных релевантных параметров α_m и областей концентрации $G_k(\bar{\alpha})$ построить регрессионные зависимости

$$\Phi = \Psi_k(\alpha_1, \dots, \alpha_m); \quad (7)$$

– выделить в K -мерном пространстве критериев множество точек Парето (или, если возможно, построить поверхность Парето); в случае задания какой-либо схемы компромисса выделить область $G_0(\bar{\alpha}) \leq G(\bar{\alpha})$, содержащую компромиссные решения.

В основание метода положена рандомизация расположения в области $G(\bar{\alpha})$ векторов $\vec{\alpha}$, рассчитываемых по ЛПП-сеткам [4], которая оказывается возможной благодаря тому, что весь вычислительный эксперимент проводится сериями. Для рандомизации (случайного смещения уровней варьируемых параметров α_{ijh}) дискретного обзора $G(\bar{\alpha})$ могут быть использованы многие существующие таблицы равномерно распределенных по вероятности целых чисел. В целях экономии памяти ЭВМ в ЛПП-поиске алгоритм рандомизации построен на использовании датчика псевдослучайных чисел q ($0 < q < 1$) из [4]. Рандомизация состоит в том, что для каждой h -й серии экспериментов ($h=1, \dots, H(i, j)$), где $H(i, j)$ – объем выборки из элементов Φ_{ijh} для каждого критерия, вычисляется свой вектор случайных номеров строк $\vec{j} = (j_{1h}, j_{2h}, \dots, j_{\beta h})$ в таблице направляющих числителей (ТНЧ) по формуле

$$j_{\beta h} = [R \times q] + 1, \quad (8)$$

а значения α_{ij} в h -й серии рассчитываются с помощью линейного преобразования

$$\alpha_{ijh} = \alpha_{j^*} + q_{ihj\beta h} \times \Delta\alpha_j,$$

где $\Delta\alpha_j = \alpha_{j^{**}} - \alpha_{j^*}$, $\alpha_{j^{**}}, \alpha_{j^*}$ – соответственно верхние и нижние границы области $G(\bar{\alpha})$; $\beta = 1, \dots, J$; R – любое целое число (в ЛПП-поиске $R = 51$); j – фиксированный номер варьируемого параметра; $i = 1, \dots, M(j)$ – номер уровня j -го параметра в h -й серии; $M(j)$ – число уровней, на которое разбивается j -й параметр; в общем случае $j_{\beta h} \neq j$ (в чем и состоит одна из целей рандомизации). Было доказано с помощью критерия Романовского [5], что числа $j_{\beta h}$, вырабатываемые по формуле (8), оказываются совокупностью равномерно распределенных по вероятности целых чисел.

Обратим внимание, что $M(j)$ и есть количество экспериментов, реализуемых в одной серии. И если $M(j) = M = \text{const}$ и $H(i, j) = H = \text{const}$, то в этом случае параметры $N0$, M и H связаны простым соотношением

$$N0 = M \times H, \quad (9)$$

где $N0$ – общее число вычислительных экспериментов (ВЭ), при этом длина выборки из Φ_{ijh} в точности равна H . Но в общем случае, когда $M(j) = \text{var}$, то и

$H(i,j) = \text{var}$, и тогда формула (9) для одного критерия примет такой вид:

$$N0 = \sum_{i=1}^{M(j)} H(i,j).$$

Для проведения однофакторного дисперсионного анализа [6] по всем параметрам для каждого критерия производится сортировка результатов вычислений, полученных при вычислении в точках матрицы планируемых экспериментов (МПЭ). В результате сортировки для одного критерия будет получено J матриц, состоящих из элементов Φ_{ijh} , а для K -критериев будет получено $J \times K$ матриц, состоящих из элементов Φ_{ijhk} , где k – номер критерия. Этот анализ позволяет принять (или отвергнуть) с требуемой вероятностью $P = 1 - \alpha$, где α – заданный уровень значимости, следующую нулевую гипотезу: средние значения $\bar{\Phi}_{ijk}$ не существенно (случайно) отличаются от общего среднего значения k -го критерия $\bar{\Phi}_{ok}$. Если принят положительный ответ (гипотеза принята), то допускается на следующем этапе решения задачи не существенно влияющий параметр α_j не варьировать, а зафиксировать одно из его значений, например, $\alpha_j = \alpha_{ij}$ для такого i , где $\bar{\Phi}_{ijk}$ имеет наилучшее значение в смысле искомого экстремума.

Не останавливаясь на подробном описании инструментальной основы ППП-поиска, реализованном в среде MATLAB [7, 8], укажем лишь кратко на идеологическую основу этого метода, позволяющую реализовать вышеописанную формализованную постановку (1)–(7) анализа и синтеза системы. Основа состоит в том, что в результате рандомизации процесса проведения N вычислительных экспериментов образуется совокупность значений $\{\tilde{\Phi}_{ijk}\}$, где $\tilde{\Phi}_{ijk}$ – среднее значение k -го критерия качества на i -м уровне j -го параметра. Совокупности значений $\{\tilde{\Phi}_{ijk}\}$ позволяют на основе техники дисперсионного, регрессионного и топологического анализов дать ответы на все пункты постановки задачи. Отметим также психологический аспект в применении ППП-поиска: используемые совокупности $\{\tilde{\Phi}_{ijk}\}$ позволяют исследователю в диалоге с ЭВМ грубо (в линейном приближении) оценить влияния всех варьируемых коэффициентов уравнений на каждый критерий качества. Таким образом, "проклятие размерности" по Беллману уже на предварительном этапе исследования в значительной мере уменьшает свое отрицательное воздействие на ход решения задачи.

Изложенный подход применялся при решении целого ряда конкретных задач исследования, оптимизации и идентификации различных механических систем, в частности для синтеза шарнирно-рычажного четырехзвенного механизма съемного гребня чесальной машины с разгрузателем и проектирования зубчато-рычажного механизма с остановкой, широко использующегося в эмалировочных автоматах, в автоматах пищевой и полиграфической промышленности, в револьверных подачах прессов и т. д. С помощью

рандомизации области изменения параметров выполнены оптимизация резонансного преобразователя для судовых валопроводов, используемого в целях снижения уровня их продольных колебаний, и получены оптимальные значения инерционно-жесткостных параметров динамической системы с 23 степенями свободы, описывающей двухступенчатый планетарный судовой редуктор. Решены также задачи выбора рациональных параметров системы шумозащиты пневморепирного ткацкого станка типа АТПР, синтеза колебательной системы швейной машины по критериям минимальных динамических нагрузок при ограничениях на относительные перемещения исполнительных органов, минимизации динамических нагрузок в элементах трансмиссии главного привода рабочей клетки широкополосного прокатного стана 200 НЛМЗ, идентификации упругих и прочностных характеристик композитного материала цилиндрической оболочки.

Литература

1. Соболев И. М., Статников Р. Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Дрофа, 2006. – 175 с.
2. Статников И. Н., Фирсов Г. И. О целесообразности применения ПЛП-поиска при решении задач проектирования с помощью имитационного моделирования // Инновационные подходы к применению информационных технологий в профессиональной деятельности. – Белгород: ГиК, 2009. – С. 309–313.
3. Статников И. Н., Андреевков Е. В. ПЛП-поиск – эвристический метод решения задач математического программирования. – М.: МГУДТ, 2006. – 140 с.
4. Соболев И. М. Многомерные квадратурные формулы и функции Хаара. – М.: Наука, 1969. – 288 с.
5. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. – М.: Наука, 1971. – 576 с.
6. Шеффе Г. Дисперсионный анализ. – М.: Наука, Гл. ред. физ-мат. лит., 1980. – 512 с.
7. Статников И. Н., Фирсов Г. И. ПЛП-поиск и его реализация в среде MATLAB // Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB. – М.: ИПУ РАН, 2004. – С. 398–411.
8. Статников И. Н., Фирсов Г. И. Об одной технологии дискретного зондирования пространства исследуемых параметров // Современные информационные технологии. – Пенза: ПГТА, 2004. – С. 63–68.

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ УСКОРЕНИЯ ПОЛИНЕЙНОГО РЕКУРРЕНТНОГО МЕТОДА В ПОДПРОСТРАНСТВАХ КРЫЛОВА

Л. Н. Фомина

Кемеровский государственный университет

Несмотря на бурный рост вычислительной техники и теоретические достижения в области решения систем линейных алгебраических уравнений [1], возникающих при моделировании многомерных явлений математической физики, проблема создания и развития быстродействующих алгоритмов не

теряет своей актуальности. Происходит это потому, что с усложнением постановок задач также возрастают требования к точности и надежности методов решения.

Современные методы решения эллиптических задач математической физики зачастую сводятся к разностной аппроксимации многомерных дифференциальных уравнений [2], что, в свою очередь, приводит к построению системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), матрица которой имеет большую размерность и разреженно-упорядоченную структуру. В настоящее время наиболее перспективными можно считать те направления разработки новых методов решения СЛАУ, в которых на уровне алгоритма учитывается фундаментальное свойство краевых эллиптических задач обязательной чувствительности решения в каждой точке области определения задачи возмущения в любой иной, включая граничную, точке.

Пусть в результате разностной аппроксимации двумерной краевой задачи в прямоугольной области получается система линейных алгебраических уравнений вида $A\Phi = b$. При этом, в общем случае, разностные уравнения имеют следующий вид:

$$a_{P_{ij}} \Phi_{ij} = a_{E_{ij}} \Phi_{i+1j} + a_{W_{ij}} \Phi_{i-1j} + a_{N_{ij}} \Phi_{ij+1} + a_{S_{ij}} \Phi_{ij-1} + b_{ij}, \quad (1)$$

где $1 < i < n$, $1 < j < m$, причем $a_P = a_E + a_W + a_S + a_N$. Здесь n , m – количество узлов сеточного разбиения расчетной области по координатам x , y соответственно. Из вида уравнения (1) следует, что матрица A имеет пятидиагональную структуру (рис. 1).

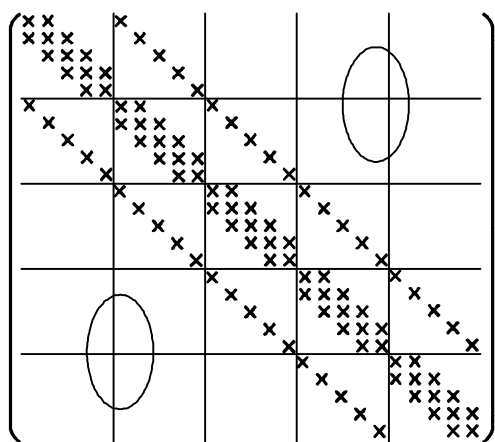


Рис. 1

По мнению многих авторов, на данный момент одними из самых эффективных методов решения разностных СЛАУ считаются градиентные методы [1,3,4]. В частности, среди многочисленных итерационных градиентных методов решения разностных СЛАУ наиболее эффективным по праву считается метод бисопряженных градиентов со стабилизацией Ван-дер-Ворста Bi-CGStab, основанный на процедуре биортогонализации Ланцоша в подпространствах Крылова [1]. Однако непосредственно градиентные методы не характеризуются высокими скоростями сходимости, и для их

ускорения используются предобуславливатели, которые строятся, как правило, на основе известных релаксационных методов [1–4]. При этом чем более эффективен исходный релаксационный метод, тем более эффективным получается сочетание соответствующего предобуславливателя с градиентным методом. Например, использование в методе бисопряженных градиентов со стабилизацией предобуславливателя на базе явного метода Н. И. Булеева по-

зволяет реализовать более высокие скорости сходимости решения по сравнению с преобуславливателем на базе метода Гаусса – Зейделя [4,5].

Следуя общей идеологии [1,2], для ускорения полинейного рекуррентного метода в подпространствах Крылова (в настоящей работе рассматривается алгоритм метода LR1) необходимо произвести неполную факторизацию матрицы A системы уравнений на сомножители K_1 и K_2 таким образом, чтобы в основе этого разложения лежал алгоритм LR1, и далее использовать полученный преобуславливатель в сочетании с градиентным методом. Из описания полинейного рекуррентного метода следует, что сомножитель K_2 в виде четырехдиагональной почти верхнетреугольной матрицы присутствует в самом алгоритме [6]. Таким образом, остается только определиться с сомножителем K_1 . Структура этого сомножителя легко выводится из расчетных формул преобразования правых частей уравнения системы [7], аналогично тому, как это делается в прямом методе Гаусса решения СЛАУ, который, как известно, эквивалентен LU разложению матрицы системы с последующим последовательным решением двух систем с нижней и верхней треугольной матрицами. На рис. 2 представлены структуры матрицы K_1 (слева) и матрицы K_2 (справа).

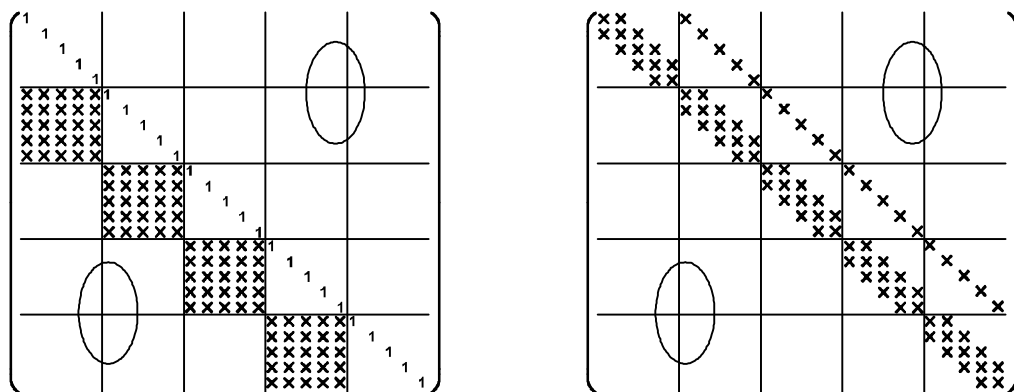


Рис. 2

Нетрудно видеть, что матрица K_1 имеет две особенности: единичную главную диагональ и полностью заполненные клетки, прилегающие к главной диагонали снизу. Вторая особенность является критичной, поскольку в этом случае трудоемкость метода будет не линейной, а пропорциональной $N^{3/2}$, где $N = n \times m$ – количество неизвестных в системе. Для преодоления этого осложнения можно воспользоваться оценкой порядка величин, заполняющих клетки под главной диагональю. Анализ расчетных формул [7] показывает, что на главной диагонали «поддиагональных» клеток стоят величины порядка $1/3$, на прилегающих к ней сверху и снизу диагоналях $\sim (1/3)^2$, на следующих диагоналях $\sim (1/3)^3$ и т. д. Понятно, что в этом случае удобно в «поддиагональных» клетках выделить диагональную ленту шириной $2l_0+1$, элементы которой заметно отличны от нуля, а всеми остальными малыми элементами этих клеток пренебречь (рис. 3).

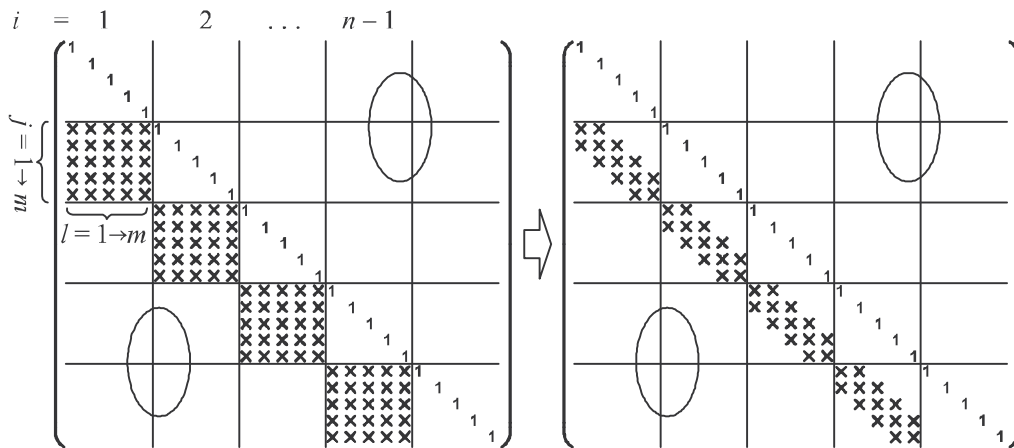


Рис. 3

Легко проверить, что уже при $l_0 = 10$ порядок величин на краю ленты будет 10^{-5} , а с другой стороны, даже при обычном сеточном разбиении для двумерных задач порядка 100×100 лента шириной в 21 элемент не будет серьезным обременением для вычислительного процесса. В дальнейшем для удобства полученный алгоритм будет называться LR1bCGs.

Для оценки влияния полуширины ленты l_0 на скорость сходимости LR1bCGs был проведен численный эксперимент на примере решения тестовых задач [6,7] с самосопряженной и несамосопряженной матрицей коэффициентов при равномерном сеточном разбиении области. Результаты вычислений показали, что «насыщение» скорости сходимости наступает при $l_0 \in (5, 15)$. При дальнейшем росте l_0 количество итераций вновь начинает расти, поскольку малые элементы матрицы, участвуя в вычислениях, не столько ускоряют сходимость, сколько тормозят из-за генерации ошибок округления.

Примечательно, что увеличение числа диагоналей в области минимально-постоянного числа итераций практически не увеличивает время рас-

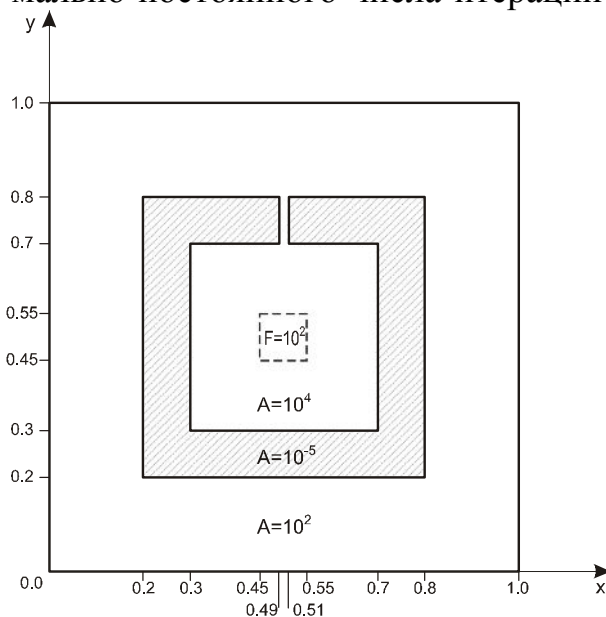


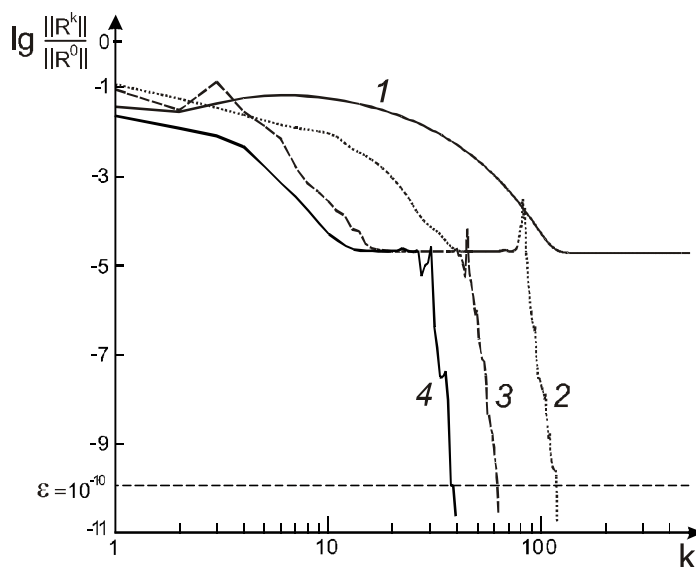
Рис. 4

чета задачи, что говорит в пользу приема усечения полностью заполненных «поддиагональных» клеток до относительно не широкой ленты.

Вычислительный эксперимент. Для оценки эффективности рассмотренного варианта полинейного рекуррентного метода был проведен сравнительный анализ решения четвертой тестовой задачи [3] алгоритмами LR1bCGs и двумя алгоритмами метода бисопряженных градиентов со стабилизацией Bi-CGStab P LU (с предобуславливанием на базе LU разложения матрицы A), Bi-CGStab P B (с предобуславливанием на базе явного

метода Булеева). Четвертая задача [3] формулируется следующим образом: «Система линейных уравнений с несимметричной матрицей получена путем дискретизации краевой задачи $-(Au_x)_x - (Au_y)_y + B(x,y)u_x = F$ на единичном квадрате со следующими граничными условиями Дирихле $u|_{y=1} = 0$, на остальных границах $u = 1$. Коэффициенты уравнения определяются следующим образом: $B(x,y) = 2 \exp[2(x^2+y^2)]$; $F = 100$ в небольшой квадратной области в центре единичного квадрата, в основной его части $F = 0$; определение A следует из схемы области. Расчетная область покрывается прямоугольной сеткой с шагом $1/128$ ». На рис. 4 представлена схема области с точностью до ее графического представления в тексте статьи. Поскольку численные размеры элементов схемы области в статье не указаны, их пришлось доопределять путем непосредственных измерений изображения. Число обусловленности данной системы линейных уравнений будет равно $M_A = 320\,000\,000$.

Поведение сходимости решения для всех алгоритмов приведено на рис. 5. Нетрудно видеть, что для достижения точности 10^{-10} алгоритму LR1bCGs потребовалось всего 39 итераций, алгоритму Bi-CGStab P B – 60 итераций, а алгоритму Bi-CGStab P LU – уже 105 итераций. Решение, полученное алгоритмом LR1, стабилизировалось в районе величины $2 \cdot 10^{-5}$ за 100 итераций. Алгоритм LR1bCGs демонстрирует заметное преимущество, причем одно и то же количество итераций получается при диапазоне полуширины ленты l_0 от 5 до 12 и значениях итерационного параметра компенсации $\theta = 0,8-0,9$.



1 – LR1; 2 – Bi-CGStab P LU;
3 – Bi-CGStab P B; 4 – LR1bCGs
Рис. 5

Выводы. На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Выявлена структура сомножителей неполной факторизации исходной матрицы системы на базе алгоритма LR1 полинейного рекуррентного метода решения эллиптических СЛАУ.

2. Для уменьшения числа итераций при решении линейных систем с плохо обусловленными матрицами лучше использовать полученный преобуславливатель на основе алгоритма LR1 полинейного рекуррентного в сочетании с градиентным методом.

Литература

1. Yousef Saad. Iterative Methods for Sparse Linear Systems. – N.Y.: PWS Publ. – 1996. – 460 p.
2. Ильин В. П. Методы конечных разностей и конечных объемов для эллиптических уравнений. – Новосибирск: Изд-во ин-та математики, 2000. – 345 с.
3. Van der Vorst H. A. BI-CGSTAB: a fast and smoothly converging variant of BI-CG for the solution of nonsymmetric linear systems // SIAM J. Sci. Stat. Comput. – 1992. – Vol. 13, № 2. – P. 631–644.
4. Старченко А. В. Сравнительный анализ некоторых итерационных методов для численного решения пространственной краевой задачи для уравнений эллиптического типа // Вестник ТГУ. Бюллетень оперативной научной информации. – 2003. – № 10. – С. 70–80.
5. Фомин А. А., Фомина Л. Н. Сравнение эффективности высокоскоростных методов решения разностных эллиптических СЛАУ // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2009. – № 2. – С. 71–77.
6. Фомина Л. Н. Использование полинейного рекуррентного метода с переменным параметром компенсации для решения разностных эллиптических уравнений // Вычислительные технологии. – 2009. – Т. 14, № 4. – С. 108–120.
7. Фомин А. А., Фомина Л. Н. Полинейный рекуррентный метод решения разностных эллиптических уравнений. – Кемерово: КемГУ, 2007. – 78 с. – Деп. в ВИНТИ 06.04.2007, № 385-B2007.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<i>Абрамов М. А.</i> Вероятностная оценка как средство управления системой защиты информационных ресурсов предприятия.....	3
<i>Акмалтдинова Л. И., Ханнанова Т. Р.</i> Информационные технологии как элемент управления муниципальным образованием.....	8
<i>Афанасьев К. Е., Гудов А. М., Попов Ю. С.</i> Структура системы электронного дистанционного обучения регионального университетского комплекса.....	10
<i>Бабанов А. М., Скачкова А. С.</i> Базовые и производные понятия ERM-модели данных и их роль в процессе проектирования схем баз данных.....	16
<i>Важдаева К. С., Кудрявцев И. А., Яковлева Е. П.</i> Подход к миграции данных, хранимых в реляционных СУБД.....	18
<i>Войтиков К. Ю., Тумаев П. Н.</i> Реализация обработки заданий в расширяемой системе распределенных вычислений.....	22
<i>Гудов А. М., Гудов М. А., Завозкин С. Ю.</i> Анализ реализаций рейтинговой оценки успеваемости студентов в вузе.....	25
<i>Денисович М. В.</i> Дистанционное обучение как эффективное средство повышения качества обучения учителя и ученика.....	30
<i>Догаев А. И.</i> Веб-ориентированная система для проведения видеоконференций.....	33
<i>Дружинин Д. В.</i> Практическое сравнение кодека Butterfly Screen Video Codec с его аналогами.....	36
<i>Змеев О. А., Малахов К. С.</i> О некоторых особенностях интеграции EPR-систем Incadea и 1С: Предприятие.....	41
<i>Кривошеенко Ю. В.</i> Современный подход к выбору корпоративной информационной системы.....	44
<i>Крылов Е. Г., Берсенев П. В.</i> Автоматизированный расчет тепловых параметров на контактных поверхностях пластины из твердого сплава при резании сталей.....	49
<i>Лещенко А. Г.</i> О принципах построении автоматической торговой системы и ее реализации.....	53
<i>Никишин М. А.</i> Проектирование исследований и оценки деятельности подразделения в системе 1С: Предприятие 8.1 на основе подходов оценки бизнеса.....	55

<i>Ременников Д. В.</i> Графические библиотеки OpenGL и Direct3D в компьютерном моделировании.....	60
<i>Ризун Н. О., Тараненко Ю. К., Морзун Р. С.</i> Подсистема тестового контроля знаний студентов в составе комплексной автоматизированной системы управления учебным процессом вуза.....	63

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

<i>Бобов А. В.</i> Определение границ области автоматизации при автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства.....	68
<i>Гудов А. М., Завозкин С. Ю., Маренина Т. О., Миронова Т. О.</i> Информационная система расчета энергетических характеристик тепловых электростанций.....	72
<i>Dobrovidov A. V., Koshkin G. M.</i> Comparison of nonparametric filtration algorithms with Kalman filter.....	77
<i>Зыков И. Ю., Каленский А. В., Звеков А. А.</i> Расчет коэффициента эффективности поглощения включений в энергетических материалах.....	79
<i>Исаев Ю. Н., Васильева О. В.</i> Моделирование электромеханической части коаксиального магнитоплазменного ускорителя.....	84
<i>Колмогорова О. Н., Кригер В. Г., Каленский А. В., Звеков А. А.</i> Моделирование физико-химических процессов в контактном электрическом поле.....	88
<i>Кромер В. В.</i> Система нормализации и поддержания веса с отрицательной обратной связью по весу пациента.....	91
<i>Маркелов Г. Е.</i> О построении математических моделей.....	96
<i>Махарева О. А., Жинкина А. Р.</i> Разработка адаптивного управляющего алгоритма при изменяющихся характеристиках динамического объекта.....	101
<i>Островский Н. В.</i> Моделирование взаимодействия спаренных электронов в ионе лития.....	106
<i>Поддубный В. В., Поликарпов А. А.</i> О диссипативной стохастической динамической модели развития языковых знаков.....	110
<i>Саватейкина Н. И.</i> Исследование и прогнозирование интегрального показателя оценки здоровья населения Кемеровской области.....	115

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

<i>Андреев Н. Е., Афанасьев К. Е.</i> Автоматизированный анализ производительности параллельных программ, как способ повышения продуктивности разработчика.....	121
<i>Антипина В. А., Душин Е. А.</i> Оценка эффективности алгоритмов численного решения задачи трех тел.....	125
<i>Борисов В. Г., Штаб Е. И.</i> Исследование бифуркаций периодических решений системы двух связанных осцилляторов.....	127
<i>Вельбовец А. Ю.</i> Исследование зависимости свойств бета-сплайновых кривых от параметров.....	129

Власенко В. Д. Численный алгоритм математического моделирования задачи теплопереноса материала при электрофизическом воздействии...	133
Гетманюк И. Б. О попытках решения параболических проблем в вычислительной геометрии.....	137
Горская Т. А. Семейство методов минимизации с двухранговой коррекцией матриц метрики.....	139
Гришаева Е. А., Звеков А. А. Разработка пакета прикладных программ для расчета кинетических закономерностей.....	140
Гуммель Е. Э. Решение нестационарной задачи о движении вязкой несжимаемой жидкости.....	145
Желнерович Д. А. Расчет движения вязкой несжимаемой жидкости в двумерном канале.....	147
Иванов К. С., Кемеров Л. В. Об одной нестационарной модели движения примесей в закрытых водоемах.....	150
Иордан В. И., Бледнов В. А., Солоненко О. П. В-сплайновые поверхности в алгоритме адаптации формы сплэтов к изменяемой топологии напыляемой поверхности покрытия при моделировании формирования его структуры.....	155
Каленский А. В., Ананьева М. В., Боровикова А. П. Пакет прикладных программ для расчета кинетики твердофазных цепных реакций с учетом процессов переноса энергии.....	160
Крутиков В. Н. О механизме ускорения обучающих процессов с растяжением пространства.....	163
Малашкевич Е. О., Емельяненко Н. В. Численное исследование пространственно неоднородных стационарных решений одной системы параболических уравнений.....	164
Моисеев А. Н., Синяков М. В. Разработка алгоритма сбора результатов функционирования имитационной модели системы массового обслуживания.....	166
Николаев А. В. Релаксации разрезного многогранника и геометрический подход к задачам дискретной оптимизации.....	167
Рейн Т. С., Карабцев С. Н., Кленче В. Н. Об одном подходе к улучшению качества сетки на примере решения задачи о схлопывании полукруговой выемки бессеточным методом конечных элементов.....	172
Родина М. С. Течение неоднородного газа в подземном газификаторе..	173
Рябкова А. В. Численное исследование напряженно-деформированного состояния слоистых композитных оболочек вращения методом инвариантного погружения.....	177
Статников И. Н., Фирсов Г. И. Планирование вычислительного эксперимента в задачах оптимизационного синтеза динамических систем.....	181
Фомина Л. Н. Об одном способе ускорения полинейного рекуррентного метода в подпространствах Крылова.....	186

Научное издание

**Информационные технологии
и математическое моделирование
(ИТММ-2010)**

Материалы IX Всероссийской
научно-практической конференции
с международным участием
19–20 ноября 2010 г.
Часть 2

Редактор В. Г. Лихачева

Компьютерная верстка М. С. Лобова

Лицензия ИД 04617 от 24.04.2001 г.

Подписано в печать 25.10.2010

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная №1.

Печать офсетная.

Печ. л. 12,3; усл. печ. л. 11,4; уч.-изд. л. 11,9.

Тираж 300 экз. Заказ 1263.

ОАО «Издательство ТГУ», 634029, г. Томск, ул. Никитина, 4.

ООО «Издательство «Иван Фёдоров»», 634026, г. Томск, ул. Розы Люксембург, 115/1