

ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ



ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И СИСТЕМНАЯ
ИНФОРМАТИКА

ПРИКЛАДНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

4
—
2016

ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ № 4 (33) 2016 г.

Журнал выходит ежеквартально, издается с 2008 г.

Соучредители журнала — Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН; Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК.

Редакционный совет

Председатель — чл.-кор. НАН РК М. Н. Калимолдаев,
Акад. РАН А. Л. Асеев, проф. С. В. Бачевский, акад. АН РУ Т. Ф. Бекмуратов (Республика Узбекистан), проф. В. А. Васенин, акад. РАН С. Н. Васильев, проф. В. М. Вишневский, чл.-кор. РАН С. С. Гончаров, проф. С. М. Доценко, акад. РАН Ю. Л. Ершов, акад. РАО А. А. Кузнецов, акад. РАН Н. А. Кузнецов, акад. РАН А. П. Кулешов, проф. В. М. Лопаткин, проф. А. Г. Марчук, проф. Б. Я. Рябко, проф. Н. А. Семенов, акад. РАН И. А. Соколов, проф. А. Н. Сотников, чл.-кор. РАН Ю. А. Флеров, проф. П. С. Чубик, акад. НАН КР Ж. Ш. Шаршеналиев (Кыргызская Республика).

Редколлегия

Главный редактор — проф. В. Э. Малышкин,
Д. Ж. Ахмед-Заки, А. Г. Вострецов, Б. С. Гольдштейн, В. И. Гужов, Ю. А. Загорулько, С. Д. Каракозов, М. М. Каримов, В. Н. Касьянов, А. В. Кельманов, О. В. Кибис, В. В. Корнеев, И. В. Котенко, А. И. Ляхов, М. А. Марченко, Ф. А. Мурzin, В. В. Окольнишников, Б. В. Поллер, А. С. Родионов (зам. гл. редактора), Б. Б. Сахариев, Ю. Г. Соловейчик, М. А. Сонькин, Я. И. Фет, В. В. Шахов (зам. гл. редактора), В. П. Шувалов, М. С. Хайретдинов, Ph. D. Moonseong Kim (Korea), Prof. Dr.-Eng. V. D. Nguyen (Vietnam), Michele Pagano (Italy).

Редакция: отв. секретарь М. С. Решетинская, зам. гл. редактора по эл. версии журнала С. В. Ломакин, верстка Д. В. Лазуткин, логист Л. В. Трофимова

Адрес редакции: 630090, г. Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, д. 6, ИВМиМГ СО РАН
тел. (383) 330-96-43; e-mail: problem-info@sscc.ru, <http://www.problem-info.sscc.ru>

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия. Свидетельство ПИ № ФС77-32088 от 27 мая 2008 г.

Подписной индекс в каталоге „Издания органов научно-технической информации“

ОАО «Агентство „Роспечать“» — 69980.

Все права авторов сохранены. Использование материалов журнала возможно только с разрешения редакции и авторов.

Отпечатано в типографии ТОО „Инфо-Алдин“. Адрес: 050009, г. Алма-Ата, ул. Толе би, д. 188; тел./факс 8 (727) 272-78-26. Формат 60×84 1/8. Усл. печ. л. _____. Уч.-изд. л. _____. Печать офсетная. Тираж 300 экз. Заказ № _____. Подписано в печать _____. г.

© Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 2016

© Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК, 2016

Дорогие читатели!
Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК в сентябре отмечает свой 25-летний юбилей

В этом году исполняется 25 лет со дня обретения независимости Республики Казахстан. За эти 25 лет многое удалось добиться нашей многонациональной стране во главе с такой выдающейся личностью как наш Президент Нурсултан Назарбаев. Казахстан нашел свой путь развития, направленный на благосостояние и процветание как всего государства в целом, так и каждого гражданина в частности. Мы гордимся тем, что наш Институт является ровесником независимости нашей страны.



Веком информатики и технологий назвал XXI век Президент РК. Сегодня без надлежащей системы информационного обеспечения невозможен прогресс в любой сфере деятельности государства — экономической, политической, социальной и, естественно, в сфере образования и науки.

Основными направлениями научной деятельности Института информационных и вычислительных технологий являются:

- информационные и вычислительные технологии;
- информационная безопасность;
- теория параметрического регулирования развития нелинейных динамических систем на примере рыночной экономики;
- проблемы распознавания образов, классификации и теории принятия решений;
- разработка моделей, методов и информационной технологии построения интеллектуальных экспертных систем прогнозирования и управления сложными объектами;
- математическое моделирование и управление динамическими, техническими, экономическими системами и их приложения;
- проблемы синтеза и распознавания казахской речи;
- теория моделей и спецификаций информационных систем;
- робототехнические системы.

В настоящее время в Институте трудятся заслуженные деятели науки РК, академики, профессоры, доктора и кандидаты наук. Сотрудники Института занимаются изучением, разработкой, апробацией и внедрением эффективных, доступных программных комплексов и робототехнических систем.

В Институте проводятся научно-исследовательские работы для построения, анализа и программной реализации системы защиты информации с использованием отечественного симметричного блочного алгоритма шифрования, разработанного на базе непозиционных полиномиальных систем счисления.

Разработаны мобильные робототехнические комплексы, оснащенные системой трехмерного машинного зрения, которые применяются как в военной сфере, так и для обеспечения безопасности в общественных местах. Молодые ученые участвуют в различных выставках („KADEX-2016“, „АЙСАР-2016“, „Айбын“), где демонстрируют собственные технические разработки.

В течение 25 лет Институт интенсивно развивался, расширяя сферы своей деятельности, рос качественно и количественно.

Результаты НИР ИИВТ получили заслуженное признание в республике, о чем свидетельствуют публикации в зарубежных рейтинговых журналах и выигранные сотрудниками гранты по линии INTAS, МНТЦ, CRDF (Американский фонд гражданских исследований и разработок), INCO-Copernicus „STEPICA“, UNESCO, Премии фонда Первого Президента за 2015 год.

Многие результаты научных исследований, выполненных в Институте, нашли свое практическое применение в развитии информационной инфраструктуры Республики Казахстан.

В Институте регулярно проводятся различные конференции и научные семинары. ИИВТ является одним из организаторов ежегодной Международной азиатской школы-семинара „Проблемы оптимизации сложных систем“. Целью проведения этих мероприятий является объединение научных исследований ученых, обмен опытом по ряду проблем современной науки, а также передача этого опыта магистрантам, докторантам и студентам старших курсов.

Президент Казахстана всегда пристальное внимание уделял и уделяет развитию науки и инновационных технологий, подчеркивая, что эти процессы невозможны без участия молодежи. За последние годы в Институт пришло много молодых людей. Ведется организационная работа по активизации грантопоисковой деятельности молодых ученых Института и по привлечению их в научные проекты, реализуемые под руководством крупных ученых. Институт активно занимается подготовкой кадров высшей квалификации. В течение 2015 года магистранты и докторанты ИИВТ прошли зарубежные стажировки в России, США, Японии, Франции, Англии, Германии, Польше, Южной Корее, Малайзии. Молодые сотрудники нашего Института принимают активное участие в конкурсе Startup-проектов.

В рамках международного сотрудничества заключаются договоры, меморандумы о научно-техническом сотрудничестве, как с научными, так и с образовательными организациями, в настоящее время заключены соглашения с более чем 20 партнерами.

ИИВТ является организацией-членом Технического комитета ТК-34 „Информационные технологии“ Госстандарта РК при АО „Национальные информационные технологии“, постоянно существует в рассмотрении и согласовании проектов государственных стандартов РК, разрабатываемых различными организациями.

Основными задачами ИИВТ, предназначением которого определено обеспечение высокого научно-технического уровня и конкурентоспособности результатов при выполнении фундаментальных и прикладных исследований в области информатики и управления, а также последующая коммерциализация полученных результатов, являются следующие:

- развитие науки и технологий, подготовка квалифицированных кадров в сфере информационно-коммуникационных технологий;
- противодействие использованию потенциала информационно-коммуникационных технологий, угрожающего национальной безопасности;
- сближение национального законодательства и нормативно-технической базы с законодательствами стран СНГ в сфере информационно-коммуникационных технологий;
- организация трансграничного информационного обмена электронными документами в рамках ЕАЭС;

- разработка и реализация совместных проектов и программ в области информационно-коммуникационных технологий, оказывающих эффективное воздействие на развитие экономики;
- гармонизация работ, проводимых в государствах СНГ, по развитию информационного общества и созданию единого информационного пространства;
- разработка и внедрение современных приложений информационно-коммуникационных технологий.

Сильная инфраструктура, мощный интеллектуальный и творческий потенциал Института информационных и вычислительных технологий позволяют с уверенностью смотреть в будущее и трудиться на благо народа Республики Казахстан.

25-летний юбилей Института — не только знаменательная дата для самого учреждения, это праздник для всех сотрудников Института, в том числе и тех, кого уже нет с нами. Важны не только результаты деятельности коллектива, выраженные в научных трудах, диссертациях, экспертных заключениях, открытиях, но и та особая аура Института, которую создали знания, интеллект, патриотизм и творческое вдохновение предшествующих поколений. Знаю, что этим живет наш коллектив сегодня. Верю, что так будет всегда.

Председатель редакционного совета,
Ген. директор ИИВТ КН МОН РК,
член-корр. НАН РК, д-р физ.-мат. наук, профессор

М. Н. Калимолдаев

СОДЕРЖАНИЕ

Об истории института 6

Теоретическая и системная информатика

<i>Кудайкулов А. К., Ташев А. А.</i> Правила получения системы дифференциальных уравнений для оценки распространения тепла в стержне с использованием квадратичной аппроксимации при увеличении числа элементов	25
<i>Нысанбаева С. Е., Магзом М. М.</i> Объектно-ориентированный подход при компьютерном моделировании алгоритма шифрования на базе непозиционной полиномиальной системы счисления	45

Прикладные информационные технологии

<i>Калимолов М. Н., Абдилдаева А. А., Мамырбаев О. Ж., Дузбаев Т., Тойбаева Ш. Ж., Галиева Ф.</i> Разработка информационной системы для электроэнергетических систем	55
<i>Плесневич Г. С., Карабеков Б. С., Нгуен Тхи Минь Ву.</i> Спецификация онтологий для потоков задач	73
Правила представления и подготовки рукописей для публикации в журнале „ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ“	88

ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ
№ 4 (33) 2016 г.

Об истории института

В этом году исполняется 25 лет со дня обретения независимости Республики Казахстан. 16 декабря 1991 года президентом был подписан Конституционный закон „О государственной независимости Республики Казахстан“. Это событие послужило началом новой истории, истории становления молодого суверенного государства, истории возрождения национального сознания и культурных традиций. За эти 25 лет многое удалось добиться нашей многонациональной стране во главе с такой выдающейся личностью как наш Президент. Из малоизвестной социалистической республики в начале 90-х Казахстан нашел свой путь развития, направленный на благосостояние и процветание как всего государства в целом, так и каждого гражданина в частности. Мы гордимся тем, что наш Институт является ровесником независимости нашей страны.

Тогда, в начале 90-х на волне демократических преобразований в стране Президенту АН КазССР У. М. Султангазину после глубокой проработки научных и организационных вопросов удалось добиться в Совете Министров Казахстана согласия об открытии самостоятельного Института проблем информатики и управления. Президиум АН КазССР утвердил структуру Института, подчинив его Отделению физико-математических наук, руководителем которого был член-корреспондент АН КазССР, доктор физико-математических наук В. М. Амербаев.

Информатика — естественная наука, изучающая общие свойства информации, процессы, методы и средства ее автоматизированной обработки.

Объекты изучения информатики — информационные процессы, происходящие в системах различной природы, а именно в системах живой (биологической системе) и неживой (физической системе) природы, в социальных и технических системах. Информатика изучает то общее, что свойственно всем информационным процессам. С использованием методов информатики ученые могут изучать самые разнообразные проблемы, что подтверждается в последние годы научными публикациями. Это и биофизические процессы головного мозга, и физические силы галактик, и распространение инфекционных болезней, и крупномасштабные природные катаклизмы, и многое другое. Хотя отдельные аспекты проявления информационных процессов в различных информационных средах могут исследовать различные науки, но, кроме информатики, никакая другая научная дисциплина не изучает законы и методы работы с информацией, закономерности протекания информационных процессов в системах различной природы. Информатика как фундаментальная наука становится ключевой составляющей всей системы научного познания и будет в значительной степени определять пути развития науки, техники и общества.

Институт проблем информатики и управления был организован в сентябре 1991 года в соответствии с постановлением Кабинета Министров Республики Казахстан от 12 августа 1991 года № 469 „Об организации Института проблем информатики и управления Академии наук Казахской ССР“ и постановлением Президиума Академии наук Казахской ССР от 11 сентября 1991 года № 75 для интенсивного и целенаправленного развития в Казахстане фундаментальных и прикладных исследований в области информатики и управления и научного обеспечения программы информатизации республики.

Институт возглавил Абыкаппар Ашимович Ашимов — доктор технических наук, действительный член Национальной академии наук Республики Казахстан, профессор, заслуженный деятель науки Республики Казахстан.

ПОСТАНОВЛЕНИЕ № 75 от 11.09.91 г.

Об организации Института
проблем информатики и
управления Академии Наук
Казахской ССР

В соответствии с Постановлением Кабинета Министров
Казахской ССР от 12 августа 1991 г. № 469 Президиум Академии
наук Казахской ССР

ПОСТАНОВЛЕНИЕ:

1. Организовать в г. Алма-Ате Институт проблем информатики и
управления Академии наук Казахской ССР на базе НТК "Кибернетика"
при Институте математики и механики Академии наук Казахской ССР
с 12 августа 1991 года.

2. Установить следующие основные направления научной деятельности
Института проблем информатики и управления Академии наук
Казахской ССР:

- разработка методических основ и положений научно-методического руководства процессами информатизации республики;
- разработка математических методов моделирования и управления в народном хозяйстве на основе информационных технологий и новых поколений вычислительной техники;
- разработка научных основ систем искусственного интеллекта, новых информационных технологий создания банка данных, программных изделий и систем управления технологическими процессами;
- развитие теоретических основ создания вычислительных средств новых поколений и разработка на их базе вычислительных устройств на принципах нетрадиционной архитектуры, исследования, проектирования и управления цифровыми сетями интегрального обслуживания и локальными вычислительными сетями (ЛВС).

3. Определить объем финансирования Института проблем информатики и управления в сумме тыс. руб. по госбюджету и по хоздоговорным работам тыс. руб.

4. Утвердить структуру Института проблем информатики и управления:

1. Административно-управленческий аппарат
2. Отдел инфраструктуры информатизации

- 2 -

научные лаборатории:

- вычислительных средств нетрадиционной архитектуры;
- сетевых систем;
- динамической логики

3. Отдел новых информационных технологий:

научные лаборатории:

- баз данных и инструментальных программных средств
- = создания банков данных;
- программной инженерии (- технологии);
- систем искусственного интеллекта;
- экономики программирования;
- гипертекстовых сетей и систем;
- интегрированных интеллектуальных систем

4. Отдел моделирования и управления:

научные лаборатории:

- макросистем;
- управления организационными системами;
- управления техническими системами;
- роботоавтоматизированных систем;

5. Отдел координации и научно-методического руководства процессом информатизации республики

научная лаборатория:

- координации и научно-методического руководства процессом информатизации республики.

6. Обслуживающий отдел вычислительной техники.

7. Отдел научно-технической информации и технико-экономического прогноза.

5. Назначить:

- и.о. директора Института проблем информатики и управления члена-корреспондента АН Казахской ССР А.А.Ашимова с последующим избранием директора согласно существующему положению;

Каз ССР



**ҚАЗАҚ ССР ФЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ ПРЕЗИДИУМЫНЫҢ
ҚАУЛЫСЫ—ПОСТАНОВЛЕНИЕ
ПРЕЗИДИУМА АКАДЕМИИ НАУК КАЗАХСКОЙ ССР**

Алматы қаласы, Шевченко көшесі, 28

№ 82 • 24. 11 1992 ж.

Об утверждении директоров Институтов космических исследований, механики и машиноведения, проблем информатики и управления, физико-технического

В соответствии с решением Общего собрания Отделения физико-математических наук от 27 октября 1992 г. Президиум Академии наук Республики Казахстан ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Утвердить в должности директора Института космических исследований АН РК академика АН РК Султангазина У.М.
2. Утвердить в должности директора Института механики и машиноведения АН РК академика АН РК Джолдасбекова У.А.
3. Утвердить в должности директора Института проблем информатики и управления члена-корреспондента АН РК Ашимова А.
4. Утвердить в должности директора Физико-технического института члена-корреспондента АН РК Мукашева Б.Н.

Вице-президент
Академии наук Республики
Казахстан, академик АН РК

И.о. Главного ученого секретаря
Президиума Академии наук РК
доктор юридических наук

Б.Н.Околович

М.К.Сулейменов

Институт проблем
информатики и управления
АН КазССР
Входящий № 193
2 12 1992г.

А. А. Ашимов — крупный ученый, талантливый педагог, умелый организатор науки и образования. Им была выполнена большая работа по становлению нового Института, разработке его научной программы и ориентации коллектива на решение фундаментальных и современных задач в области информатики, теоретических и прикладных аспектов управления.

Он является основоположником отечественной научной школы в области теории систем управления и технической кибернетики. Исключительное внимание профессор Ашимов уделяет подготовке молодых научных кадров.

При непосредственном участии А. Ашимова и его учеников К. Ш. Асаубаева, Б. А. Джапарова, Г. З. Казиева, К. С. Сагынгалиева, Д. Ж. Сыздыкова, С. П. Соколовой, Г. М. Тохтабаева, У. А. Тукеева, Д. Н. Шукаева и др. выполнены фундаментальные исследования в области теоретических основ идентификации, современной теории автоматического управления и организационных систем. Результаты исследований, полученные А. А. Ашимовым, легли в основу разработки алгоритмического обеспечения автоматизированных систем управления комплексами и отдельными инерционными непрерывными технологическими процессами, подсистем оперативно-календарного планирования производственной деятельности предприятий с непрерывно-дискретным характером производства и планирования профилактических и капитальных ремонтов оборудования автоматизированных систем управления предприятий.

Высокая эрудиция в области теории идентификации и теории усреднения стандартных дифференциальных уравнений позволили выполнить теоретические исследования по беспоисковой идентификации одномерных и многомерных непрерывных динамических объектов управления с применением упрощенных алгоритмов для перестройки параметров моделей с целью синтеза упрощенных беспоисковых алгоритмов. Показаны способы приведения к стандартной форме дифференциальных уравнений, описывающих динамику процессов в поисковой системе автоматической идентификации с синхронным детектированием. Методом теории усреднений стандартных дифференциальных уравнений выделены усредненные движения и получены упрощенные беспоисковые алгоритмы идентификации для квазистационарного и форсированного режимов. Вторым методом Ляпунова получены условия устойчивости беспоисковой системы идентификации одномерных и многомерных объектов управления. Результаты исследования обобщены на беспоисковые дискретные системы идентификации, для которых с применением дискретного аналога второго метода Ляпунова получены условия устойчивости и асимптотической устойчивости системы идентификации.

С 1997 г. А. А. Ашимов — заведующий отделом „Системный анализ и управление“ Института проблем информатики и управления. Предметом его научных исследований являются управление техническими и организационными системами; инженерия данных и знаний. Им предложен и исследован ряд эффективных методов идентификации; разработаны теории систем автоматического управления с изменяющейся конфигурацией и динамической частотно-импульсной модуляцией; созданы основы теории синтеза согласованных механизмов функционирования активных производственных систем.

За выдающиеся заслуги перед Отечеством Абдыкаппар Ашимович 8 декабря 2006 года был награжден орденом „Парасат“.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ
АКАДЕМИЯСЫНЫҢ
ТӨРАЛҚАСЫНЫҢ
ӘКІМІ

480021, Алматы қаласы, Шевченко көшесі, 28



РАСПОРЯЖЕНИЕ

ПРЕЗИДИУМА
НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК

РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

480021, г Алматы, ул. Шевченко, 28

№ 199 жылғы

№ 631 от 14.12.1994 г.

АШИМОВА АБДЫКАППАРА АШИМОВИЧА - члена-корреспондента НАН РК в связи с назначением Председателем ВАК при Кабинете Министров Республики Казахстан освободить от должности директора Института проблем информатики и управления НАН РК с 21 ноября 1994 г., оставив за ним научное руководство программой "Информатика, управление и вычислительная техника", включая тематику НИР этого института.

АЙДАРХАНОВА МАХМЕТА БЕРКУТБАЕВИЧА - доктора физико-математических наук назначить и.о.директора Института проблем информатики и управления НАН РК с правом первой подписи на всех денежных документах с оплатой согласно штатному расписанию с 21 ноября т.г.

- Основание: 1. Заявление об освобождении от должности директора Ашимова А.А.
2. Заявление о назначении на должность и.о.директора Айдарханова М.Б.
 3. Представление академика-секретаря ОФМН Харина С.Н. на Айдарханова М.Б.
 4. Выписка из решения Бюро ОФМН
 5. Визы вице-президентов, и.о.Главного ученого секретаря и академика-секретаря Отделения физико-математических наук
 6. Постановление Президиума НАН РК от 1994 г.

Президент

К. Сагадиев

Тип. изд-ва «Ғылым». 1994 г. Зак. 525—527—8000.

С 1994 года А. А. Ашимов стал председателем ВАК при Кабинете Министров РК, его на посту сменил заместитель директора Института, доктор физико-математических наук, профессор, академик Международной академии информатизации и Международной академии наук о природе и обществе (по Московскому отделению) М. Б. Айдарханов (1948–2007 гг.). Новым заместителем директора был назначен доктор технических наук Р. Г. Бияшев, воспитанник Лаборатории машинной и вычислительной математики, дол-

гое время проработавший во Всесоюзном научно-исследовательском институте проблем организации и управления Комитета по науке СССР.

В 1998 г. ему присвоено ученое звание профессора по специальности 05.13.00 — „Информатика, вычислительная техника и автоматизация“. В 1995 г. избран академиком Международной академии информатизации, а в 1997 г. — Международной академии наук о природе и обществе (по Московскому отделению). С 2000 г. — член (представителем Казахстана) Международной ассоциации UNESCO ACCESS net (ассоциация поддержки устойчивого развития компьютерных центров и институтов информационных технологий), зарегистрированной в г. Лионе (Франция).

В 1998 г. в рамках межправительственной программы по информатике ЮНЕСКО при активном участии М. Б. Айдарханова Институт был назначен головным исполнителем проекта ЮНЕСКО „Создание Информационного центра по совершенствованию специалистов и информационному сервису“ для стран Центральной Азии, благодаря чему ИПИУ был оснащен современной на то время компьютерной и оргтехникой. С 2005 г. он являлся руководителем проекта ЮНЕСКО „Электронные библиотеки в сельской местности для уменьшения цифрового разрыва в Центральной Азии“.

Новому директору М. Б. Айдарханову удалось привлечь дополнительное финансирование Института из-за рубежа и от смежных отраслей (биология, медицина и пр.).

Им опубликовано около 140 научных работ, в том числе 5 монографий. Многие из его научных трудов опубликованы в известных международных и российских журналах. Под его научным руководством подготовлены четыре докторских и девять кандидатских диссертаций.

Награды: Почетная грамота ЦК ЛКСМ Казахстана (1980), Почетная грамота Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (1998, 1999), Нагрудный знак „За заслуги в развитии науки в Республике Казахстан“, орден „Курмет“ (2006).

После безвременной кончины М. Б. Айдарханова в 2007 году обязанности руководителя исполнял его заместитель Р. Г. Бияшев.

27 августа 2008 г. на должность директора ДГП „Институт проблем информатики и управления“ КН МОН РК назначен член-корреспондент НАН РК, доктор физико-математических наук, профессор М. Н. Калимолдаев.

М. Н. Калимолдаев — высококвалифицированный специалист в области математического моделирования динамических систем, теории управления и информационных технологий. Возглавляемый им Институт является флагманом в Республике Казахстан в области информатики и проблем управления. Институт является коррдинатором многих научных программ по информационным технологиям.

Исследования М. Н. Калимолдаева связаны с одним из важных разделов математического моделирования и теории управления: разработка математических моделей для исследования устойчивости, стабилизации, управляемости и оптимальности фазовых (электроэнергетических), технических и экономических систем. Также он в последнее время занимается проблемами разработки синтеза и распознавания казахской речи, защиты информации и теории принятия решения. В этих направлениях Калимолдаевым М.Н. получены фундаментальные результаты, в частности:

— решены задачи стабилизации, управляемости и оптимальности фазовых систем и ее приложения к конкретным сложным электроэнергетическим системам;

— получены оценки областей притяжения математических моделей фазовых систем на основе нестандартной функции Ляпунова;

ҚАЗАКСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
ҒЫЛЫМ КОМИТЕТИНІҢ
Республикалық мемлекеттік кәсіпорыны
МАТЕМАТИКА, ИНФОРМАТИКА
ЖӘНЕ МЕХАНИКА ИНСТИТУТЫ

050010, Алматы к., Шевченко к-сі, 28
Тел.: 291-37-40

БҮЙРЫҚ

«27 тамыз

2008ж.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И
НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КОМИТЕТ НАУКИ
Республиканское государственное предприятие
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ,
ИНФОРМАТИКИ И МЕХАНИКИ

050010, г. Алматы, ул. Шевченко 28,
Тел.: 291-37-40

ПРИКАЗ

№ 16-17

Б Ұ Й Ы Р А М Ы Н:

1. 2008 жылдың 27 тамызынан бастап Қазақстан Республикасы Укіметінің 2003 жылғы 10 шілдедегі № 685 қаулысымен бекітілген «Мемлекеттік кәсіпорындарын басшыларын тағайындау және аттестациялау ережесіне» сәйкес белгіленген тәртіппен конкурстан жеңіп алған Мақсат Нурадилұлы Қалимолдаевты «Информатика және басқару проблемалары институты» еншілес мемлекеттік кәсіпорының директоры болып тағайындалдын.

Негізі: Конкурстық комиссияның 2008 жылғы 27 тамыздағы №2 хаттамасы, 2008 жылғы 28 тамыздағы енбек шарты.

Назначить Калимолдаева Максата Нурадиловича директором ДГП «Институт проблем информатики и управления» с 27 августа 2008 года как победивший в результате конкурса на занятие вакантной должности руководителя, в соответствии с Правилами назначения и аттестации руководителей государственных предприятий, утвержденных Постановлением Правительства Республики Казахстан № 685 от 10.07.2003 г.

Основание: протокол №2 Конкурсной комиссии от 27 августа 2008 года, Трудовой договор от 28 августа 2008 года.

Бас директор

Т.Ш.Кәлменов

С приказом ознакомлен:

- доказаны различные теоремы устойчивости нелинейных систем при постоянно действующих возмущениях, малых в среднем и исчезающих на бесконечности;
- получены необходимые и достаточные условия существования предельных циклов первого и второго рода, а также круговых движений;
- разработаны модели оптимального управления многоотраслевой экономикой на конечном отрезке времени;

- исследована макромодель Фридмена. Найдены дифференциальные уравнения для нахождения реального дохода и формулы изменения массы денег на конечном горизонте планирования;
- для моделей эндогенного экономического роста Барро и Лукаса найдены оптимальные управления, стабилизирующие экономический процесс;
- разработан метод фонетико-акустической классификации речевого сигнала, позволяющий унифицировать фонетико-акустическую структуру языка;
- разработаны математические методы и модели, которые позволяют в широком диапазоне осуществлять модификацию интонационных характеристик набора эталонных речевых сигналов по множеству регулируемых параметров;
- показана применимость разработанных методов, моделей и программных комплексов в решении задачи синтеза речевого сигнала по фонемному тексту на примере различных языков. В результате синтеза получены приемлемые по качеству результаты для каждого из рассмотренных языков, что доказывает унифицированность разработанных методов, моделей и программных комплексов;
- разработан комплекс программ, реализующий унифицированные методы синтеза речевого сигнала по фонемному тексту применительно к казахскому языку.

Исследования носят как теоретический, так и практический характер. Основная часть результатов опубликована в международных рецензируемых журналах, подтверждая их научную значимость и соответствие мировому уровню науки. Полученные результаты могут быть использованы для проектирования сложных электроэнергетических комплексов, при разработке макроэкономических моделей стабилизации экономических процессов в государствах, в робототехнике и интеллектуальных устройствах, „умном доме“, в системе телефонии, при автоматизации технологических процессов и в системах помощи людям с ограниченными возможностями.

М. Н. Калимолдаев награжден „Благодарственным письмом“ Президента РК, юбилейной медалью к 20-летию Независимости Республики Казахстан 2011 г., нагрудным знаком „За заслуги в развитии науки в Республике Казахстан“. За время работы в Институте М. Н. Калимолдаев проявил себя как крупный организатор науки и образования, показал высокий уровень теоретической и практической подготовки, способность самостоятельно решать поставленные перед ним задачи.

В ИПИУ исследования в области информатики и информационных технологий в Казахстане проводились по следующим программам:

- 1) Междисциплинарная программа „Информатика“, 1991–1992 гг.;
- 2) „Информатика, управление и вычислительная техника“, 1993–1996 гг.;
- 3) „Теоретические проблемы информатики, управления и создания информационных систем“, 1997–1999 гг.;



4) „Исследовать математические модели, методы и средства информационных технологий построения информационных систем управления“, 2000–2002 гг.;

5) „Разработка фундаментальных основ принятия решений, языков спецификаций, биокомпьютерного моделирования, управления сложными объектами для создания безопасных и эффективных информационных систем“, 2003–2005 гг.;

6) Институт в 2005–2007 годах участвовал в государственной космической программе „Развитие космической деятельности в Республике Казахстан“ по двум темам:

- „Разработка моделей и методов принятия решений по управлению угловым движением геостационарных космических аппаратов“;

- „Разработка технологических основ создания и применения спутниковых информационно-телекоммуникационных систем и обеспечение их безопасности“.

7) „Фундаментальные вопросы физики, математики, механики и информатики“, подпрограмма „Разработка и исследование моделей, методов и алгоритмов создания защищенных и интеллектуальных информационных технологий“, 2006–2008 гг.

8) „Актуальные проблемы физики, математики, механики и информатики“, подпрограмма „Разработка и исследование моделей, методов и алгоритмов создания интеллектуальных и безопасных информационных технологий“, 2009–2011 гг.

Казахстан меняет курс от сырьевой направленности к диверсификации экономики, основу которой должна составить эффективно функционирующая национальная инновационная система. Это приоритетное направление четко обозначил в Послании народу Казахстана Президент Нурсултан Назарбаев. Главой государства поставлены принципиально новые задачи перед научным сообществом страны: создать эффективную систему управления отечественной наукой, повысить актуальность и качество научных исследований, содействовать развитию университетской науки.



Новая модель системы управления наукой воплощена в принятом 18 февраля 2011 г. Законе „О науке“. Принципиальным новшеством закона являются новые механизмы поддержки науки и инновационной деятельности. Повышаются роль и ответственность ученых в принятии решений, вводится новая система финансирования исследований, что позволит стимулировать активно работающих ученых. В связи с принятием нового закона с 2012 года и по настоящее время в Институте проводятся научные исследования по грантовому и программно-целевому финансированию.

В 2013 г. Институт проблем информатики и управления был преобразован в Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения (РГП на ПХВ) „Институт информационных и вычислительных технологий“ (ИИВТ) КН МОН РК.

Научные исследования, проводимые в институте, направлены, прежде всего, на развитие новых информационных технологий.

**О переименовании Республиканского государственного предприятия
на праве хозяйственного ведения**

„Институт проблем информатики и управления“

Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан

Постановление Правительства Республики Казахстан от 8 мая 2013 № 465

В соответствии с подпунктом 4 статьи 11 Закона Республики Казахстан от 1 марта 2011 года „О государственном имуществе“ Правительство Республики Казахстан

ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Переименовать Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения „Институт проблем информатики и управления“ Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан в Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения „Институт информационных и вычислительных технологий“ Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (далее - предприятие).
2. Комитету науки Министерства образования и науки Республики Казахстан в установленном законодательством Республики Казахстан порядке обеспечить: 1) представление на утверждение в Комитет государственного имущества и приватизации Министерства финансов Республики Казахстан устава предприятия; 2) государственную перерегистрацию предприятия в органах юстиции; 3) принятие иных мер, вытекающих из настоящего постановления.
3. Утвердить прилагаемые изменения, которые вносятся в некоторые решения Правительства Республики Казахстан.
4. Настоящее постановление вводится в действие со дня подписания.

Премьер-Министр Республики Казахстан С. Ахметов

Основными направлениями научной деятельности Института информационных и вычислительных технологий являются:

- информационные и вычислительные технологии;
- информационная безопасность;
- теория параметрического регулирования развития нелинейных динамических систем на примере рыночной экономики;
- проблемы распознавания образов, классификации и теории принятия решений;
- оптимизация и оптимальное управление динамических систем;
- разработка моделей, методов и информационной технологии построения интеллектуальных экспертных систем прогнозирования и управления сложными объектами;
- математическое моделирование и управление динамическими, техническими, экономическими системами и их приложения;
- проблемы синтеза и распознавания казахской речи;
- теория моделей и спецификаций информационных систем.
- робототехнические системы.

В состав института вошли 9 лабораторий:

- лаборатория информационной безопасности;
- лаборатория распознавания образов и принятия решений им. проф. М. Б. Айдарханова;
- лаборатория теории моделей и спецификаций информационных систем;
- лаборатория интеллектуальных систем управления и прогнозирования;

- лаборатория системного анализа и управления;
- лаборатория математической кибернетики и вычислительных технологий;
- лаборатория математического и компьютерного моделирования;
- лаборатория анализа и моделирования информационных процессов;
- лаборатория компьютерных систем.

В течение 25 лет Институт интенсивно развивался, расширяя сферы своей деятельности, рос качественно и количественно.

За последние несколько лет учеными Института получены важнейшие научные результаты, представляющие научную новизну:

— исследованы математические модели динамических систем с неединственным состоянием равновесия на глобальную асимптотическую устойчивость с точки зрения стабилизации движения;

— разработаны математические модели фазовых систем и получены условия устойчивости, стабилизации, оптимальности и управляемости сложных электроэнергетических систем;

— предложена теория параметрического регулирования экономики РК, состоящая из следующих компонент: методы формирования набора макроэкономических моделей экономики РК, методы оценки показателей устойчивости и условий грубости и т. д.;

— разработана уникальная технология защиты информации, реализующая созданные в институте оригинальные отечественные алгоритмы шифрования и формирования электронной цифровой подписи, не имеющие аналогов по быстродействию и криптостойкости;

— построена система криптографической защиты информации. Эта система — комплекс компьютерных программ, включающий взаимосвязанные блоки формирования полных секретных ключей, системы шифрования и схемы ЭЦП;

— предложены в ТК 34 два предварительных национальных стандарта по алгоритмам шифрования и хэширования;

— разработана новейшая интеллектуальная технология обработки и прогноза многомерных данных на основе искусственных иммунных систем и мультиалгоритмического подхода, нацеленная на повышение достоверности прогноза;

— впервые разработана технология компьютерного молекулярного дизайна лекарственных препаратов с заданными свойствами на основе иммуносетевого моделирования;

— разработан системный подход на основе объединения методов обработки химической структурной информации с молекулярным моделированием и распознаванием образов на основе искусственных иммунных систем;

— разработана интеллектуальная технология иммуносетевого прогнозирования свойств лекарственных препаратов на основе мультиалгоритмического подхода;

— промоделированы различные сценарии влияния лекарственных препаратов на организм человека на основе подхода искусственных иммунных систем;



- осуществлена программно-аппаратная реализация иммунносетевой технологии для систем промышленной автоматизации на оборудовании Schneider Electric. Разработан алгоритм сбора данных с помощью технологии OPC и программного обеспечения OPC Factory Server (Schneider Electric) для работы с контроллерами под управлением Unity Pro;
- разработана гибридная интеллектуальная система для решения задачи обеспечения безопасности глобальной компьютерной сети. Предложены компоненты иммунной интеллектуальной автоматической системы управления иммунным ответом компьютерной сети: блок обнаружения внедрения сетевого вируса, генерирование сигнала обратной связи, станция управления для формирования иммунного ответа, модуль моделирования закона управления;
- предложен новый метод обработки данных дистанционного зондирования, который позволит создать качественный атлас сигнатур для различных ландшафтов Республики Казахстан;
- разработан и реализован алгоритм для оценки рангов первых двух групп гомологий по цифровым изображениям;
- разработан проект специальной автоматизированной метеостанции для мониторинга снежных лавин;
- разработаны модели и алгоритмы анализа, параметризации и распознавания трехмерных изображений;
- разработана структура ряда математических моделей для выработки согласованной эффективной экономической политики стран таможенного союза с учетом их вхождения в ВТО. Созданы алгоритмы, программное обеспечение и параметрическая идентификация разработанных математических моделей;
- создан программный комплекс для автоматического сбора и анализа текстовой информации на казахском языке в сети Интернет. Разработаны система автоматической параметризации и сегментации речевых сигналов на уровне фонетических единиц; система анализа и синтеза речевых сигналов на основе синусоидальной модели; система визуализации результатов параметризации речевых сигналов; система автоматической идентификации диктора, определения индивидуальных речевых характеристик;
- получены условия устойчивости, стабилизации движения, оптимальность и управляемость сложных электроэнергетических систем, а также моделей Парка-Горева. Данные результаты применимы при проектировании и эксплуатации конкретных электродвигателей и крупных электроэнергетических комплексов. Разработан программный комплекс исследования динамики сложных электроэнергетических систем в среде Visual Studio;
- для моделей экономического роста Барро и Лукаса, а также для трехсекторной модели макроэкономики получены условия управляемости и оптимальности;
- осуществлена стабилизация математической модели макроэкономических процессов на базе уравнения денежного обмена Ньюкомба-Фишера.

Институт информационных и вычислительных технологий в рамках проекта „Робототехнические системы и машинное зрение“ разработал и построил следующие робототехнические комплексы: мобильная платформа для научных целей; специальный мобильный робот для обхода препятствий; гусеничная мобильная платформа с машинным зрением для военных и специальных гражданских служб; модель скоростного высокоманевренного истребителя „Беркут“; гексаконтер с видеокамерой; квадрокоптер с видеокамерой;

разведывательный робот; разведывательный робот-танк; мобильный миниробот; создана система автоматического синтеза и распознавания казахской речи.

Были решены две задачи:

1) Разработана единая информационная система для управления робототехникой.

2) Развернут облачный сервер для обеспечения единого управления.

В процессе работы создано универсальное программное обеспечение, позволяющее использовать устройства, доступные на мобильных платформах (смартфоны, планшеты, ноутбуки). Это позволяет осуществить переход к компактным системам управления. Разработка существенно снижает расходы на приобретение оборудования и обеспечивает мобильность управления робототехническими системами.

На IV Международной выставке вооружения и военно-технического имущества „KADEX-2016“, которая прошла со 2 по 5 июня 2016 года в г. Астане, Институтом были выставлены три робототехнических системы.

29 апреля 2016 г. Президент Казахстана — Верховный Главнокомандующий Вооруженными Силами — осмотрел основные объекты Центра боевой и методической подготовки подразделений специального назначения Министерства внутренних дел, а также наблюдал за учениями, в которых были задействованы силы и средства подразделений специального назначения (КАЙСАР-2016). Во время учений была проведена выставка технических достижений в области военной техники, наш Институт представил три единицы техники.

14 июня 2016 г. в учебном центре „Спасск“ Карагандинской области был проведен второй республиканский военно-патриотический сбор молодежи „Айбын“. В сбоее приняли участие воспитанники военно-патриотических клубов, студенты военных кафедр высших учебных заведений и сотрудники научно-исследовательских институтов. В сбоее наша молодежь продемонстрировала работу робототехнических систем в военных условиях.

Результаты НИР ИИВТ получили заслуженное признание в республике, о чем свидетельствуют публикации в зарубежных и российских рейтинговых журналах, например, в таких как Lecture Notes in Engineering and Computer Science, Advances in Systems Science and Applications, Complex Variables and Elliptic Equations, International Journal of Speech Technology, International Journal of Mathematical Analysis и др.

Многие результаты научных исследований, выполненных в Институте, нашли свое практическое применение в развитии информационной инфраструктуры Республики Казахстан, а именно:



- республиканская информационно-вычислительная система „Приватизация“ (1993–1994).
- автоматизированная система для городской больницы „Калкаман“ (1995).
- автоматизированная система для ВАК РК (1999).
- методы криптографической защиты информации и формирования электронной подписи, реализованы программно и встроены в программный комплекс Национального центра стандартизации образования и тестирования (1999).
- разработаны методы по распознаванию образов и классификации, они применялись при обработке результатов космической съемки для уточнения современного русла реки Сыр-Дарья и границ подводных геологических объектов и береговой линии Каспийского моря (1999).
- в ЗАО „Центр межбанковских и финансовых телекоммуникаций“ на базе аналитического метода вычисления основных характеристик и параметров качества обслуживания разработаны подсети коммутации каналов с обходными направлениями передачи нагрузок, входящих в состав цифровой сети с интеграцией служб (2000).
- на базе формализма искусственных иммунных систем была разработана интеллектуальная система охраны сложных объектов и периметра, которая интегрирована в Автоматизированную информационно-управляющую систему охраны и внедрена в РГП „Казакстан темір жолы“ и в РГП „Кузет“ (2001).
- разработана вторая версия и усовершенствована первая программной системы защиты информации в среде Internet, которые внедрены в ТОО „СП Агпа-SprintDataCommunications“ (2001).
- пакет прикладных программ СА1ММ2002, использовался сотрудниками лаборатории „Интеллектуальные системы управления и сети“ для выполнения проекта по гранту, финансируемому Европейским сообществом (2002).
- теоретические результаты и практические рекомендации научных исследований в области распознавания образов и классификаций внедрены в производственно-технологический цикл выполнения проекта „Корпоривная система Космического экологического мониторинга АО ПК „КазМунайГаз“ (2006).
- разработанные математическое и прикладное программное обеспечение по анализу, обработке и прогнозированию данных на основе подхода искусственных иммунных систем внедрены в АО „Банк ЦентрКредит“ (2008).
- вычислительные алгоритмы и программное обеспечение обработки баз данных в области анализа и прогнозирования данных на основе подхода искусственных иммунных систем использованы при анализе и прогнозе пиковых нагрузок, возникающих в платежных системах АО „Казкоммерцбанк“ (2008).
- разработанные математическое и прикладное программное обеспечение в виде пакета прикладных программ в области интервально-заданных объектов внедрены в учебный процесс Академии гражданской авиации (2009).
- в филиал АО НК КТЖ (Алма-Ата) внедрены разработанная расчетная схема для определения частот колебания оболочек, частично или полностью заполненных жидкостью, и программный комплекс, реализующий модель для оценки запасов прочности по напряжениям и деформациям (2010).
- в ТОО „Магнетик“ (Алма-Ата) внедрены разработанная методика расчета собственных колебаний оболочек тетрагональной структуры с учетом дискретности элементов и

соответствующий программный комплекс в целях выявления зависимости между деформациями и усилиями в металлических узлах крепления рельсов (2010).

Сотрудниками Института было выиграно 9 международных грантов: INTAS — 2, МНТЦ — 1, CRDF — 2, INCO-Copernicus — 1, UNESCO — 3.

Среди них такие как:

— грант CRDF (Гражданский фонд развития исследований, США) „Problems in Logic: Expansions of stable and ordered structures“ („Проблемы логики: обогащения стабильных и упорядоченных структур“) — 2004–2006 гг.;

— грант ЮНЕСКО „Electronic Libraries in Rural Areas for reducing digital divide in Central Asia“ („Электронные библиотеки в сельских районах для сокращения цифрового разрыва в Центральной Азии“) — 2005–2006 гг.;

— индивидуальный грант INTAS для молодых ученых (ref. No YSF 04-83-3042) с 1 апреля 2005 года по 31 марта 2007 года (В. В. Вербовский);

— грант INCO-Copernicus „STEPICA“, Contract № ICA2-CT-2000-10048, финансируемый Европейским Сообществом, по теме: „Чума в Центральной Азии — эпидемиологическое исследование, основанное на пространственно-временной динамике“ — 2001–2005 гг.

— грант МОН РК, финансируемый Всемирным банком, по теме „Разработка системы смыслового поиска текстов нового поколения, ориентированной на казахский язык“ — 2012–2014 гг.;

— сотрудник ИИВТ канд. техн. наук Б. Е. Амиргалиев является обладателем Премии фонда Первого Президента за 2015 год.

В Институте регулярно проводятся различные конференции и научные семинары:

— Международная научная конференция „Современные проблемы математики, информатики, механики и теории управления“, посвященная 60-летию д-ра физ.-мат. наук, профессора, академика МАИ М. Б. Айдарханова (2008 г.).

— Международная научная конференция „Актуальные проблемы математики, информатики, механики и теории управления“, посвященная 60-летию д-ра техн. наук, профессора, академика Национальной инженерной академии РК Т. Н. Биярова (2009 г.).

— Научный форум, посвященный 75-летию академика НАН РК А. А. Ашимова. (2012 г.).

— Международная научно-практическая конференция „Актуальные проблемы информатики и процессов управления“, посвященная 70-летию заслуженного деятеля науки РК, д-ра техн. наук, профессора С. А. Айсагалиева (2012 г.).

— Научный форум, посвященный 75-летию академика МАИ, д-ра техн. наук, проф. Р. Г. Бияшева (2013 г.).



ИИВТ является одним из организаторов ежегодной Международной азиатской школы-семинара „Проблемы оптимизации сложных систем“, которая проводилась в России, Киргизии, Узбекистане и Казахстане.

С 2008 г. ежегодно в Институте проводится Казахстанско-Российско-Турецкий Международный научный семинар: „Математическое моделирование нелинейных систем“. Начальными руководителями семинара являются д-р физ.-мат. наук, член-корр. РАН С. И. Кабанихин, д-р физ.-мат. наук, проф. М. Ахмет и член-корр. НАН РК, д-р физ.-мат. наук, проф. М. Н. Калимолдаев. Целью проведения этих мероприятий является объединение научных исследований российских и азиатских ученых, обмен опытом по ряду проблем современной науки, а также передача этого опыта аспирантам, магистрантам, докторантам и студентам старших курсов.

Президент Казахстана всегда пристальное внимание уделял и уделяет развитию науки и инновационных технологий, подчеркивая, что эти процессы невозможны без участия молодежи. Особенно это касается информационных технологий, где так важно участие молодых, образованных, энергичных людей.

Если научный институт активно пополняется хорошо отобранными молодыми силами, серьезно занимается воспитанием молодых ученых и смело поручает им ответственные задания, такой институт будет передовым, нестареющим научным учреждением. За последние годы в Институт пришло много молодежи. Более половины наших научных сотрудников моложе 35 лет. Ведется организационная работа по активизации грантопоисковой деятельности молодых ученых Института и по привлечению их в научные проекты, реализуемые под руководством крупных ученых. Институт активно занимается подготовкой кадров высшей квалификации. Сейчас в докторантуре проходят обучение 33 человека по специальностям: „Информатика“, „Информационные Системы“, „Автоматизация и Управление“, „Вычислительная техника и Программное обеспечение“, „Системы информационной безопасности“, „Математическое и компьютерное моделирование“. В магистратуре — 32 человека по специальностям: „Информатика“, „Информационные Системы“, „Автоматизация и Управление“, „Вычислительная техника и Программное обеспечение“, „Системы информационной безопасности“, „Математическое и компьютерное моделирование“. В течение 2015 года магистранты и докторанты ИИВТ прошли зарубежные стажировки в России, Франции, Англии, Германии, Польше, Южной Корее, Малайзии.

Молодые сотрудники нашего Института принимают активное участие в конкурсе Startup-проектов.

В рамках международного сотрудничества заключаются договоры, меморандумы о научно-техническом сотрудничестве, как с научными, так и с образовательными организациями, в настоящее время заключены соглашения с более чем 20 партнерами.

ИИВТ является организацией-членом Технического комитета ТК-34 „Информационные технологии“ Госстандарта РК при АО „Национальные информационные технологии“, постоянно существует в рассмотрении и согласовании проектов государственных стандартов РК, разрабатываемых различными организациями.

В настоящее время в Институте трудятся заслуженные деятели науки РК, академики, профессора, доктора и кандидаты наук. Сотрудники института занимаются изучением, разработкой, апробацией и внедрением эффективных, доступных программных комплексов, робототехнических систем. Сформировавшийся научный коллектив позволяет оптимистично оценивать перспективы развития научной деятельности, получение интересных результатов и решений, соответствующих мировому уровню.

Стратегия развития Института информационных и вычислительных технологий КН МОН РК полностью соответствует целям и задачам Стратегии сотрудничества государств-участников СНГ в построении и развитии информационного общества на период до 2020 года.

Основными задачами ИИВТ, предназначением которого определено обеспечение высокого научно-технического уровня и конкурентоспособности результатов при выполнении фундаментальных и прикладных исследований в области информатики и управления, а также последующая коммерциализация полученных результатов, являются:

- развитие науки и технологий, подготовка квалифицированных кадров в сфере информационно-коммуникационных технологий;
- противодействие использованию потенциала информационно-коммуникационных технологий в целях угрозы национальным интересам;
- сближение национального законодательства и нормативно-технической базы с законодательствами стран СНГ в сфере информационно-коммуникационных технологий;
- организация трансграничного юридически значимого информационного обмена электронными документами;
- разработка и реализация совместных проектов и программ в области информационно-коммуникационных технологий, оказывающих эффективное воздействие на развитие экономики;
- гармонизация работ, проводимых в государствах СНГ по развитию информационного общества;
- разработка и внедрение современных приложений информационно-коммуникационных технологий.

Роль информатики и информационных технологий в современном мире неуклонно возрастает. Деятельность как отдельных людей, так и целых организаций, и даже государств все в большей степени зависит от их доступа к информации и способности эффективно использовать имеющуюся информацию. В связи с этим, актуальность науки, объектом исследования которой является информация, будет только возрастать. Государственной политикой Республики Казахстан уделяется большое внимание проблемам подъема экономики. Эффективность их решения существенно зависит и от построения в республике информационного пространства, и от вхождения республики в мировое информационное сообщество. И в нашей стране дальнейший подъем экономики, рост материального благосостояния и культуры невозможны без прогресса информационных и вычислительных технологий.

Казахстан осуществляет программу ста шагов по реализации пяти институциональных реформ. 100 конкретных шагов — это ответ на глобальные и внутренние вызовы и одновременно план нации по вхождению в тридцатку развитых государств в новых исторических условиях. 100 конкретных шагов придаст Казахстану такой запас прочности, который позволит уверенно пройти сложный период испытаний, не сбиться с пути реализации „Стратегии-2050“ и укрепить казахстанскую государственность. Главная цель — улучшение жизни каждого казахстанца и создание сильного государства для всех.

Все 5 реформ и каждый из 100 шагов предполагают опору на знания и передовые технологии, которые станут фундаментом модернизированного казахстанского общества, его интеллектуальной составляющей.

Богатое историческое наследие, сильная инфраструктура, мощный интеллектуальный творческий потенциал Института информационных и вычислительных технологий позво-

ляют с уверенностью смотреть в будущее и трудиться на благо народа Республики Казахстан.

25-летний юбилей Института — не только знаменательная дата для самого учреждения, это праздник и всех сотрудников Института, в том числе тех, кого уже нет с нами. Важны не только результаты деятельности коллектива, выраженные в статьях, экспертных заключениях, иных формах, но и та особая аура нашего Института, которая впитала в себя знания, интеллект предшествующих поколений. Все это будет жить и в следующих поколениях.

Коллектив ИИВТ



THE RULES FOR A SYSTEM OF DIFFERENTIAL EQUATIONS FOR ESTIMATION OF HEAT PROPAGATION IN A ROD USING QUADRATIC FIT WITH AN INCREASE IN THE NUMBER OF ELEMENTS

A. K. Kudaiykulov, A. A. Tashev

Institute of Information and Computational Technologies
050010, Almaty, Republic of Kazakhstan

This paper considers the method of producing system of linear differential equations for solution of non-stationary problem of heat propagation in a rod. For receiving system of linear differential equations variation method is used. At this, the square approximation of temperature elements of a rod is performed on all its length. To achieve the goal firstly are investigated cases, when the rod is consists of two or three elements. It is assumed that from the left end face of rod is fed a constant flow of heat and the right end face of rod is not thermal insulated. Further, it is obtains systems of linear differential equations for different options thermal insulation of side surface of two and three rod elements. Analyzing the structure of obtained systems of linear differential equations, are obtained rules of making the systems of linear differential equations for the solution of non-stationary heat distribution problem in a rod consisting of any quantity of elements. These rules are obtained for any combination of heat isolation elements side surface of a rod. The developed rules allow to receive stationary and non-stationary, and also right parts of system of linear differential equations for the solution of problem of heat distribution in a rod.

Based on the proposed method has developed program using instrumental programming of Delphi which allows to obtain system of linear differential equations.

And also for the research of thermo physical characteristics of a rod the program is developed, which allows

- to solve stationary and non-stationary problems of heat distribution in a rod;
- to define thermo-mechanical characteristics of a rod: elongation of a rod; axial thermal effort; thermo-elastic voltage; thermo-elastic deformation; temperature deformation; temperature voltage; elastic deformation and movement.

Programs allow to set necessary basic data for the solution of a task and to receive estimates of above-mentioned characteristics in an evident graphical form for both stationary and for non-stationary processes.

The specific examples of solution of non-stationary heat distribution problem in the rod, confirming the correctness of the proposed method are considered.

Key words: energy, functional, temperature, heat flow, heat exchange, thermal isolation.

References

1. Larry J., Segerlind L. Applied Finite Element Analysis, 2nd Edition. 448 p. February 1985, ©1984. 653 p.
2. Zienkiewich O. C., Moran K. Finite Elements and Approximation, 1983.



ПРАВИЛА ПОЛУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛА В СТЕРЖНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КВАДРАТИЧНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ЧИСЛА ЭЛЕМЕНТОВ

А. К. Кудайкулов, А. А. Ташев

Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК
050010, Алма-Ата, Республика Казахстан

УДК 539.3 (075)

В работе рассматривается методика получения системы линейных дифференциальных уравнений для решения нестационарной задачи распространения тепла в стержне с использованием вариационного подхода с привлечением квадратичной аппроксимации температуры элементов стержня. При этом сначала исследуются случаи, когда стержень разбивается на два и три элемента, когда с левого торца стержня подается поток тепла, правый торец стержня не теплоизолирован, а элементы боковой поверхности стержня теплоизолированы в различной комбинации. Далее, анализируя системы линейных дифференциальных уравнений, полученные для различных вариантов теплоизоляции боковой поверхности элементов стержня, определены правила составления систем линейных дифференциальных уравнений для решения нестационарной задачи распространения тепла в стержне, состоящей из любого количества элементов стержня с использованием квадратичной аппроксимации, когда элементы стержня теплоизолированы произвольным образом. При этом сформулированы правила получения стационарной и нестационарной части, а также правой части системы линейных дифференциальных уравнений.

Разработано программное обеспечение с использованием инstrumentального программирования Delphi для получения системы линейных дифференциальных уравнений для решения нестационарной задачи распространения тепла в стержне. Рассмотрены конкретные примеры решения нестационарной задачи распространения тепла в стержне, когда левая половина стержня теплоизолирована, а правая нет, и наоборот.

Ключевые слова: внутренние источники тепла, внутренняя энергия, нестационарность, тепловой поток, вариационный подход.

Введение. Большинство из несущих элементов устройств нагревается под воздействием трения, различных тепловых воздействий. Чтобы исследовать степень нагревания этих элементов с любой заданной точностью, необходимо уметь составлять систему линейных дифференциальных уравнений для квадратичной аппроксимации температуры стержня, состоящей из любого числа элементов. В данной работе рассматриваются правила получения таких систем линейных дифференциальных уравнений.

Работа выполнена при финансовой поддержке КН МОН РК (грант № ГФ4 3322 (2015–2017 гг.)) по теме „Теоретические основы математического моделирования установившихся нелинейных, теплофизических процессов в жаропрочных сплавах“.

1. Постановка задачи и численный алгоритм. Общая постановка вариационного подхода для решения нестационарной задачи теплопроводности в стержне рассмотрена в [1]. Согласно этому подходу, определяется аппроксимация температур T и вычисляется выражение:

$$X = \int_V \left[\frac{K_{xx}}{2} \left(\frac{dT}{dx} \right)^2 - QT + \lambda \frac{dT}{dt} T \right] dV + \int_S \left[qT + \frac{1}{2} h(T - T_\infty)^2 \right] dS,$$

где $I_1 = \int_V \frac{K_{xx}}{2} \left(\frac{dT}{dx} \right)^2 dV$ — часть тепла, которая уходит на повышение внутренней энергии;

$I_2 = \int_S qTdS$ — количество поступающего тепла на стержень;

$I_3 = \int_S \frac{1}{2} h(T - T_\infty)^2 dS$ — количество тепла, уходящего через поверхность стержня;

$I_4 = \int_V \lambda \frac{dT}{dt} T dV$ — член, учитывающий нестационарность задачи;

$I_5 = \int_V QTdV$ — внутренние источники энергии.

Для дальнейших исследований введем следующие обозначения: q — тепловой поток ($\text{Вт}/\text{см}^2$);

T — температура ($^\circ\text{C}$);

S — площадь поперечного сечения стержня (см^2);

T_∞ — температура окружающей среды ($^\circ\text{C}$);

$\lambda = \rho c$ — коэффициент температуропроводности ($\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$);

h — коэффициент теплоотдачи; ($\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$) (heat-transfer coefficient)

K_{xx} — коэффициент теплопроводности материала ($\frac{\text{Вт}}{\text{см} \cdot ^\circ\text{C}}$);

Q — источник тепла внутри тела ($\frac{\text{Вт}}{\text{см}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$);

ρ — плотность ($\frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$);

c — удельная теплоемкость ($\frac{\text{Вт}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$);

r — радиус стержня;

L, S — длина и площадь поперечного сечения стержня соответственно;

n — число элементов аппроксимации;

$l = L/n$ — число узлов.

Проблема заключается в нахождении правил составления системы дифференциальных уравнений для решения нестационарной задачи теплопроводности в стержне для любого заданного количества элементов стержня.

2. Решение задачи. Рассмотрим стержень с температурой 0 в начальный момент времени, с левого конца которого подается поток тепла q . Квадратичная аппроксимация температуры некоторого отрезка стержня длиной l есть:

$$T = \left(\frac{2x^2 - 3dx + l^2}{l^2} \right) T_1 + \left(\frac{4lx - 4x^2}{l^2} \right) T_2 + d \left(\frac{2x^2 - lx}{l^2} \right) T_3, \quad (1)$$

где T_1, T_2 и T_3 — температура стержня на левом конце, посередине и на правом конце отрезка стержня соответственно.

Если введем векторы

$$\mathbf{N}^T = \left(\frac{2x^2 - 3lx + l^2}{l^2}, \frac{4lx - 4x^2}{l^2}, \frac{2x^2 - lx}{l^2} \right) \quad \text{и} \quad \mathbf{T}^T = (T_1, T_2, T_3),$$

то (1) можно написать в виде $T = \mathbf{N}^T \mathbf{T}$.

Возьмем производное от \mathbf{T} по x :

$$T_x = \frac{d\mathbf{T}}{dx} = \left(\frac{4x - 3l}{l^2} \right) T_1 + \left(\frac{4l - 8x}{l^2} \right) T_2 + \left(\frac{4x - l}{l^2} \right) T_3 \quad (2)$$

или в матричной форме $T_x = \mathbf{N}_x^T \mathbf{T}$.

Рассмотрим функционал:

$$\begin{aligned} X = \int_V \left[\frac{K_{xx}}{2} \left(\frac{d\mathbf{T}}{dx} \right)^2 \right] dV - \int_V Q \mathbf{T} dV + \int_V \lambda \frac{d\mathbf{T}}{dt} \mathbf{T} dV + \\ + \int_{S_1} q \mathbf{T} dS + \int_{S_2} \frac{1}{2} h (T - T_\infty)^2 dS + \int_{S_3} \frac{1}{2} h (T - T_\infty)^2 dS, \end{aligned} \quad (3)$$

где S_1 , S_2 и S_3 — площадь поперечного сечения левой части стержня, боковая поверхность и площадь поперечного сечения правой части стержня ($S_1 = S_3 = S$), соответственно.

Подставляя (1) и (2) в (3), получим

$$\begin{aligned} X = \frac{K_{xx}}{2} \int_V \mathbf{T}^T \mathbf{N}_x \mathbf{N}_x^T \mathbf{T} dV - \int_V Q \mathbf{N}^T \mathbf{T} dV + \int_V \lambda \mathbf{N}^T \frac{d\mathbf{T}}{dt} \mathbf{N}^T \mathbf{T} dV + \int_{S_1} q \mathbf{N}^T \mathbf{T} dS + \frac{h}{2} \int_{S_2} \mathbf{T}^T \mathbf{N} \mathbf{N}^T \mathbf{T} dS - \\ - h \int_{S_2} \mathbf{N}^T \mathbf{T} T_\infty dS + \frac{h}{2} \int_{S_2} T_\infty^2 dS + \frac{h}{2} \int_{S_3} \mathbf{T}^T \mathbf{N} \mathbf{N}^T \mathbf{T} dS - h \int_{S_3} \mathbf{N}^T \mathbf{T} T_\infty dS + \frac{h}{2} \int_{S_3} T_\infty^2 dS \end{aligned} \quad (4)$$

Берем производное X по \mathbf{T} . Имеем:

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\mathbf{T}} X = K_{xx} \int_V \mathbf{N}_x \mathbf{N}_x^T \mathbf{T} dV - \int_V Q \mathbf{N}^T dV + \int_V \lambda \mathbf{N} \mathbf{N}^T \frac{d\mathbf{T}}{dt} dV + \int_{S_1} q \mathbf{N}^T dS + \\ + h \int_{S_2} \mathbf{N} \mathbf{N}^T \mathbf{T} dS - h \int_{S_2} \mathbf{N}^T T_\infty dS + h \int_{S_3} \mathbf{N} \mathbf{N}^T \mathbf{T} dS - h \int_{S_3} \mathbf{N}^T T_\infty dS = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Вычислим каждый член выражения (5) в отдельности для трех узлов (один элемент, $n=1$):

$$\begin{aligned} K_{xx} \int_V \mathbf{N}_x \mathbf{N}_x^T \mathbf{T} dV = \\ = \frac{K_{xx}}{L^4} \int_V \begin{pmatrix} (4x - 3l)(4l - 8x) & (4x - 3l)(4l - 8x) & (4x - 3l)(4x - 3l) \\ (4l - 8x)(4l - 8x) & (4l - 8x)(4l - 8x) & (4l - 8x)(4x - 3l) \\ (4x - l)(4l - 8x) & (4x - l)(4l - 8x) & (4x - l)(4x - 3l) \end{pmatrix} dV \mathbf{T} = \\ = \frac{SK_{xx}}{6l} \begin{pmatrix} 14 & -16 & 2 \\ -16 & 32 & -16 \\ 2 & -16 & 14 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (6)$$

$$\int_V Q \mathbf{N}^T dV = \frac{SQ}{l^2} \int_0^L \begin{pmatrix} 2x^2 - 3lx + l^2 \\ 4lx - 4x^2 \\ 2x^2 - lx \end{pmatrix} dx = \frac{SQL}{6} \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

$$\lambda \int_V \mathbf{N} \mathbf{N}^T \frac{d\mathbf{T}}{dt} dV = \frac{\lambda}{l^4} \int_V \begin{pmatrix} (2x^2 - 3lx + l^2)(2x^2 - 3lx + l^2) & (2x^2 - 3lx + l^2)(4lx - 4x^2) \\ (4lx - 4x^2)(2x^2 - 3lx + l^2) & (4lx - 4x^2)(4lx - 4x^2) \\ (2x^2 - lx)(2x^2 - 3lx + l^2) & (2x^2 - lx)(4lx - 4x^2) \\ (2x^2 - 3lx + l^2)(2x^2 - lx) \\ (4lx - 4x^2)(2x^2 - lx) \\ (2x^2 - lx)(2x^2 - lx) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{dT_1}{dt} \\ \frac{dT_2}{dt} \\ \frac{dT_3}{dt} \end{pmatrix} dV = \frac{S\lambda l}{15} \begin{pmatrix} 2 & 1 & -\frac{1}{2} \\ 1 & 8 & 1 \\ -\frac{1}{2} & 1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{dT_1}{dt} \\ \frac{dT_2}{dt} \\ \frac{dT_3}{dt} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

На левом конце стержня имеем:

$$\int_{S_1} q \mathbf{N} N dS = qS \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$h \int_{S_2} \mathbf{N} \mathbf{N}^T \mathbf{T} dS = \frac{2\pi rh}{l^4} \int_V \begin{pmatrix} (2x^2 - 3lx + l^2)(2x^2 - 3lx + l^2) & (2x^2 - 3lx + l^2)(4lx - 4x^2) \\ (4lx - 4x^2)(2x^2 - 3lx + l^2) & (4lx - 4x^2)(4lx - 4x^2) \\ (2x^2 - lx)(2x^2 - 3lx + l^2) & (2x^2 - lx)(4lx - 4x^2) \\ (2x^2 - 3lx + l^2)(2x^2 - lx) \\ (4lx - 4x^2)(2x^2 - lx) \\ (2x^2 - lx)(2x^2 - lx) \end{pmatrix} dV \mathbf{T} = \frac{2\pi r lh}{15} \begin{pmatrix} 2 & 1 & -\frac{1}{2} \\ 1 & 8 & 1 \\ -\frac{1}{2} & 1 & 2 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$h \int_{S_2} \mathbf{N}^T T_\infty dS \frac{2\pi rh}{l^2} \int_0^l \begin{pmatrix} 2x^2 - 3lx + l^2 \\ 4lx - 4x^2 \\ 2x^2 - lx \end{pmatrix} dx = \frac{\pi rhl}{3} \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (11)$$

На правом конце стержня имеем:

$$h \int_{S_3} \mathbf{N} \mathbf{N}^T \mathbf{T} dS = hS \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ hST_3 \end{pmatrix}. \quad (12)$$

$$h \int_{S_3} \mathbf{N}^T T_\infty dS = hST_\infty \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Подставляя все полученные выражения (без учета внутренних источников энергии (7)) в (5), получим следующую систему дифференциальных уравнений для нестационарного, нетеплоизолированного случая:

$$H^1 \bar{T}_t + K_1^{1q} \bar{T} = B_1^{1q}, \quad (14)$$

где

Таблица 1

Исходные данные

K_{xx}	$\lambda = \rho c$	H	T_∞	Q	T_0	R	S
75	15	10	40°C	150	100°C	1	πr^2

$$\begin{aligned}
K_1^{1q} &= \begin{pmatrix} \frac{14K_{xx}S}{6L} + \frac{4\pi rhl}{15} & -\frac{16K_{xx}S}{6L} + \frac{2\pi rhl}{15} & \frac{2K_{xx}S}{6L} + \frac{\pi rhl}{15} \\ -\frac{16K_{xx}S}{6L} + \frac{2\pi rhl}{15} & \frac{32K_{xx}S}{6L} + \frac{16\pi rhl}{15} & -\frac{16K_{xx}S}{6L} + \frac{2\pi rhl}{15} \\ \frac{2K_{xx}S}{6L} + \frac{\pi rhl}{15} & -\frac{16K_{xx}S}{6L} + \frac{2\pi rhl}{15} & \frac{14K_{xx}S}{6L} + \frac{4\pi rhl}{15} + hS \end{pmatrix} = \frac{K_{xx}S}{6L} \times \\
&\times \begin{pmatrix} 14 & -16 & 2 \\ -16 & 32 & -16 \\ 2 & -16 & 14 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & hs \end{pmatrix} + \frac{\pi rhl}{15} \begin{pmatrix} 4 & 2 & 1 \\ 2 & 16 & 2 \\ 1 & 2 & 4 \end{pmatrix} = F^{1q} + O^{1q} + G_1^{1q}, \\
\bar{T}_t &= \begin{pmatrix} \frac{dT_1}{dt} \\ \frac{dT_2}{dt} \\ \frac{dT_3}{dt} \end{pmatrix}, \quad T = \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{pmatrix}, \quad H^1 = \frac{\lambda S l}{15} \begin{pmatrix} 2 & 1 & -\frac{1}{2} \\ 1 & 8 & 1 \\ -\frac{1}{2} & 1 & 2 \end{pmatrix}, \\
B_1^{1q} &= \begin{pmatrix} -qS + \frac{\pi rhl T_\infty}{3} \\ \frac{4\pi rhl T_\infty}{3} \\ hS T_\infty + \frac{\pi rhl T_\infty}{3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -qS \\ 0 \\ hS T_\infty \end{pmatrix} + \frac{\pi rhl T_\infty}{3} \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix} = B^{1q} + \tilde{B}_1^{1q}.
\end{aligned}$$

и для стационарного случая имеем:

$$K_1^{1q} \bar{T} = B_1^{1q}, \quad (15)$$

Здесь нижние индексы означают нетеплоизолированные элементы, а верхний — общее количество элементов и начальные условия для левого конца стержня, куда подается поток тепла q .

Подставляя исходные данные из табл. 1, получим следующую систему дифференциальных уравнений

$$\begin{pmatrix} 3375 & 1687,5 & -843,75 \\ 1687,5 & 13500 & 1687,5 \\ -843,75 & 1687,5 & 3375 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \frac{dT_1}{dt} \\ \frac{dT_2}{dt} \\ \frac{dT_3}{dt} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 9750 & -3750 & -375 \\ -3750 & 30000 & -3750 \\ -375 & -3750 & 12000 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 258750 \\ 90000 \\ 315000 \end{pmatrix}. \quad (16)$$

Решение этой системы линейных дифференциальных уравнений представлено на рис. 1.

Стационарными решениями являются $T_1 = 43,66^\circ C$, $T_2 = 40,49^\circ C$, $T_3 = 40,26^\circ C$. В случае, когда боковая поверхность теплоизолирована, не учитываются члены (10) и (11). В этом случае (14) имеет вид

$$H^1 \bar{T}_t + K^{1q} \bar{T} = B^{1q}, \quad (17)$$

где $K^{1q} = F^{1q} + O^{1q}$. В этом случае имеем:

$$K^{1q} \bar{T} = B^{1q}. \quad (18)$$

Подставляя исходные данные из табл. 1, получим следующую систему дифференциальных уравнений для нестационарного случая:

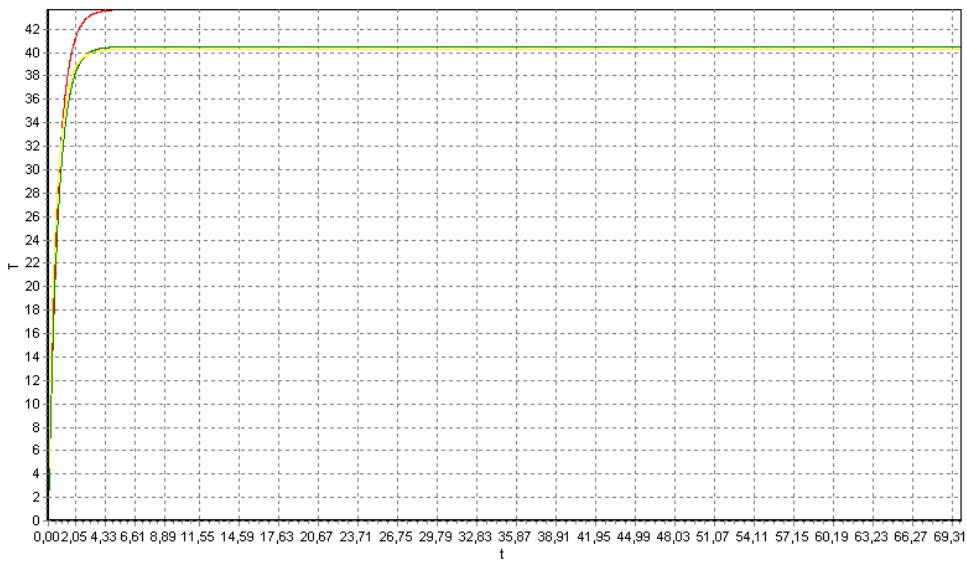


Рис. 1. Изменение температуры в трех узлах для нетеплоизолированного случая
(слева приложен поток тепла $q = -150 \text{ Вт}/\text{см}^2$)

$$\begin{pmatrix} 675 & 337,5 & -168,75 \\ 337,5 & 2700 & 337,5 \\ -168,75 & 337,5 & 675 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \frac{dT_1}{dt} \\ \frac{dT_2}{dt} \\ \frac{dT_3}{dt} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1050 & -1200 & 150 \\ -1200 & 2400 & -1200 \\ 150 & -1200 & 1500 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6750 \\ 0 \\ 18000 \end{pmatrix}. \quad (19)$$

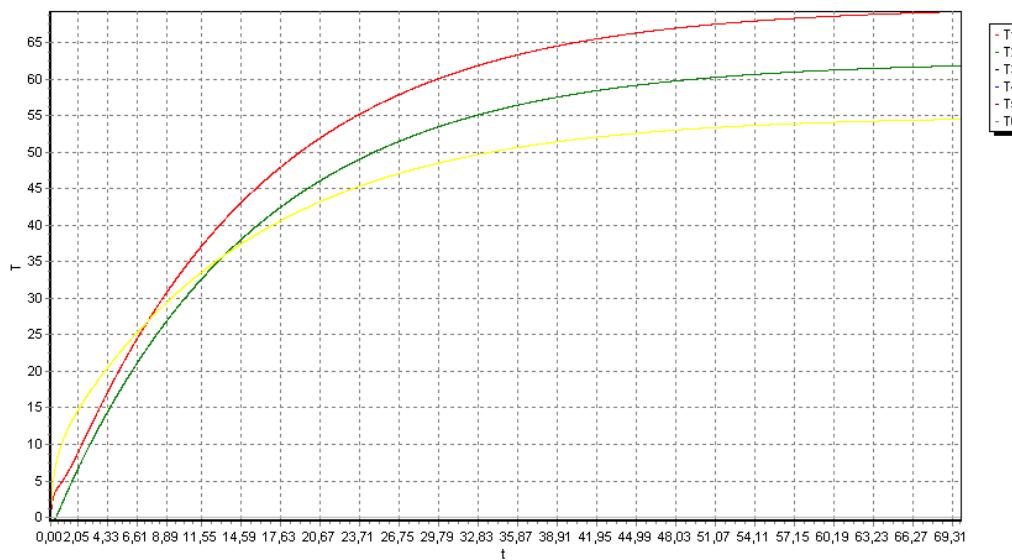


Рис. 2. Изменение температуры в трех узлах для теплоизолированного случая
(слева приложен поток тепла $q = -150 \text{ Вт}/\text{см}^2$)

Нестационарное решение этой системы представлено на рис. 2.

Стационарным решением является $T_1 = 70^\circ C$, $T_2 = 62,5^\circ C$ и $T_3 = 55^\circ C$. Вычислим теперь каждый член выражения (5) в отдельности для пяти узлов (два элемента, $n = 2$). Имеем

$$\begin{aligned}
 K_{xx} \int_V \mathbf{N}_x \mathbf{N}_x^T \mathbf{T} dV &= \\
 &= \frac{K_{xx}}{l^4} \int_V \begin{pmatrix} (4x - 3l)(4l - 8x) & (4x - 3l)(4l - 8x) & (4x - 3l)(4x - 3l) & 0 & 0 \\ (4l - 8x)(4l - 8x) & (4L - 8x)(4l - 8x) & (4l - 8x)(4x - 3l) & 0 & 0 \\ (4x - l)(4L - 8x) & (4x - L)(4l - 8x) & (4x - l)(4x - 3l) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \times \\
 &\quad \times \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \end{pmatrix} dV + \frac{K_{xx}}{l^4} \int_V \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (4x - 3l)(4l - 8x) & (4x - 3l)(4l - 8x) \\ 0 & 0 & (4l - 8x)(4l - 8x) & (4l - 8x)(4l - 8x) \\ 0 & 0 & (4x - l)(4l - 8x) & (4x - l)(4l - 8x) \end{pmatrix} \\
 &\quad \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ (4x - 3l)(4x - 3l) \\ (4l - 8x)(4x - 3l) \\ (4x - l)(4x - 3l) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \end{pmatrix} dV = \frac{SK_{xx}}{6l} \begin{pmatrix} 14 & -16 & 2 & 0 & 0 \\ -16 & 32 & -16 & 0 & 0 \\ 2 & -16 & 28 & -16 & 2 \\ 0 & 0 & -16 & 32 & -16 \\ 0 & 0 & 2 & -16 & 14 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \end{pmatrix}. \quad (20)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \int_V Q \mathbf{N}^T dV &= \frac{SQ}{l^2} \int_0^L \begin{pmatrix} 2x^2 - 3lx + l^2 \\ 4lx - 4x^2 \\ 2x^2 - lx \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} dx = \frac{SQl}{6} \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \\
 \lambda \int_V \mathbf{N} \mathbf{N}^T \frac{d\mathbf{T}}{dt} dV &= l \frac{\lambda}{L^4} \int_V \begin{pmatrix} (2x^2 - 3lx + l^2)(2x^2 - 3lx + l^2) \\ (4lx - 4x^2)(2x^2 - 3lx + l^2) \\ (2x^2 - lx)(2x^2 - 3lx + l^2) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (21)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &(2x^2 - 3lx + l^2)(4lx - 4x^2) \quad (2x^2 - 3lx + l^2)(2x^2 - lx) \quad 0 \quad 0 \quad \left(\begin{array}{c} \frac{dT_1}{dt} \\ \frac{dT_2}{dt} \\ \frac{dT_3}{dt} \\ \frac{dT_4}{dt} \\ \frac{dT_5}{dt} \end{array} \right) dV + \\
 &(4lx - 4x^2)(4lx - 4x^2) \quad (4lx - 4x^2)(2x^2 - lx) \quad 0 \quad 0 \\
 &(2x^2 - lx)(4lx - 4x^2) \quad (2x^2 - lx)(2x^2 - lx) \quad 0 \quad 0 \\
 &0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \\
 &0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \\
 &+ \frac{\lambda}{l^4} \int_V \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (2x^2 - 3lx + l^2)(2x^2 - 3lx + l^2) & (2x^2 - 3lx + l^2)(4lx - 4x^2) \\ 0 & 0 & (4lx - 4x^2)(2x^2 - 3lx + l^2) & (4lx - 4x^2)(4lx - 4x^2) \\ 0 & 0 & (2x^2 - lx)(2x^2 - 3lx + l^2) & (2x^2 - lx)(4lx - 4x^2) \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ (2x^2 - 3lx + l^2)(2x^2 - lx) \\ (4Lx - 4x^2)(2x^2 - lx) \\ (2x^2 - lx)(2x^2 - lx) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{dT_1}{dt} \\ \frac{dT_2}{dt} \\ \frac{dT_3}{dt} \\ \frac{dT_4}{dt} \\ \frac{dT_5}{dt} \end{pmatrix} dV = \frac{S\lambda l}{15} \begin{pmatrix} 2 & 1 & -\frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 1 & 8 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} & 1 & 4 & 1 & -\frac{1}{2} \\ 0 & 0 & 1 & 8 & 1 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{2} & 2 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{dT_1}{dt} \\ \frac{dT_2}{dt} \\ \frac{dT_3}{dt} \\ \frac{dT_4}{dt} \\ \frac{dT_5}{dt} \end{pmatrix}.$$

На левом конце стержня имеем:

$$\int_{S_1} q \mathbf{N} dS = qS \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (22)$$

Член, учитывающий теплообмен по боковой поверхности стержня, равен:

$$h \int_{S_2} \mathbf{N} \mathbf{N}^T \mathbf{T} dS = \frac{2\pi rh}{l^4} \int_V \begin{pmatrix} (2x^2 - 3lx + l^2)(2x^2 - 3lx + l^2) & (2x^2 - 3lx + l^2)(4lx - 4x^2) \\ (4lx - 4x^2)(2x^2 - 3lx + l^2) & (4lx - 4x^2)(4lx - 4x^2) \\ (2x^2 - lx)(2x^2 - 3lx + l^2) & (2x^2 - lx)(4lx - 4x^2) \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \end{pmatrix} dV + \frac{2\pi rh}{l^4} \int_V \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & (2x^2 - 3lx + l^2)(2x^2 - 3lx + l^2) \\ 0 & (4lx - 4x^2)(2x^2 - 3lx + l^2) \\ 0 & (2x^2 - lx)(2x^2 - 3lx + l^2) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \end{pmatrix} dV \quad (23)$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ (2x^2 - 3lx + l^2)(4lx - 4x^2) & (2x^2 - 3lx + l^2)(2x^2 - lx) \\ (4lx - 4x^2)(4lx - 4x^2) & (4lx - 4x^2)(2x^2 - lx) \\ (2x^2 - lx)(4lx - 4x^2) & (2x^2 - lx)(2x^2 - lx) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \end{pmatrix} dV = \frac{2\pi rhl}{15} \begin{pmatrix} 2 & 1 & -\frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 1 & 8 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} & 1 & 4 & 1 & -\frac{1}{2} \\ 0 & 0 & 1 & 8 & 1 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{2} & 2 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \end{pmatrix}. \quad (24)$$

$$h \int_{S_3} \mathbf{N} \mathbf{N}^T \mathbf{T} dS = hS \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ hST_5 \end{pmatrix} \quad (25)$$

$$h \int_{S_2} \mathbf{N}^T T_\infty dS \frac{2\pi rh}{l^2} \left[\begin{pmatrix} 2x^2 - 3lx + l^2 \\ 4lx - 4x^2 \\ 2x^2 - lx \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} dx + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2x^2 - 3lx + l^2 \\ 4lx - 4x^2 \\ 2x^2 - lx \end{pmatrix} dx \right] = \frac{\pi rhl T_\infty}{3} \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 2 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (26)$$

$$h \int_{S_3} \mathbf{N}^T T_\infty dS = h S T_\infty \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (27)$$

Подставляя полученные значения (без учета внутренних источников энергии (7)) в (5), получим следующую систему дифференциальных уравнений для нестационарного случая:

$$H^2 \bar{T}_t + K_{1,2}^{2q} \bar{T} = B_{1,2}^{2q}, \quad (28)$$

где

$$K_{1,2}^{2q} = \begin{pmatrix} \frac{14K_{xx}S}{6l} + \frac{4\pi rhl}{15} & -\frac{16K_{xx}S}{6l} + \frac{2\pi rhl}{15} & \frac{2K_{xx}S}{6l} + \frac{\pi rhl}{15} \\ -\frac{16K_{xx}S}{6l} + \frac{\pi rhl}{15} & \frac{32K_{xx}S}{6l} + \frac{16\pi rhl}{15} & -\frac{16K_{xx}S}{6l} + \frac{2\pi rhl}{15} \\ \frac{2K_{xx}S}{6l} + \frac{\pi rhl}{15} & -\frac{16K_{xx}S}{6l} + \frac{2\pi rhl}{15} & \frac{28K_{xx}S}{6l} + \frac{8\pi rhl}{15} \\ 0 & 0 & -\frac{16K_{xx}S}{6l} + \frac{2\pi rhl}{15} \\ 0 & 0 & \frac{2K_{xx}S}{6l} + \frac{\pi rhl}{15} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -\frac{16K_{xx}S}{6l} + \frac{2\pi rhl}{15} & \frac{2K_{xx}S}{6l} + \frac{\pi rhl}{15} & \frac{14}{16} \ 16 \ 2 \ 0 \ 0 \\ \frac{32K_{xx}S}{6l} + \frac{16\pi rhl}{15} & -\frac{16K_{xx}S}{6l} + \frac{2\pi rhl}{15} & 16 \ 32 \ 16 \ 0 \ 0 \\ -\frac{16K_{xx}S}{6l} + \frac{2\pi rhl}{15} & \frac{14K_{xx}S}{6l} + \frac{4\pi rhl}{15} + hs & 2 \ 16 \ 28 \ 16 \ 2 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & hs \end{pmatrix} = \frac{K_{xx}S}{6l} \begin{pmatrix} 14 & 16 & 2 & 0 & 0 \\ 16 & 32 & 16 & 0 & 0 \\ 2 & 16 & 28 & 16 & 2 \\ 0 & 0 & 16 & 32 & 16 \\ 0 & 0 & 2 & 16 & 14 \end{pmatrix} +$$

$$+ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & hs \end{pmatrix} + \frac{\pi rhl}{15} \begin{pmatrix} 4 & 2 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & 16 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 8 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 2 & 16 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 2 & 4 \end{pmatrix} = F^{2q} + O^{2q} + G_{1,2}^{1q}.$$

$$H^2 = \frac{S \lambda l}{15} \begin{pmatrix} 2 & 1 & -\frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 1 & 8 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} & 1 & 4 & 1 & -\frac{1}{2} \\ 0 & 0 & 1 & 8 & 1 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{2} & 2 & 2 \end{pmatrix}, \bar{T}_t = \begin{pmatrix} \frac{dT_1}{dt} \\ \frac{dT_2}{dt} \\ \frac{dT_3}{dt} \\ \frac{dT_4}{dt} \\ \frac{dT_5}{dt} \end{pmatrix}, T = \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \end{pmatrix},$$

$$B_{1,2}^{2q} = \begin{pmatrix} -qS + \frac{\pi rhl T_\infty}{3} \\ \frac{4\pi rhl T_\infty}{3} \\ \frac{2\pi rhl T_\infty}{3} \\ \frac{4\pi rhl T_\infty}{3} \\ h S T_\infty + \frac{\pi rhl T_\infty}{3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -qS \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ h S T_\infty \end{pmatrix} + \frac{\pi rhl T_\infty}{3} \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 2 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix} = B^{2q} + \tilde{B}_{1,2}^{2q}.$$

А для стационарного случая имеем

$$K_{1,2}^{2q} \bar{T} = B_{1,2}^{2q}. \quad (29)$$

Подставляя исходные данные из табл. 1, получим для нестационарного случая следующую систему дифференциальных уравнений:

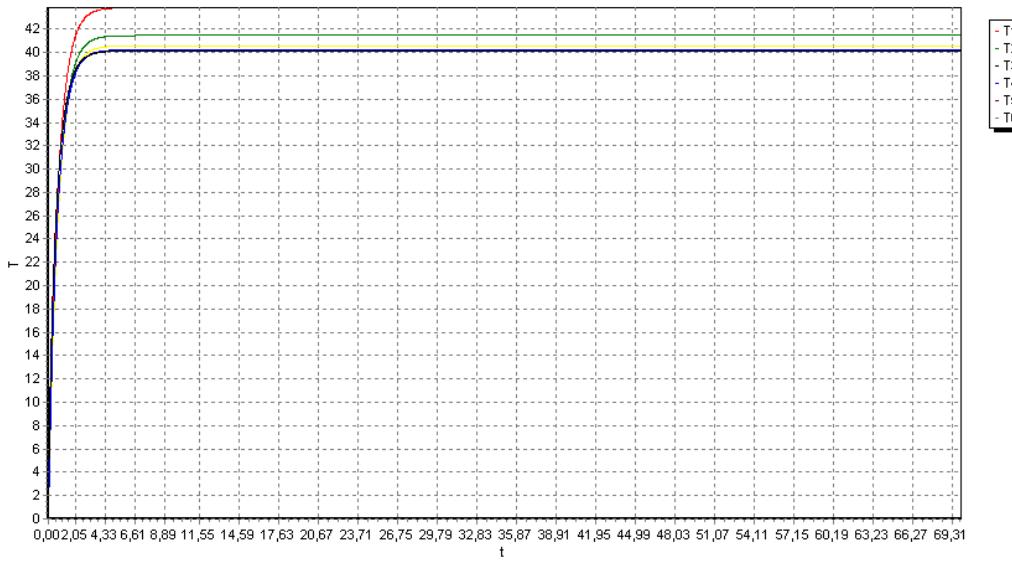


Рис. 3. Изменение температуры в пяти узлах для нетеплоизолированного случая
(слева приложен поток тепла $q = -150 \text{ Вт/см}^2$)

$$\begin{aligned} & \left(\begin{array}{ccccc} 843,75 & 421,875 & -210,9375 & 0 & 0 \\ 421,875 & 3375 & 421,875 & 0 & 0 \\ -210,9375 & 421,875 & 1687,75 & 421,875 & -210,9375 \\ 0 & 0 & 421,875 & 3375 & 421,875 \\ 0 & 0 & -210,9375 & 421,875 & 843,75 \end{array} \right) \times \begin{pmatrix} \frac{dT_1}{dt} \\ \frac{dT_2}{dt} \\ \frac{dT_3}{dt} \\ \frac{dT_4}{dt} \\ \frac{dT_5}{dt} \end{pmatrix} + \\ & + \left(\begin{array}{ccccc} 6375 & -5434,5 & 468,75 & 0 & 0 \\ -5437,5 & 16500 & -5437,5 & 0 & 0 \\ 468,75 & -5437,5 & 12750 & -5437,5 & 468,75 \\ 0 & 0 & -5437,5 & 16500 & -5437,5 \\ 0 & 0 & 468,75 & -5437,5 & 7500 \end{array} \right) \times \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 73125 \\ 225000 \\ 112500 \\ 225000 \\ 101250 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

Решение этой системы линейных дифференциальных уравнений представлено на рис. 3.

Стационарными решениями являются $T_1 = 43,84^\circ\text{C}$, $T_2 = 41,45^\circ\text{C}$, $T_3 = 40,57^\circ\text{C}$, $T_4 = 40,23^\circ\text{C}$ и $T_5 = 40,13^\circ\text{C}$. Если сравнить температуру в крайних точках и в середине стержня, то есть решения T_1 , T_3 и T_5 с решениями T_1 , T_2 и T_3 , полученными для трех узлов, видим, что отклонения незначительны: $\Delta T_1 = 0,18^\circ\text{C}$, $\Delta T_2 = 0,08^\circ\text{C}$, $\Delta T_3 = 0,13^\circ\text{C}$. В случае, когда боковая поверхность теплоизолирована, (27) имеет вид

$$H^2 \bar{T}_t + K^{2q} \bar{T} = B^{2q}, \quad (30)$$

где $K^{2q} = F^{2q} + O^{2q}$.

А для стационарного случая имеем

$$K^{2q} \bar{T} = B^{2q}. \quad (31)$$

Подставляя исходные данные из табл. 1, для нестационарного случая получим следующую систему дифференциальных уравнений:

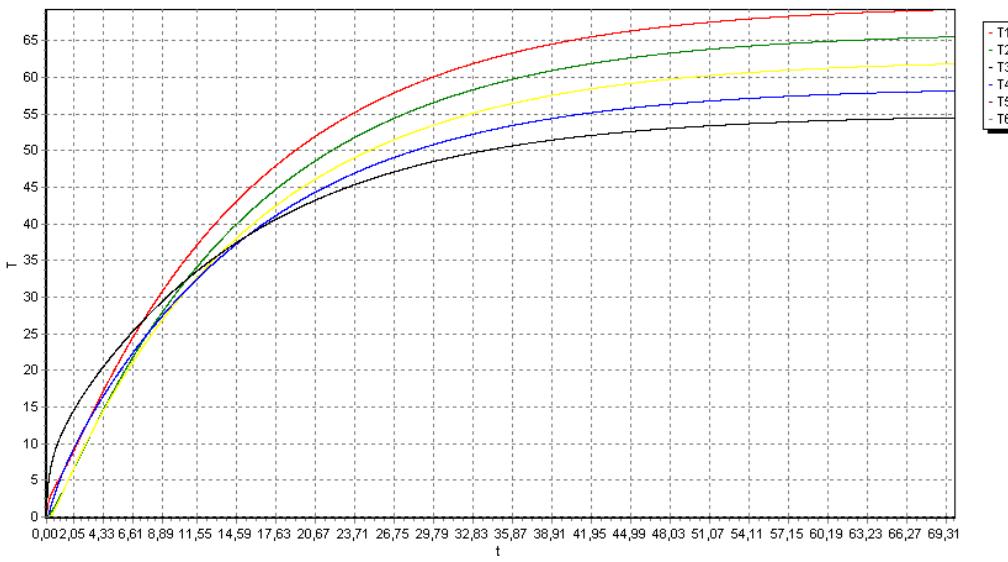


Рис. 4. Изменение температуры в пяти узлах для теплоизолированного случая
(слева приложен поток тепла $q = -150 \text{ Вт/см}^2$)

$$\begin{pmatrix} 843,75 & 421,875 & -210,9375 & 0 & 0 \\ 421,875 & 3375 & 421,875 & 0 & 0 \\ -210,9375 & 421,875 & 1687,75 & 421,875 & -210,9375 \\ 0 & 0 & 421,875 & 3375 & 421,875 \\ 0 & 0 & -210,9375 & 421,875 & 843,75 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \frac{dT_1}{dt} \\ \frac{dT_2}{dt} \\ \frac{dT_3}{dt} \\ \frac{dT_4}{dt} \\ \frac{dT_5}{dt} \end{pmatrix} + \\ + \begin{pmatrix} 5250 & -6000 & 750 & 0 & 0 \\ -6000 & 12000 & -6000 & 0 & 0 \\ 750 & -6000 & 10500 & -600 & 750 \\ 0 & 0 & -6000 & 12000 & -6000 \\ 0 & 0 & 750 & -6000 & 6375 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 16875 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 45000 \end{pmatrix}$$

Нестационарное решение данной системы представлено на рис. 4.

Стационарным решением полученной системы является $T_1 = 70^\circ\text{C}$, $T_2 = 67^\circ\text{C}$, $T_3 = 64^\circ\text{C}$, $T_4 = 61^\circ\text{C}$, $T_5 = 58^\circ\text{C}$ и $T_6 = 55^\circ\text{C}$. Если сравнить температуру в крайних точках и в середине стержня, то есть решения T_1 , T_3 и T_5 с решениями T_1 , T_2 и T_3 , полученными для трех узлов, видим, что отклонения незначительны: $\Delta T_1 = 0,18^\circ\text{C}$, $\Delta T_2 = 0,08^\circ\text{C}$, $\Delta T_3 = 0,13^\circ\text{C}$. Для удобства дальнейшего изложения введем операторы U и V

$$U_1 \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & a_{22} & a_{13} \\ a_{13} & a_{12} & a_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}, U_1^0 \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & a_{22} & a_{13} \\ a_{13} & a_{12} & a_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$U_2^1 \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & a_{22} & a_{13} \\ a_{13} & a_{12} & a_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 0 & 0 \\ a_{12} & a_{22} & a_{12} & 0 & 0 \\ a_{13} & a_{12} & a_{11} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$U_2^2 \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & a_{22} & a_{13} \\ a_{13} & a_{12} & a_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ 0 & 0 & a_{12} & a_{22} & a_{12} \\ 0 & 0 & a_{13} & a_{12} & a_{11} \end{pmatrix}$$

$$U_2 \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & a_{22} & a_{13} \\ a_{13} & a_{12} & a_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 0 & 0 \\ a_{12} & a_{22} & a_{12} & 0 & 0 \\ a_{13} & a_{12} & 2a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ 0 & 0 & a_{12} & a_{22} & a_{12} \\ 0 & 0 & a_{13} & a_{12} & a_{11} \end{pmatrix} = U_2^1 \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & a_{22} & a_{13} \\ a_{13} & a_{12} & a_{11} \end{pmatrix} + \\ + U_2^2 \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & a_{22} & a_{13} \\ a_{13} & a_{12} & a_{11} \end{pmatrix}$$

И т. д.

$$V_1^0 \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, V_1^1 \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}, V_1 \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} = V_1^0 \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} + V_1^1 \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix},$$

$$V_2^0 \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, V_2^1 \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ 0 \end{pmatrix}, V_2^2 \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix},$$

$$V_2 \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{pmatrix} = V_2^0 \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{pmatrix} + V_2^1 \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{pmatrix} + V_2^2 \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{pmatrix},$$

$P(U, b)$ прибавляет последнему диагональному элементу матрицы P выражение b . Например,

$$P \left(\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & a_{22} & a_{13} \\ a_{13} & a_{12} & a_{11} \end{pmatrix}, b \right) = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & a_{22} & a_{13} \\ a_{13} & a_{12} & a_{11} + b \end{pmatrix}.$$

Анализируя (14) и (27), можно выявить следующие правила получения системы дифференциальных уравнений при аппроксимации произвольным количеством элементов.

1. Формирование матрицы K при T для нетеплоизолированного случая.

Анализируя матрицу K для трех (14) и пяти узлов (27), можно выявить следующие правила определения элементов матрицы K для n элементов:

(а) — для одного элемента

$$\begin{aligned}
K_1^{1q} &= \frac{K_{xx}S}{6L} \begin{pmatrix} 14 & -16 & 2 \\ -16 & 32 & -16 \\ 2 & -16 & 14 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & hs \end{pmatrix} + \frac{\pi rhl}{15} \begin{pmatrix} 4 & 2 & 1 \\ 2 & 16 & 2 \\ 1 & 2 & 4 \end{pmatrix} = \\
&= P \left(\frac{K_{xx}S}{6L} U_1 \begin{pmatrix} 14 & -16 & 2 \\ -16 & 32 & -16 \\ 2 & -16 & 14 \end{pmatrix}, hs \right) + \frac{\pi rhl}{15} U_1 \begin{pmatrix} 4 & 2 & 1 \\ -16 & 16 & 2 \\ 1 & 2 & 4 \end{pmatrix};
\end{aligned}$$

(6) — для двух элементов

$$\begin{aligned}
K_{1,2}^{2q} &= \frac{K_{xx}S}{6l} \begin{pmatrix} 14 & 16 & 2 & 0 & 0 \\ 16 & 32 & 16 & 0 & 0 \\ 2 & 16 & 28 & 16 & 2 \\ 0 & 0 & 16 & 32 & 16 \\ 0 & 0 & 2 & 16 & 14 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & hs \end{pmatrix} + \frac{\pi rhl}{15} \begin{pmatrix} 4 & 2 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & 16 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 8 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 2 & 16 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 2 & 4 \end{pmatrix} = \\
&= P \left(\frac{K_{xx}S}{6L} U_2 \begin{pmatrix} 14 & -16 & 2 \\ -16 & 32 & -16 \\ 2 & -16 & 14 \end{pmatrix}, hs \right) + \frac{\pi rhl}{15} U_2 \begin{pmatrix} 4 & 2 & 1 \\ -16 & 16 & 2 \\ 1 & 2 & 4 \end{pmatrix};
\end{aligned}$$

(b) — для n элементов имеем

$$K_{1,2,\dots,n}^{\text{нq}} = P \left(\frac{K_{xx}S}{6L} U_n \begin{pmatrix} 14 & -16 & 2 \\ -16 & 32 & -16 \\ 2 & -16 & 14 \end{pmatrix}, hs \right) + \frac{\pi rhl}{15} U_n \begin{pmatrix} 4 & 2 & 1 \\ -16 & 16 & 2 \\ 1 & 2 & 4 \end{pmatrix},$$

2. Формирование матрицы H .

Анализируя матрицу H для трех (14) и для пяти узлов (27), можно выявить следующие правила определения элементов матрицы H для n элементов:

(a) — для одного элемента

$$H^1 = \frac{\lambda Sl}{15} \begin{pmatrix} 2 & 1 & -\frac{1}{2} \\ 1 & 8 & 1 \\ -\frac{1}{2} & 1 & 2 \end{pmatrix} = \frac{\lambda Sl}{15} U_1 \begin{pmatrix} 2 & 1 & -\frac{1}{2} \\ 1 & 8 & 1 \\ -\frac{1}{2} & 1 & 2 \end{pmatrix};$$

(б) — для двух элементов:

$$H^2 = \frac{\lambda Sl}{15} \begin{pmatrix} 2 & 1 & -\frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 1 & 8 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} & 1 & 4 & 1 & -\frac{1}{2} \\ 0 & 0 & 1 & 8 & 1 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{2} & 2 & 2 \end{pmatrix} = \frac{\lambda Sl}{15} U_2 \begin{pmatrix} 2 & 1 & -\frac{1}{2} \\ 1 & 8 & 1 \\ -\frac{1}{2} & 1 & 2 \end{pmatrix};$$

(в) — для n элементов имеем

$$H^n = \frac{\lambda Sl}{15} U_n \begin{pmatrix} 2 & 1 & -\frac{1}{2} \\ 1 & 8 & 1 \\ -\frac{1}{2} & 1 & 2 \end{pmatrix}.$$

3. Формирование матрицы B .

Анализируя вектор B для трех (14) и для пяти узлов (27), можно выявить следующие правила определения элементов матрицы B для n элементов:

(а) — для одного элемента:

$$B_{13}^{1q} = \begin{pmatrix} -qS \\ 0 \\ hST_\infty \end{pmatrix} + \frac{\pi rhl T_\infty}{3} \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix} = B^{1q} + \frac{\pi rhl T_\infty}{3} V_1 \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

(б) — для двух элементов

$$B_{1,2}^{2q} = \begin{pmatrix} -qS \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ hST_\infty \end{pmatrix} + \frac{\pi rhl T_\infty}{3} \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 2 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix} = B^{2q} + \frac{\pi rhl T_\infty}{3} V_2 \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 2 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

(в) — для n элементов

$$B_{1,2,\dots,n}^{nq} = \begin{pmatrix} -qS \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ hST_\infty \end{pmatrix} + \frac{\pi rhl T_\infty}{3} \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 2 \\ 4 \\ \dots \\ 2 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix} = B^{nq} + \frac{\pi rhl T_\infty}{3} V_n \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 2 \\ 4 \\ \dots \\ 2 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Некоторые элементы стержня теплоизолированы, а некоторые — нет при подаче постоянного потока тепла с левого конца стержня. Если не теплоизолированы элементы i_1, i_2, \dots, i_k , то имеем:

$$\begin{aligned} 1. \quad H^n &= \frac{\lambda Sl}{15} U_n \begin{pmatrix} 2 & 1 & -\frac{1}{2} \\ 1 & 8 & 1 \\ -\frac{1}{2} & 1 & 2 \end{pmatrix}; \\ 2. \quad K_{i_1, i_2, \dots, i_k}^{nq} &= P \left(\frac{K_{xx} S}{6L} \sum_{j=1}^k U_n^{ij} \begin{pmatrix} 14 & -16 & 2 \\ -16 & 32 & -16 \\ 2 & -16 & 14 \end{pmatrix}, hs \right) + \frac{\pi rhl}{15} \sum_{j=1}^k U_n^{ij} \begin{pmatrix} 4 & 2 & 1 \\ -16 & 16 & 2 \\ 1 & 2 & 4 \end{pmatrix}; \\ 3. \quad B_{i_1, i_2, \dots, i_k}^{nq} &= B^{nq} + \frac{\pi rhl T_\infty}{3} \sum_{j=1}^k V_n^{ij} \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

Для примера, когда теплоизолирован второй из двух элементов боковой поверхности стержня, получим следующие матрицы К и Н, а также вектор В системы (27):

$$\begin{aligned} K_1^{2q} &= P \left(\frac{K_{xx} S}{6L} U_2^1 \begin{pmatrix} 14 & -16 & 2 \\ -16 & 32 & -16 \\ 2 & -16 & 14 \end{pmatrix}, hs \right) + \frac{\pi rhl}{15} U_2^1 \begin{pmatrix} 4 & 2 & 1 \\ -16 & 16 & 2 \\ 1 & 2 & 4 \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} \frac{14K_{xx}S}{6l} + \frac{4\pi rhl}{15} & -\frac{16K_{xx}S}{6l} + \frac{2\pi rhl}{15} & \frac{2K_{xx}S}{6l} + \frac{\pi rhl}{15} & 0 & 0 \\ -\frac{16K_{xx}S}{6l} + \frac{2\pi rhl}{15} & \frac{32K_{xx}S}{6l} + \frac{16\pi rhl}{15} & -\frac{16K_{xx}S}{6l} + \frac{2\pi rhl}{15} & 0 & 0 \\ \frac{2K_{xx}S}{6l} + \frac{\pi rhl}{15} & -\frac{16K_{xx}S}{6l} + \frac{2\pi rhl}{15} & \frac{28K_{xx}S}{6l} + \frac{4\pi rhl}{15} & -\frac{16K_{xx}S}{6l} & \frac{2K_{xx}S}{6l} \\ 0 & 0 & -\frac{16K_{xx}S}{6l} & \frac{32K_{xx}S}{6l} & -\frac{16K_{xx}S}{6l} \\ 0 & 0 & \frac{2K_{xx}S}{6l} & -\frac{16K_{xx}S}{6l} & \frac{14K_{xx}S}{6l} + hs \end{pmatrix}, \end{aligned}$$

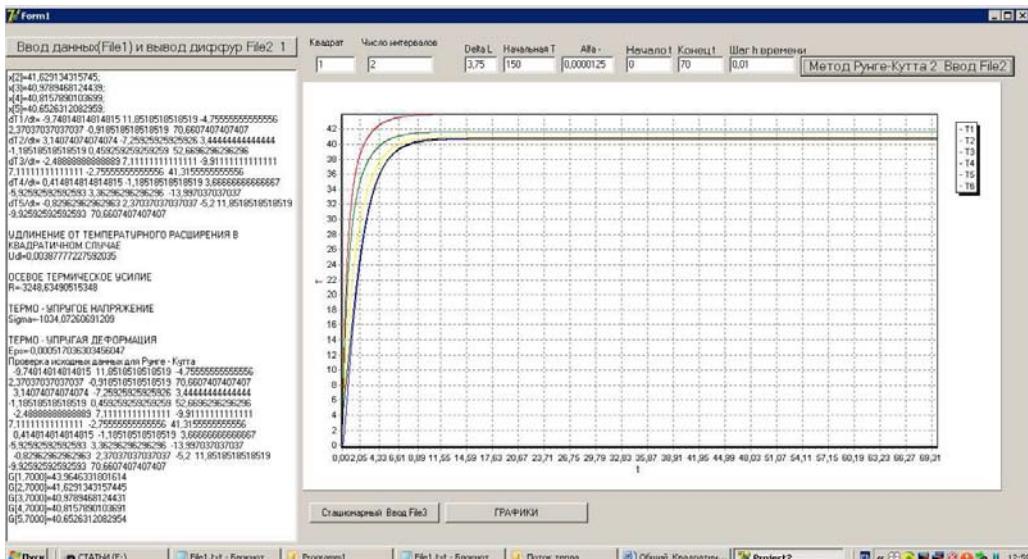


Рис. 5. Изменение температуры в пяти узлах для теплоизолированного второго элемента (слева приложен поток тепла $q = -150 \text{ Вт/см}^2$)

$$\mathbf{B}_1^{2q} = \mathbf{B}^{5q} + \frac{\pi r h l T_\infty}{3} V_2^1 \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-qS + \frac{\pi r h l T_\infty}{3}}{4\pi r h l T_\infty} \\ \frac{\pi r h l T_\infty}{3} \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Подставляя исходные данные из табл. 1, получим следующую систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{pmatrix} 843,75 & 421,875 & -210,9375 & 0 & 0 \\ 421,875 & 3375 & 421,875 & 0 & 0 \\ -210,9375 & 421,875 & 1687,75 & 421,875 & -210,9375 \\ 0 & 0 & 421,875 & 3375 & 421,875 \\ 0 & 0 & -210,9375 & 421,875 & 843,75 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \frac{dT_1}{dt} \\ \frac{dT_2}{dt} \\ \frac{dT_3}{dt} \\ \frac{dT_4}{dt} \\ \frac{dT_5}{dt} \end{pmatrix} + \\ + \begin{pmatrix} 6375 & -5437,5 & 468,75 & 0 & 0 \\ -5437,5 & 12000 & -5437,5 & 0 & 0 \\ 468,75 & -5437,5 & 11625 & -600 & 750 \\ 0 & 0 & -6000 & 12000 & -6000 \\ 0 & 0 & 750 & -6000 & 6375 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 73125 \\ 225000 \\ 56125 \\ 0 \\ 45000 \end{pmatrix}.$$

Решение этой задачи представлено на рис. 5.

Стационарным решением полученной системы является $T_1 = 43,96^\circ\text{C}$, $T_2 = 41,62^\circ\text{C}$, $T_3 = 40,97^\circ\text{C}$, $T_4 = 40,81^\circ\text{C}$ и $T_5 = 40,65^\circ\text{C}$. В случае теплоизолированности левой половины боковой поверхности стержня матрицы К и Н, а также вектор \mathbf{B} системы (27) имеют вид:

$$K_1^{2q} = P \left(\frac{K_{xx} S}{6L} U_2^2 \begin{pmatrix} 14 & -16 & 2 \\ -16 & 32 & -16 \\ 2 & -16 & 14 \end{pmatrix}, \text{hs} \right) + \frac{\pi r h l}{15} U_2^2 \begin{pmatrix} 4 & 2 & 1 \\ -16 & 16 & 2 \\ 1 & 2 & 4 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} \frac{14K_{xx}S}{6l} & \frac{16K_{xx}S}{32K_{xx}S} & \frac{2K_{xx}S}{16K_{xx}S} & 0 & 0 \\ \frac{16K_{xx}S}{6l} & \frac{6L}{32K_{xx}S} & \frac{6l}{16K_{xx}S} & 0 & 0 \\ \frac{2K_{xx}S}{6l} & \frac{16K_{xx}S}{6L} & \frac{28K_{xx}S}{6l} + \frac{4\pi rhl}{15} & \frac{16K_{xx}S}{32K_{xx}S} + \frac{2\pi rhl}{15} & \frac{2K_{xx}S}{16K_{xx}S} + \frac{\pi rhl}{15} \\ 0 & 0 & \frac{16K_{xx}S}{6l} & \frac{6l}{32K_{xx}S} + \frac{16\pi rhl}{15} & \frac{16K_{xx}S}{16K_{xx}S} + \frac{2\pi rhl}{15} \\ 0 & 0 & \frac{2K_{xx}S}{6l} & \frac{16K_{xx}S}{6l} + \frac{2\pi rhl}{15} & \frac{14K_{xx}S}{6l} + \frac{4\pi rhl}{15} + hs \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{B}_2^{2q} = \mathbf{B}^{2q} + \frac{\pi rhl T_\infty}{3} V_2^2 \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} qS \\ 0 \\ \frac{\pi rhl T_\infty}{4\pi rhl T_\infty} \\ hST_\infty + \frac{\pi rhl T_\infty}{3} \end{pmatrix}.$$

Подставляя исходные данные из табл. 1 получим следующую систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{pmatrix} 843,75 & 421,875 & 210,9375 & 0 & 0 \\ 421,875 & 3375 & 421,875 & 0 & 0 \\ 210,9375 & 421,875 & 1687,75 & 421,875 & 210,9375 \\ 0 & 0 & 421,875 & 3375 & 421,875 \\ 0 & 0 & 210,9375 & 421,875 & 843,75 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \frac{dT_1}{dt} \\ \frac{dT_2}{dt} \\ \frac{dT_3}{dt} \\ \frac{dT_4}{dt} \\ \frac{dT_5}{dt} \end{pmatrix} + \\ + \begin{pmatrix} 6375 & 5437.5 & 468.75 & 0 & 0 \\ 5437.5 & 12000 & 5437.5 & 0 & 0 \\ 468.75 & 5437.5 & 11625 & 600 & 750 \\ 0 & 0 & 6000 & 12000 & 6000 \\ 0 & 0 & 750 & 6000 & 6375 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 73125 \\ 225000 \\ 56125 \\ 0 \\ 45000 \end{pmatrix},$$

Решение этой задачи представлено на рис. 6.

Стационарным решением полученной системы является $T_1 = 51,44^\circ C$, $T_2 = 47,69^\circ C$, $T_3 = 43,94^\circ C$, $T_4 = 41,59^\circ C$ и $T_5 = 40,91^\circ C$.

Сравнительный график стационарных решений для двух элементов, полученных путем использования описанных выше правил, представлен на рис. 7.

Заключение. Получены правила составления систем линейных дифференциальных уравнений для решения задачи распространения тепла в стержне при квадратичной аппроксимации, состоящей из любого количества узлов.

Список литературы

- Лари Ж., Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. Второе издание. М.: Мир, 1985.
- Зенкевич О. С., Моран К. Конечные элементы и аппроксимация. М.: Мир, 1986.



Кудайкулов Анарбай Кудайкулович — д-р физ.-мат. наук, проф., руководитель проекта Института информационных и вычислительных техно-логий КН МОН РК, Алма-Ата, Республика Казахстан; тел. 87172383958; e-mail: KudaykulovAnarbay2006@mail.ru.

Кудайкулов Анарбай Кудайкулович окончил Ташкентский государственный универ-

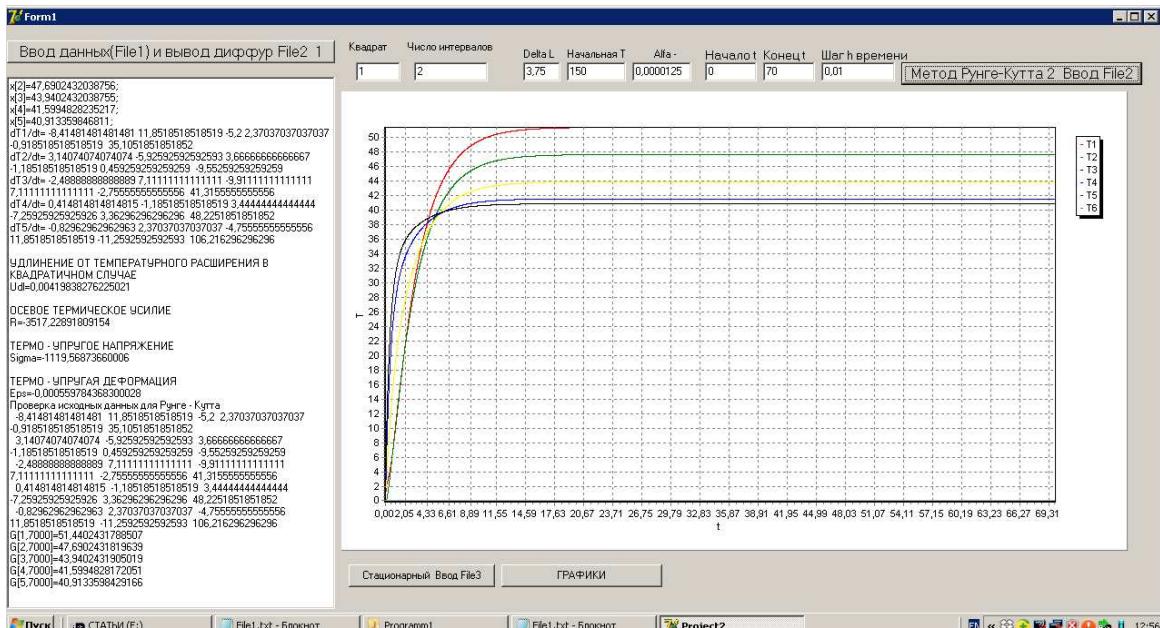


Рис. 6. Изменение температуры в пяти узлах для теплоизолированного первого элемента (слева приложен поток тепла $q = -150 \text{ Вт/см}^2$)

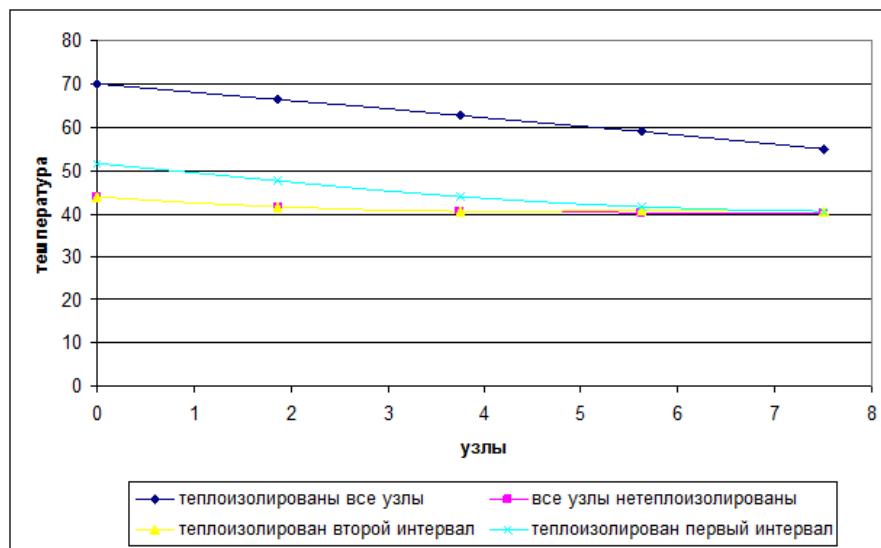


Рис. 7. Изменение температуры в узловых точках для различных способов теплоизоляции

ситет им. В. И. Ленина по специальности „Прикладная математика и механика“ в 1973 г. В 1979 г. защитил кандидатскую диссертацию в МГУ им. М. В. Ломоносова. В 1992 г. защитил докторскую по специальности 01.02.07 — „Механика сыпучих тел, грунтов и горных пород“ в Институте гидродинамики СО РАН. Доктор

физико-математических наук профессор, академик Международной академии информатизации, действительный член всемирного общества инженеров-нефтяников.

Известный ученый в области механики деформируемого твердого тела и геомеханики. Автор более 110 научных статей и 9 моногра-

фий, из которых 2 монографии изданы в Англии. Удостоен золотой медали имени академика Ж. С. Ержанова. Подготовил 13 кандидатов и 2 доктора наук. В 2009 году прошел научную стажировку в Институте гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН. Под руководством член-корреспондента РАН Б. Д. Аннина провел серию экспериментов по определению прочностных характеристик несущих элементов летательных аппаратов. Для АО „КазТрансОйл“ выполнил расчет на термопрочность несущих элементов нефтегревательных установок. Совместно с АО НИИ „Каспиймунайгаз“ разработал проект обустройства нефтяных и нефтегазовых месторождений с учетом оптимальных режимов работы основных технологических агрегатов и конструкций, подготовки и транспортировки нефти, газа и пластовой воды.

Является членом объединенного (ИММаш, КазНУ) докторского диссертационного совета ОД 14А.01.08.

Kudaykulov Anarbay graduated from Tashkent State University named after V. I. Lenin by specialty „Applied Mathematics and Mechanics“ in 1973. In 1979 he defended master’s thesis at the Moscow State University named after M. V. Lomonosov. In 1992 he defended doctorate by specialty 01.02.07 — „The mechanics of granular materials, soils and rocks“ in the Institute of Hydrodynamics of Siberian Branch of the Russian Academy of Science. Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, academician of the International Academy of Informatization, member of the World Society of Petroleum Engineers.

The famous scientist in the field of mechanics of a deformable solid body and geomechanics. The author more than 110 scientific articles and 9 monographs from which 2 monographs are published in England. It is awarded a gold medal of a name of the academician Zh. S. Erzhanov. He prepared 13 candidates and 2 doctors of science. In 2009 passed a scientific training in Institute of hydrodynamics of the academician M. A. Lavrentyev of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science. Under the leadership of the corresponding member of RAS B. D. Annin made a series of experiments by determination of strength characteristics of the bearing elements of

flight vehicles. For JSC KazTransOil he executed calculation on thermo-strength of the bearing elements of petro-heating installations. Together with JSC SRI Kaspiymunaygaz he developed the project of arrangement of oil and oil and gas fields taking into account optimum operating modes of the main technological aggregates and designs, preparation and oil transportation, gas and reservoir water.

He is a member of the united doctoral dissertation council D 14A.01.08. (IMES, KazNU).



Ташев Азат Арипович — д-р техн. наук, проф., ведущ. науч. сотр. Института информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Алма-Ата, Республика Казахстан; тел.: 87072272469; e-mail: azattash@mail.

Ташев Азат Арипович окончил факультет управления и прикладной математики Московского физико-технического института в 1975 году. В 1985 году защитил кандидатскую диссертацию по специальности 05.13.02, а в 1995 году защитил докторскую по специальности 05.13.06 в НПО „Кибернетика“ с ВЦ АН УзССР. С 1975 года работал в области программирования. В 1985 году он стал зав. лабораторией НИИ „Алгоритм“ НПО „Кибернетика“ по проблемам исследования землетрясений, в настоящее время является главным научным сотрудником Института информационных и вычислительных технологий (Республика Казахстан, г. Алма-Ата).

Им опубликовано свыше 80 работ в таких областях, как распределение и перераспределение ресурсов в условиях неопределенности, экспертные системы, основанные на производственных правилах и на нечетких множествах, сейсмологии, параллельное вычисление, облачная технология, программирование. Его текущие исследовательские интересы включают технологии параллельных вычислений, языки программирования, включая параллельное, экспертные системы, оптимальное распределение и перераспределение ресурсов. В данное время основным проектом А. А. Ташева является исследование термофизических характеристи-

стик различных материалов и программирование.

Tashev Azat graduated the Faculty of Management and Applied Mathematics, Moscow Institute of Physics and Technology in 1975. In 1985 he defended master's thesis by specialty 05.13.02, and in 1995 he defended his doctoral by specialty 05.13.06 in SIA „Cybernetics“ with CS AS UzSSR. Since 1975, he worked in the field of programming. In 1985 he became head of laboratory of the Research Institute „Algorithm“ SIA „Cybernetics“ research on the problems of earthquakes, is currently the chief researcher at the Institute of Information

and Computational Technologies (Republic of Kazakhstan, Almaty). He has published over 80 papers in the areas of distribution and redistribution of resources in the face of uncertainty, expert systems based on production rules and fuzzy sets, seismology, parallel computing, cloud technology, programming. His current research interests include parallel computing technologies, programming languages, including parallel, expert systems, optimal distribution and redistribution of resources. At this time, the main project of A. Tashev is the study of thermophysical characteristics of different materials and programming.

Дата поступления — 26.08.2016



OBJECT-ORIENTED APPROACH IN COMPUTER MODELING OF THE ENCRYPTION ALGORITHM BASED ON NONPOSITIONAL POLYNOMIAL NOTATION SYSTEM

S. E. Nyssanbayeva, M. M. Magzom

Institute of Information and Computational Technologies
050010, Almaty, Republic of Kazakhstan

In this paper a computer implementation of the models of the nonconventional encryption algorithm, based on nonpositional polynomial notation system, is presented. An important stage of mathematical and computer modeling is a transformation of a mathematical model in a computer program. Development and testing of software for scientific research often takes a long time. One possible solution is the use of object-oriented programming. This approach enables code reuse while encapsulation of data and templates provide reliable code. The use of OOP is particularly advantageous in scientific research programs that include a parallel processing.

This paper considers a model of block cipher algorithm developed using nonpositional polynomial notation systems (NPNs) or a polynomial residual notation system (RNS). Classical modular arithmetic is based on the Chinese remainder theorem, which states that any number can be represented by their remainders (residues) from its division by the base numbers systems, which are formed pairwise prime numbers. In polynomial RNS moduli are represented by irreducible polynomials with coefficients over the GF(2). The usage of NPNs allows improving durability and efficiency of nonpositional cryptographic algorithms without increasing the length of secret key.

Improved efficiency is provided by the rules of NPNs in which all arithmetic operations can be performed in parallel to the base module NPNs. In nonpositional cryptosystems the cryptostrength is characterized by a complete secret key. Cryptostrength in this case depends not only on the length of a key sequence, but also on choice of a system of polynomial bases. With the growth of the order of irreducible polynomials with binary coefficients, their number also grows rapidly. The greater the length of the input block, the more choices of working systems bases are possible. Therefore, the cryptostrength of the proposed encryption algorithm against bruteforce attack significantly increases with the length of the electronic message. During the development of the nonpositional encryption algorithm different designs of the Feistel scheme and encryption modes are investigated.

In this paper the methods of object-oriented programming, that simplify the research process of developed models, are described. The use of object-oriented approach and design patterns makes the program design more flexible. In particular, this makes it possible to easily change the classes that define the components of the model of the encryption algorithm. The biggest obstacle lies in hard coded information about which model configuration is used. With the creational patterns, there are different ways to get rid of the explicit reference to the specific code that implements the functions of a cryptosystem.

Basic design patterns used to create the foundations of the program are described. Application of Abstract Factory, Singleton, Strategy design patters is shown. Furthermore the structure of the developed software is described. The functionality of the „polynomial“ and „crypto“ packaged is explained, and included classes BinaryPolynomial, BinaryPolynomialMath, BinaryHelpers, SimpleCipher, SimpleFeistel are shown.

The use of the Java platform during the computer implementation makes it possible to use the software implementation of the nonconventional encryption algorithm in a wide range of computing

devices and operating systems During software implementation of developed models, the statistical characteristics of the resulting ciphertexts were analyzed by using statistical test suit.

Carried out the analysis of a computer program that implements the functions of generating a complete encryption key and performs encryption using a block cipher modes.

The research of the possibility of implementing Feistel scheme and encryption modes helps to investigate the practical usability of the developed models. Computer modelling of the nonpositional encryption algorithm allows to develop recommendations for its application.

Key words: cryptographic system, encryption algorithm, modular arithmetic, computer modeling.

References

1. Laxmikant V. K., Sanjeev K. CHARM++. A Portable Concurrent Object Oriented System Based On C++ // OOPSLA 93, P. 91–108.
2. Biyashev R., Kalimoldayev M., Nyssanbayeva S., Magzom M. Development of an encryption algorithm based on nonpositional polynomial notations // WCNSP2016, June 26–27, 2016. Chiang Mai, Thailand. P. 243–245.
3. Biyashev R., Nyssanbayeva S., Begimbayeva Ye., Magzom M. Building modified modular cryptographic systems // International Journal of Applied Mathematics and Informatics. 2015. Vol. 9. P. 103–109.
4. Schinianakis D., Stouraitis T. Residue Number Systems in Cryptography: Design, Challenges, Robustness // Secure System Design and Trustable Computing / Springer. 2016.
5. Introduction to Algorithms (sec. ed.) / T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, C. Stein. MIT Press and McGraw-Hill, 2001. P. 873–876.
6. Biyashev R. Razrabotka i issledovanie metodov skvoznogo povyshenija dostovernosti v sistemah obmena dannymi raspredelenyyh ASU: doc. thesis, Moscow, 1985. P. 328. (In russian).
7. Biyashev R., Nyssanbayeva S. Algorithm for creation a digital signature with error detection and correction // Cybernetics and System Analysis. 2012. N 4. P. 14–23.
8. Kapalova N., Nyssanbayeva S., Khakimov R. Irreducible polynomials over the field GF (2ⁿ) // Proceedings of „KAKHAK“ scientific-technical society, Almaty, Kazakhstan, 2013, 1. P. 17–28.
9. Nyssanbayev S., Magzom M. Model' netradicionnogo algoritma shifrovaniya na osnove vlozhennyh setej Fejstelja // Vestnik KazNTU. 2016. N 4. (In russian).
10. Recommendation for Block Cipher Modes of Operation // NIST Special Publication 800-38A. 2001. P. 10.
11. Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J. Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Addison-Wesley, 2001. P. 395.
12. A Statistical Test Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications // NIST Special Publication 800-22. 2001. P. 154.

ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ АЛГОРИТМА ШИФРОВАНИЯ НА БАЗЕ НЕПОЗИЦИОННОЙ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ

С. Е. Нысанбаева, М. М. Магзом

Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК
050010, Алма-Ата, Республика Казахстан

УДК 004.056.5

В работе рассматривается компьютерная реализация моделей нетрадиционного алгоритма шифрования, основанного на непозиционной полиномиальной системе счисления. Описаны методы объектно-ориентированного программирования, упрощающие процесс исследования разработанных моделей. Проведен анализ компьютерной программы, реализующей функции генерации полного ключа шифрования и выполняющей шифрование с использованием режимов блочных шифров.

Ключевые слова: криптографическая система, алгоритм шифрования, модулярная арифметика, компьютерное моделирование.

Введение. Важным этапом математического и компьютерного моделирования является преобразования математической модели в готовую компьютерную программу. Разработка и отладка программного обеспечения (ПО) для проведения научных исследований часто занимает много времени. Для уменьшения усилий, затрачиваемых на решение задач программирования, возможно использовать современные методы разработки ПО, которые делают реализацию приложения более понятной и эффективной.

Одним из возможных решений является использование объектно-ориентированного программирования (ООП). Данный подход предоставляет возможность повторного использования кода, а инкапсуляция данных и шаблоны предоставляют надежный код. Использование ООП является особенно предпочтительным в научных программах, включающих параллельную обработку [1].

Рассматриваемые в данной работе модели алгоритма блочного шифрования разработаны с использованием непозиционной полиномиальной системы счисления (НПСС) или полиномиальной системы остаточных классов (СОК) [2]. В работе [3] описаны модификации данных моделей нетрадиционного алгоритма шифрования с использованием сети Фейстеля и режимов блочного шифра.

В классической системе остаточных классов каждое число, многоразрядное в позиционной системе счисления, представляется в виде нескольких малоразрядных позиционных чисел, которые являются остатками, полученными от деления исходного числа на взаимно простые основания [4]. В обычной позиционной двоичной системе при выполнении арифметических операций образуются переносы в следующий старший разряд, вследствие чего

Работа выполнена при поддержке программно-целевого финансирования научно-технических программ и проектов Комитета науки МОН РК № 0128/ПЦФ.

необходимо выполнять данные операции последовательно по разрядам. В СОК существует возможность распараллелить этот процесс. В соответствии с правилами, все операции над остатками по каждому основанию можно выполнять отдельно и независимо, т. е. параллельно. С учетом того, что операции проводятся над данными меньшей разрядности, чем входной блок, то скорость обработки также увеличивается.

В данной работе описывается разработка компьютерной модели алгоритма симметричного шифрования, основанного на базе полиномиальной системы остаточных классов.

1. Алгоритм симметричного шифрования на базе НПСС. Аналогично китайской теореме об остатках [5], в полиномиальных системах счисления в остаточных классах любой полином может быть представлен своими остатками (вычетами) от деления на систему оснований, состоящей из неприводимых многочленов над полем $GF(2)$ [6, 7].

Для формирования НПСС при шифровании блока длиной N бит из множества всех неприводимых многочленов степени не выше значения N выбираются рабочие основания

$$p_1(x), p_2(x), \dots, p_S(x). \quad (1)$$

Все выбираемые основания должны отличаться друг от друга, даже если они являются неприводимыми полиномами одной степени. Тогда в этой системе любой многочлен степени меньше суммы степеней всех рабочих оснований (1) имеет единственное представление в виде последовательности остатков (вычетов) от деления его на данные основания. Таким образом, блок открытого текста и ключевая последовательность длиной N бит могут быть представлены в виде последовательностей вычетов $F(x) = (\alpha_1(x), \alpha_2(x), \dots, \alpha_S(x))$ и $G(x) = (\beta_1(x), \beta_2(x), \dots, \beta_S(x))$ соответственно, полученных в результате деления по рабочим основаниям системы. Покажем пример простого преобразования открытого текста в шифр.

Шифрованное сообщение формируется в результате умножения многочленов $F(x)$ и $G(x)$:

$$F(x)G(x) \equiv H(x)(mod P(x)), \quad (2)$$

т. е. может быть представлено в виде остатков от деления произведений $\alpha_i(x)\beta_i(x)$ на соответствующие основания $p_i(x)$.

Для расшифрования необходимо вычислить обратный (инверсный) многочлен $G^{-1}(x) = (\beta_1^{-1}(x), \beta_2^{-1}(x), \dots, \beta_S^{-1}(x))$. Тогда исходное сообщение восстанавливается по сравнению:

$$F(x) \equiv G^{-1}(x)H(x)(mod P(x)). \quad (3)$$

Секретный ключ, используемый для шифрования, называется полным. Полный ключ состоит из ключевой псевдослучайной последовательности и выбранной системы полиномиальных оснований, которая также держится в секрете. С ростом порядка неприводимых многочленов с двоичными коэффициентами их количество стремительно растет, в связи с этим очевиден широкий выбор полиномиальных оснований. Количество вариантов выбора НПСС существенно возрастает с увеличением длины шифруемого блока [8]. В связи с этим, в алгоритме шифрования, основанном на НПСС, секретные параметры шифра зависят не только от длины ключевой последовательности, но и от выбранной системы полиномиальных оснований, а также от порядка расположения оснований в системе.

В работе [3] были описаны модификации нетрадиционного алгоритма шифрования с использованием сети Фейстеля в качестве пред- и постобработки блока шифруемых данных. Применение указанных выше свойств алгоритма шифрования при генерации раундовых

ключей приводит к неравномерному изменению внутренних свойств сети Фейстеля, что усложняет анализ свойств моделей шифра.

В отличие от традиционной сети Фейстеля, где входными данными является открытый текст сообщения, в модели с предобработкой на вход подается битовая последовательность шифротекста, получаемая при шифровании нетрадиционным алгоритмом на базе НПСС.

В модели с предобработкой блок открытого текста предварительно шифруется по классической схеме Фейстеля, после чего преобразуется нетрадиционным методом шифрования.

Кроме этого, была разработана модель алгоритма шифрования, которая повторяет структуру классической сети Фейстеля, но в которой раундовая F -функция преобразует подблок входных данных с помощью нетрадиционного метода шифрования. Функция шифрования F подблока может зависеть не только от раундового ключа $K(i)$, но и от выбранной системы оснований. В этом случае данная функция будет называться гетерогенной. Применение гетерогенных сетей может значительно улучшить характеристики шифра, поскольку неравномерное изменение внутренних свойств сети в пределах допустимых границ делает изучение свойств шифра достаточно затруднительным занятием.

В [9] показана структура модели алгоритма шифрования с использованием вложенной сети Фейстеля. В данной модели функция преобразования F также представляет собой сеть Фейстеля.

Во всех моделях для улучшения статистических свойств получаемых криптограмм используется режим шифрования. Режимы шифрования используются для модификации процесса шифрования так, чтобы результат шифрования каждого блока был уникальным вне зависимости от шифруемых данных и не позволял сделать какие-либо выводы об их структуре. Это обусловлено, прежде всего, тем, что блочные шифры шифруют данные блоками фиксированного размера, и поэтому существует потенциальная возможность утечки информации о повторяющихся частях данных шифруемых на одном и том же ключе.

В данной модели применяется режим Chipher Block Chaining [10] — режим сцепления блоков шифра. Преобразование выполняется следующим образом: каждый блок открытого текста складывается по модулю 2 с результатом шифрования предыдущего блока. Таким образом, результаты шифрования предыдущих блоков влияют на шифрование следующих блоков.

При этом в начале шифрования используется вектор инициализации для того, чтобы любое сообщение было уникальным. В связи с этим вектор инициализации должен быть случайным числом. Его не обязательно хранить в секрете, можно передавать его вместе с сообщением.

2. Программная реализация моделей с использованием объектно-ориентированного подхода. При компьютерном моделировании алгоритма шифрования необходимо предусматривать возможности изменения программы и поставленных задач.

Для решения задачи в процедурном программировании необходимо создать различные функции, реализующие функции генерации полного ключа шифрования, и выполняющие шифрование с использованием режимов блочных шифров для каждой из необходимых конфигураций моделей шифра. В функциях должны быть жестко определены параметры данных моделей. Для того чтобы изменить структуру, придется изменить саму функцию, либо заменив ее (то есть полностью переписав заново), либо непосредственно модифици-

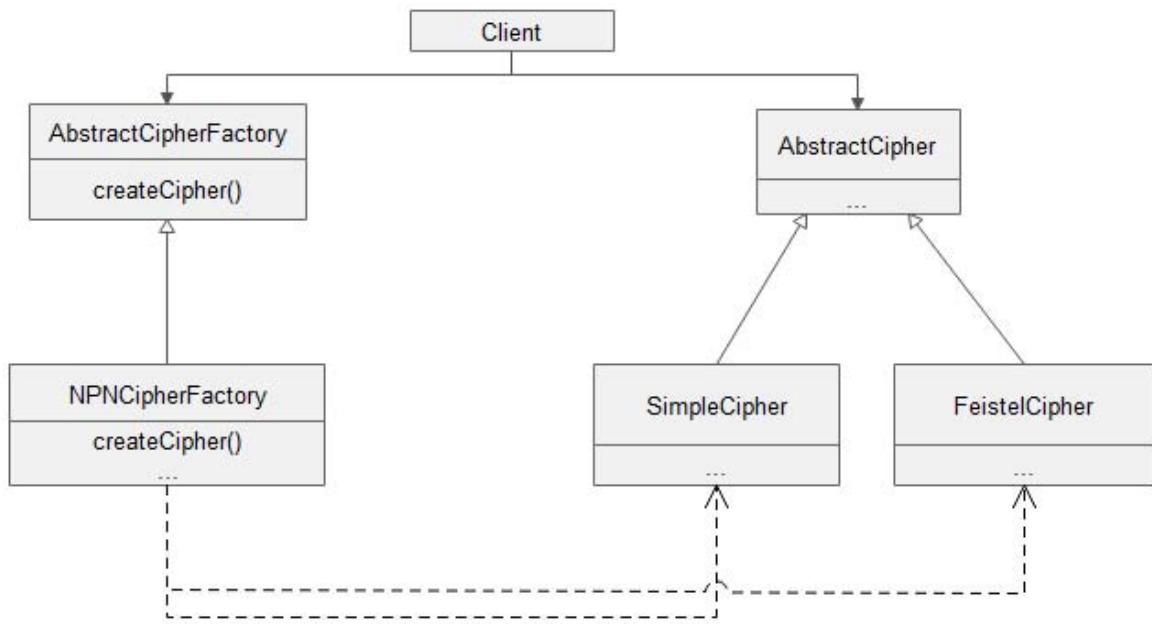


Рис. 1. Структура фабрики моделей алгоритма шифрования

ровав ее фрагменты. Оба пути чреваты ошибками и не способствуют повторному использованию.

Использование объектно-ориентированного подхода и шаблонов проектирования позволяют сделать дизайн более гибким, хотя и необязательно меньшим по размеру. В частности, это дает возможность легко изменять классы, определяющие компоненты моделей алгоритма шифрования.

Самое серьезное препятствие лежит в жестко указанной в коде информации о том, какая конфигурация модели реализуется. С помощью порождающих шаблонов можно различными способами избавиться от явных ссылок на конкретные функции кода [11], реализующие функционал моделей крипtosистемы.

Рассмотрим основные шаблоны проектирования, использованные при создании основы программы.

Шаблон проектирования „Factory“ („Фабрика“) инкапсулирует создание одного из нескольких связанных классов. Назначение данного шаблона проектирования — представлять интерфейс для создания семейств взаимосвязанных или взаимозависимых объектов, не специфицируя их конкретных классов.

Чтобы в приложении можно было использовать различные конфигурации, в нем не должны быть жестко закодированы параметры алгоритма.

Если реализация и инстанцирование классов для конкретной конфигурации разбросано по всему приложению, то изменить методы расчета впоследствии будет нелегко.

Для решения этой проблемы определен абстрактный класс **AbstractCipherFactory**, в котором объявлен интерфейс для создания всех разработанных моделей алгоритма шифрования. Клиенты используют этот интерфейс для получения экземпляров моделей шифра, но при этом ничего не знают о том, какие именно классы используются. Стало быть, клиенты остаются независимыми от выбранной конфигурации. На рис. 1 показана структура данного шаблона.

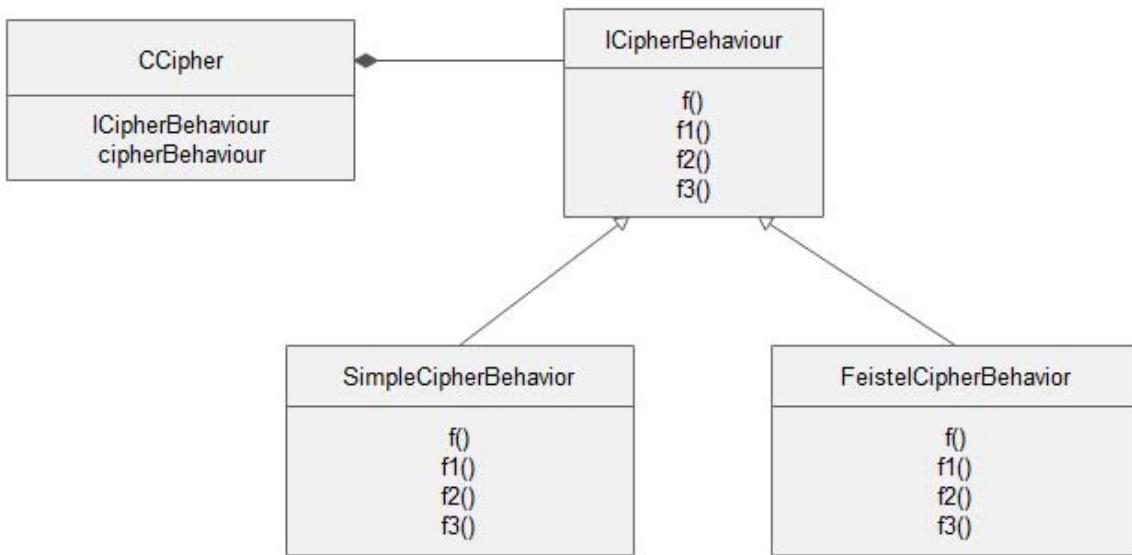


Рис. 2. Структура шаблона „Поведение“

Как правило, приложению нужен только один экземпляр класса *ConcreteFactory* на каждое семейство продуктов. Необходимо обеспечить конструирование экземпляра один раз, а затем обеспечить обращение только к нему.

Эта задача решается с помощью шаблона „*Singleton*“ („Одиночка“), который гарантирует, что у класса есть только один экземпляр, и предоставляет к нему глобальную точку доступа. Данный шаблон проектирования устроен так, что тот единственный экземпляр, который имеется у класса, — самый обычный, но больше одного экземпляра создать не удастся. Чаще всего для этого ограничивают доступ к операции, создающей экземпляры, пряча ее за операцией класса (т. е. за статической функцией-членом или методом класса), которая гарантирует создание не более одного экземпляра. Данная операция имеет доступ к переменной, где хранится уникальный экземпляр, и гарантирует инициализацию переменной этим экземпляром перед возвратом ее клиенту. При таком подходе можно не сомневаться, что экземпляр „*Одиночки*“ будет создан и инициализирован перед первым использованием.

Клиенты осуществляют доступ к „*Одиночке*“ исключительно через функцию-член *getInstance*. Переменная *instance* инициализируется нулем, а статическая функция-член *getInstance* возвращает ее значение, инициализируя ее уникальным экземпляром, если в текущий момент оно не определено. Функция *getInstance* использует отложенную инициализацию: возвращаемое ей значение не создается и не хранится вплоть до момента первого обращения.

Шаблон проектирования „*Strategy*“ („Поведение“) предоставляет семейство алгоритмов, инкапсулирует каждый из них и делает их взаимозаменяемыми. „Поведение“ позволяет изменять алгоритмы независимо от клиентов, которые ими пользуются. Этот шаблон позволяет менять поведение объекта, не меняя его структуру. Таким образом можно изменять типы модели алгоритма шифрования — соответственно и поведение шифра, на этапе выполнения программы без необходимости повторной компиляции и сборки исходного текста. Схема данного шаблона показана рис. 2.

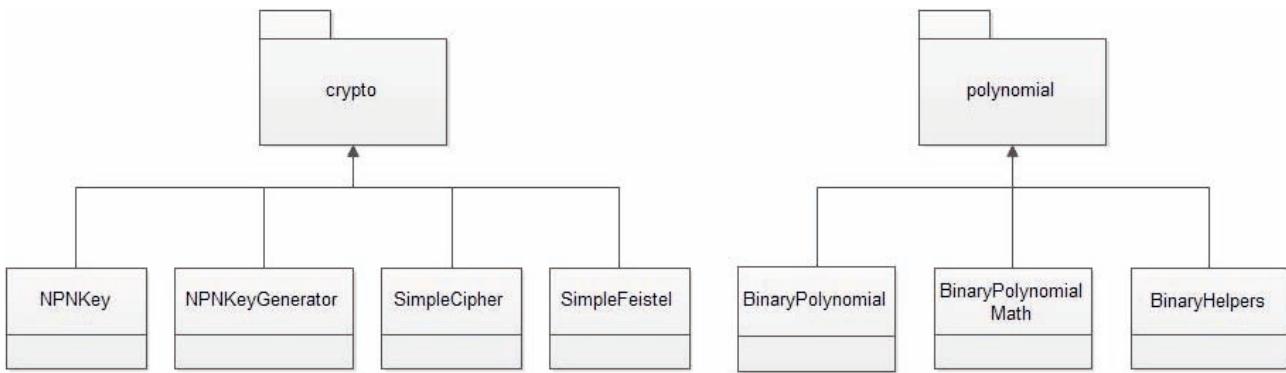


Рис. 3. Структура компьютерной реализации разработанных моделей

Разрабатываемые модели были реализованы с использованием языка программирования Java.

На рис. 3 показана диаграмма с структурой разработанной программы.

В пакете polynomial созданы классы для работы с многочленами над полем $GF(2)$. Был разработан класс BinaryPolynomialMath, реализующий арифметические операции с бинарными полиномами. Данный класс является основой для компьютерной реализации разработанных моделей.

Разработан класс BinaryPolynomial, описывающий многочлен над полем $GF(2)$. Методы данного класса позволяют создавать экземпляры многочленов заданного порядка, переводить форму отображения многочлена из двоичного в текстовый, определять неприводимость данного полинома.

Класс BinaryHelpers реализует вспомогательные методы для работы с двоичными данными.

Разработанные модели алгоритмов шифрования реализованы в пакете crypto. Также туда входят классы для генерации полного ключа шифрования, использующие различные источники энтропии операционной системы.

Классы SimpleCipher и SimpleFeistel реализуют алгоритм шифрования на базе НПСС с применением сети Фейстеля и режимов блочного шифра. Программа позволяет задавать параметры для управления размером блока, количеством раундов и использования режима шифрования.

Анализ статистических характеристик получаемых шифртекстов проводится путем использования набора статистическим тестов [12].

Заключение. Цель проводимых исследований заключается в анализе возможностей практического применения алгоритма шифрования, разработанного на базе непозиционных полиномиальных систем счисления и исследовании эффективности использования классических структур и режимов блочных шифров. В связи с этим разработано несколько моделей алгоритма шифрования и их компьютерной реализации.

Было проведено исследование по применению шаблонов проектирования при создании компьютерных моделей. Разработаны рекомендации по использованию конкретных шаблонов проектирования и проведены эксперименты по проверке эффективности применения объектно-ориентированного подхода при моделировании нетрадиционного алгоритма шифрования.

Использование платформы Java при компьютерной реализации дает возможность использовать программную реализацию нетрадиционного алгоритма шифрования в широком спектре вычислительных устройств и операционных систем. Реализация библиотеки криптоалгоритма позволит в дальнейшем внедрять данный алгоритм шифрования в различные клиент-серверные системы, веб-приложения и мобильные устройства.

Список литературы

1. Laxmikant V. K., Sanjeev K. CHARM++. A Portable Concurrent Object Oriented System Based On C++ // OOPSLA 93, P. 91–108.
2. Biyashev R., Kalimoldayev M., Nyssanbayeva S., Magzom M. Development of an encryption algorithm based on nonpositional polynomial notations // WCNSSP2016, June 26–27, 2016. Chiang Mai, Thailand. P. 243–245.
3. Biyashev R., Nyssanbayeva S., Begimbayeva Ye., Magzom M. Building modified modular cryptographic systems // International Journal of Applied Mathematics and Informatics. 2015. Vol. 9. P. 103–109.
4. Schinianakis D., Stouraitis T. Residue Number Systems in Cryptography: Design, Challenges, Robustness // Secure System Design and Trustable Computing / Springer. 2016.
5. Introduction to Algorithms (sec. ed.) / T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, C. Stein. MIT Press and McGraw-Hill, 2001. P. 873–876.
6. Бияшев Р. Разработка и исследование методов сквозного повышения достоверности в системах обмена данными распределенных АСУ: дис. докт. тех. наук. Москва, 1985.
7. Бияшев Р., Нысанбаева С. Алгоритм формирования электронной цифровой подписи с возможностью обнаружения и исправления ошибки // Кибернетика и системный анализ. 2012. № 4. С. 14–23.
8. Капалова Н., Нысанбаева С., Хакимов Р. Неприводимые полиномы над полем GF(2n) // Известия научно-технического общества „КАХАК“. 2013. № 1. С. 17–28.
9. Нысанбаева С., Магзом М. Модель нетрадиционного алгоритма шифрования на основе вложенных сетей Фейстеля // Вестник КазНТУ. 2016. № 4.
10. Recommendation for Block Cipher Modes of Operation // NIST Special Publication 800-38A. 2001. P. 10.
11. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования // Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Дж. Н.СПб: Питер, 2001.
12. A statistical test suite for random and pseudorandom number generators for cryptographic applications // NIST Special Publication 800-22. 2001. P. 154.



Нысанбаева Сауле Еркебулановна — д-р техн. наук, ассоциированный профессор, гл. науч. сотр. Института информационных и вычислительных технологий КН МОН РК; тел.: +77017743730.

Сауле Нысанбаева окончила механико-математический факультет Казахского государственного университета им. С. М. Кирова (КазГУ, г. Алма-Ата) в 1971 г. В 1986 г. за-

щитила кандидатскую диссертацию по специальности 01.04.14 „Математическое моделирование тепловых режимов кристаллизации переохлажденных жидкостей“ на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. В 2009 г. защитила диссертацию „Разработка и исследование криптографических систем на базе непозиционных полиномиальных систем“ на соискание ученой степени доктора технических наук. С октября 1971 г. года работала в КазГУ на кафедре прикладной матема-

тики и в проблемной лаборатории математического моделирования. С февраля 1994 г. по август 2001 г. работала в Институте проблем информатики и управления (ныне Институт информационных и вычислительных технологий) Министерства образования и науки Республики Казахстан ученым секретарем. С декабря 2003 г. — сотрудник лаборатории информационной безопасности ИПИУ. Тематика научных исследований — разработка и исследование алгоритмов и средств криптографической защиты информации с использованием модульной арифметики, хранимой и распространяемой в инфо-коммуникационных системах.

Saule Nyssanbayeva graduated from the Mechanics and Mathematics Faculty of the Kazakh State University named after S. M. Kirov in 1971. In 1986, she received her candidate degree on speciality 01.04.14 „Mathematical modeling of the thermal modes of crystallization of supercooled liquids“. In 2009 she defended her thesis „Research and development of cryptographic systems based on nonpositional polynomial systems“ and received a degree of Doctor of Technical Sciences. Since October 1971, she worked in the Kazakh State University in the chair of applied mathematics and in the laboratory of mathematical modeling. From February 1994 to August 2001, she worked as a scientific secretary at the Institute of Problems of Informatics and Control (now the Institute of Informational and Computational Technologies) of Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan. Since December 2003 — researcher in the information security laboratory. Subject of research — development and analysis of

algorithms and means of cryptographic protection of information using modular arithmetic.



Магзом Мирас Мухтарулы — мл. науч. сотр. Института информационных и вычислительных технологий КН МОН РК; e-mail: magzomxzn@gmail.com.

Мирас Магзом получил степень магистра технических наук по специальности „Вычислительная техника и программное обеспечение“ в 2014 г. в Алматинском университете энергетики и связи. С 2014 г. проходит обучение по совместной программе PhD в Институте информационных и вычислительных технологий МОН РК и Казахском национальном университете им. Аль-Фараби по специальности „Вычислительная техника и программное обеспечение“. С 2015 г. работает в лаборатории информационной безопасности Института информационных и вычислительных технологий.

Miras Magzom received his M. S. degree in Computer Science in 2014 from Almaty University of Power Engineering and Telecommunications. Since 2014 studies PhD in Computer Science by the joint program in Institute of Informational and Computational Technologies of Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan and Al-Farabi Kazakh National University. Since 2015 works in the Laboratory of Informational Security in Institute of Informational and Computational Technologies.

Дата поступления — 26.08.2016



DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEM FOR ELECTRIC POWER SYSTEMS

M. N. Kalimoldaev, A. A. Abdildaeva, O. Zh. Mamyrbaev,
T. Duzbaev, Sh. Zh. Toybaeva, F. Galieva

Institute of Information and Computational Technologies
050010, Almaty, Republic of Kazakhstan

Nowadays, with the development of high-performance computer equipment, information systems are an effective means of addressing systemic problems. The basic foundation of any information system is a data model that describes the basic elements of the system, and domain. Software and hardware information system — a set of information technology, which includes software and hardware complexes of electric power information system, designed to automate the processes of collection, information processing, information storage, access to it, its presentation and dissemination. This article discusses the objects of complex information system for electric power systems. Currently, the major application areas include system relaying data communication systems and automation, automated dispatching and technological management of electric power facilities, as well as computer-aided calculation of energy resources. Automatic control of excitation (ARV) synchronous machines is one of the most effective ways to ensure the stability of power systems. However, the variety of possible options and modes even in a single grid pose significant obstacles to the development of the best means of ensuring sustainability. Thus, the use of ARVs to ensure stability in some cases may not be sufficient. Therefore, there is a need for the development of information systems. At the present stage of development of the system of methods of development of information system there is a strong tendency to create unified data models: information systems built on this principle, have a greater ability to integrate with other systems, they may be organized in a distributed network. One of the main methodological tools for building domain models data is object-oriented analysis and his interpretation of the language — the unified modeling language UML. The article presents the class diagram, activity, sequences created in the UML, which illustrate various aspects of the system. Provides global experience in developing information systems and comprehensive information system for the EPS scheme. Mathematical models of electric power systems. Math object is the essence of expressing some math category and component object computing. The objects are the elements of the power system, vectors and matrices. Every mathematical object has a set of mathematical signs, but by themselves they do not constitute a computational problem, and is a tool to solve it. When implementing methods of classes attached to each data structure, and their use is transferred to a virtual abstraction layer. In this case, using calls to virtual methods, sophisticated organized computing processes are realized on the highest levels of the class hierarchy of the signs to base class objects are called methods of those classes, to the objects which he actually indicate. Under the computational algorithms of objects refers to methods of computational mathematics and supporting information, which determines the conditions of their use of algorithmic. Each algorithm is designed to solve one problem, but it can be used as a sub-task to solve other problems. On the basis of a mathematical model of a numerical example that demonstrates sufficient efficacy of the proposed mathematical model. We give software screenshots. The program for the numerical integration of the differential equation using the Euler method. In the program, you can select one of two modes: with and without control.

Key words: information system, mathematical model, power system, UML.

References

1. Petrov V. N. *Informacionnye sistemy*. Spb.: Piter, 2003.
2. Mark D. A., MakGouen K. *Metodologiya strukturnogo analisa I proektirovaniya SADT*. M.: Metatehnolodiya, 1993.
3. Shildt G. *C#: uchebnyi kurs*. Spb.: Piter; K.: Izdatelskaya gruppa VNU, 2003.
4. Petzold H. *Programirovanje dlya Microsoft Windows s C#*. M.: Izdatelskyi torgovyi dom „Russkaya redakciya“. 2002.
5. Richter D. *CLR via C#*. Programmirovaniye na platforme Microsoft.NET Framework 2.0 na yazyke C#. Master klass / perevod s angliyskogo. Spb.: Piter. 2007.
6. Hansen G. *Basy Dannyh: razrabotka i upravleniye*. M.: Binom. 1999.
7. Connolly T. *Basy dannyh. proektirovaniye, realizasiya i soprovozhdenie. Teoriya i praktika*. M.: Vil'yams. 2000.
8. Mamikonov A. G., Kul'ba V. V. *Sintez optimal'nyh modul'nyh sistem obrabotki dannyh*. M.: Nauka, 1986.
9. Kobets B. B., Volkova I. O. *Innovatsionnoye razvitiye electroenergetiki na base konsepzii Smart Grid*. M.: IAC Energiya, 2010.
10. Rumbaugh D., Blaha M. *UML 2.0 object-oriented modeling and development*. 2nd edition. St. Petersburg: Peter. 2007.
11. Dyachenko R. A., Kabankov, Yuferova O. S., Terekhov V. V. Development of an automaton model of contactor // Scientific Readings named after Professor NE Zhukovsky. Materials of I All-Russian scientific-practical conference on Mechanics / Krasnodar Higher Military School of Pilots. Krasnodar KVVAUL. 2011. P. 32–37.
12. Popov D. B. *Rasrabotka i realisaziya informacionno-vychislitel'noy sistemy dlya issledovaniya dinamicheskoi ustochivosty electroenergeticheskikh system* // *Vychislitel'nye tehnologii*. V. 13. 2008. P. 59–68.
13. Vayman M. Ya. *Issledovaniye sistem, ustochivyyh „v bol'schom“*. M.: Nauka, 1981.
14. Bernas S., Zek Z. *Matematicheskie modeli elementov electroenergeticheskikh sistem*. M.: Energoisdat, 1982.
15. Korotkov V. A. *Optimal'naya stabilizasiya energosistem na osnove metoda funktsii Lyapunova* // *Trudy SibNIIE*. 1975. V. 26. P. 65–72.
16. Popov D. B. *Rasrabotka programmnoego obespecheniya v nauchnyh podrazdeleniyah* // *Kompyternogoe modelirovaniye: Trudy mater. nauchno-teh. conf.*, SPb.: Isdatel'stvo Politehn. Universiteta. 2007. P. 250–258.
17. Maklakov S. V. *BPWin и ERWin. CASE-sredstvo rasrabotky informacionnyh*. M.: DIALOG-MIFI, 2000.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

М. Н. Калимолдаев, А. А. Абдилдаева, О. Ж. Мамырбаев,
Т. Дузбаев, Ш. Ж. Тойбаева, Ф. Галиева

Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК,
050010, Республика Казахстан, г. Алма-Ата

УДК 004.94

В данной статье рассматриваются объекты информационной системы для электроэнергетических систем (ЭЭС). Приводятся мировой опыт разработки информационных систем и подробная схема информационной системы для ЭЭС. Рассматриваются математические модели электроэнергетических систем. На основе математической модели приводится численный пример, который показывает достаточную эффективность предложенного метода. В настоящее время к основным областям применения систем передачи данных можно отнести системы релейной защиты и автоматики, диспетчерского и автоматизированного технологического управления электроэнергетическими объектами, а также системы автоматизированного учета энергоресурсов. Автоматическое регулирование возбуждения (АРВ) синхронных машин является одним из наиболее эффективных способов обеспечения устойчивости работы энергосистем. Однако, многообразие возможных параметров и режимов даже в отдельно взятой энергосистеме создает значительные препятствия на пути разработки оптимальных средств обеспечения устойчивости. Таким образом, применение АРВ для обеспечения устойчивости в ряде случаев может оказаться недостаточным. Поэтому появляется необходимость в разработке информационных систем.

Ключевые слова: информационная система, математическая модель, электроэнергетическая система, UML.

Введение. В настоящее время, с развитием высокопроизводительных средств вычислительной техники, информационные системы являются эффективным средством решения системных проблем. Вопросам применения информационной системы в системном анализе посвящены работы М. К. Чиркова, С. П. Маслова, В. Н. Петрова, Д. Марка, К. МакГоуэна [1–3]. Вопросы разработки информационных систем различного назначения методами системного анализа с применением современных объектно-ориентированных языков программирования и технологий баз данных широко освещены в трудах Г. Шильдта, Ч. Петцольда, Дж. Рихтера, В. В. Кульбы, Г. Хансена, Т. Конолли, Д. Майо, М. Лутцем, В. В. Воронова, А. Г. Мамиконова, Т. Хальпина, Т. Моргана [4–9] и других. В меньшей степени это коснулось проблем создания специальных информационных систем для электроэнергетических комплексов.

Работа выполнена в рамках проекта № 3314/ГФ4 грантового финансирования Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (2015–2017 гг.).

Отдельные аспекты, посвященные созданию и развертыванию информационных систем электроэнергетических комплексов для технологий Smart Grid, рассмотрены в работах Б. Б. Кобеца, И. О. Волковой, Б. Ф. Вайнзихера [10] и др.

Базовой основой любой информационной системы является модель данных, описывающая основные элементы системы и предметной области.

Программно-технические средства информационной системы — совокупность информационных технологий, которая включает программные и технические средства информационной системы электроэнергетических комплексов, предназначенных для автоматизации процессов сбора, обработки информации, хранения информации, обеспечения доступа к ней, ее предоставления и распространения.

В настоящее время к основным областям применения систем передачи данных можно отнести системы релейной защиты и автоматики (РЗА), диспетчерского и автоматизированного технологического управления электроэнергетическими объектами (АСТУ), а также системы автоматизированного учета энергоресурсов.

На современном этапе развития системных методов разработки информационной системы существует устойчивая тенденция создания унифицированных моделей данных: информационные системы, построенные по такому принципу, обладают большими возможностями интеграции с другими подобными системами, могут организовываться в распределенные сети. Одним из основных методических средств построения моделей данных предметных областей является объектно-ориентированный анализ и его языковая интерпретация — унифицированный язык моделирования UML. Методика построения UML-моделей достаточно подробно рассмотрена в работах Г. Буча, Д. Рамбо, А. Джекобсана, М. Блаха, М. Фаулера, К. Скотта, К. Лармана, Д. Шмуллера, А. В. Леоненкова [11] и др. Комплексы UML-моделей данных предметной области объединяются в единые информационные модели, содержащие исчерпывающую информацию о статических и динамических свойствах системы. В области электроэнергетики существует базовая информационная модель, которая описывает модели данных для информационных систем электроэнергетических объектов.

1. Мировой опыт. Сегодня в области мировой электроэнергетики происходит настоящая революция. В США, Китае, Японии, Европе полным ходом идет процесс внедрения „интеллектуальных сетей“ — Smart Grid.

Минэнерго США определяет интеллектуальную сеть как полностью автоматизированную систему, обеспечивающую двусторонний поток электроэнергии и информации между энергообъектами повсеместно.

Евросоюз дает следующее определение. Smart Grid — это электрические сети, удовлетворяющие требованиям энергоэффективного и экономичного функционирования энергосистемы за счет скоординированного управления и при помощи двусторонних коммуникаций между элементами электросети, электростанциями, аккумулирующими источниками и потребителями.

Основными принципами, на которых базируется технология „Smart Grid“, являются наблюдаемость, автоматизация, контролируемость, интеграция.

По общему правилу концепция Smart Grid включает в себя следующие элементы:

- 1) обеспечение автоматизированного учета энергоресурсов;
- 2) интеллектуальная защита;
- 3) включение в сеть распределенной генерации энергии альтернативных источников;
- 4) использование электромобилей.

На сегодняшний день наиболее активно технология Smart Grid развивается и распространяется в Дании. Это связано с тем, что в этой стране значительное количество энергии поступает из альтернативных источников (20 % от общего объема энергии составляет ветряная).

В некоторых штатах США проводились исследования по вводу „интеллектуальных“ сетей. В результате снизились пиковые нагрузки на электросеть. В среднем на 10 % уменьшились счета за электричество, при этом его стоимость увеличилась на 15 %.

Однако, в сравнении с другими державами, США находится на втором месте по капиталовложениям в Smart Grid. На первом месте — Китай, на третьем — Япония.

В России и Казахстане наблюдается повышенный интерес к рассматриваемой технологии. Для обозначения данной технологии используется термин „активно-адаптивная сеть“, которую определяют как технологию самодиагностики, анализа и отчета, созданную для повышения надежности работы оборудования, возможности контролировать его на расстоянии.

По мнению экспертов, на первом этапе в России и Казахстане возможна реализация только принципов наблюдаемости, автоматизации. Это означает, что, в первую очередь, будут внедрены информационные технологии.

За внедрение активно-адаптивной сети в Казахстане отвечает Казахстанская компания по управлению электрическими сетями АО „KEGOC“.

АО „KEGOC“ как Системный оператор обеспечивает надежность функционирования ЕЭС Казахстана и оказывает системные услуги по передаче электроэнергии, ее диспетчеризации, услуги по организации балансирования производства/потребления электроэнергии. При этом тарифы на услуги АО „KEGOC“ как субъекта естественной монополии регулируются АРЕМ РК.

Однако, проводимые мероприятия больше направлены на техническое перевооружение объектов электроэнергетики, модернизацию основных фондов. Но нужно понимать, что Smart Grid — это концепция инновационного преобразования электроэнергетики в целом, а не отдельных ее функциональных или технологических сегментов.

Необходимо отметить, что единой идеологии и понимания ожидаемых эффектов от внедрения Smart Grid в Казахстане пока что нет.

2. Постановка задачи. Рассмотрим общую математическую модель для электроэнергетических систем. Пусть управляемая динамическая система состоит из взаимосвязанных l -подсистем и уравнения возмущенного движения имеют вид:

$$\frac{d\delta_i}{dt} = S_i, \quad \frac{dS_i}{dt} = w_i - K_i S_i - f_i(\delta_i), \quad w_i = \mathbf{C}_i^* \mathbf{x}_i, \quad i = \overline{1, l}, \quad (1)$$

$$\frac{d\mathbf{x}_i}{dt} = A_i \mathbf{x}_i + \mathbf{q}_i S_i + \mathbf{b}_i u_i + R_i(S_i, \mathbf{x}_i), \quad i = \overline{1, l} \quad (2)$$

где δ_i — угловые координаты; S_i — угловые скорости; $x_i - n_i$ — вектор состояния регулятора; w_i — управление воздействия на объекты управления; $K_i > 0$ — коэффициенты демпфирования объекта управления; $\mathbf{C}_i, \mathbf{q}_i, \mathbf{b}_i$ — постоянные n_i -мерные векторы для каждого i ; A_i — постоянная матрица порядка $n_i \times n_i$; A_i — управляющее воздействие регулятора, сформированное по принципу обратной связи; функции

$$\psi_i(\delta_i) = \sum_{k=1, k \neq i}^l p_{ik}(\delta_{i,k}), \quad \delta_{ik} = \delta_i - \delta_k, \quad i = \overline{1, l} \quad (3)$$

характеризуют влияния на i -ую подсистему, остальных $l - 1$ подсистем; $f_i(\delta_i)$ — непрерывно дифференцируемые периодические функции, удовлетворяющие условиям:

$$f_i(\delta_i) = f_i(\delta_i + 2\pi), \quad \forall \delta_i \in E^1, \quad \gamma_{0i} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f_i(\delta_i) d\delta_i \leq 0,$$

$$f_i(0) = 0, \quad \frac{df_i(\delta_i)}{d\delta_i} \Big|_{\delta_i=0} > 0, \quad f_i(\delta_{0i}) = 0, \quad \frac{df_i(\delta_i)}{d\delta_i} \Big|_{\delta_i=\delta_{0i}} < 0, \quad 0 < \delta_{0i} < 2\pi, \quad i = \overline{1, l}$$

Для каждого фиксированного i дифференциальные уравнения второго порядка (1) описывают процессы в i -м объекте управления (всего объектов управления), а векторное дифференциальное уравнение (2) определяет уравнение движения регулятора i -го объекта управления.

В частности, для электроэнергетических систем управления уравнения (1) описывают вращательное движение ротора i -го синхронного генератора, величина δ_i — разность углов вращения ротора при номинальной частоте и электродвижущей силе, вырабатываемой i -генератором в относительных единицах, функция $f_i(\delta_i)$ определяет мощность i -го генератора в относительных единицах, $\psi_i(\delta_i)$ — выражают взаимные влияния генераторов друг на друга через общую электрическую линию.

Уравнения (2) описывают динамику парового котла, паровой турбины автоматического регулятора частоты вращения и системы возбуждения i -го генератора, w_i — воздействия, вырабатываемого регулятором для стабилизации вращательного движения ротора i -генератора, u_i — управления, вырабатываемые компьютером с целью обеспечения синхронной работы всех генераторов, работающих на общую электрическую сеть.

Рассмотрим некоторые механические и электромеханические системы управления.

На рис. 1 приведена структурная схема энергосистемы, где Сервер — вычислительная машина для экономичного распределения нагрузок, K — котел, PK — регулятор котла, АРЧВ — автоматический регулятор частоты вращения, T — турбина, Γ — генератор, СВ — система возбуждения, l — число генераторов.

С генератором связаны три независимые системы управления. Первая из них — это система возбуждения, которая регулирует напряжение на шинах генератора. Вторая система — это система регулирования, которая контролирует частоту вращения турбины и определяет механическую мощность. Третья — центральная система управления, с помощью которой устанавливается соответствие между генерацией и нагрузкой и обеспечивается синхронная работа генераторов после аварийной ситуации с помощью управляющих воздействий.

Генераторы $\Gamma = 1, \dots, \Gamma - l$ — связаны через общую электрическую сеть и нагрузки. Уравнения возмущенного движения i -генератора в классической модели энергосистемы [13] имеют вид:

$$\frac{d\delta_i}{dt} = w_{HOM} S_i,$$

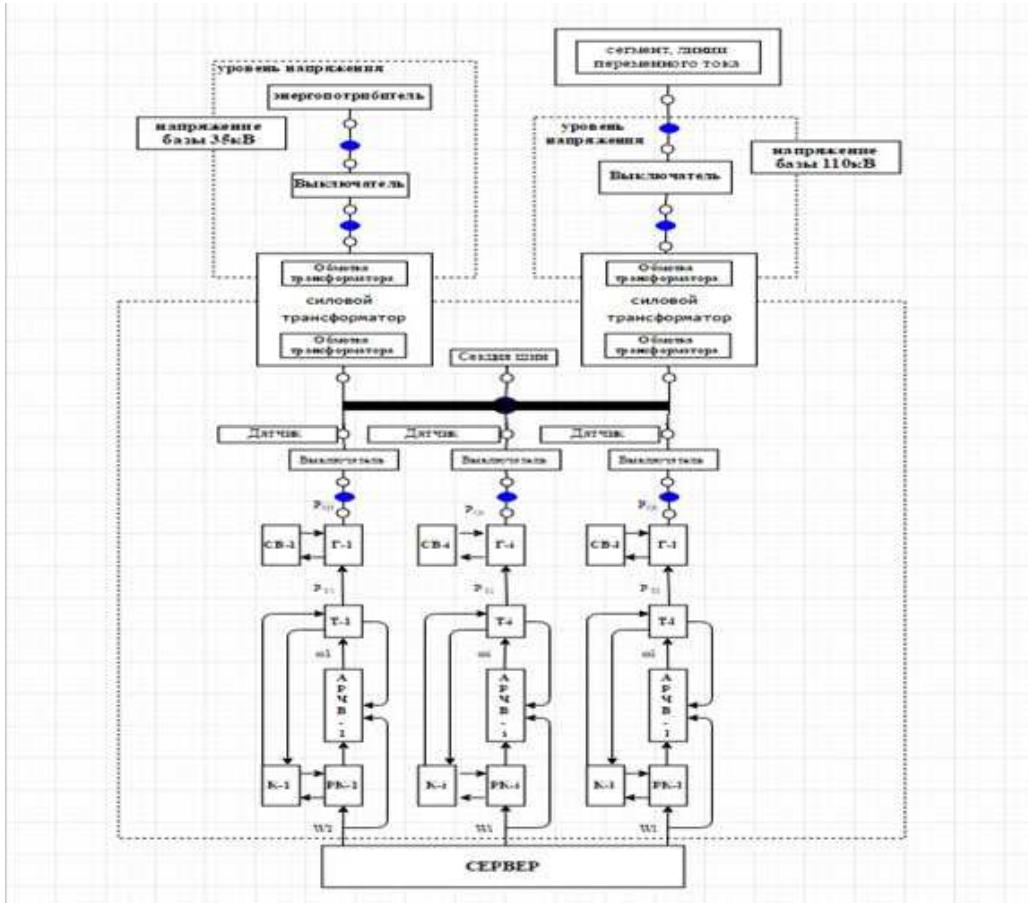


Рис. 1. Структурная схема энергосистемы

$$H_i \frac{dS_i}{dt} = -D_i S_i - f_i(\delta_i) - \sum_{j=1, j \neq i}^l f_{i,j}(\delta_i - \delta_j) + P_{T_i}, \quad i = \overline{1, l},$$

где $f_i(\delta_i) = P_i \sin(\delta_i^0 + \delta_i)$ — $P_i \sin \delta_i^0$, P_i, δ_i^0 — постоянные,

$f_{ij}(\delta_i - \delta_j) = P_{ij} \sin(\delta_{ij}^0 + \delta_i - \delta_j) - P_{ij} \sin \delta_{ij}^0$, $\delta_{ij}^0 = \delta_i^0 - \delta_j^0$, P_{ij}, δ_i^0 — постоянные. Здесь δ_i — отклонение угла между э. д. с. генератора и напряжением на шинах i -го генератора от его значения в установившемся послеаварийном режиме, δ_i^0 , $S_i = (w_i - w_{HOM}) / w_{HOM}$, — отклонение угловой скорости (скольжение) i -го генератора, D_i — коэффициент демпфирования i -го генератора, P_{T_i} — отклонение мощности турбин от их значений P_{T_i} в установившемся послеаварийном режиме, H_i — момент инерции ротора i -го генератора, P_i, P_{ij} — электрическая мощность i -го генератора и внешний взаимный переток мощности между i -м и j -м генератором.

Связь между управляющим воздействием $w = w_i(t)$ и отклонением мощности i и турбины P_{T_i} в простейшем случае [14, 15] определяется дифференциальным уравнением

$$T_{ni} \frac{dP_{T_i}}{dt}, \quad T_{S_i} \frac{d\mu_i}{dt} = -\mu_i - \frac{1}{\sigma_i} S_i + K_i w_i,$$

где $\mu_i = \mu_i(t)$ — относительное перемещение заслонки, перекрывающей доступ пара, T_{ni} — постоянная времени, представляющая собой инерцию пара в трубах пароперегревателя,

σ_i — коэффициент статизма i -го регулятора скорости (АРЧВ), K_i — коэффициент усиления i -канала центральной системы управления, управляющее воздействие зависит от фазового состояния всех генераторов (рис. 1.).

Математический объект представляет собой сущность, выражающую некоторую математическую категорию и составляющую объект вычислений. В качестве объектов рассматриваются элементы энергосистемы, векторы и матрицы. Каждый математический объект обладает набором математических признаков, однако сами по себе они не составляют вычислительной задачи и являются инструментальным средством для ее решения [16–17].

При реализации классов методы привязываются к каждой структуре данных, а их виртуальное использование переносится на абстрактный уровень. В этом случае, используя вызовы виртуальных методов, сложные организованные вычислительные процессы реализуются на самых верхних уровнях классовой иерархии, по указателям на объекты базового класса вызываются методы тех классов, на объекты которых они на самом деле указывают.

Под вычислительными алгоритмами объектов понимаются методы вычислительной математики и вспомогательная информация, определяющая условия их алгоритмического использования. Каждый алгоритм предназначен для решения одной проблемы, однако может использоваться как подзадача для решения других задач.

3. Моделирование предметной области. Если раньше пользователи отправляли запрос на изменение приложения обработки данных и были вполне довольны, когда получали новую программу через два года, то сегодня изменение программной среды должно выполняться в течение двух недель! Становится привычной разработка в шесть недель; есть даже концепция экстремального программирования (XP, extreme programming), поскольку любая система должна изменяться очень быстро.

Именно поэтому увеличивается потребность в использовании UML (Unified Modeling Language — унифицированный язык моделирования) — промышленного стандарта для нотации моделирования, применяемой при разработке объектно-ориентированных систем, и основной платформы для ускоренной разработки приложений (RAD, rapid application development).

Существует четыре фазы проекта: начальная фаза (inception), уточнение (elaboration), конструирование (construction) и ввод в действие (transition). На начальной фазе происходят сбор информации и разработка базовых концепций. В конце этой фазы принимается решение продолжать (или не продолжать) проект. В фазе уточнения детализируются варианты использования и принимаются архитектурные решения. Уточнение включает в себя некоторый анализ, проектирование, кодирование и планирование тестов. В фазе конструирования разрабатывается основная часть кода. Ввод в действие — это завершающая компоновка системы и установка ее у пользователей.

UML позволяет создавать несколько типов визуальных диаграмм. Rational Rose поддерживает разработку большинства этих моделей, а именно [18]:

- а) диаграммы Классов (Class) и другие диаграммы;
- б) диаграммы Деятельности (Activity);
- в) диаграммы Последовательности (Sequence).

Диаграммы иллюстрируют различные аспекты системы. У каждой диаграммы есть своя цель и своя аудитория. Например, диаграмма Деятельности показывает, как должны взаимодействовать объекты, чтобы реализовать некоторую функциональность системы.

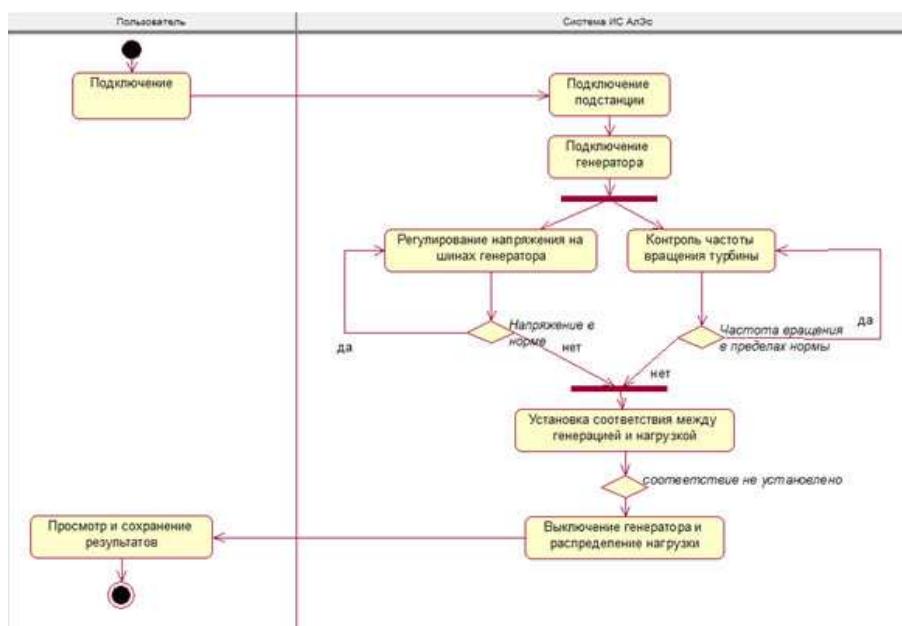


Рис. 2. Диаграмма распределения состояний деятельности между ролями

Далее рассмотрим представления функций организации в целом, то есть описания контекста системы и формирования основы для разработки диаграмм.

Следует внимательно подойти к вопросам анализа и сосредоточиться на том, что представляет собой проблема, а не на том, как она будет решаться. Состояние (state) — это некое положение в жизни объекта, при котором он удовлетворяет определенному условию, выполняет некоторое действие или ожидает события. Состояние объекта можно описать с помощью значений одного или нескольких атрибутов класса. Состояние объекта определяется при изучении атрибутов и связей, указанных для него. На рис. 2 представлена диаграмма распределения состояний деятельности между ролями.

На рис. 3 представлена диаграмма последовательности прецедента.

4. Моделирование классов. Объект (object) — это некая сущность реального мира или концептуальная сущность. Объект может быть чем-то конкретным, например грузовик Джо или мой компьютер, или концептуальным, как, например, химический процесс, банковская операция, торговый заказ, кредитная история или ставка прибыли.

Объектом называется концепция, абстракция или вещь с четко определенными границами и значением для системы. Каждый объект в системе имеет три характеристики: состояние, поведение и индивидуальность.

Состоянием (state) объекта называется одно из условий, в которых он может находиться. Состояние системы обычно меняется во времени и определяется набором свойств, называемых атрибутами (attribute), значений свойств и отношений между объектами.

Поведение (behavior) определяет, как объект реагирует на запросы других объектов и что может делать сам объект. Поведение реализуется с помощью набора операций (operation) для объекта.

Индивидуальность (identity) означает, что каждый объект уникален, даже если его состояние идентично состоянию другого объекта.

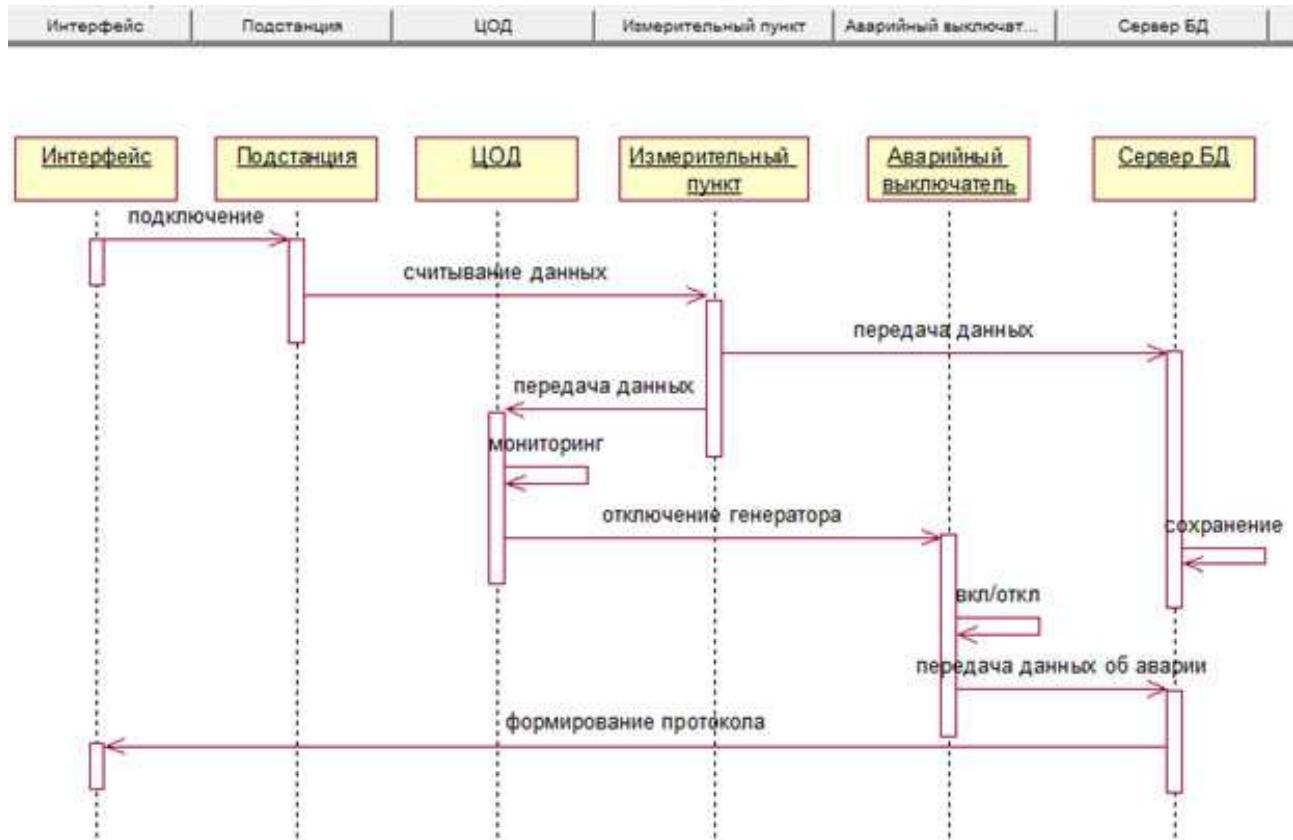


Рис. 3. Диаграмма последовательности прецедента

Класс (class) — это описание группы объектов с общими свойствами (атрибутами), поведением (операциями), отношениями с другими объектами и семантикой. Таким образом, класс представляет собой шаблон для создания объекта. На рис. 4 представлена диаграмма классов.

На рис. 5. представлена диаграмма развертывания системы.

5. Численный пример. Оптимальное управление движением двух- и многомашинной электроэнергетической системы. Одной из математических моделей, которая описывает переходные процессы в двух- и многомашинной электрической системе, является следующая система дифференциальных уравнений:

$$\frac{d\delta_1}{dt} = S_1,$$

$$H_1 \frac{dS_1}{dt} = -E_1^2 Y_{11} \sin a_{11} - p_1 \sin(\delta_1 - a_1) - P_{12} \sin(\delta_{12} - a_{12}) + u_1,$$

$$\frac{d\delta_2}{dt} = S_2,$$

$$H_2 \frac{dS_2}{dt} = -E_2^2 Y_{22} \sin a_{22} - p_2 \sin(\delta_2 - a_2) - P_{21} \sin(\delta_{21} - a_{12}) + u_2,$$

$$\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2, \delta_{21} = \delta_2 - \delta_1,$$

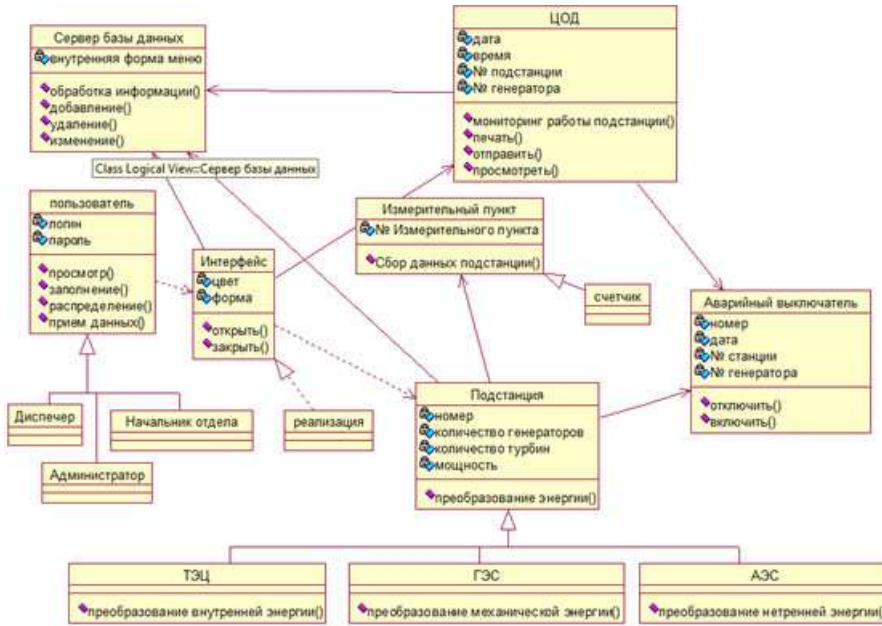


Рис. 4. Диаграмма классов

$$P_1 = E_1 U Y_{1,n}, P_{12} = E_1 E_2 Y_{12},$$

δ_i — угол поворота ротора i -го генератора относительно некоторой синхронной оси вращения; S_i — скольжение i -го генератора; H_i — постоянная инерции i -й машины; $u_i = P_{Ti}$ — механические мощности, которые подводятся к генератору; E_i — ЭДС i -й синхронной машины; Y_{ij} — взаимная проводимость i -й и j -й ветвей системы; $U = \text{const}$ — напряжение на шинах постоянного напряжения; $Y_{i,n+1}$ — характеризует связь (проводимость) i -го генератора с шинами постоянного напряжения; $D_i = \text{const} \geq 0$ — механическое демпфирование; a_{ii}, a_i, a_{ij} — постоянные величины, учитывающие влияние активных сопротивлений в статорных цепях генераторов. $a_{ji} = a_{ij}$.

Пусть переменные состояния и управление в установившемся послеаварийном режиме имеют следующие значения:

$$S_i = 0, \quad \delta_i = \delta_i^f, \quad u_i = u_i^f, \quad i = 1, 2.$$

Уравнение возмущенного движения:

$$\frac{d\delta_1}{dt} = S_1, \quad \frac{dS_1}{dt} = \frac{1}{H_1} [-f_1(\delta_1) - N_1(\delta) + M_1(\delta) + u_1],$$

$$\frac{d\delta_2}{dt} = S_2, \quad \frac{dS_2}{dt} = \frac{1}{H_2} [-f_2(\delta_2) - N_2(\delta) + M_2(\delta) + u_2],$$

где

$$f_1(\delta_1) = P_1 [\sin(\delta_1 + \delta_1^F - \alpha_1) - \sin(\delta_1^F - \alpha_1)],$$

$$f_2(\delta_2) = P_2 [\sin(\delta_2 + \delta_2^F - \alpha_2) - \sin(\delta_2^F - \alpha_2)],$$

$$N_1(\delta) = \Gamma_1 [\sin(\delta_{12} + \delta_{12}^F)],$$

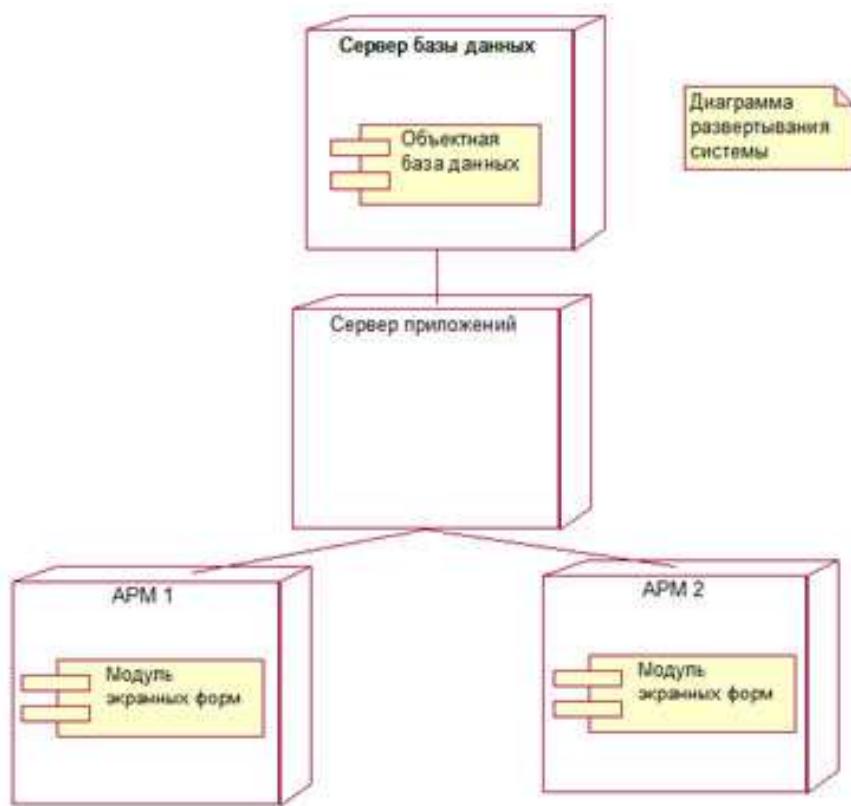


Рис. 5. Диаграмма развертывания

$$M_1(\delta) = \Gamma_2 [\cos(\delta_{12} + \delta_{12}^F)], \\ \delta_{12}^F = \delta_1^F + \delta_2^F \Gamma_1 = P_{12} \cos \alpha_{12}, \quad \Gamma_2 = P_{12} \sin \alpha_{12}.$$

Числовые данные системы

$$\alpha_1 = -0,052; \quad \alpha_2 = -0,104; \quad H_1 = 2135; \quad H_2 = 1256; \quad P_1 = 0,85;$$

$$P_2 = 0,69; \quad P_{12} = 0,9; \quad \delta_1^F = 0,827; \quad \delta_2^F = 0,828, \quad \alpha_{12} = -0,078;$$

и начальные условия:

$$\delta_1(0) = 0,18; \quad \delta_2(0) = 0,1; \quad S_1(0) = 0,001; \quad S_2(0) = 0,002.$$

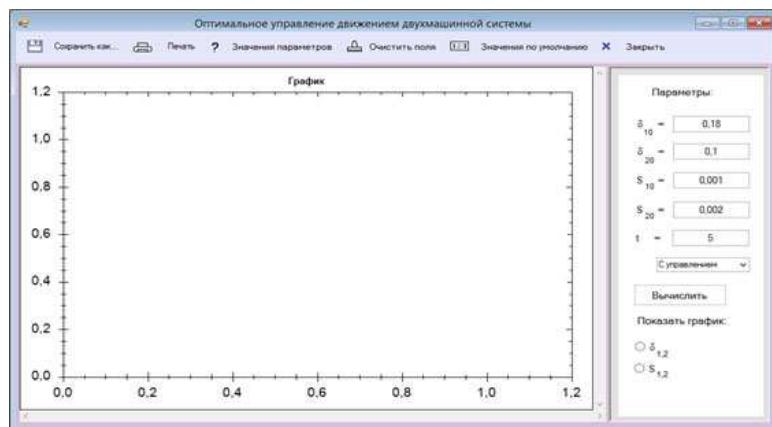


Рис. 6. Скриншот программы „Оптимальное управление движением двухмашинной системы“

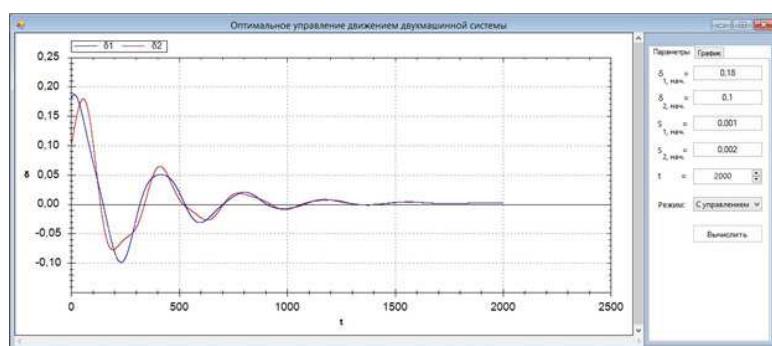


Рис. 7. Графики функции δ_1 , δ_2 с управлением

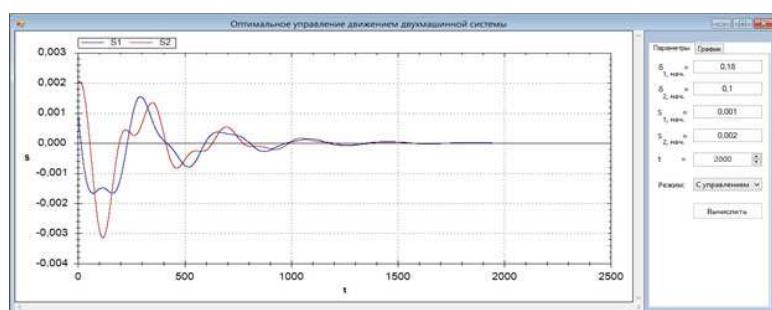


Рис. 8. Графики функции S_1 , S_2 с управлением

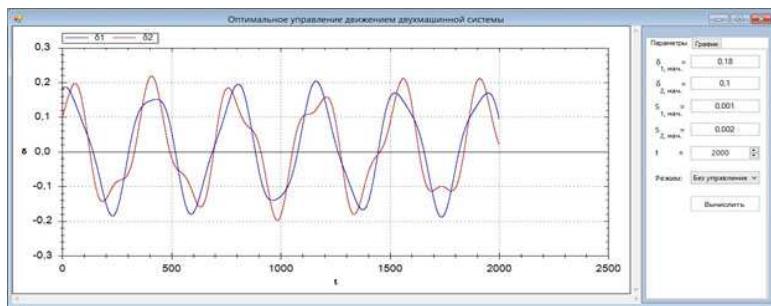
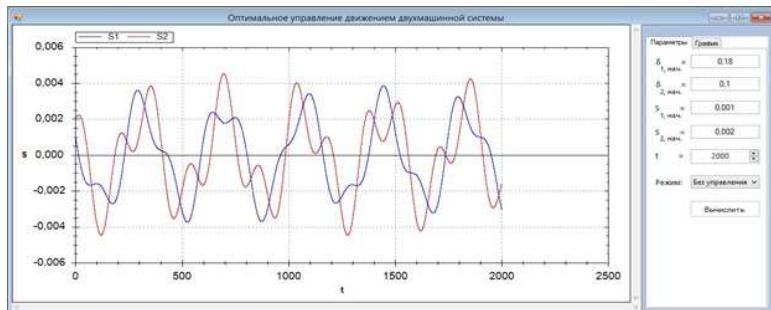
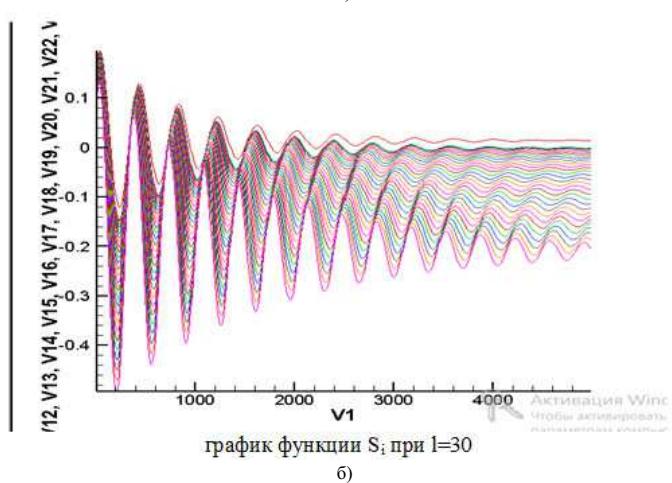
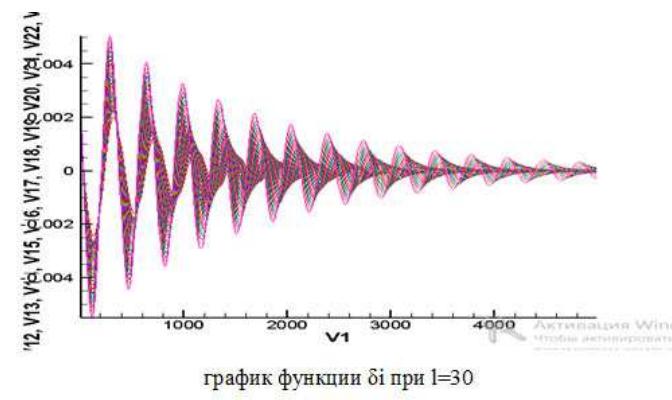
Рис. 9. Графики функции δ_1 , δ_2 без управленияРис. 10. Графики функции S_1 , S_2 без управления

Рис. 11. Отображение результатов работы программы для 30 генераторов

Согласно теореме, оптимальное управление имеет вид:

$$u_1 = -\frac{1}{w_1} S_1 - M_1(\delta),$$

$$u_2 = -\frac{1}{w_2} S_2 - M_1(\delta),$$

где $w_1 = 0,1$, $w_2 = 0,1$.

Аналогично, математическая модель применена для 30 генераторов.

В программе для численного интегрирования дифференциального уравнения используется метод Эйлера. В программе можно выбрать один из двух режимов: с управлением и без управления. После выбора режима по нажатию кнопки „Вычислить“ программа проводит вычисление и отображает результаты в виде графика. Отображаемый график можно выбрать с помощью кнопок, расположенных внизу правой стороны окна программы.

На рис. 7–11 приведены скриншоты программы.

Заключение. В данной статье были рассмотрены объекты информационной системы для электроэнергетических систем. Приводится подробная схема информационной системы. Рассматриваются математические модели электроэнергетических систем. На основе математической модели решается численный пример, который показывает достаточную эффективность предложенного метода.

Список литературы

1. Чинков М. К., Маслов С. П. Вычислительная техника и вопросы кибернетики. Спб.: ЛГУ, 1990.
2. Петров В. Н. Информационные системы. Спб.: Питер, 2003.
3. Марк Д. А., МакГоэн К. Методология структурного анализа и проектирования SADT. М.: Метатехнология, 1993.
4. Шилдт Г. C#: учебный курс. СПб.: Питер: К.: Издательская группа ВНУ, 2003.
5. Пецольд Ч. Программирование для Microsoft Windows на C#. М.: Издательский торговый дом „Русская редакция“. 2002.
6. Рихтер Д. CLR via C#. Программирование на платформе Microsoft.NET Framework 2.0 на языке C#. Мастер класс / Перевод с англ. яз. СПб.: Питер, 2007.
7. Хансен Г. Базы данных: разработка и управление. М.: Бином. 1999.
8. Коннолли Т. Базы данных. Проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика. М.: Вильямс. 2000.
9. Мамиконов А. Г., Кульба В. В. Синтез оптимальных модульных систем обработки данных. М.: Наука 1986.
10. Кобец Б. Б., Волкова И. О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М.: ИАЦ Энергия, 2010.
11. Rumbaugh D., Blaha M. UML 2.0 object-oriented modeling and development. 2nd edition. St. Petersburg: Peter. 2007.
12. Dyachenko R. A., Kabankov Y. A., Yuferova O. S., Terekhov V. V. Development of an automaton model of contactor // Scientific Readings named after Professor NE Zhukovsky. Materials of I All-Russian scientific-practical conference on Mechanics / Krasnodar Higher Military School of Pilots. Krasnodar KVVAUL. 2011. P. 32–37.

13. Попов Д. Б. Разработка и реализация информационно-вычислительной системы для исследования динамической устойчивости электроэнергетических систем // Вычислительные технологии. 2008. Т. 13. С. 59–68.
14. Вайман М. Я. Исследование систем, устойчивых в „большом“. М.: Наука, 1981.
15. Бернас С., Цек З. Математические модели элементов электроэнергетических систем. М.: Энергоиздат, 1982.
16. Коротков В. А. Оптимальная стабилизация энергосистем на основе метода функции Ляпунова // Труды СибНИИЭ. 1975. Вып. 26. С. 65–72.
17. Попов Д. Б. Разработка программного обеспечения в научных подразделениях // Компьютерное моделирование: Тр. Междунар. научно-техн. конф., СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. С. 250–258.
18. Маклаков С. В. BPWin и ERWin. CASE-средства разработки информационных систем. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2000.



Калимольдаев М. Н.

член-корр. НАН РК, д-р физ.-мат. наук, профессор окончил факультет механики и прикладной математики КазГУ имени С. М. Кирова по специальности „Прикладная математика“.

В 1990 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему „Исследование динамики многомерных фазовых систем“. В 2000 г. защитил докторскую диссертацию на тему „Устойчивость и математическое моделирование нелинейных многомерных фазовых систем“. С 1980 по 1982 гг. работал инженером лаборатории экономико-математических методов Института математики и механики АН КазССР. С 1982 г. начинает заниматься в области теории управления. С этого момента и по настоящее время жизнь и деятельность М. Н. Калимольдаева неразрывно связаны с КазГУ. Здесь он прошел путь от старшего лаборанта, аспиранта, ассистента, старшего преподавателя, доцента кафедры теории управления до профессора кафедры информационных систем КазГУ имени аль-Фараби. Он является автором более 120 научных работ, в том числе четырех монографий и пяти учебных пособий для вузов и абитуриентов, 1 свидетельства о государственной регистрации объекта интеллектуальной собственности, 2 свидетельств о государственной регистрации прав на объект авторского права. В настоящее время является генеральным директором Института информационных и вычислительных технологий.

Его текущие исследовательские интересы включают разработку интеллектуальных информационных технологий и систем; систем распознавания образов и принятия решений; прогнозирования и управления сложными объектами, компьютерный перевод; разработку методов оптимальной стабилизации макроэкономических моделей с учетом научно-технологического прогресса; разработку логических исчислений, описывающих поведение информационных систем; разработку и исследование средств обеспечения информационной безопасности, математическое моделирование.

Corresponding member of NAS RK, Dr. Sc. (Phys.-Math.), Professor **Kalimoldayev Maksat Nuradilovich**. In 1975–1980 studied at the faculty of Mechanics and Applied mathematics of the Kazakh State University named after S. M. Kirov on the specialty „Applied mathematics“. In 1990 he successfully defended his thesis entitled „Study of the dynamics of multidimensional phase systems.“ In 2000 he defended his doctoral dissertation on the topic „Sustainability and mathematical modeling of nonlinear multidimensional phase systems“. From 1980 to 1982 worked as an engineer in the laboratory of economic and mathematical methods of the Institute of Mathematics and Mechanics, Academy of Sciences of the Kazakh SSR. From 1982 he began to study in the field of control theory. From that moment to the present MN Kalimoldaev's life and work are inextricably connected with the Kazakh State University. Here he was promoted from a

senior laboratory assistant, a graduate student, an assistant, a senior lecturer, an associate professor of management theory to professor of the Department of Information Systems Kazakh National University named after Al-Farabi. He is the author of over 120 scientific publications, including four books and five textbooks for schools and students, 1 certificate of state registration of intellectual property, 2 certificates of state registration of rights to the object of copyright. He is currently a Director General of the Institute of Information and Computational Technologies.

His current research interests include development of intelligent information technologies and systems; pattern recognition systems and decision-making; forecasting and management of complex objects, computer translation; development of methods for optimal stabilization of macroeconomic models, taking into account scientific and technological progress; development of logical calculi, describing the behavior of information systems; development and research of information security, mathematical modeling.



Мамырбаев О. Ж. окончил физико-математический факультет Алматинского государственного университета имени Абая. В 2014 году успешно защитил диссертацию доктора PhD. В 2000–2015 гг. работал в Казахском национальном педагогическом университете имени Абая.

имени Абая. В настоящее время является заместителем генерального директора Института информационных и вычислительных технологий. Его текущие исследовательские интересы включают разработку интеллектуальных информационных технологий и систем; систем распознавания образов и принятия решений; прогнозирования и управления сложными объектами, машинный перевод.

O. Zh. Mamyrbayev graduated from the Physics and Mathematics Faculty of the Almaty State University named after Abai. In 2014 he successfully defended his Doctor thesis PhD. 2000-2015 He worked at Kazakh National Pedagogical University named after Abai. He is currently a Deputy Director General of the Institute of

Information and Computational Technologies. His current research interests include development of intelligent information technologies and systems; pattern recognition systems and decision-making; forecasting and management of complex objects, computer translation.



Абдилдаева А. А. окончила физико-математический факультет Алматинского государственного университета имени Абая. В 2007–2014 гг. работала в Казахском национальном педагогическом университете имени Абая. В настоящее время работает научным сотрудником в лаборатории „Математической кибернетики и вычислительных технологий“ Института информационных и вычислительных технологий. Ее текущие исследовательские интересы — разработка информационных систем и технологий, теория управления, математическое моделирование.

A. A. Abdildaeva graduated from the Physics and Mathematics Faculty of the Almaty State University named after Abai. From 2007 to 2014 she worked at Kazakh National Pedagogical University named after Abai. Currently is working as a researcher in the laboratory of „Mathematical Cybernetics and computing technologies“ at the Institute of Information and Computational Technologies. Her current research interests include development of information systems and technologies, control theory, mathematical modeling.



Дузбаев Т. окончил механико-математический факультет Казахского национального университета имени аль-Фараби. С 2014 г. работает младшим научным сотрудником в лаборатории „Математической кибернетики и вычислительных технологий“ Института информационных и вычислительных технологий. Его текущие исследовательские интересы — программирование, математическое моделирование, теория управления, разработка информационных систем.

Duzbaev T. graduated from the Mechanics and Mathematics Faculty of Al-Farabi Kazakh

National University. Since 2014 he has been working as a junior researcher in the laboratory of „Mathematical Cybernetics and computing technologies“ Institute of Information and Computational Technologies. His current research interests include programming, mathematical modeling, control theory, development of information systems.



Toibayeva Ш. Д. окончила факультет Информационных технологий Казахского национального технического университета имени К. И. Сатпаева. В 2005–2014 гг. работала в университете Туран. В настоящее время работает научным сотрудником в лаборатории „Информационной безопасности“ Института информационных и вычислительных технологий. Ее текущие исследовательские интересы — исследование и разработка автоматизированных систем, системы менеджмента качества, математическое моделирование.

Toibayeva Sh. D. graduated from the Information Technology Faculty of the Kazakh National Technical University named after K. I. Satpaev. From 2005 to 2014 she worked at Turan University. Currently is working as a researcher in the laboratory of „Information security“ at

the Institute of Information and Computational Technologies. Her current research interests — research and development of automated systems, quality management systems, mathematical modeling.



Галиева Ф. М. окончила механико-математический факультет Казахского национального университета имени аль-Фараби. В настоящее время работает инженером в лаборатории „Математической кибернетики и вычислительных технологий“ Института информационных и вычислительных технологий. Ее текущие исследовательские интересы — программирование, математическое моделирование, теория управления, разработка информационных систем.

Galiyeva F. M. She graduated from the Mechanics and Mathematics Faculty of Al-Farabi Kazakh National University. She is currently working as an engineer in the laboratory of „Mathematical Cybernetics and computing technologies“ Institute of Information and Computational Technologies. Her current research interests include programming, mathematical modeling, control theory, development of information systems.

Дата поступления — 20.08.2016

SPECIFYING ONTOLOGIES FOR WORKFLOWS

G. S. Plesniewicz*, B. S. Karabekov**, Nguen Thi Minh Vu*

*National Research University MPEI
111250, Moscow, Russia

**Institute of Information and Computational Technologies
050010, Almaty, Republic of Kazakhstan

Workflow is a representation of a process whose participants perform (having a common goal) some tasks (works) in accordance with certain procedural rules and constraints. The successful completion of the process depends on the correct synchronization and scheduling of the activities. The notion of workflow appeared in business-informatics in problem of business-processes automation. Nowadays, the workflow technology is used in many other application areas such as medical and bio-informatics, organization of scientific research, CAD and so on. An ontology is a description of the problem domain for a given application in terms of objects, classes, events and relations.

In the present paper, we use formal ontologies as a means for describing workflows at various levels abstraction. In particular, we consider the level of temporal dependences among tasks. So, each workflow ontology \mathcal{O} induces the temporal interval ontology \mathcal{O}^* consisting of temporal dependencies.

For expressing temporal dependences is used, most often, the interval Allen's logic with the relations b (before), m (meets), d (during), o (overlaps), s (starts), f (finishes), e (equals) and the reversed relations. However, for workflow ontologies it is necessary to express also durations of temporal intervals.

We suggest to use the extended Allen's logic (denoted by $\mu\mathbf{LA}+$) for specifying interval ontologies \mathcal{O}^* for workflow ontologies \mathcal{O} . The sentences of the logic $\mu\mathbf{LA}+$ are Boolean combinations of propositional variables and elementary sentences of the form $A(\lambda)B$ where A and B are temporal intervals and λ is a constraint on the ends A^- , A^+ and B^- , B^+ of the intervals A and B . (A^- is the left end and A^+ is the right end of A). For example, suppose that a task with the temporal interval A to be performed before a work with the interval B , not early than 10 minutes, and that duration of A is 5 minutes. Then this information can be written in $\mu\mathbf{LA}+$ as the elementary sentence Ab ($B^- - A^+ \geq 10$; $A^- - A^+ = 5$).

As each logic, $\mu\mathbf{LA}+$ has the logical consequence relation $|=$: for an ontology \mathcal{O}^* and a sentence α , $\mathcal{O}^* |= \alpha$ takes place if and only if there is no model of the ontology \mathcal{O}^* such that the sentence α is false. We have developed the complete deduction system for the relation $|=$. So, if $\mathcal{O}^* |= \alpha$ then there is an inference of α from \mathcal{O}^* in this system, and vice versa, if we found an inference α from \mathcal{O}^* then $\mathcal{O}^* |= \alpha$. The developed deduction system is based on the analytical tableaux method.

The developed deduction system can be used for query answering over interval ontologies for workflows. Here is an example of query: $p \wedge q \rightarrow A o(x \leq A^+ - B^- \leq y)B$. The answer to that query is the maximal value r of x and the minimal value s of y such that $\mathcal{O}^* |= p \wedge q \rightarrow A o(r \leq A^+ - B^- \leq s)B$.

Key words: workflow, ontology, temporal logic, temporal logic-ontology specification, methods of deduction, analytical tables.

References

1. W. H. P. van der Aalst, K. M. van Hee. Workflow Management: Models, Methods and Systems. MIT Press, Cambridge, USA, 2002.

2. G. Alonso, F. Casati, H. Kuno, V. Machiraju. Web Services: Concepts, Architectures and Applications. Springer-Verlag, 2003.
3. M. Dumas, W.M.P. van der Aalst, A.H.M. ter Hofstede (eds.). Process-Aware Information Systems. Wiley & Sons, inc., 2005.
4. Staab S., Studer R.(eds.). Handbook on Ontologies. Springer-Verlag, 2009.
5. Plesniewicz G. S. Formal ontologies // Second International Conference Open Semantics Technologies for designing intelligent Systems. OSTIS-2012 (February 2012, Minsk), Minsk (2012). P. 163–168. (In Russian).
6. Plesniewicz G. S., Karabekov B. S. Ontologies in the Binary Model of Knowledge. Programmnye Producty i Sistemy (Software & Systems). 2014. N (105). P. 76–81.
7. Allen J. A. Maintaining knowledge about temporal intervals. Communications of the ACM. 1983. N 26(11). P. 832–843.
8. D'Agostino M., Gabbay D., Hahnle R., Possegaa J. (eds.). Handbook of Tableaux Methods, Kluwer Academic Publishers, 1999.
9. Bi H. H. and Zhao J.L. Applying propositional logic to workflow verification. Information Technology and Management. 2004 N 3-4(5). P. 293–318.
10. Davulcu H., Kifer M., Ramakrishnan C.R., Ramakrishnan I. V. Logic based modeling and analysis of workflows. Symposium on Principles of Database Systems (Seattle), 1998. P. 25–33.
11. Ma H. A workflow model based on temporal logic. Proceedings of the 8th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, IEEE, 2004. P. 27–332.



СПЕЦИФИКАЦИЯ ОНТОЛОГИЙ ДЛЯ ПОТОКОВ ЗАДАЧ

Г. С. Плесневич*, Б. С. Карабеков**, Нгуен Тхи Минь Ву*

*Национальный исследовательский университет „МЭИ“,
111250, Москва, Россия

**Институт информационных и вычислительных технологий
050010, Алма-Ата, Казахстан

УДК 004.822

Поток работ — это представление процесса, участники которого (агенты — люди или программы), имея общую цель, выполняют некоторую совокупность задач в соответствии с определенными правилами и ограничениями. Успешное завершение процесса зависит от корректной синхронизации и расписания выполнения задач. Понятие потока работ появилось в бизнес-информатике в задачах автоматизации бизнес-процессов. Но в настоящее время техника потоков работ используется во многих других областях, таких как медицинская информатика, биоинформатика (в частности, геномика), автоматизация научных исследований, автоматизированное проектирование производства и т. п.

Ключевые слова: потоки задач, онтологии, темпоральные логики, темпорально-логическая спецификация онтологий, методы дедукции, аналитические таблицы.

Введение. *Поток работ* (workflow) — это представление процесса, участники которого (агенты — люди или программы), имея общую цель, выполняют некоторую совокупность задач в соответствии с определенными правилами и ограничениями [1]. Успешное завершение процесса зависит от корректной синхронизации и расписания выполнения задач.

Понятие потока работ появилось в бизнес-информатике в задачах автоматизации бизнес-процессов. Но в настоящее время техника потоков работ используется во многих других областях, таких как медицинская информатика, биоинформатика (в частности, геномика), автоматизация научных исследований, автоматизированное проектирование производства. Важным применением потоков работ является проектирование веб-сервисов в Интернете [2]. Понятие потока работ является центральным для процесс-ориентированных информационных систем (PAIS- Process-Aware Information Systems), [3].

Онтология — это описание знания (в терминах понятий, объектов, их атрибутов и отношений), необходимого для решения данного класса задач, [4]. В частности, онтологии могут быть использованы для представления знаний о потоках работ. *Формальная онтология* является описанием взаимосвязанных понятий, выполненным в соответствующих формальных языках для спецификации онтологий, [5]. *Формальное понятие* с именем C интерпретируется как тройка (U^C, E^C, \sim^C) , где U^C — универсум понятия (т. е. множество возможных имен для обозначения примеров понятия), $E^C \subseteq U^C$, E^C — множество всех имен, обозначающих *примеры* (instances) понятия, и \sim^C — отношение эквивалентности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 14-07-0387) и Министерства образования и науки Казахстана (проект 0115 RK 00532).

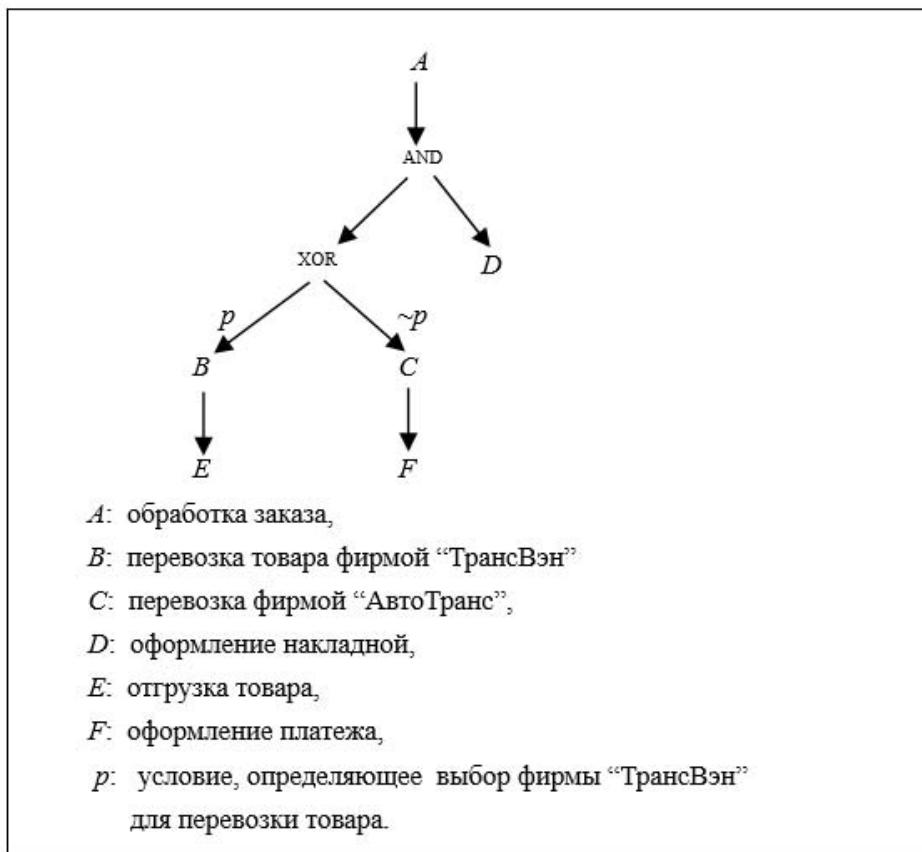


Рис. 1. Пример схемы потока работ

на множестве E^C , называемое *кореференцией*. Пара (E^C, \sim^C) называется *экстенсионалом* понятия C (кореферентные имена обозначают одинаковые объекты моделируемой предметной области.)

Для определения универсумов понятий можно использовать язык ЯСС структурной спецификации, входящий в систему „Бинарная Модель Знаний“, [5, 6]. Типичное предложение языка ЯСС позволяет задавать универсум понятия как множество кортежей, содержащих *суррогаты* s (идентификаторы индивидных объектов) и выражения вида $A : s, A : \{s_1, s_2, \dots, s_k\}$ и $A : v$, где A – имя *атрибута*, s_i ($1 \leq i \leq k$) – суррогаты и v – элемент некоторого типа данных.

В онтологиях для потоков задач главную роль играют *события*, т. е. понятия, примеры которых существуют в некоторых временных (tempоральных) интервалах. Таким образом, в кортежи, представляющие эти примеры, должны входить атрибуты, отмечающие начало и конец темпорального интервала.

Пример 1. Рассмотрим простейший пример потока работ, представляющего бизнес-процесс, целью которого является перевозка товара (схема этого потока работ показана на рис. 1). Эта перевозка должна осуществляться одной из двух фирм – „ТрансВэн“ или „АвтоТранс“. Фирма „ТрансВэн“ используется для перевозки тогда и только тогда, когда выполняется некоторое условие p , выражающее предпочтение для выбора этой фирмы. Бизнес-процесс начинается с оформления заказа (задача A). Затем сразу же оформляется накладная (задача D), и после этого осуществляется перевозка товара (задача B или

C). Наконец, осуществляются отгрузка товара и оформление платежки (задачи *E* и *F*). Оформление платежки осуществляется сразу же, как начинается отгрузка, и заканчивается раньше окончания отгрузки. Выполнение каждой задачи из этой схемы требует некоторого времени, т. е. с задачами ассоциированы темпоральные интервалы, которые мы обозначим теми же буквами, что и соответствующие задачи.

Структуру понятия Фирма можно, например, задать предложением

Фирма[Название:String, Адрес:String, Владелец:Персона, Тариф:Integer],
где понятие Персона имеет структуру, определяемую, например, предложением

Персона[ФИО:String, ГодРожд:String, ИНН:Integer],

Структуру понятия (события) ОбработкаЗаказа можно задать предложением

ОбработкаЗаказа[Beg:Time, End:Time, Исполнитель:Персона].

Кортежи, принадлежащие экстенсионалам понятий, определяют некоторые факты. Например, предположим, что экстенсионалу понятия Фирма принадлежит кортеж [Название:\ТрансВэн\, Адрес:\Москва, 117321, ул. Островитянова, д. 22\,, Владелец:#21]

с суррогатом #7 (т. е. этот кортеж и этот суррогат корреферентны), а экстенсионалу понятия Персона принадлежит кортеж

[ФИО:\В. Н. Вагин\, ГодРожд:1940, ИНН:772805005930]

с суррогатом #21. Тогда имеют место следующие факты:

1. #7. Название = \ТрансВэн\ (фирма с суррогатом #7 называется \ТрансВэн\);
2. #7. Владелец.ФИО = \В. Н. Вагин\ (фамилия владельца фирмы с суррогатом #7 — В. Н. Вагин);
3. $\exists x (x. \text{Название} = \text{\ТрансВэн\} \wedge x. \text{Владелец. ФИО} = \text{\В. Н. Вагин\})$ (владелец фирмы \000 ТрансВэн\ носит фамилию В.Н. Вагин).

Между событиями могут наблюдаться бинарные отношения „раньше“, „в течение“, „пересекаются (по времени)“ и т. п. Например, событие „перевозка товара фирмой „ТрансВэн“ предшествует событию „отгрузка товара“. Формально это можно представить предложением

ПеревозкаТовара(Фирма=Ф1) BEFORE ОтгрузкаТовара.

BEFORE — это отношение между интервалами, которое является одним из базовых отношений в интервальной логике Аллена, [7]. Другими базовыми отношениями логики Аллена являются: MEETS (встречает), OVERLAPS (перекрывает), DURING (в течение), STARTS (начинает), FINISHES (заканчивает) и EQUALS (равняется).

Пусть условие *p* состоит в том, что тариф для перевозки фирмой „ТрансВэн“ меньше тарифа для перевозки фирмой „АвтоТранс“. Тогда утверждение, что событие „перевозка товара фирмой „ТрансВэн“ выполняется после события „оформления заказа“, если выполнено условие *p*, можно формально записать так:

```
IF Фирма(Название=„ТрансВэн\).Тариф <
    Фирма(Название= „АвтоТранс\).Тариф
THEN ОформлениеЗаказа BEFORE ПеревозкаТовара(Фирма=„ТрансВэн\).
```

Предположим также, что: 1) обработка заказа выполняется за 1 единицу времени; 2) оформление накладной выполняется за 2 единицы времени; 3) перевозка товара начинается ровно через 1 единицу времени после оформления накладной; 4) перевозка товара

фирмой „ТрансВэн“ выполняется от 50 до 60 единиц времени; 5) перевозка товара фирмой „АвтоТранс“ выполняется от 45 до 60 единиц времени; 6) отгрузка товара совершается через 1 единицу времени после привозки товара; 7) оформление платежки длится не более 1 единицы времени; 8) если выполнено некоторое условие q , то отгрузка товара и оформление платежки начинаются одновременно, но после оформления платежки отгрузка товара длится еще не менее 35 единиц времени и не более 40 единиц времени; 9) если условие q не выполнено, то оформление платежки задерживается на 1 единицу времени, и далее отгрузка выполняется еще 40 единиц времени; 10) если условие p не выполнено, то условие q должно быть выполнено.

Некоторые из этих утверждений формально можно записать так:

1. ОбработкаЗаказа(Length=1),
2. ПеревозкаТовара BEFORE(Lag=1) ОформлениеНакладной,
3. ПеревозкаТовара(Фирма.Название=„ТрансВэн“; 50=<Length=<60),
4. ОформлениеПлатежки(Length≤1),
5. IF УсловиеQ THEN ОтгрузкаТовара STARTS
(35=< 2.END - 1.END =<40)

ОформлениеПлатежки.

Приведенные выше примеры предложений формального языка показывают, что задача спецификации онтологии для потока работ требует расширения интервальной логики Аллена путем включения булевых (пропозициональных) связок и метрической информации (т. е. указания расстояний между временными точками). В настоящей работе мы построим такое расширение логики Аллена и сформулируем правила вывода для этой расширенной логики, определяющие метод дедукции в стиле аналитических таблиц, [8]. Мы покажем, как этот метод дедукции можно применять для вычисления запросов к содержащим метрическую информацию онтологиям для потоков работ.

Для расширенной логики Аллена мы выберем абстрактный синтаксис, согласованный с математической нотацией, принятой самим Алленом для его логики.

Замечание. Различные логические языки использовались для решения задач моделирования потоков работ. В частности, применялись следующие логики: пропозициональная логика, [9]; логика CTL (Concurrent Transaction Logic — логика конкурентных транзакций), [10]; линейная темпоральная логика, [11]. Однако, эти логики не позволяют представлять метрическую информацию в потоках работ.

Метрическое булево расширение логики Аллена. Интервальная логика Аллена (обозначим ее **LA**) использует интервалы в качестве временных примитивов. В этой логике имеется 7 базовых бинарных отношений между интервалами: „раньше“, „встречает“, „перекрывает“, „в течение“, „начинает“, „заканчивает“ и „равняется“. Они обозначаются соответственно как **b** (before), **m** (meets), **o** (overlaps), **d** (during), **s** (starts), **f** (finishes), **e** (equals). Для произвольного бинарного отношения α через α^* обозначим обратное отношение: $A\alpha^*B \leftrightarrow B\alpha A$. Пусть $\Omega = \{b, b^*, m, m^*, o, o^*, d, d^*, s, s^*, f, f^*, e\}$.

Логика Аллена **LA** имеет следующий простой синтаксис:

1) атомарное предложение логики **LA** – это выражение вида $A\alpha B$, где A и B – имена интервалов и $\alpha \in \Omega$;

Таблица 1
Интерпретация атомарных предложений

$A \ b \ B$	$ ==A== \ ==B== $	$A^+ < B^-$
$A \ m \ B$	$ ==A== \ ==B== $	$A^+ = B^-$
$A \ o \ B$	$ ====A==== $ $ =====B===== $	$A^- < B^-, B^- < A^+, A^+ < B^+$
$A \ d \ B$	$ ====A==== $ $ =====B===== $	$A^- < B^-, A^+ < B$
$A \ s \ B$	$ ====A==== $ $ =====B===== $	$A^- = B^-, A^+ < B^+$
$A \ f \ B$	$ ====A==== $ $ =====B===== $	$A^- < B^{--}, A^+ = B^+$
$A \ e \ B$	$ =====A===== $ $ =====B===== $	$A^- = B^-, A^+ = B^+$

2) произвольное *предложение(формула)* логики **LA** – это выражение вида $A \omega B$, где $\omega \subseteq \Omega$. Ради краткости множество ω записываем как слово (например, вместо $A \{b,d,o,s\} B$ пишем $A \ bdos \ B$).

Семантика логики **LA** определяется через понятие интерпретации.

Интервальная интерпретация — это назначение каждому имени интервала некоторого (невырожденного) интервала на числовой оси, представленной рядом натуральных чисел $0, 1, 2, \dots$, т. е. назначение натуральных чисел A^- и A^+ , таких что $A^- < A^+$. Интервальная интерпретация продолжается на атомарные предложения в соответствие с табл. 1 (например, предложение $A \ o \ B$ истинно тогда и только тогда, когда имеют место неравенства $A^- < B^-, B^- < A^+, A^+ < B^+$ и $A^+ < B^-$). Наконец, продолжаем интерпретацию на произвольные предложения, считая их дизъюнкцией атомарных предложений: $A\omega B \vee A\alpha B \mid \alpha \in \omega\}$, (например, имеем $Ado^*sB \leftrightarrow AdB \vee Ao^*B \vee AsB \leftrightarrow AdB \vee BoA \vee AsB$. Как и во всякой логике, в **LA** имеется отношение „ $=$ “ логического следствия. Пусть O – интервальная онтология и φ – формула **LA**. Тогда $O \models \varphi$ в том и только том случае, если не существует интерпретации, при которой все формулы из O истинны, а формула φ ложна.

Для того чтобы представить количественные зависимости между интервалами, к атомарным предложениям логики **LA** добавляется метрическая информация. Как показано в табл. 1, предложения логики **LA** характеризуются неравенствами и равенствами вида $X < Y$ и $X = Y$. Неравенства $X < Y$ эквивалентны тому, что отрезки $[X, Y]$ имеют положительную длину. Естественное обобщение состоит в задании длин этих отрезков или оценок для этих длин. Например, если известно, что интервал A имеет длину 5, A и B начинаются одновременно, A заканчивается за 2–4 единицы времени до окончания B , то эту информацию можно представить двумя формулами $\{|A|=5, A \ s(B^+-A^+ \geq 2; B^+-A^+ \leq 4) \ B\}$. Таким образом, в онтологиях можно представлять не только качественную, но и количественную информацию.

Расширенный путем добавления метрической информации язык обозначается $\mu\mathbf{LA}$. Он имеет следующий синтаксис:

- 1) *атомарные ограничения* — это равенства или неравенства видов $X=Y$, $X-Y=r$, $X-Y \leq r$, $X-Y < r$, $X-Y \geq r$, $X-Y > r$, где X , Y — концы интервалов, $X \neq Y$, r — натуральное число;
- 2) *составное ограничение* — это конъюнкция атомарных ограничений, причем точка с запятой используется как знак для конъюнкции. Составные ограничения являются предложениями логики $\mu\mathbf{LA}$;
- 3) *связка Аллена с метрическими ограничениями* — это выражение вида $\alpha(\lambda)$, где $\alpha \in \Omega$ и λ — ограничение;
- 4) выражения вида $|A|=r$, $|A| \leq r$, $|A| < r$, $|A| \geq r$, $|A| > r$ являются предложениями логики $\mu\mathbf{LA}$;
- 5) выражение $A \beta_1 \beta \dots \beta_k B$ есть предложение логики $\mu\mathbf{LA}$, где $\beta_i \in \Omega$ или $\beta_i = \alpha_i(\lambda_i)$ — связка Аллена с метрическими ограничениями для концов интервалов A и B .

В атомарные ограничения можно также включить двойные неравенства $r \leq X-Y \leq s$, $r \leq X-Y < s$, $r < X-Y \leq s$ и $r < X-Y < s$, рассматривая их как сокращения для составных ограничений $(X-Y \geq r; X-Y \leq s)$, $(X-Y \geq r; X-Y < s)$, $(X-Y > r; X-Y \leq s)$ и $(X-Y > r; X-Y < s)$.

Выразительность логик \mathbf{LA} и $\mu\mathbf{LA}$ можно увеличить, если к их предложениям добавить пропозициональные связи. Такое расширение логик \mathbf{LA} и $\mu\mathbf{LA}$ обозначим $\mathbf{LA}+$ и $\mu\mathbf{LA}+$ (соответственно). Синтаксис логик $\mathbf{LA}+$ и $\mu\mathbf{LA}+$ определяется следующим образом:

- 1) пропозициональные переменные $p \in P$ являются формулами $\mathbf{LA}+$ и $\mu\mathbf{LA}+$;
- 2) формулы \mathbf{LA} и $\mu\mathbf{LA}$ являются формулами $\mathbf{LA}+$ и $\mu\mathbf{LA}+$ (соответственно);
- 3) выражения вида $\sim\varphi$, $\varphi \wedge \psi$, $\varphi \vee \psi$ и $\varphi \rightarrow \psi$ являются формулами $\mathbf{LA}+$ и $\mu\mathbf{LA}+$, где φ и ψ — формулы \mathbf{LA} и $\mu\mathbf{LA}+$ (соответственно).

Семантика языков $\mathbf{LA}+$ и $\mu\mathbf{LA}+$ определяется естественным образом соединением семантики языков \mathbf{LA} и $\mu\mathbf{LA}$ с семантикой булевых связок.

Под *онтологией* в языке логики $\mu\mathbf{LA}+$ мы понимаем конечное множество формул этой логики. Приведем три примера онтологий в $\mu\mathbf{LA}+$.

Примеры 2.

$$\mathcal{O}_1 = \{A \text{ } m \text{ } B, B \text{ } b(C^- - B^+ \geq 2) \text{ } C, A \text{ } o \text{ } D, D \text{ } o(D^+ - C^- \geq 1) \text{ } C\}.$$

$$\mathcal{O}_2 = \{+ |A|=4, + |B|=8, + |C|=5, + p \rightarrow A \text{ } d(2 \leq B^+ - A^+ \leq 3) \text{ } B, + q \rightarrow C \text{ } f \text{ } B\}.$$

$$\mathcal{O}_2 = \{|A|=1, A \text{ } m \text{ } D, |D|=2, p \rightarrow D \text{ } b(B^- - D^+=1) \text{ } B, \sim p \rightarrow D \text{ } b(C^- - D^+=1) \text{ } C, |F|=1, 50 \leq |B| \leq 60,$$

$$45 \leq |C| \leq 60, q \rightarrow F \text{ } s(35 \leq E^+ - F^+ \leq 40) \text{ } E, B \text{ } b(E^- - B^+=1) \text{ } E, B \text{ } b(E^- - B^+) \text{ } E, \sim p \rightarrow q, q \rightarrow F \text{ } d(F^- - E^- = 1; E^+ - F^+ = 40) \text{ } E\}.$$

Последняя онтология представляет знание о потоке работ, рассмотренном в Примере 1.

Как и во всякой логике, в логике $\mu\mathbf{LA}+$ имеется понятие логического следствия. Пусть \mathcal{O} — произвольная онтология и α — произвольная формула в языке $\mu\mathbf{LA}+$. Мы говорим, что α логически следует из \mathcal{O} , и пишем $\mathcal{O} \models \alpha$, если не существует интерпретации, при которой все формулы из \mathcal{O} истинны, а формула α ложна.

Дедукция в логике $\mu\mathbf{LA}+$.

Дедукция — это формальный метод, с помощью которого из данной онтологии (или онтологии с базой фактов) мы можем получать логические следствия (новые предложения и новые факты).

Таблица 2

Правила вывода для пропозициональных связок

$+ \sim \varphi$	$- \sim \varphi$	$+ \varphi \wedge \psi$	$- \varphi \wedge \psi$
—————	—————	—————	—————
$- \varphi$	$+ \varphi$	$+ \varphi$ $+ \psi$	$- \varphi \mid - \psi$
$+ \varphi \vee \psi$	$- \sim \varphi$	$+ \varphi \rightarrow \psi$	$- \varphi \rightarrow \psi$
—————	—————	—————	—————
$+ \varphi \mid + \psi$	$+ \varphi$	$- \varphi \mid + \psi$	$+ \varphi$ $- \psi$

Мы определим основанную на аналитических таблицах систему дедукции для логики $\mu\text{LA}+$. В табл. 2, табл. 3 и табл. 4 даны правила вывода для этой системы дедукции. Правила из табл. 3 для связок Аллена получены на основе семантики базовых отношений между интервалами. Возьмем, например, правило, стоящее в табл. 3 в четвертой строке и первом столбце, которое обозначим T3 (41). Это правило соответствует тому, что из $A \ s B$ следует $(A^- = B^-) \wedge (A^+ < B^+)$, т.е. $(A^- = B^-) \wedge (B^+ - A^- > 0)$ и, значит, $(A^- = B^-) \wedge (B^+ - A^- \geq 1)$ (так как в области натуральных чисел $B^+ - A^- > 0$ эквивалентно $B^+ - A^- \geq 1$). Правило T3 (42), стоящее в четвертой строке и во втором столбце в табл. 3, соответствует тому, что из $\sim A \ o B$ следует $\sim [(A^- = B^-) \wedge (A^+ < B^+)]$, т.е. $\sim (A^- = B^-) \vee \sim (A^+ < B^+)$ и значит,

$(B^- - A^- \geq 0) \vee (B^+ - A^+ \geq 1) \vee (A^+ - B^+ \geq 1)$. Правило T3 (81) является на самом деле схемой правил вывода. Пусть, например, α есть связка o и λ есть ограничение $B^- - A^+ \geq 2; B^+ - A^- < 3$. Тогда мы получаем правило, которое из означенной формулы $+A \ o (B^- - A^+ \geq 2; B^+ - A^- < 3) B$ выводит две означенные формулы $+A \ o B$ и $+B^- - A^+ \geq 2; B^+ - A^- < 3$, которые приписываются подряд ко всякой ветви дерева, проходящей через формулу $+A \ o (B^- - A^+ \geq 2; B^+ - A^- < 3) B$. Правило T3(82) для указанных α и λ из означенной формулы $-A \ o (B^- - A^+ \geq 2; B^+ - A^- < 3) B$ выводит альтернативу из двух означенных формул, которая в форме „вилки“ приписывается ко всякой ветви дерева, проходящей через означенную формулу $-A \ o (B^- - A^+ \geq 2; B^+ - A^- < 3) B$.

Рассмотрим пример дедукции по правилам вывода из табл. 2, табл. 3 и табл. 4.

Пример 3. Возьмем онтологию O_1 (из Примеров 2) и предложение $B \ d (D^+ - D^- > 5) D$ и покажем путем дедукции, что $O_1 \models B \ d (D^+ - D^- > 5) D$. Эта дедукция представлена деревом, показанным на рис. 2. Его построение начинается с ветви из означенных формул $+A \ m B, +B \ b (C^- - B^+ \geq 2) C, +A \ o D, +D \ o (D^+ - C^- \geq 1) C, -B \ d (D^+ - D^- > 5) D$.

На первом шаге к формуле $+A \ m B$ применяется правило T3 (21), что сопровождается помещением метки „[1] T3(21)“ справа от этой формулы. В результате применения этого правила к ветви приписываются подряд две формулы $B^- - A^+ \geq 0$ и $A^+ - B^- \geq 0$, к которым слева ставятся метки „1:“ (что говорит о том, что эти две формулы были получены на шаге 1). До шага 9 в дереве былат построена ветвь из 20 формул.

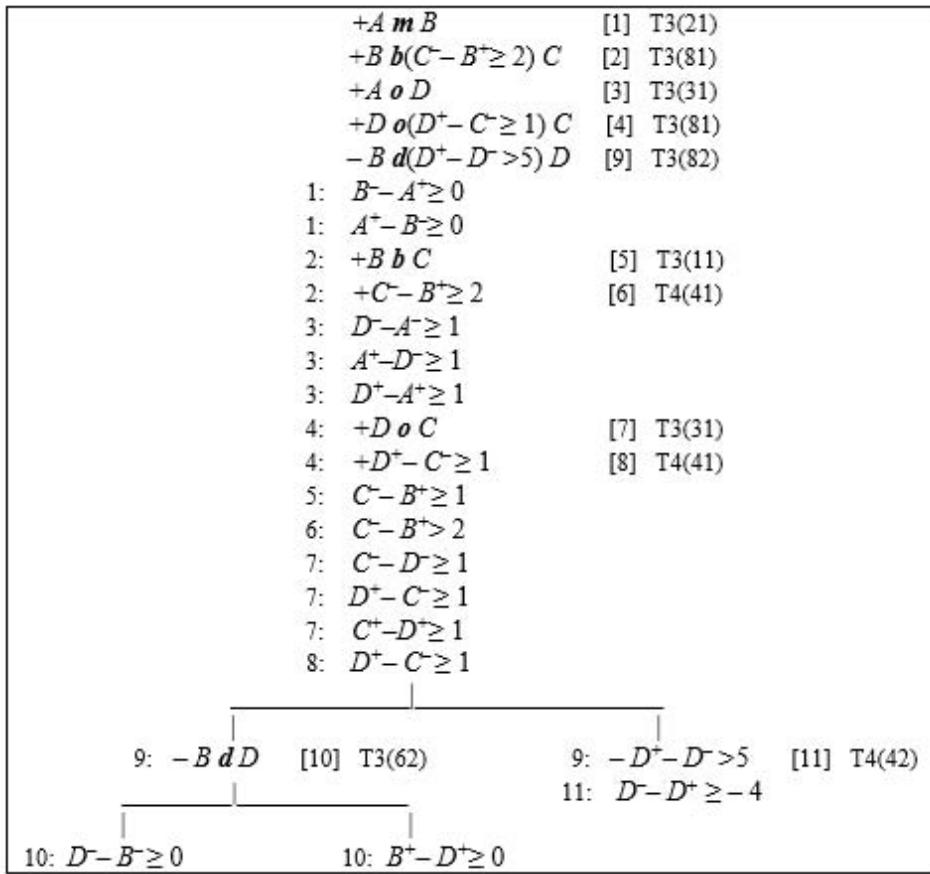
На шаге 9 к формуле $-B \ d (D^+ - D^- > 5) D$ применяется правило T3(82), содержащее альтернативу. В результате его применения к текущей ветви присоединяется „вилка“ из формул $-B \ d D$ и $-D^+ - D^- > 5$, и получаем две ветви. Построение дерева заканчивается на шаге 11. Дерево содержит три ветви. Выписывая из каждой ветви неозначенные

Таблица 3

Правила вывода для связок Аллена

$+ A \ b \ B$ $B^- - A^+ \geq 1$	$- A \ b \ B$ $A^+ - B^- \geq 0$
$+ A \ m \ B$ $B^- - A^+ \geq 0$ $A^+ - B^- \geq 0$	$- A \ m \ B$ $B^- - A^+ \geq 1 \mid A^- - B^+ \geq 1$
$+ A \ o \ B$ $B^- - A^- \geq 1$ $A^+ - B^- \geq 1$ $B^+ - A^+ \geq 1$	$- A \ o \ B$ ----- $A^- - B^- \geq 0 \mid B^- - A^+ \geq 0 \mid A^+ - B^+ \geq 0$
$+ A \ f \ B$ $A^- - B^{--} \geq 1$ $B^+ - A^+ \geq 0$ $A^+ - B^+ \geq 0$	$- A \ f \ B$ ----- $B^- - A^- \geq 0 \mid B^+ - A^+ \geq 1 \mid A^+ - B^+ \geq 1$
$+ A \ s \ B$ $B^- - A^- \geq 0$ $A^- - B^- \geq 0$ $B^+ - A^+ \geq 1$	$- A \ s \ B$ ----- $B^- - A^- \geq 1 \mid A^- - B^- \geq 1 \mid A^+ - B^+ \geq 0$
$+ A \ d \ B$ $A^- - B^- \geq 1$ $B^+ - A^+ \geq 1$	$- A \ d \ B$ ----- $B^- - A^- \geq 0 / A^+ - B^+ \geq 0$
$+ A \ e \ B$ $B^- - A^- \geq 0$ $A^- - B^- \geq 0$ $B^+ - A^+ \geq 0$ $A^+ - B^+ \geq 0$	$- A \ e \ B$ ----- $B^- - A^- \geq 1 \mid A^- - B^- \geq 1 \mid B^+ - A^+ \geq 1 \mid A^+ - B^+ \geq 1$
$+ A\alpha(\lambda) \ B$ $+ A \alpha \ B$ $+ \lambda$	$- A \alpha(\lambda) \ B$ $- A \alpha \ B \mid - \lambda$
$+ A \beta\theta \ B$ ----- $+ A \beta \ B \mid + A \theta \ B$	$+ A \ e \ B$ $- A \beta \ B$ $- A \theta \ B$
λ – ограничение, $\alpha \in \Omega$, $\beta \in \Omega$ или $\beta = \alpha(\lambda)$, θ – последовательность (слово) таких β	

неравенства и добавляя стандартные неравенства $A^+ - A^- \geq 1$, $B^+ - B^- \geq 1$, $C^+ - C^- \geq 1$, $D^+ - D^- \geq 1$, получаем следующие множества (системы) неравенств: $S_1 = S_0 \cup \{D^- - B^- \geq 0\}$, S_2

Рис. 2. Дерево вывода для онтологии **O**

$= S_0 \cup \{B^+ - D^+ \geq 0\}$, $S_3 = S_0 \cup \{D^- - D^+ \geq -4\}$, где $S_0 = \{B^- - A^+ \geq 0, A^+ - B^- \geq 0, D^- - A^- \geq 1, A^+ - D^- \geq 1, C^- - B^+ \geq 2, C^- - D^- \geq 1, D^+ - C^- \geq 1, C^+ - D^+ \geq 1, A^+ - A^- \geq 1, B^+ - B^- \geq 1, C^+ - C^- \geq 1, D^+ - D^- \geq 1\}$. Каждая из систем неравенств S_1 , S_2 и S_3 несовместна. В самом деле, S_1 содержит неравенства $B^- - A^+ \geq 0, D^- - B^- \geq 0, A^+ - D^- \geq 1$, складывая которые получаем $(B^- - A^+) + (D^- - B^-) + (A^+ - D^-) \geq 0 + 0 + 1$, т. е. $0 \geq 1$ (противоречие). Системы S_2 и S_3 также содержат противоречивые циклические подсистемы неравенств $C^- - B^+ \geq 2, D^+ - C^- \geq 1, B^+ - D^+ \geq 0$ и соответственно $D^- - D^+ \geq -4, A^+ - D^- \geq 1, B^- - A^+ \geq 0, B^+ - B^- \geq 1, C^- - B^+ \geq 2, D^+ - C^- \geq 1$.

Итак, все три ветви дерева противоречивы. Следовательно, исходное множество означенных формул $\{+A \text{ } m \text{ } B, +B \text{ } b(C^- - B^+ \geq 2) \text{ } C, +A \text{ } o \text{ } D, +D \text{ } o(D^+ - C^- \geq 1) \text{ } C, -B \text{ } d(D^+ - D^- > 5) \text{ } D\}$ невыполнимо, а это означает, что имеет место логическое следствие $O_1 \models B \text{ } d(D^+ - D^- > 5) \text{ } D$.

Вычисление ответов на запросы к онтологиям. Дедукцию можно использовать для вычисления ответов на запросы к онтологиям, записанным в языке μLA^+ . Рассмотрим это на примерах.

Пример 4. Возьмем онтологию O_2 из Примеров 2 и рассмотрим запрос: „Найти наибольшее значение x и наименьшее значение y , что $O_2 \models p \wedge q \rightarrow A \text{ } o(x \leq A^+ - C^- \leq y) \text{ } C$ “. На рис. 3 показано дерево вывода, построенное для этого запроса. Пусть S_1, S_2, S_3, S_4 и S_5 — системы неравенств, полученные из ветвей, заканчивающихся формулами ниж-

Таблица 4

Правила вывода для ограничений

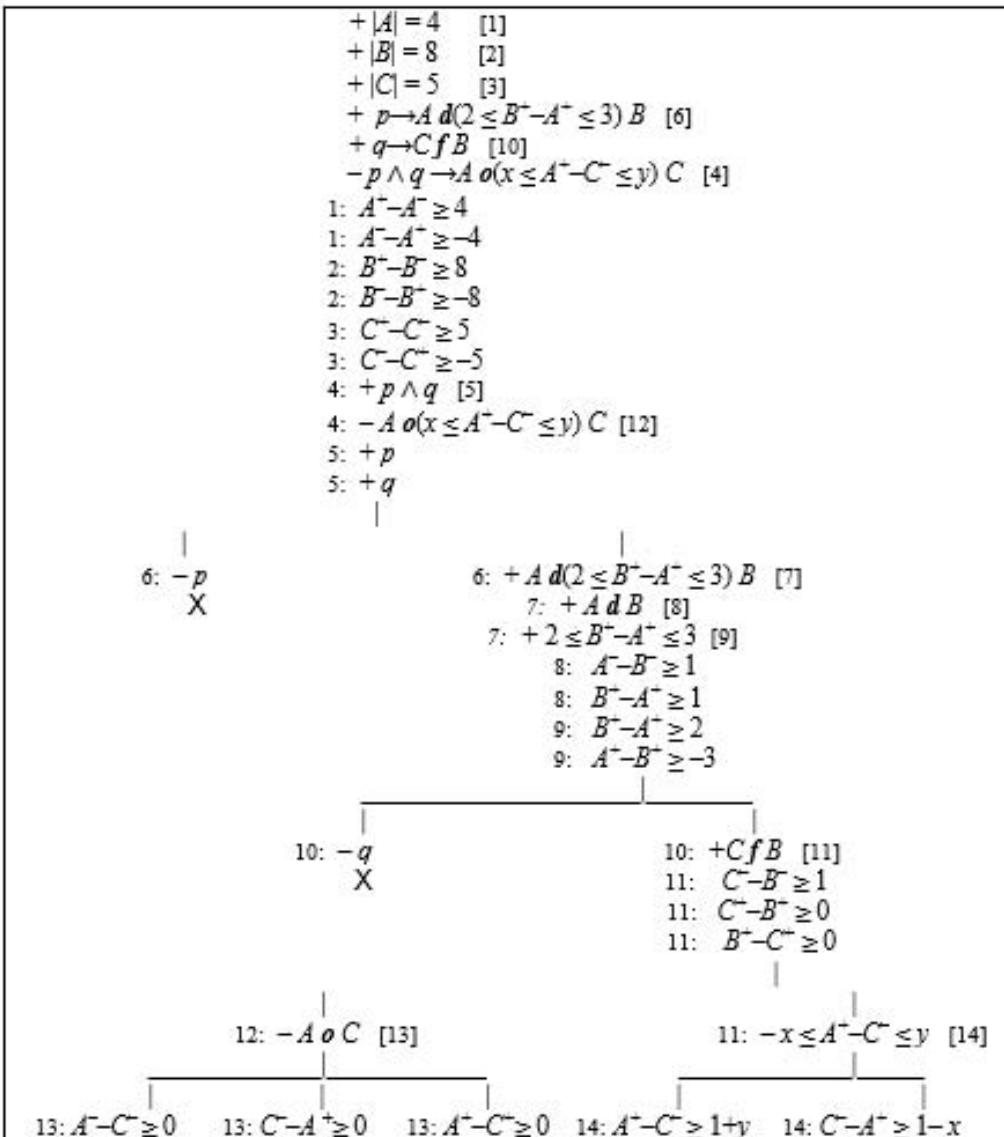
$+ A =r$	$- A =r$	$+X-Y=r$	$-X-Y=r$
$A^+-A^-\geq r$	$A^--A^+\geq 1-r \mid A^+-A^-\geq r+1$	$X-Y\geq r$	$X-Y\geq r+1 \mid Y-X\geq r+1$
$+ A \geq r$	$+ A >r$	$+ A \leq r$	$+ A <r$
$A^+-A^-\geq r$	$A^+-A^-\geq r+1$	$A^--A^+\geq -r$	$A^--A^+\geq 1-r$
$- A \geq r$	$- A >r$	$- A \leq r$	$- A <r$
$A^--A^+\geq r+1$	$A^--A^+\geq -r$	$A^+-A^-\geq r+1$	$A^+-A^-\geq r$
$+X-Y\geq r$	$+X-Y>r$	$+X-Y\leq r$	$+X-Y\leq r$
$X-Y\geq r$	$X-Y\geq r+1$	$Y-X\geq -r$	$Y-X\geq -r$
$-X-Y\geq r$	$-X-Y>r$	$-X-Y\leq r$	$-X-Y<r$
$Y-X\geq 1-r$	$Y-X\geq -r$	$X-Y\geq r+1$	$X-Y\geq r$
$+X-Y=r$	$-X-Y=r$	$+\theta ; \lambda$	$-\theta ; \lambda$
$X-Y\geq r$	$X-Y\geq 1+r \mid Y-X\geq 1-r$	$+\theta$ $+\lambda$	$-\theta \mid -\lambda$
$+X-Y=r$	$-X-Y=r$	$+\theta ; \lambda$	$-\theta ; \lambda$
$X-Y\geq r$	$X-Y\geq 1+r \mid Y-X\geq 1-r$	$+\theta$ $+\lambda$	$-\theta \mid -\lambda$
θ – атомарное ограничение, λ – произвольное ограничение			

него уровня. В системах S_1, S_2, S_3 легко найти противоречивые циклические подсистемы неравенств.

В системе S_4 имеется циклическая подсистема неравенств $\{A^+-C^- \geq 1+y, B^+-A^+ \geq 2, B^--B^+ \geq -8, C^--B^- \geq 1\}$. Складывая эти неравенства, получим $0 \geq 1+y+2+(-8)+1$. Это неравенство противоречиво тогда и только тогда, когда $y \leq 5$.

В системе S_5 имеется циклическая подсистема неравенств $\{C^--A^+ \geq 1-x, C^+-C^- \geq 5, B^+-C^+ \geq 0, A^+-B^+ \geq -3\}$, которая несовместна тогда и только тогда, когда $x \leq 3$. Следовательно, ответом на запрос будет $x = 3$ и $y = 5$.

Возьмем онтологию O_3 из Примеров 2. Эта онтология формализует поток работ из Примера 1. Рассмотрим запрос: „Найти наилучшие оценки снизу и сверху для времени бизнес-процесса (т.е. времени от начала обработки заказа до окончания отгрузки това-

Рис. 3. Дерево вывода для онтологии O_2

ра), если выполнено условие q'' . Формально этот запрос можно записать как $\max x, \min y \{O_3 | q \rightarrow (x \leq E^+ - A^- \leq y)\}$. Можно построить дерево вывода и из него найти ответ $x=86$ и $y=106$ на этот запрос.

Заключение. Рассматривалась задача спецификации темпоральных отношений в онтологиях для потоков работ. Для решения этой задачи может быть использована логика, являющаяся булевым метрическим расширением известной интервальной логики Аллена. Построена система дедукции для расширенной логики и показано, как вычислять запросы к онтологиям, применяя эту дедукцию.

Список литературы

1. W. H. P. van der Aalst, K. M. van Hee. Workflow Management: Models, Methods and Systems. USA: MIT Press, Cambridge. 2002.

2. Alonso G., Casati F., Kuno H., Machiraju V. Web Services: Concepts, Architectures and Applications. Springer-Verlag. 2003.
3. Dumas M., W.M.P. van der Aalst, A.H.M. ter Hofstede (eds.). Process-Aware Information Systems. Wiley & Sons, inc. 2005.
4. Staab S., Studer R. (eds.). Handbook on Ontologies. Springer-Verlag. 2009.
5. Плесневич Г. С. Формальные онтологии // 2-я Международная научно-техническая конференция „Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем“ OSTIS-2012. Минск. 2012. С. 163–168.
6. Plesniewicz G. S., Karabekov B. S. Ontologies in the Binary Model of Knowledge // Программные продукты и системы. N 1. 2014. P. 76–81.
7. Allen J. A. Maintaining knowledge about temporal intervals // Communications of the ACM. 1983. N 26 (11). P. 832–843.
8. Agostino M. D., Gabbay D., Hahnle R., Possega J. (eds.). Handbook of Tableaux Methods, Kluwer Academic Publishers, 1999.
9. Bi H. H., Zhao J. L. Applying propositional logic to workflow verification // Information Technology and Management. 2004. P. 293–318.
10. Davulcu H., Kifer M., Ramakrishnan C. R., Ramakrishnan I. V. Logic based modeling and analysis of workflows // Symposium on Principles of Database Systems. Seattle. 1998. P. 25–33.
11. Ma H. A workflow model based on temporal logic // Proceedings of the 8th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design. IEEE, 2004. P. 27–332.



Плесневич Г. С. — канд. физ.-мат. наук, проф. Национального исследовательского университета „МЭИ“; e-mail: salve777@mail.ru.

Геральд Плесневич окончил физико-математический факультет Ростовского-на-Дону государственного университета в 1954 г. В 1967 г. защитил кандидатскую диссертацию по теоретической кибернетике в Институте математики Сибирского отделения Академии Наук СССР. Он работал в Институте математики (Новосибирск) и Научно-исследовательском Центре электронно-вычислительной техники (Москва). В настоящее время он является профессором кафедры „Прикладная математика“ Национального исследовательского университета „МЭИ“. Им опубликовано свыше 90 статей по математике и информатике (дискретная математика, теория графов, теория автоматов, прикладная математическая логика и искусственный интеллект). Его интересы лежат в следующих областях: представление знаний, нечеткая логика, методы и алгоритмы дедукции для интеллектуальных систем, онтологии, Семантический Веб.

Gerald Plesniewicz graduated from the State University of Rostov-on-Don (1954) and received PhD in Theoretical Cybernetics (1967) from the Institute of Mathematics of the Siberian Branch of the Academy of Science. He worked at the Institute of Mathematics (Novosibirsk) and the Scientific Research Center of Computer Technology (Moscow). Currently, he is professor of the Applied Mathematics Department of the National Research University MPEI (Moscow). He published over 90 papers in mathematics and computer science (discrete mathematics, graph theory, automata theory, applied mathematical logic, and artificial intelligence). His current research interests includes knowledge representation, fuzzy logic, deduction methods and algorithms for intelligent systems, ontologies, Semantic Web.



Карабеков Б. С. — канд. техн. наук, ведущ. науч. сотр. Института информационных и вычислительных технологий КН МОН РК; e-mail: bskarabekov@mail.ru.

Бауржан Карабеков окончил факультет автоматики и вычислительной техники

Казахстанского политехнического института в 1978 г. В 1988 г. защитил кандидатскую диссертацию на стыке двух специальностей 05.13.01 и 05.13.13 в Московском энергетическом институте. В 1990 г. проходил научную стажировку в Гамбургском университете под научным руководством Карла Адама Петри. В 20XX – 20XX Бауржан Карабеков был руководителем разработки софтвера для Накопительного пенсионного фонда „УларУмит“. Им опубликовано свыше 30 работ в таких областях, как онтология инженерий, искусственный интеллект, теория принятия решений. В настоящее время его интересы лежат в следующих областях: теория и применение баз данных и баз знаний, теория и применение концептуальных языков, теория принятия решений, Семантический Веб.

Baurzhan Karabekov graduated from Kazakhstan Polytechnic Institute (1978). He receive PhD in Technical Cybernetics from Moscow Power Engineering Institute (1988). In 1990, he trained at the Hamburg University under the scientific supervision of Karl Adam Petri. In 20XX–20XX, he led the development of software for the Kazakhstan Accumulative Pension Fund

„Ular Umit“. He published over 30 papers in Computer Science. His current research interests includes databases, knowledge bases, conceptual languages, decision making.



Нгуен Тхи Минь Ву — аспирант Национального исследовательского университета „МЭИ“, e-mail: minhvu_357@gmail.com.

Нгуен Тхи Минь Ву закончила Томский политехнический институт в 2013 г. В том же году поступила в аспирантуру Национального исследовательского университета МЭИ. Она опубликовала 10 работ по теоретической информатике. Ее интересы лежат в теории и приложениях онтологий, в области интеллектуальных информационных систем и Семантического Веба.

Nguen Thi Minh Vu graduated from Tomsk Polytechnic Institute in 2013 and now she is postgraduate student of National Research University MPEI (Moscow). She published 10 paper in Computer Science. Her research interests are in ontology theory and its applications, in intelligent information systems and Semantic Web.

Дата поступления — 26.08.2016

Правила представления и подготовки рукописей для публикации в журнале „ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ“

Общие требования.

Редакция принимает к рассмотрению статьи, в электронном виде (файл PDF и исходный файл в ИТехнико MS Word с приложением оригиналами рисунков).

Файлы, содержащие текст статьи, иллюстрации и дополнительные материалы, можно пересыпать на электронный адрес редакции: problem-info@sscc.ru.

При пересылке допустимо использование архивов форматов ZIP/7Z или RAR; применение самораспаковывающихся архивов не допускается.

При повторной отправке материалов, а также при внесении в исходный текст дополнений или исправлений необходимо сообщить об этом в тексте электронного письма.

Текст статьи с формулами, рисунками, таблицами должен быть подготовлен на стандартном листе формата А4 через 1,5 интервала, размер шрифта 12 pt, все поля по 2 см.

К статье должны быть приложены:

— разрешение на публикацию от экспертного совета организации, в которой выполнена работа (для авторов из России);

— оригинал рецензии;

— название статьи, фамилии автора (ов), аннотация, ключевые слова на русском и на английском языке (для русскоязычных публикаций). Англоязычная аннотация должна содержать не менее 800 слов, что соответствует требованиям ВАК и Scopus к сайтам журналов;

— транслитерация неанглоязычных элементов списка литературы в соответствии с ГОСТ (для русскоязычных — ГОСТ Р 7.0.34-2014) для размещения на сайте журнала в соответствии с требованиями международных баз цитирования.

— код(ы) классификации УДК;

— полная информация об авторах в отдельном файле:

1) Фамилия, имя, отчество;

2) Ученая степень (при наличии);

3) Ученое звание (при наличии);

4) Место работы;

5) Занимаемая должность;

6) Почтовый адрес с ИНДЕКСОМ (для пересылки авторского экземпляра журнала);

7) Адрес электронной почты (e-mail) (для переписки с автором по вопросам публикации);

8) Контактный телефон (обязательно (!) для выяснения срочных вопросов);

9) Название статьи;

10) Фотография разрешением не менее 300 dpi;

Направляя статью в редакцию журнала, автор (соавторы) на безвозмездной основе передает(ют) издателю на срок действия авторского права по действующему законодательству РФ исключительное право на использование статьи или отдельной ее части (в случае принятия редколлегией Журнала статьи к опубликованию) на территории всех государств, где авторские права в силу международных договоров Российской Федерации являются охраняемыми, в том числе следующие права: на воспроизведение, на распространение, на публичный показ, на доведение до всеобщего сведения, на перевод на иностранные языки и переработку (и исключительное право на использование переведенного и (или) переработанного произведения вышеуказанными способами), на предоставление всех вышеперечисленных прав другим лицам.

Журнал „Проблемы информатики“ является некоммерческим изданием. Плата с авторов за публикацию статей не взимается.

Подготовка статьи.

Материал статьи должен быть изложен в следующей последовательности:

1) индекс УДК;

2) название статьи;

3) инициалы и фамилии авторов;

4) полное название организаций, в которых работают авторы, с указанием почтового индекса, города и страны;

5) аннотация, содержащая краткую постановку задачи и описание метода решения; объем аннотации не должен превышать 1000 знаков;

6) ключевые слова (не более 8);

7) аннотация (объемом 1–2 страницы) и ключевые слова на английском языке;

8) текст статьи;

- 9) список литературы, оформленный в соответствии с требованиями ГОСТ;
- 10) сведения об авторах: фамилия, имя, отчество, ученая степень, должность и место работы, контактный телефон и (или) e-mail, почтовый адрес для отправки авторского экземпляра журнала.

Статьи, содержащие формулы, следует набирать в редакторе L^AT_EX. В остальных случаях допускается использование программы Word, шрифт — Times New Roman; автоматическая расстановка переносов в документе должна быть отключена.

Рисунки с подрисуночными подписями заверстываются в текст статьи. Файлы с рисунками пересыпаются отдельно в формате программ, в которых они были выполнены: XLS (для графиков и диаграмм), EPS, PDF, PNG, TIF, BMP или JPG (с максимальным качеством).

Фотографии должны иметь разрешение не менее 300 dpi.

В текст статьи необходимо включить ссылки на рисунки и таблицы, а также подрисуночные подписи и заголовки таблиц. Все буквенные обозначения, приведенные на рисунках, необходимо пояснить в основном тексте или в подрисуночных подписях.

Сокращения слов не допускаются (кроме общепринятых).

Векторные переменные обозначаются полужирным шрифтом без курсива.

Таблицы не должны быть громоздкими. Значения физических величин в таблицах, на графиках и в тексте должны указываться в единицах измерения СИ. Графики, если их на рисунке несколько, а также отдельные детали на чертежах, узлы и линии на схемах следует обозначать цифрами, набранными курсивом.

Нумеровать следует только те формулы и уравнения, на которые имеются ссылки в тексте, нумерация сквозная.

Список литературы, использованной в статье, составляется по ходу упоминания ее в тексте и приводится в конце статьи оформленным в соответствии с ГОСТ 7.0.5-2008. Ссылки на источники в тексте заключаются в квадратные скобки. Иностранные источники приводятся на языке оригинала. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Все статьи, опубликованные в журнале „Проблемы информатики“, доступны на сайте http://elibrary.ru/title_about.asp?id=30275 спустя год после опубликования.

Пример оформления статей можно посмотреть на сайте журнала www.problem-info.sssc.ru.

