

Национальная академия наук Украины

Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова



МОДЕЛИРОВАНИЕ-2016

SIMULATION-2016

25-27 мая 2016, Киев

Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины
НИИ многопроцессорных вычислительных систем им А.В. Каляева
Южного Федерального Университета, Россия
Национальный технический университет «Львовская политехника»
Институт кибернетики им.В.М. Глушкова НАН Украины
Национальный авиационный университет Украины
Донецкий национальный технический университет
Институт электродинамики НАН Украины
Институт проблем регистрации информации НАН Украины
Щецинский технический университет, Польша
Институт специальной связи и защиты информации НТУУ «КПИ»
Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан
Компания «Юстар», Украина
Энергосервисная компания «ПАТРИОТ-НРГ»

Сборник трудов конференции

МОДЕЛИРОВАНИЕ-2016

SIMULATION-2016

25-27 мая 2016, Киев

УДК 004.94

М74

Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины, НИИ многопроцессорных вычислительных систем им А.В. Каляева Южного Федерального Университета (Россия), Национальный технический университет «Львовская политехника», Институт кибернетики им.В.М. Глушкова НАН Украины, Национальный авиационный университет Украины, Донецкий национальный технический университет, Институт электродинамики НАН Украины, Институт проблем регистрации информации НАН Украины, Щецинский технический университет (Польша), Институт специальной связи и защиты информации НТУУ «КПИ», Ташкентский государственный технический университет (Узбекистан), Компания «Юстар» (Украина), Энергосервисная компания «ПАТРИОТ-НРГ» проводят Пятую международную конференцию МОДЕЛИРОВАНИЕ-2016.

Конференция проходит в Институте проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины, г. Киев, 25-27 мая 2016 г.

ISBN 978-966-02-7928-5

Все материалы поданы в авторской редакции. Прошли рецензирование.

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Евдокимов Виктор Федорович - сопредседатель (Украина)
Мохор Владимир Владимирович – сопредседатель (Украина)

Аристов Василий Васильевич (Украина)
Белецкий Владимир Николаевич (Польша)
Борукаев Зелим Харитонович (Украина)
Вадреву Шри Хари Рао (Индия)
Верлань Анатолий Федорович (Украина)
Вилински Антоний (Польша)
Винничук Степан Дмитриевич (Украина)
Гнеденко Валерий Герасимович (Россия)
Жуков Игорь Анатольевич (Украина)
Каляев Игорь Анатольевич (Россия)
Катков Александр Федорович (Польша)
Качерек Тадеуш (Польша)
Кириленко Александр Васильевич (Украина)
Макаров Алексей Александрович (Россия)
Массель Людмила Васильевна (Россия)
Осовский Станислав (Польша)
Палагин Александр Васильевич (Украина)
Петров Вячеслав Васильевич (Украина)
Рэш Михаэль (Германия)
Сагатов Миразиз Варисович (Узбекистан)
Самойлов Виктор Дмитриевич (Украина)
Саух Сергей Евгеньевич (Украина)
Святный Владимир Андреевич (Украина)
Семагина Эвелина Петровна (Украина)
Стахив Петр Григорьевич (Украина)
Стогний Борис Сергеевич (Украина)
Тарасенко Владимир Петрович (Украина)
Шидловский Анатолий Корнеевич (Украина)

Оргкомитет конференции «МОДЕЛИРОВАНИЕ-2016»

Председатель Чемерис А.А.

Зам. председателя Клименко Т.М.

Адрес:

Институт проблем моделирования в энергетике

им. Г.Е. Пухова НАН Украины

03164, г. Киев, ул. Генерала Наумова, 15

тел.: (044) 424-9179, (044) 424-1063

факс: (044) 424-0586

e-mail: ipme@ipme.kiev.ua

<http://www.ipme.kiev.ua/rus/conference/pukhov100.htm>

100-летие со дня рождения академика НАН Украины Г.Е. Пухова и 35-летие со дня основания ИПМЭ им. Г.Е. Пухова НАН Украины.



Основатель Института – Георгий Евгеньевич Пухов, известный ученый в области теоретической электротехники, энергетики, математического моделирования и вычислительной техники, родился 23 августа 1916 года в г.Сарапуль (Удмуртия). Закончил с отличием Томский индустриальный институт (1940 г.) и был зачислен в аспирантуру при кафедре электронных сетей и систем. Обучение в аспирантуре было прервано службой в армии в годы Отечественной войны. После тяжелого ранения в боях под Москвой в 1942 г. возвратился в аспирантуру, успешно защитил кандидатскую диссертацию (1944 г.) и включился в работу по подготовке инженерных кадров и решению научно-технических задач по восстановлению народного хозяйства.

Сорок лет (с 1958 г.) творческой и научно-организационной деятельности Г.Е.Пухова связан с Национальной Академией наук Украины. Много сил и энергии отдал Г.Е.Пухов организации и пропаганде науки, находясь на посту директора созданного им Института проблем моделирование в энергетике НАН Украины (1981-1988 г.г.), академика-секретаря отделения физико-технических проблем энергетики НАН Украины (1978-1988 г.г.). Г.Е.Пухов разработал теоретические основы диакоптических методов в электротехнике и моделировании, развил теорию операционных методов анализа и синтеза нелинейных систем, сформулировал принцип квазианалогий и разработал теорию квазианалогового моделирования. Г.Е.Пухов был одним из творцов современной электротехники и признанным главой научной школы электронного моделирования. Он автор свыше 600 научных работ, 29 монографий, 150 свидетельств на изобретения. За 50 лет педагогической работы Г.Е.Пухов воспитал более чем 30 докторов наук и 160 кандидатов наук. Активная научно-педагогическая деятельность Г.Е.Пухова продолжалась до последнего дня его жизни. Он был главным редактором международного научно-технического журнала “Электронное моделирование”, который основал в 1979 г, был председателем Научного совета НАН Украины по комплексной проблеме “Теоретическая электротехника и моделирование”, членом специализированных советов по защите докторских и кандидатских диссертаций.

Творческий взнос академика НАН Украины Г.Е. Пухова в развитие науки высоко оценен: ему присуждена Государственная премия Украины в области науки и техники, премию НАН Украины им. С.О.Лебедева, звание Заслуженного деятеля науки и техники Украины, награжден многими орденами и медалями.



7 января 1981 года в соответствии с постановлением Совета Министров СССР и Совета Министров УССР, а также постановлением Президиума АН УССР образован Институт проблем моделирования в энергетике АН УССР (ИПМЭ АН УССР). Возглавил институт академик АН УССР Георгий Евгеньевич Пухов. Коллектив института, сформированный к этому времени как сектор электроники и моделирования Института электродинамики АН УССР, имел большой и многолетний опыт проведения научных исследований. Научная школа Г. Е. Пухова основана в конце 50-х годов и получила интенсивное развитие в стенах Института кибернетики АН УССР и Института электродинамики АН УССР.

К моменту создания ИПМЭ АН УССР основные достижения данной школы, были весьма внушительны и охватывали целый ряд таких актуальных научных областей, как анализ электрических цепей и электромагнитных полей, специальные разделы прикладной математики, теорию математического и электронного моделирования, аналоговую и гибридную вычислительную технику, специализированные цифровые устройства и системы, применение математических методов и вычислительных средств в электронике, электротехнике, энергетике и многих других отраслях народного хозяйства. С 1988 года директором института является чл.-кор. НАН Украины Виктор Федорович Евдокимов. В настоящее время структура научных подразделений включает 9 отделов и 6 тематических групп.

8.11.2000 г. Постановлением Кабинетом Министров ИПМЭ НАН УССР было присвоено имя академика НАН Украины Г.Е. Пухова. Ученые Института достигли успехов в области развития теории и методов математического и электронного моделирования физических и информационных процессов в энергетических и энергоемких системах на основе современных достижений прикладной математики и машинных вычислений. Научная деятельность института определяется следующими основными направлениями: исследование фундаментальных проблем электроэнергетики и теоретической электротехники; анализ и синтез сложных электрических цепей и систем, включая нелинейные процессы в них; исследование быстро протекающих процессов в энергетике, разработка с этой целью методов построения проблемно-ориентированных моделирующих систем; разработка методов моделирования и



применения средств вычислительной техники в энергетике и других отраслях народного хозяйства.

Благодаря высокому теоретическому уровню разработок Институт занимает ведущее положение в области методов и средств электронного и математического моделирования в энергетике. Фундаментальные научные результаты получены в рамках теории квазианалогового моделирования. Она позволяет расширить возможности математического моделирования на основе принципа эквивалентности, обобщающего классическую теорию подобия и используемого для построения различных классов моделирующих систем. В теории дифференциальных преобразований, она приводит к созданию новых численно-аналитических методов решения широкого класса математических задач. Использование такого подхода для синтеза электронных схем позволяет соединить эффективность аналоговой структуры систем с цифровым представлением информации.

Институт проводит исследования в области моделирования динамических систем на основе метода интегральных уравнений, обеспечивающем расширение возможностей и повышение эффективности методов и средств математического моделирования. Использование теории гибридного моделирования для задач динамики быстропротекающих процессов позволяет создать новые методы и принципы построения специализированных средств диагностики трубопроводов и алгоритмы численного моделирования задач динамики. Многие результаты научных исследований института внедрены и продолжают внедряться в различных отраслях народного хозяйства Украины: энергетике, нефтяной и газовой промышленности, приборостроении, машиностроении, энерго-машиностроении, электронной промышленности и т.д.

Институт поддерживает научно-технические связи с десятками предприятий и организаций в нашей стране и за рубежом. Работы ученых института отмечены Государственными премиями Украины, премиями НАН Украины им. Г.А. Проскуры и им. С.А.Лебедева. Большое внимание уделяется подготовке научных кадров. В настоящее время в институте работают 9 докторов и 17 кандидата наук, функционируют аспирантура и докторантура, работают специализированные Советы по защите докторских и кандидатских диссертаций. В институте функционирует широкая сеть научных семинаров, проводятся конференции и школы-семинары. Институт осуществляет активную издательскую деятельность, является учредителем журнала “Электронное моделирование”, привлекая в последнее время к этой работе специалистов из многих развитых стран, публикует периодические научные сборники. Сотрудниками института опубликованы десятки монографий, справочников, учебных пособий, препринтов.

Целью деятельности ИПМЭ им. Г.Е. Пухова НАН Украины является достижение высокого уровня проведения фундаментальных и прикладных исследований в области методов и средств математического компьютерного моделирования для решения актуальных проблем создания современных информационных и промышленных технологий.

В. В. Петров, академик НАН Украины, д-р техн. наук,
А. А. Крючин, член-корреспондент НАН Украины, д-р техн. наук.
Ин-т проблем регистрации информации НАН Украины Украина,
(03113, Киев, ул. Шпака 2,
тел.(044) 4568389, e-mail: petrov@ipri.kiev.ua)

Применение оптических сапфировых дисков для хранения стратегически важной информации

The approaches of a solution of a problem of a long-time storage of information on sapphire carriers with relief-phase representation of the information are discussed. It is shown that the problem of data reading through a substrate of sapphire can be solved by using for reading a special optical system with a plate of positive single crystal materials.

Ключевые слова: долгосрочное хранение данных, информационная безопасность, сапфировый диск

Введение. Проблема надежного и долгосрочного хранения больших объемов информации на всех этапах развития человечества всегда была одной из важнейших, и для ее решения использовались различные типы систем записи и носителей информации. Особенно актуальной эта научно-техническая задача стала в наше время, когда именно цифровая форма представления информации чаще всего используется для хранения документов. Причем, объемы информации, представленной в цифровой форме, постоянно увеличиваются не только за счет новой информации, которая в большинстве случаев уже имеет и электронную форму представления, но и за счет перевода в цифровую форму ранее созданных информационных ресурсов. Часть документов относящихся к особо важным, требует обеспечения их длительного и надежного хранения, в первую очередь таких, как важнейшая научно-техническая информация, генетическая информация, сведения о культурном наследии, о местоположении ядерных отходов и их параметрах. В частности, хранение информации о геномном разнообразии на различных уровнях – от клеточного до популяционного и биоценозного является необходимым инструментом решения комплексных вопросов оценки биоразнообразия, формализации оценки масштабов рисков, планирования способов восстановления и сохранения биоразнообразия. Построение эффективной системы биологической защиты основывается на создании глобальной системы мониторинга заболеваемости, контроля и прогноза развития эпидемического процесса, накопления и долговременного сохранения информации [1,2]. Важнейшая роль хранилищ медико-биологической информации состоит в повышении биобезопасности страны. Одной из актуальных задач является обеспечение безопасности хранения стратегически важной информации. В системе мер по повышению безопасности и обеспечению сохранности документов создаются страховые копии уникальных и особо ценных документов. Страховой фонд документации играет важную роль в сфере обеспечения национальной безопасности, научно-технической и экономической независимости страны, сохранении историко-культурного наследия. Страховой фонд документации является элементом информационной составляющей национальной безопасности государства [3,4]. Сохранности документов во времени угрожают не только естественная деградация носителей, но и всевозможные экстремальные ситуации. Увеличение риска природных и техногенных катастроф, усиление деструктивных явлений в обществе, рост экологической опасности, военных действий и т.п. приводят к угрозе физической потери важнейших документальных фондов. Поэтому сохранение ключевых видов документов является глобальной задачей, которую решают все цивилизованные государства и мировое сообщество в целом. Обеспечение

возможности быстрого и гарантированного восполнения необходимой для общественных и государственных нужд документации, уничтоженной, безвозвратно утраченной или недоступной в условиях особого периода, чрезвычайных ситуаций, террористических актов и других форс-мажорных обстоятельств, является одной из важных задач государства по обеспечению его военной, экономической и информационной безопасности [4].

Пути решения задачи долгосрочного хранения стратегически важной информации. К сожалению, современные носители данных не способны обеспечить долгосрочное хранение данных. Практика создания электронных систем хранения показала их ограниченность и уязвимость, особенно в плане долгосрочного сохранения документированной информации. Основной проблемой стала низкая долговечность большинства применяемых электронных носителей, их нестабильность и зависимость от стремительно меняющегося программного и аппаратного обеспечения [4,5]. Электронные носители не в состоянии обеспечить долговременное сохранение информации в условиях особого периода, допускают возможность искажений и несанкционированного доступа к информации, процедура подтверждения их подлинности является сложной и требует специальных криптографических инструментов. Долгосрочное хранение информации на электронных носителях неизбежно влечет за собой необходимость постоянной перезаписи данных на новые носители, требует больших затрат на техническую поддержку, персонал и администрирование, причем с увеличением сроков хранения подобные расходы будут только возрастать.

В последние годы проводятся широкомасштабные исследования по созданию носителей долгосрочного хранения информации. Из всех существующих в настоящее время носителей наиболее пригодными для целей долгосрочного хранения информации являются оптические диски с микрорельефной записью информации, которая намного надежнее в плане устойчивости к внешним воздействиям, чем магнитный и полупроводниковый способ записи данных. Для долгосрочного хранения данных на оптических дисках наибольший интерес представляют диски типа ROM. Использование таких оптических дисков позволит организовать долгосрочное хранение электронной документации без применения сложных и дорогостоящих процессов периодической перезаписи на новые типы носителей, а также повысит защищенность электронной информации от потерь, несанкционированного доступа и внесения изменений [5-7]. В качестве материала для такого носителя были опробованы различные материалы для подложек оптических носителей: стекло, металл, керамика и другие [8-10]. Сообщалось о создании макетных образцов оптических дисков, в которых применялись подложки из вольфрама, имеющего высокую температуру плавления [10]. Предпринимаются попытки осуществить запись и долгосрочное хранение информации в объеме кварцевой подложки с помощью фемтосекундного лазера. С помощью фемтосекундных лазерных импульсов удалось записать информацию в 3D-структуру кварца на наноуровне. Исследователи уверяют, что сохранённые таким методом данные могут храниться миллиарды лет при температуре до 350 градусов по Фаренгейту. Запись данных предполагает использованию уникального оборудования с малым ресурсом и в результате получается высокая конечная себестоимость готовой продукции [9].

Сапфировые оптические диски для долгосрочного хранения стратегически важной информации. Самым привлекательным из материалов для подложек оптических носителей долгосрочного хранения данных является сапфир благодаря высокой температуре плавления (2050°C), твердости и износоустойчивости (твердость по Моосу 9), химической инертности (нерастворим в большинстве обычных промышленных растворов и устойчив к коррозии). Использование сапфира в качестве подложек оптических дисков позволяет создавать уникальные носители для долгосрочного хранения данных, которые характеризуются высокой устойчивостью к механическим повреждениям,

не подвержены воздействию химически активных сред и способны выдерживать температуру 1000°C и более. Ни один из существующих цифровых носителей не способен обеспечить хранение данных в таких условиях.

Возможности создания сапфировых носителей информации способствует то, что массовое производство синтетических монокристаллов сапфира и полированных подложек с заданной кристаллографической ориентацией сегодня освоено во многих странах мира. Сапфир используется для производства светодиодов, защитных экранов смартфонов, иллюминаторов для подводных лодок и космических кораблей. Разработана технология плазмохимического формирования микро- и наноразмерных структур на поверхности сапфировых подложек. Сообщалось о разработке и создании нескольких вариантов оптических дисков с подложками из сапфира. Предлагалось использовать сапфировые диски для защиты информации записанной на пленке платины [7]. Единственным анонсируемым сегодня сапфировым носителем, способным обеспечить долгосрочное хранение данных и ориентированный массовое производство, является носитель, изготавливаемый по проекту La Nanoforme [11]. Предполагается изготовление оптических сапфировых носителей различных диаметров от двух до четырех дюймов. На четырехдюймовом носителе предлагается сохранять до 2500 фотографий размером 870 на 620 пикселей в аналоговой форме, что эквивалентно 300-350 Мбайт в цифровой форме, стоимость такого носителя составляет 37500 долл. США [11]. Запись данных на такой носитель осуществляется фемтосекундными импульсами сфокусированного лазерного излучения с последующим жидкостным селективным травлением, в результате которого формируется микрорельефная структура на поверхности подложки носителя информации. Следует отметить, что такой носитель информация с аналоговой формой представления данных не является компьютерным носителем информации. Использование аналоговой формы представления данных в оптических носителях долгосрочного хранения данных позволяет использовать различные системы считывания записанной информации, включая оптические микроскопы, однако не позволяет реализовать воспроизведение данных на стандартных устройствах. Применение сапфира в качестве подложки для дисков для долгосрочного хранения информации было очевидно, однако наличие оптической анизотропии монокристалла сапфира препятствовало созданию цифрового оптического сапфирового диска. В начале 2014 года в Институте проблем регистрации информации НАН Украины удалось найти способ компенсации оптической анизотропии монокристаллических сапфировых подложек в процессе воспроизведения данных сфокусированным оптическим излучением через сапфировую подложку и создать первый в мире цифровой оптический диск с рельефом на сапфировой подложке. Существенное влияние на процесс считывания информации с сапфирового носителя имеет кристаллографическая ориентация материала подложки. Принцип записи данных на разработанный оптический носитель для долгосрочного хранения данных базируется на технологии создания дисков-оригиналов оптических носителей, в которых формат представления данных полностью соответствует стандартным форматам CD и DVD. Это позволяет для воспроизведения записанных данных использовать существующие проигрыватели оптических дисков с небольшой модернизацией, которая заключается в размещении дополнительной фазовращающей пластинки, расположенной между фокусирующей линзой и носителем информации для компенсации явления двойного лучепреломления в сапфировой подложке [12]. Наибольшие сроки хранения стратегически важной информации, которая необходима для обеспечения информационной безопасности страны, могут быть обеспечены при использовании микрорельефной записи на оптических дисках с сапфировыми подложками.

Заключение. Специальные оптические носители информации могут обеспечить накопление и долгосрочное хранение стратегически важной

информации. Создание оптических носителей долгосрочного хранения данных может основываться на использовании микрорельефной записи информации на сапфировых подложках. Запись данных производится в форматах, используемых при записи информации на компакт-диски. Использование сапфировых оптических дисков позволит организовать долгосрочное хранение электронной документации без применения сложных и дорогостоящих технологических переходов из цифровой формы в аналоговую и обратно, а также повысит защищенность электронной информации от потерь, несанкционированного доступа и внесения изменений.

1. *Polašek O.* Future of biobanks – bigger, longer, and more dimensional // *Croat Med J.* — 2013. — V. 54, №1 — P.496–500.
2. *Буйкин С.В., Брагина Е.Ю., Конева Л.А., Пузырёв В.П.* Базы данных коллекций биологического материала: организация сопроводительной информации // *Бюллетень сибирской медицины.*— 2012.— № 1.— С.111-120.
3. *Гриценко М.О., Полонский О.И., О.І.Піскачев.* Створення страхового фонду документації – одна з складових національної безпеки держави // *Страховий фонд документації.* — 2014 — №1(17). — С.3-10.
4. *Чечуга О.В., Евсеев Е.Е., Завалишин П.Е.* Современные подходы к обеспечению гарантированной безопасности важнейших видов государственных информационных ресурсов // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки.* — 2014. — № 3. — С. 189-196.
5. *Петров В. В., Пузиков В. М., Крючин А. А., Горбов И. В.* Оптические диски для долговременного хранения информации // *Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies.* — 2009. — т. 7, № 3. — С. 825—832.
6. *Lunt B. M.* How Long Is Long-Term Data Storage? Archiving 2011 Final Program and Proceedings P29-33 // [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.imaging.org/site/PDFS/Reporter/Articles/REP26_3_4_ARCH2011_Lunt.pdf – Название с экрана.
7. *Подойницын В.А., Козырев В.М., Пахомова И.В.* Проблемные вопросы архивного хранения аудиовизуальных документов на оптических дисках // *Страховий фонд документації.* – 2014. — №2(17). — С.22-32.
8. *Petrov V. V., Kryuchin, A. A., Gorbov, I. V., Kossko, I. O., Kostyukevych, S. O.,* Analysis of properties of optical carriers after long-term storage // *Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics.*— 2009.—V.12 №4. —P.399-402 .
9. *Zhang J., Gecevičius M., Beresna M. [et al.]* Seemingly Unlimited Lifetime Data Storage in Nanostructured Glass // *Phys. Rev. Let.* – 2014. – Vol. 112, Article ID 033901. – 5 p.
10. *Vries J., Schellenberg D., Abelman L. [et al.]* Towards Gigayear Storage Using a Silicon-Nitride/Tungsten Based Medium // *Arxiv.org.* – 2013. – Article ID arXiv:1310.2961v1. – 19 p.
11. Fahrenheit-2451. Preserve Your Data in a Sapphire Disk: Preserve your most precious memories for thousands of years [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://icrowdnewswire.com/2015/06/30/fahrenheit-2451-preserve-your-data-in-a-sapphire-disk-preserve-your-most-precious-memories-for-thousands-of-years-the-only-storage-medium-that-resists-fire-water-and-time/> – Название с экрана.
12. *Petrov V.V., Semynozhenko V.P., Puzikov V.M., Kryuchyn A.A. et al* Method of aberration compensation in sapphire optical discs for the long term data storage // *Functional Materials.*— 2014.—Vol.21, No. 1.— P.105-111.

Alexander Palagin, Dr.Sci.Tech.,
Institute of Cybernetics by name
V.M.Glushkov, National academy of
sciences of Ukraine
palagin_a@ukr.net

Ontology conception of transdisciplinary scientific research

Keywords: knowledge, subject domain, ontological approach, transdisciplinary (TD) research, unified network of TD- knowledge

Introduction. One of the highest priority directions of modern community development is building a knowledge-oriented society (as a type of stage of information community development), in which most working people are in the line of work related to creation, saving, processing and implementation of information, especially it's (information's) highest form – knowledge. Among other important problems, which are resolved at the current point of societal development, the problem of providing scientifically grounded, effectively presented and complete informational resources is especially worth emphasizing.

Intelligent Computer Systems. The theory and practice of knowledge-based system building and usage is the most important direction of Computer Science, one which is being developed intensively. This direction enables enhancing of the effectiveness of computer technologies building and usage as well as applied systems and development tools.

The given problem is complex because it demands the construction, organizing and usage of the big formal knowledge bases and involving of a range of the scientific theories given above, which are to contribute to solving of the knowledge extraction problem, the formal representation problem, the problem of processing and system integration by providing the conceptual and methodological basis of the TD-research theory.

The building of ontology-driven Intelligent Computer Systems ICS for this type of research is closely linked with the theoretical foundations and methodology of design development, which include the fundamental principles of generalized system architecture and structure, the formal model and the methodology for subject domain (SD)-ontology designing as a whole, generalized algorithms for procedure of knowledge processing etc. In turn every listed component of generalized methodology of design is tied into complex research-applied problem solving.

For example, the development of SD-ontology determines the conceptualization of ontological categories, hierarchical structures of entities development and improvement at all levels, building of the formal system of axioms and limitations. The complex solution of the given design tasks is obviously to increase the role of ontological knowledge while solving the particular problems in applied fields [2].

Transdisciplinary Research. *Transdisciplinary research* integrates the essential basics of separate disciplines and corresponding technologies, creating *clusters* of their *convergence* on the basis of their high-powered mutual synergistic influence, and above all else appeals to the holistic picture of the world (in all its diversity) [3, 4], the creation

of which has become the highest priority direction of world scientific development.

One of the main tasks of TD-research is providing efficient TD-cooperation during all stages of the life cycle, solving the fundamental and applied scientific problems based on their comprehensive methodological support, integration process support, convergence and unified formal knowledge representation of TD-knowledge processes ensuring it's effective computer processing.

Thus, the building of transdisciplinary interaction systemology as a standalone area of knowledge has gained extreme import; this sphere is directed towards discovery of new patterns as the result of system integration of existing scientific theories, forming of new concepts, categories and scientific theories, which enlarge the range of transdisciplinarity in the direction of the global integrated knowledge system and provide on the one hand the solution to the current scientific and technical tasks, and on the other hand the development of the knowledge system itself [4].

The implementation of the TD-research conception. The implementation of the transdisciplinary conception provides for a range of scientific research and research-related projects aimed at the development of the following [5]:

- the systemology of transdisciplinary interaction;
- the TD-research process control systems (subsystems of monitoring, knowledge management, scientific and technical program management);
- tools and systems of formal knowledge representation, methods for their processing, saving, integration and service support;
- problem-oriented systems, including automated *workstations* for scientific researchers at all rank;
- knowledge saving and intellectual property support systems;
- applied systems of varied purposes (science, economy, sectors of the economy management, creating of scientific and innovation centers and virtual organizations, medical and economic monitoring, e-courses , personalized knowledge bases of researchers etc.)

All of the developments listed appear to be focused in one way or another on the solving of the global task – creation of the UNTK. It was prepared by modern Internet in the form of the Semantic Web.

The Network of Transdisciplinary Knowledge. The modern tools of information technologies with text processing, semantic analysis and generalization of semantic content greatly enable automation of the SD-knowledge description process. Every such description is represented by the following type of link "ontology – formal scientific theory presentation – applied system". Thus the architecture of the UNTK can be represented by Figure 1.

$O_1 - O_n$ – the ontology of SD;

$T_1 - T_n$ – formal scientific theory presentation;

$AS_1 - AS_n$ – corresponding applied systems;

UNTK – the Unified Network of Transdisciplinary Knowledge.

The role of category-level ontology is to provide the interdisciplinary cooperation on the general language principle level. The role of the SD-ontology (excepting the traditional functions of scientific theory conceptualization and specification) is to realize the ontological control on the ICS or SNTK-level.

The UNTK does not exist physically at the moment, it is, in fact, a superstructure above the existing Web which, in turn, keeps evolving in the Semantic Web direction.

The Ontological Approach to TD-Research Conception Implementation. The ontological approach to information processing and knowledge representation was developed as an attempt to create the single standard of knowledge formalization in different fields of study [4].

The basic ontological principles are given below:

1. The application of ontological approach to terminology superstructure building of knowledge system of SD;
2. The automation of knowledge extraction processes in the concept form, their ontological structuring and construction of SD-ontology. In the process methodology of automated design of the ontology of the SD (provided in [2]) is used;
3. The transition from "syntax" knowledge representation given by the classical explanatory dictionaries to their "semantic" and ontological representation;

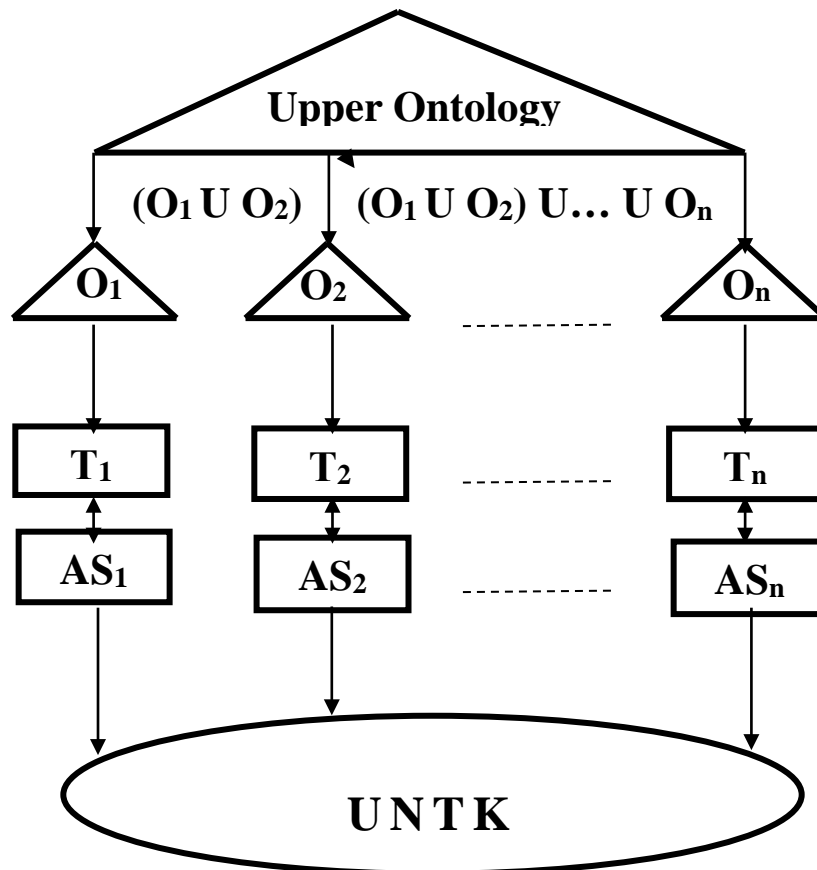


Fig.1. The Architecture of the Unified Network of Transdisciplinary Knowledge

4. The implementation of computer component ontological model, which enables the building of generally important knowledge representation of SD.

5. The system integration of ontologies of different SD to support complex research.

The ontological method development has made it possible to create the efficient

tools for ICS – building, and most importantly, the technological basis for transdisciplinary interaction and ontological engineering systemology as a part of modern Artificial Intelligence theory.

The ontological approach gives the user the whole systemic view of the field of study or the cluster of SDs, which make up the complex project. The ontological knowledge models enable the building of classes, objects, functional procedures and, finally, the formal theories; and the ontological technologies guarantee the scientific research and corporate information-analytical system building, starting with multivariate analysis of initial information resources and ending with collective decision-making and knowledge management systems.

The specific part of the modern stage of science development is the fact that the process of scientific world view and UNTK still falls behind the complex system transdisciplinary project demands both in TD-research progress management terms (support for all stages of life cycle of the scientific research (*SR*)) and in knowledge management (procedures of knowledge formalization, generalization, actualization and assessment).

There is a lack of efficient methods of knowledge integration for different subject areas. In spite of this, the process of clustering (forming of convergence clusters) of scientific disciplines and technologies, which are united by joint development objectives, impact factors and feedbacks, has began and is continued presently (the well-known NBIC-cluster (nano - bio - information science - cognitive science) [3,4]).

This process is accompanied by forming of new scientific theories and disciplines and it appeals to the canonical form of concept definitions that allows creation of new concepts by performing the logic operations on the concepts (and in parallel with their definitions).

The definition of the main part of a concept looks like the process of assignment of the conditional concept of species to the closest concept of genus, this process is based on genus-creating features (significant and distinctive): $X_{ij} = A_j X_i$, де X_i і X_{ij} – genus (decisive) and species (conditional) concepts, A_j – set of species features.

The genus-species definition is the biggest representative, but not the only one. There are other sorts of definitions: genetic, operational, axiomatic, contextual, inductive ones and others. Let us point out that the correctness of concept definition directly influences the quality of knowledge and therefore the completeness of the description of the subject areas and scientific theories. The forming the of hierarchy of basic categories (categorical stratification) plays the main role in TD-knowledge systems, because it is a system-building hierarchy.

Today there exists a number of onto-editors and onto-languages for traditional ontological approach to description of SDs or clusters compiled of them. The most widespread one is OWL (Ontological Web Language), which is the formal language for representation of ontological knowledge and using which it is possible to describe the onto-graph of SD-ontology.

The Standard of E-Representation of Scientific Research (SR) Results. One of the main stages of SR performance is the stage of efficient result generalization and representation. It's main goal is building the formal knowledge system, that on the one hand forms the structure of the problem scientific theory and provides the effective implementation of SRW-results on the other; i.e. the implementation of the chosen innovation-strategy. Such a wide integral representation of SRW-results is to make them

more available to the potential users. It makes sense to use a single standard for e-representation of knowledge gained as a result of SRW.

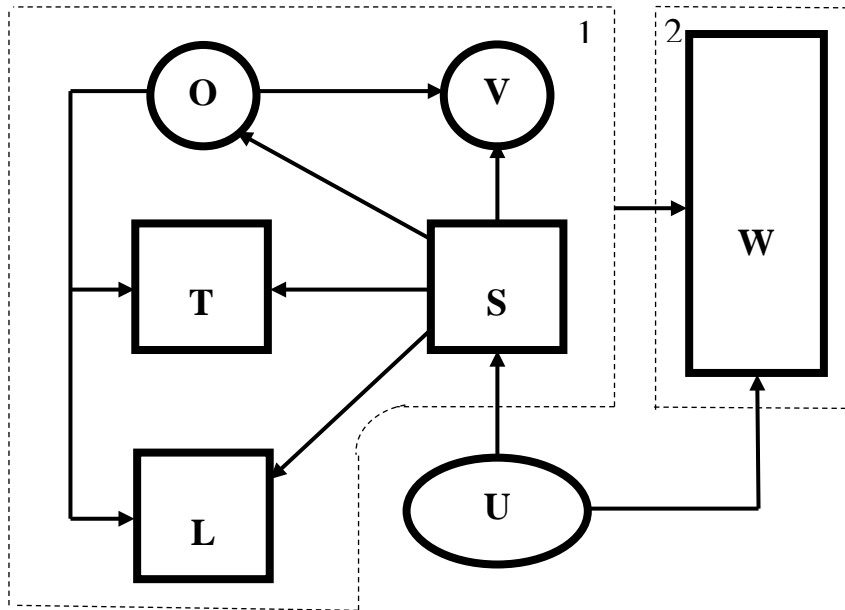


Fig.2. The standard of e-representation of SRW-results

A version of such a standard is presented in fig.2, where: O – the ontological description of SD (ontograph, thesaurus of terms, the system of logic conclusion); V – figured component of ontological description (3D graphics, multimedia presentation of the surrounding reality objects); T – the SD representation on formal theory level; L – the full linguistic corpus, which represents the SD; S – subsystem of service-oriented architecture, the set of services which are provided to the users (taking into account the user's type); W – corporate Web-portal with a certain number of services; U – the user; 1 and 2 – subsystem of e-representation of knowledge.

The fig.2 shows that the e-representation of SRW-results is an open information system in terms of IEE POSIX 1003.0 with open interface specifications and functions of extensibility, scalability, interoperability and portability of applications (from one computer system to another).

The development of the specified standard of representation of SRW results is an important step in e-Science paradigm development direction, where knowledge is represented explicitly using a constructive unified form, ready for specific solving of applied tasks, and the process of scientific research demands the collective effort of a number of teams of scientists with shared resources among them and the intensification of the processes of exchange of scientific results, when traditional approaches can not effectively support these processes and the corresponding information volumes.

Such union of resources and effective support on the main information infrastructure level on the scale the field of science (including the academic field) leads to the opening of job positions for researchers connected via the local and global networks and supported on the level of communication environment as well as personal workstation.

The Ontological Paradigm. Today the computer ontologies are a quickly growing section of both theoretical and applied computer science. The relevance of this direction of research is made clear by these two main circumstances.

The first one concerns the fact that computer ontology technologies are at the same time the result of knowledge-engineering development as well as the tool of knowledge-engineering, meaning that they serve as the tool for scientific theory conceptualization as well as field of study database specification and formalization; all the while executing the functions of classification, structuring, sorting and integrating and serving as a tool for knowledge usage.

The second circumstance is connected with the functions of ontology in modern knowledge space. It concerns the building of an effective mechanism for an information search using the information relevant to the user's request based on the user's primary knowledge system of the relevant field of study and on the adequate reflection of the object of his interest by using the structured semantic models, which connect the basic concepts with order-relations (genus – species, class – subclass, part – whole, object – property etc.), steady constructions organized using the more complex way of getting Internet requests and forming of the answers with "well" defined semantics as well as semantic marking of resources.

The general objective of ontology is to compensate for the absence of knowledge representation standards during the user's interaction with information systems and of the latter between each other.

The ontology of the real ontology-driven ICS in a general case contains three hierarchically linked components: meta-ontology, which deals with common concepts (in a broader case it is a language-ontological world view), domain ontology and the ontology of implementations.

The System-Ontological Approach. Provided below are the common principles of building of ontology models with the goal of their practical application [2].

The system approach to knowledge points the analyst towards any SD from the viewpoint of the regularity of system as a whole and the interaction between its sections. The knowledge consistency comes from the multi-level hierarchical organization of any essence, it means that all of the objects, processes and effects could be considered a number of smaller subsets (features, details) and, conversely, any object can (and should) be considered part of higher grade classes of generalizations.

The one of the main ideas behind the system-ontological approach is to develop the ontological tool to support solving of applied tasks – the multifunctional ontological system (OnS).

It is a well-known fact that the ontological approach does not have any limitations and every expert can understand this approach in accordance with his professional views. Except for one – it is necessary to represent the ontology model of the SD in an explicit form and to substantiate the necessity of using this particular model, which meets the requirements of the specific use.

Let's look at the provided computer model of SD-ontology, having paid especial attention to the distinctive features of such an ontology compared to the generally accepted ontological model.

In a general case, the ontological model of a SD is described by the ordered triple [2]:

$$O = \langle X, R, F \rangle ,$$

where – finite sets of concepts, semantic relations between the concepts and the functions of concept and/or relations interpretation.

Conclusion. The computer ontology is a formal expression of conceptual knowledge concerning the SD and its importance can be compared to the intellectual knowledge base of the computer system.

Only the formal (computer) ontology the SD allows the realization of all the functions listed above and the realization of knowledge-oriented information systems with ontology-driven architecture [6].

1. Palagin A. V., Petrenko N. G., Gabibulin I. A. // *Knowledge Engineering Explanatory Dictionary* // – Kiev: Stal, 2014. – 291p.
2. Palagin A. V., Kriviy S.L., Petrenko N. G. // *Ontological Methods and Tools for Field of Subject Knowledge Processing* // – [Monograph] – Lugansk : The V. Dal P.H. of the HEU, 2012. – 323p.
3. Palagin A. V. // *Transdisciplinarity, Computer Science and the Development of Modern Civilization* // *Visnyk of NAS of Ukraine*– 2014. – №7. – P.25–33.
4. Palagin A. V. // *The Problem of Transdisciplinarity and the Role of Computer Science* // *Cybernetics and Systems Analysis* – 2013. – №5. – P.3–13.
5. Kurgaev O.P., Palagin A. V. // *On the Subject of Information Support for Scientific Research* // *Visnyk of NAS of Ukraine*– 2015. – №8. – P.33–48.
6. Palagin A. V., Yakovlev Y. S. // *System Integration of Means of Computer Technology* // Vinnitsa: "UNIVERSUM-Vinnitsa", 2005. – 680p.

Oliver Sawodny,
Institute for System Dynamics, ,
(University of Stuttgart, 70550 Stuttgart, Germany,
<https://www.uni-ulm.de/en/einrichtungen/kiz.html>)

Model-Based Optimization methods for operational strategies and layout optimization at the example of Hybrid Energy Systems

Abstract

Model-based Optimization strategies can be efficiently used for deriving operational strategies or the layout of a complex dynamical system. At the example of hybrid energy systems consisting of PV-modules, batteries and diesel generators to serve an off-grid isolated energy system, the model-based approach is demonstrated. After deriving suitable dynamic models by DDP-optimization operational strategies for the hybrid energy systems are discussed considering the nonlinearities and the on-off control characteristics of the Diesel generators. In the next step the optimal design problem with a specific load demand is addressed.

**Volodymyr Kushnarenko,
Jürgen Salk,
Christian Mosch,
Karsten Siegmund,
Matthias Neuer,
Stefan Kombrink,
Thomas Nau,
Stefan Wesner**

Communication and Information Center (kiz),
(Ulm University, Germany
<https://www.uni-ulm.de/en/einrichtungen/kiz.html>)

Computational chemistry optimized cluster JUSTUS. Problem oriented approach and architecture

Abstract

I/O subsystem performance is becoming increasingly important for a wide range of applications. It provides new challenges to use problem oriented approach to specify a computer system for the certain application types. The first part of this talk is on the background and architecture of the specifically designed to support the computational chemistry applications computing system JUSTUS and on the role of the cluster in the Baden-Wuerttemberg's high performance computing concept (bwHPC). The major focus of the second part is on discussing how the challenge of very fast local I/O requirements of applications in particular in quantum chemistry has been addressed so far. Several choices have been considered ranging from open source and commercial tools for using the local SSDs as cache for the network connected storage as well as concatenated file systems. The talk concludes with results for the different options and future challenges to be addressed in this context.

Keywords: problem oriented approach, computational chemistry, multi-tiered storage, I/O access patterns, block-device cache, logical volume concatenation

Masha Sosonkina
Gary Lawson
Vaibhav Sundriyal
Yuzhong Shen

Old Dominion University,
(1300 Engineering & Computational Sciences Bldg., Norfolk, Virginia, 23529, USA
email: {msosonki, glaws003, vsundriy, yshen}@odu.edu)

Energy Modeling for CoMD Offloaded to Intel Xeon Phi

Accelerators are adopted to increase performance, reduce time-to-solution, and minimize energy-to-solution. However, employing them efficiently, given system and application characteristics, is often a daunting task. A goal of this work is to propose a general model that predicts performance and power requirements for an application, computational portions of which are offloaded to an accelerator. Intel Xeon Phi is the only accelerator type investigated here, and only in offload execution mode. This mode is also employed by other accelerator types, such as GPU; thus the proposed model is applicable directly. The predictive capabilities of the model are demonstrated by determining the best hardware-software configuration instances with respect to the minimum energy consumption for the CoMD proxy application executed on single or multiple nodes. For the CoMD problem sizes investigated here, the best modeled configuration was relatively close to the best measured configuration with relative error under 5% of the energy consumed for most configurations. Initial model validation also confirmed the model accuracy for a variety of model parameters, such as host computation time and power consumption on the host and accelerator. The model also provides estimates of the total data movement and computational throughput as well as of some key metrics, such as FLOPs-per-joule and bytes-per-joule, which are commonly used to study the energy-performance trade-offs.

Keywords: Accelerator, power consumption, computation time

1. Introduction. Hardware-software co-design is a process currently accelerating as high performance computing nears the exascale era. Important problems, such as power capping and fault tolerance, may find solutions only by joining forces at the hardware and software/application levels while maximizing performance and minimizing energy-to-solution. Computational throughput is the most obvious performance metric to measure. However, as the exascale era nears, moving data among nodes and individual devices will become an ever increasing bottleneck, and therefore, it is another critical performance metric to measure.

Accelerators are often adopted to reduce time-to-solution with low energy costs. The Intel Xeon Phi is an accelerator that promotes high memory bandwidth (i.e. data movement) in addition to high computational throughput. From the work of Choi *et. al* [2], the Xeon Phi is capable of 11 GFLOPs/J and 880 MB/J for single-precision operations (measured throughput of 2 TFLOPs/s and 180 GB/s memory bandwidth). Double-precision has a measured maximum throughput of 1 TFLOPs/s, and therefore capable of 5.5 GFLOPs/J. The Xeon Phi co-processor also supports three execution modes: offload, symmetric, and native (i.e., device-only). Only offload execution is investigated in this work because it is the execution mode commonly used by other accelerator types (i.e., GPU, FPGA).

Together with the main processor and memory, accelerators constitute a heterogeneous system having a different type of hardware architecture. In a heterogeneous architecture, for each individual device¹, there are several configurable parameters affecting execution performance. In a multi-node environment, even more parameters may be tuned. At the

¹ The term “device” refers to either host or accelerator architecture.

same time, applications typically have a set of parameters pertaining to execution performance, which may be varied. Hence, exploring the configuration space for every possible combination of application-architecture parameters is not feasible, especially if one wants to optimize the performance “on-demand”, i.e., for a specific application configuration on an available set of devices/nodes. In this work, a model is proposed to estimate the effect of a given system configuration on distributed application execution time and energy consumption in the offload mode, and to extrapolate this prediction for more system configurations. A major objective is to explore the configuration space and determine a “best” configuration, based on some criteria, such as energy consumed, execution time, and data movement.

2. Model Description. A single-node heterogeneous architecture is composed of one multi-core host architecture and one or more multi-core accelerator architectures (A_i , $i = 1; 2; \dots ; n_{acc}$), where n_{acc} is the number of accelerators. Note that such an architecture may contain accelerators of different types (e.g., Xeon Phi and GPU). Each accelerator is connected to the host and one another by the PCI bus, contains a two-level memory hierarchy (with slow and fast memories), and is a many-core processing unit. It is also assumed that the slow and fast memories are infinite and finite capacities, respectively, and that data must be moved between memories and processor (called resources) during application execution.

The parallel application is assumed to employ a domain-decomposition scheme [8], which is defined here as the division of a problem into sub-problems (called sub-domains) that are distributed among devices. Sub-domains may be computed in parallel, and may also require sharing data with neighboring sub-domains to solve the problem globally. It is assumed that data communication phase may not overlap computation phase. When executing an application, the total number of sub-domains is dependent both on the application and system configuration.

The distribution of sub-domains among resources is dependent on the execution mode: device, offload, or symmetric. For execution exclusively on the device, all work and data movement use only the resources of that particular device. For symmetric execution, sub-domains are distributed among the hosts and accelerators, serving as peers. For offload, on the other hand, the computations are performed either on the host or accelerators, such that one host sub-domain is shared with one accelerator only. In other words, each sub-domain resides on the host while portions of its computational phase and data are copied to the accelerator for processing and the result returned to the host. It is assumed that host and accelerator computations do not overlap, i.e., one is idle while the other computes. The communications among sub-domain performed only by the host(s) while leaving the corresponding accelerators idle.

Certain accelerator types, such as Intel Xeon Phi, have all three execution modes whereas others, such as GPUs, do not have symmetric or native modes. Note that only the offload mode, which is the most common way to employ accelerators, is investigated in this work. Although, for the offload execution, the number of sub-domains off-loaded to the accelerator may be fewer or equal to the total number of sub-domains, this work considers only the latter case.

Execution Time. The execution of an application that employs domain-decomposition may be described as having the following four phases: initialize, compute, communicate, and output. The initialization phase sets up a problem to be solved, and the output phase relays important statistics and output upon completion. Solving each sub-problem requires an iterative pattern of computation and communication phases until a global solution is achieved. Note that the initialization and output phases are not modeled here because they are expected to affect little the overall performance for large-scale problems with multiple nodes. Modeling the influence on energy of peripheral sources, such as hard-drive and cooling, is also beyond the scope of this work.

The total computation time is limited by the slowest time required to solve a sub-domain for a given execution mode. It is equivalent to being limited by the total time of a particular execution mode. Computation may be simply defined by the slowest execution mode because sub-domains of similar execution modes will require relatively the same time to solve; however sub-domains of differing execution modes may be vastly different, depending on load balance and the implementation. For the model, all sub-domains of similar execution modes are equivalent considering each would be modeled using the same parameters.

Total communication is limited by the slowest transfer between sub-domains, and it may be simply limited by the slowest communication type. For offload execution, there are two communication types to consider: transfers between sub-domains on the same node (called intra-node), and transfers between sub-domains on differing nodes (called inter-node). These two communication types may overlap. For configurations executed on one node, the intra-node communication model is used; and for multiple nodes the inter-node communication model is used.

Throughput. The time τ_W to perform unit of work is computed by taking the inverse of throughput. The definition of throughput is generally the total number of cores performing work times the frequency per core. However, for devices, such as the Xeon Phi, throughput also depends on characteristics such as vectorization intensity [1] and operations per cycle:

$$\tau_W = (n_{core} \cdot n_{ops} \cdot VI \cdot f)^{-1} \quad (1)$$

where number of cores n_{core} includes only those used in the computation, f is the device frequency, the number of operations per cycle n_{ops} is a value between one and two representing an average of single and fused multiply-add operations performed, and VI is the vectorization intensity, which is a measure of the number of SIMD instructions issued. For the Intel Xeon Phi, VI may be a value between one and eight for double-precision floating-point operations². Note that eq:thru is applicable to all the Intel devices based on the Sandy-Bridge or newer microarchitectures.

² Single-precision operations are not investigated in this work.

2.1 Power. The total power draw P for the system is the sum of the power draw for each device; the total number of devices is n_{dev} , and power is defined as:

$$P = \sum^{n_{dev}} (P_{dev}) \quad (2)$$

Device power is defined as static and dynamic power; however dynamic power may fluctuate during execution depending on whether the device is idle or active. A device is considered active if performing computation, and otherwise is idle (that is to include all communications). Device power may be defined using the weighted sum of the power draw for each execution state:

$$P_{dev} = P_{active} \cdot \frac{T_{active}}{T} + P_{idle} \cdot \frac{T_{idle}}{T} \quad (3)$$

where the total execution time $T = T_{active} + T_{idle}$ and

$$P_{state} = P_{static} + \rho \cdot n_{core} \cdot f^3 \quad (4)$$

is the power draw for a given state and depends on the static power draw P_{static} , a power constant ρ , the number of cores for the device n_{core} , and the state frequency f (see, e.g., [19] and the references therein). Energies are obtained from the power equations and execution time modeling.

3.1 Overview of CoMD. CoMD is a proxy application developed as part of the Department of Energy co-design research effort [6] Extreme Materials at Extreme Scale [7] (ExMatEx) center. CoMD is a compute-intensive application where approximately 85–90% of the execution time is spent computing forces. Although two methods are available for the force computation, this work focuses only on the more complex and accurate EAM force kernel for short-range material response simulations, such as uncharged metallic materials [17]. EAM was chosen here because its parallel performance generally receives less attention than the more commonly used Lennard-Jones potential, which easily yields itself to parallelism.

As in the authors previous work [12], the three compute loops in the EAM force kernel have been targeted for offload. Offloading the position and velocity functions slowed execution due to additional data transfer requirements. The time to move data and process it on the Xeon Phi was larger than the time to process data on the host. In addition to offload statements, 64-byte alignment, conversion from multi-dimension to one-dimensional arrays and from array of structures to structure of arrays, SSE3 instructions have been enforced during compilation [5], and utilization of the 2 MB buffers available through the environment variable [10] has been implemented.

The maximum number of atoms per cell has been changed to 16 from the default 64 for all the experiments per authors' earlier finding [12] that the smaller atom count leads to superior performance. CoMD problem size is expressed as the number of atoms along an axis of the material cube, where each axis is equivalent. For example, a problem size of 50 equates to $4 \times 50^3 = 500,000$ atoms.

At this initial stage, the proposed models have been validated only on this large-scale application. Future work will include a diverse set of applications including memory-intensive ones, such as large sparse linear-system and eigenvalue-problem solutions.

3.2 Configurations Tested. The measured energy is averaged over five runs for each experiment. For the Borges system, only two configurations are investigated, termed *MIC 1* and *MIC 2*, corresponding to employing only one or both Xeon Phi devices³, respectively. On Bolt, six configurations are investigated, termed *N1 MIC 1*, *N1 MIC 2*, *N2 MIC 1*, *N2 MIC 2*, *N3 MIC 1*, and *N3 MIC 2*, where *N1*, *N2*, and *N3* correspond to one, two, and three nodes used to run CoMD⁴. For each configuration, the host frequency, number of Xeon Phi (MIC) threads, and model problem size were varied as follows:

- All ten power states were considered on Borges (from 1.2 to 2.001 GHz with the 100-MHz stepping). On Bolt, only were seven (3.201, 3.2, 2.8, 2.3, 1.9, 1.5, and 1.2 GHz) out of sixteen possible states (from 1.2 to 3.201 GHz with variable stepping) chosen to make the number of measured configuration instances manageable while still having enough data to fit the models.
- Seven MIC-thread values ranging from 120 to 236 (four threads per core) were taken to execute CoMD. Note, that, since one core is always occupied by four threads dedicated to operating system tasks, such as servicing the offload daemon and to avoid thread oversubscription, the maximum of 236 application threads is reasonable to use on the 60-core Xeon Phi considered here.
- Although problem sizes of 50, 60, 70, and 80 are explored to observe the computational intensity of CoMD for given platforms in this work, all the results presented here are for the problem size of 50 only. Executions with the other problem sizes exhibited similar behavior but took significantly longer to complete.

The *compact* thread affinity and thread-level granularity were used on accelerator devices since they were found to perform better in the authors’ previous work [11, 12].

4 Validation. The relative error between the measured energy $E_{measured}$ and $E_{modeled}$ is calculated as:

$$100(E_{modeled} - E_{measured}) / E_{measured} \quad (5)$$

Examples of error quantification are featured in Fig.1,2 for Borges and Bolt systems, respectively, where each configuration is considered for all the chosen MIC-thread and host-frequency values. For Borges—as seen in Fig.1—the majority of configuration instances are modeled with no more than 5% of error. Note that only does *MIC 1* at the frequency of 2.001 and lower MIC-thread values appear outside the 5% error range but is still confined within the 10% threshold. In Fig.2, the relative error is also confined in the

³ *MIC* stands for “many-integrate cores” technology used in Intel Xeon Phi.

⁴ Only three nodes of Bolt are outfitted with two Xeon Phi devices.

10% interval with the *MIC 1* configurations showing a slightly better prediction accuracy, in general.

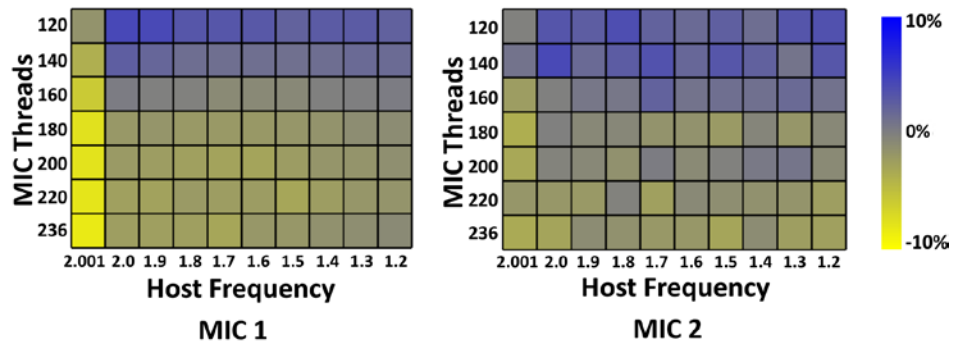


Figure 1: Relative energy-model error per Eq.(5) on Borges.

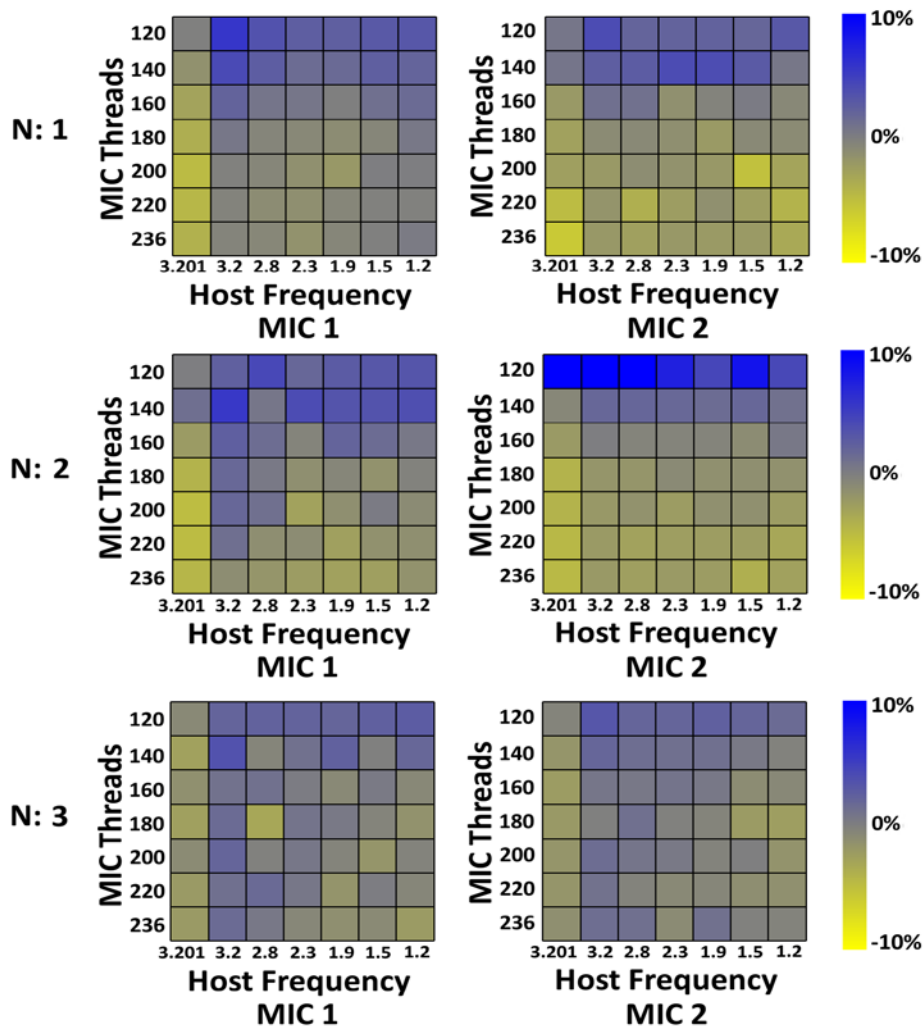


Figure 2: Relative energy-model error per Eq. (5) on Bolt.

5 Conclusion. To promote software-hardware co-design and co-development, this work proposes a model for predicting energy and power consumption in applications offloaded to Intel Xeon Phi accelerators in single- and multi-node architectures. The model uses widely-used performance metrics, such as data movement and computational throughput, to estimate execution time and relies on static and dynamic power estimates to calculate the total power draw on each participating device. In particular, the proposed model may be used to access the power-capping affects for a given application.

The model has been preliminary validated for the CoMD proxy application, and the relative error between the modeled and measured energy was generally within 5%, and always no more than 10%. By analyzing the maximum power draw and execution time predicted by the model, it has been determined that using hardware configuration featuring more than one accelerator in compute-intensive applications, such as CoMD, is beneficial both in terms of time-to-solution and reduction of the maximum power consumption for single-node configurations at this problem size. For multi-node configurations, one Xeon Phi per node is suggested as using more than two wastes energy.

Acknowledgments. This work was supported in part by the Air Force Office of Scientific Research under the AFOSR award FA9550-12-1-0476, by the National Science Foundation grants 0904782, 1047772, 1516096, by the U.S. Department of Energy, Office of Advanced Scientific Computing Research, through the Ames Laboratory, operated by Iowa State University under contract No. DE-AC02-07CH11358, and by the U.S. Department of Defense High Performance Computing Modernization Program, through a HASI grant.

1. *S. Cepeda.* Optimization and performance tuning for Intel Xeon Phi coprocessors, part 2: Understanding and using hardware events, 2012. <https://software.intel.com/en-us/articles/>.
2. *J. Choi, M. Mukhan, X. Liu, and R. Vudue.* Algorithmic time, energy, and power on candidate HPC compute building blocks. In 2014 IEEE 28th International Symposium on Parallel Distributed Processing (IPDPS), Arizona, USA, May 2014.
3. *J. W. Choi, D. Bedard, R. Fowler, and R. Vuduc.* A roofline model of energy. In Parallel Distributed Processing (IPDPS), 2013 IEEE 27th International Symposium on, pages 661–672, May 2013.
4. *K. Choi, R. Soma, and M. Pedram.* Fine-grained dynamic voltage and frequency scaling for precise energy and performance tradeoff based on the ratio of off-chip access to on-chip computation times. *Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, IEEE Transactions on, Jan 2005.
5. *M. Corden.* How to compile for Intel AVX, 2012. <https://software.intel.com/en-us/articles/how-to-compile-for-intel-avx>.
6. *DOE.* Co-design, 2013. <http://science.energy.gov/ascr/research/scidac/co-design/>.
7. *ExMatEx.* CoMD proxy application, 2012. <http://www.exmatex.org/comd.html>.
8. *R. Hayashi and S. Horiguchi.* Domain decomposition scheme for parallel molecular dynamics simulation. In *High Performance Computing on the Information Superhighway*, 1997. HPC Asia '97, pages 595–600, Apr 1997.
9. *ICL:UT.* Performance application programming interface PAPI, 2015. <http://icl.cs.utk.edu/papi/>.
10. *Intel.* How to use huge pages to improve application performance on pIntel Xeon Phi coprocessor, 2012. https://software.intel.com/sites/default/files/Large_pages_mic_0.pdf.
11. *G. Lawson, M. Sosonkina, and Yuzhong S.* Energy evaluation for applications with different thread affinities on the Intel Xeon Phi. In *Computer Architecture and High Performance Computing Workshop (SBAC-PADW)*, 2014 International Symposium on, Oct 2014.
12. *G. Lawson, M. Sosonkina, and Y. Shen.* Performance and energy evaluation of CoMD on Intel Xeon Phi co-processors. In *Proceedings of the 1st International Workshop on Hardware-Software Co-Design for High Performance Computing, Co-HPC '14*, Piscataway, NJ, USA, 2014. IEEE Press.

- <http://dx.doi.org/10.1109/Co-HPC.2014.12>.
13. *G. Lawson, M. Sosonkina, and Y. Shen*. Changing CPU frequency in CoMD proxy application offloaded to Intel Xeon Phi co-processors. *Procedia Computer Science*, 51(0):100 – 109, 2015. International Conference On Computational Science, ICCS 2015.
 14. *G. Lawson, M. Sosonkina, and Y. Shen*. Towards modeling energy consumption of Xeon Phi. *CoRR*, abs/1505.06539, 2015. <http://arxiv.org/abs/1505.06539>.
 15. *G. Lawson, V. Sundriyal, M. Sosonkina, and Y. Shen*. Experimentation procedure for offloaded mini-apps executed on cluster architectures with Xeon Phi accelerators, 2015. <http://arxiv.org/abs/1509.02135>.
 16. *B. Li, H. Chang, S. L. Song, C. Su, T. Meyer, J. Mooring, and K. Cameron*. The power-performance tradeoffs of the Intel Xeon Phi on HPC applications, 2014. <http://scapec.cs.vt.edu/wp-content/uploads/2014/06/lsp14-Li.pdf>.
 17. *J. Mohd-Yusof, S. Swaminarayan, and T. C. Germann*. Co-design for molecular dynamics: An exascale proxy application, 2013. http://www.lanl.gov/orgs/adts/publications/science/_highlights/_2013/docs/Pg88_89.pdf.
 18. *Y. S. Shao and D. Brooks*. Energy characterization and instruction-level energy model of Intel’s Xeon Phi processor, 2013. <http://www.eecs.harvard.edu/~shao/papers/shao2013-islped.pdf>.
 19. *V. Sundriyal and M. Sosonkina*. Analytical modeling of the CPU frequency to minimize energy consumption in parallel applications. Submitted for publication to: Elsevier, 2015.
 20. *S. Williams, A. Waterman, and D. Patterson*. Roofline: An insightful visual performance model for multicore architectures. *Commun. ACM*, 52(4):65–76, April 2009. <http://doi.acm.org/10.1145/1498765.1498785>.

V.A. Svyatnyy¹⁾, Prof.
M. Resch²⁾, Dr.Sci.Tech
O.A. Zolotukhina¹⁾

¹⁾ Donezker Nationale Technische Universität,
(Shybankov Platz, 2, 85300 Krasnoarmijsk, Ukraine
email: vsvjatnyj@gmail.com)

²⁾ Höchstleistungsrechenzentrum
(Stuttgart, Nobelstr. 19, 70569 Stuttgart, Deutschland
email: resch@hlrs.de)

Blockorientierte Simulationssprache der parallelen Simulationstechnik

Das Forschungsgebiet der parallelen Simulationstechnik wird im Rahmen einer langjährigen Kooperation von Informatikern und Simulationstechnikern der Donezker Nationalen Technischen Universität und der Universität Stuttgart untersucht. Im Mittelpunkt steht dabei die Entwicklung einer leistungsfähigen und benutzerfreundlichen parallelen Simulationsumgebung mit der vollfunktionellen Modellierungs- und Simulationssoftware. In dem Beitrag wird ein Konzept der parallelen blockorientierten Simulationssprache vorgestellt.

Keywords: Simulationssprache, parallelen Simulationstechnik

1. Motivation Die Benutzerfreundlichkeit der parallelen Rechnersysteme ist in ersten Reihe mit den vorhandenen Programmiermodelle und Mitteln für Realisierung der parallelen Lösungsalgorithmen verbunden. Die Systeme der 90-zigen Jahren verfügten über parallele SIMD- und MIMD-Programmiersprachen, die aufgrund von Fortran, C, C++, Modula-2 u. a. Sprachen gebaut wurden [1, 2]. Intensive Entwicklung der MIMD-Systeme und objektorientierten Ansätze hat die Standardisierung der Technologien der parallelen und verteilten Programmierung stimuliert. So wurde ANSI, ISO C++-Standard mit den MPI-, PVM- und Pthreads-Bibliotheken eingeführt. Trotz gewisse Fortschritt soll Gegenstandsbereichsexperte (Modellentwickler) heute wie früher mit der Programmiersprache die parallelen Modelle realisieren und damit auf dem Niveau der ehemaligen konventionellen Simulationssysteme der zweiten und dritten Generation [2] bleiben. Diese Tatsache beschränkt wesentlich eine Nutzung der parallelen Ressourcen von Fachleute, die mit den block- (BO), gleichungs- (GO) und objektorientierten (OO) Simulationssprachen [2, 3] dynamische Systeme modellieren und simulieren. Um VPSU zu den Simulationsmitteln etwa der fünften Generation [2] zu nähern, sollen wir die parallele Simulationssoftware in Richtung parallelen Simulationssprachen weiter zu entwickeln. Diese Sprachen sollen eindeutige Verbindung zwischen den Gegenstandsgebiete der verfahrenstechnischen Ebene und der formalen Beschreibung von dynamischen Systemen (Abb.1) mit Hilfe der Modellspezifikation benutzerfreundlich widerspiegeln und in den lauffähigen parallelen Simulatoren umwandeln. Analyse zeigt, dass die VTF-, SAS- und DNO-Topologien allgemein in der Graphendarstellung umgewandelt werden können. Die entwickelten und experimentell untersuchten Paare „Topologieanalysatoren - Gleichungsgeneratoren“ geben die Simulationsmodelle, die direkte Anwendung der BO- und GO-Prinzipien der Gleichungslösung erlauben, ohne die diskreten Simulationsmodelle zu generieren. Hier wird das Entwicklungskonzept für parallele BO-Simulationssprache vorgeschlagen.

2. BO-Lösungsprinzip und die MIMD-Parallelität. Hauptkomponente der blockorientierten Simulationssprache ist ein Funktionsblock (Abb. 2), der

programmtechnisch realisiert wird. Block beinhaltet n Eingänge, einziger Ausgang und n Stellen für Einführung der Koeffizienten. Ausgangsvariable wird als Ergebnis der Operation

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n, a_1, a_2, \dots, a_n, t) \quad (1)$$

dargestellt. Für die Lösung der gewöhnlichen Differentialgleichungssysteme ist folgende

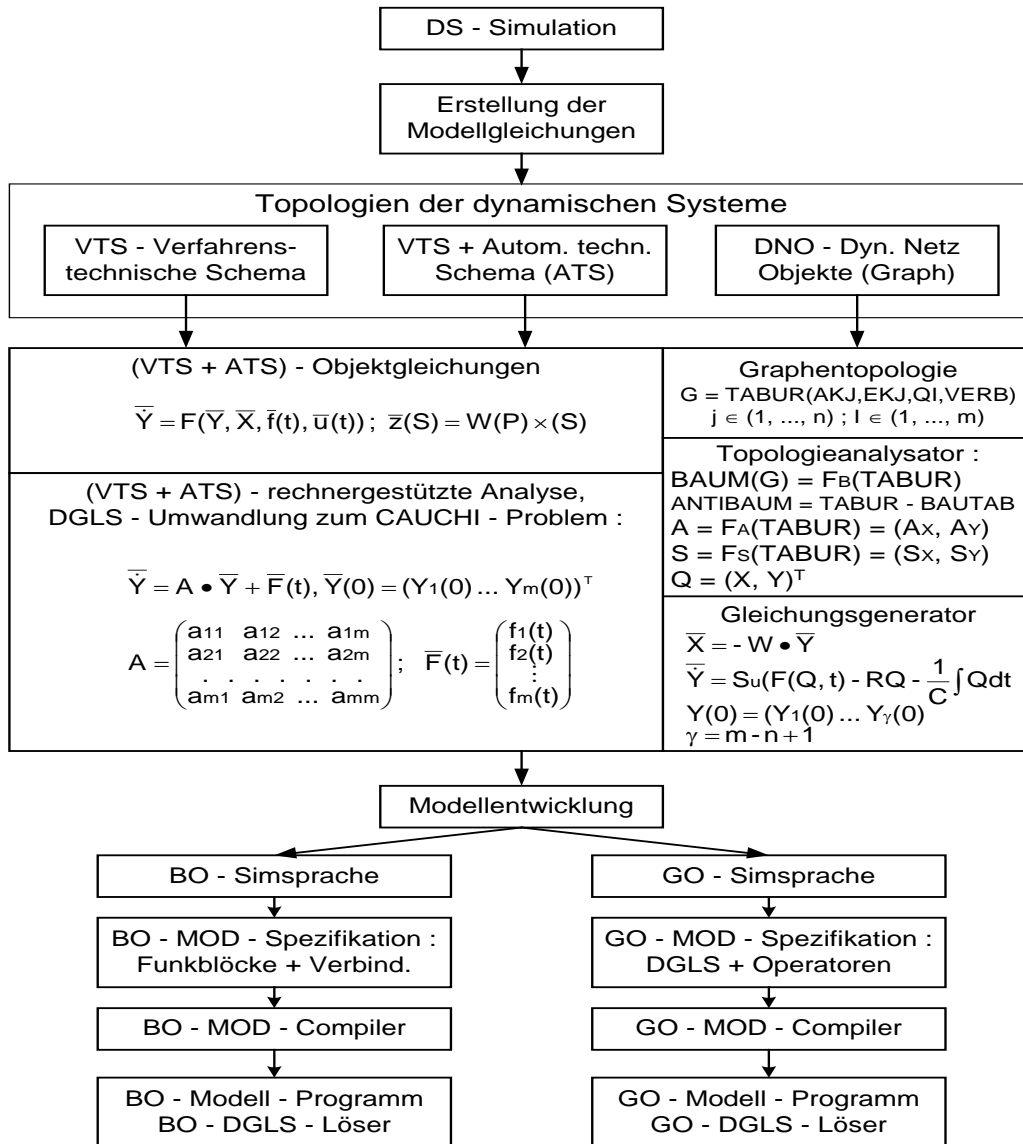


Abb. 1. Modellierung und Simulation von dynamischen Systemen mit den block- und gleichungsorientierten konventionellen Simulationssprachen

Menge der Operationen notwendig

$$F \in \{a_i x_i; \sum_{i=1}^n a_i x_i; \int \sum_{i=1}^n a_i x_i dt; f(x_i), \varphi(x_i, x_k); f(t)\} \quad (2).$$

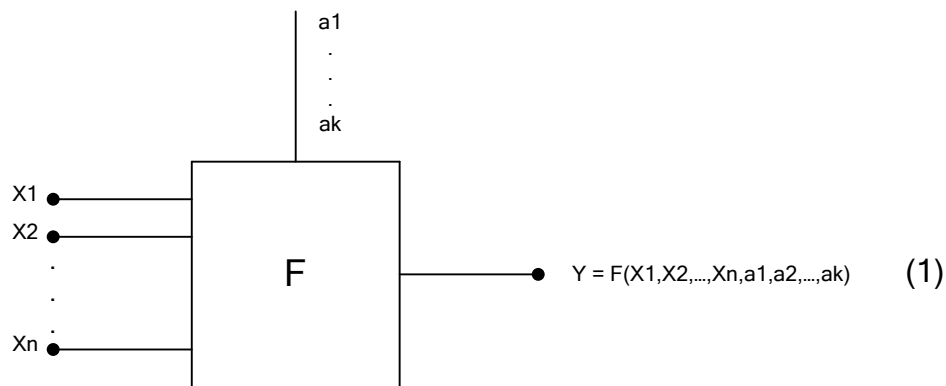


Abb.2. Allgemeine Darstellung des Funktionsblocks einer BO-Simulationssprache

Block-orientiertes (implizites) Modellierungsverfahren wird in eine Reihe von Schritten realisiert:

- ein Modell, z.B.

$$L(dY/dt) + X_1(t)Y|Y| = X_2(Y), \quad (3)$$

wird zur Form des Simulationsmodells (implizite Funktion bezüglich gesuchtes Y)

$$dY/dt = [X_2(Y) - X_1(t)Y|Y|] / L \quad (4)$$

umgewandelt;

- mit der Voraussetzung, dass die Variablen $X_2(Y)$ und $-X_1(t)Y|Y|$ der rechten Seite im

Simulationsmodell (4) vorhanden sind, werden alle Operationen virtuell mit Hilfe von entsprechenden Funktionsblöcke erfüllt; damit entsteht ein Blockschaltbild der Blöcke,

die

miteinander entsprechend der Reihenfolge der Operationen in (4) verbunden werden (Abb. 3, Blöcke 1,...,6);

- es werden die Blöcke gesucht, die auf den Ausgängen die Variablen haben, die wir am

1.Schritt als vorhandene vorausgesetzt haben (Block 4 – $X_2(Y)$, Block 6 – $-X_1(t)Y|Y|$, (Abb. 3); mit der Berücksichtigung von +/- Zeichen werden diesen Variablen als Rückkopplungen nach Eingänge des Blocks 1 eingeführt (Abb. 3);

- Blockschaltbild wird auf möglichen semantischen Fehlern geprüft und in PC eingeführt. BO-Compiler wandelt Blocksschaltbild zum lauffähigen BO-Simulator um.

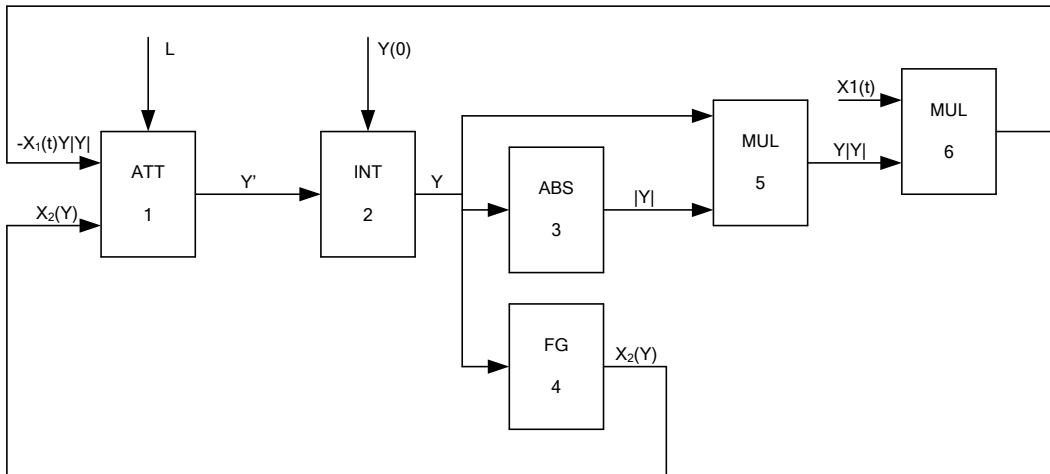


Abb. 3. Blockschaltbild des virtuellen BO-Simulationsmodells

Analyse zeigt, dass BO-Lösungsprinzip entspricht der MIMD-Parallelität und kann als eine virtuelle Zuordnung „Funktionsblock – Prozess“ betrachtet werden (Abb.4).

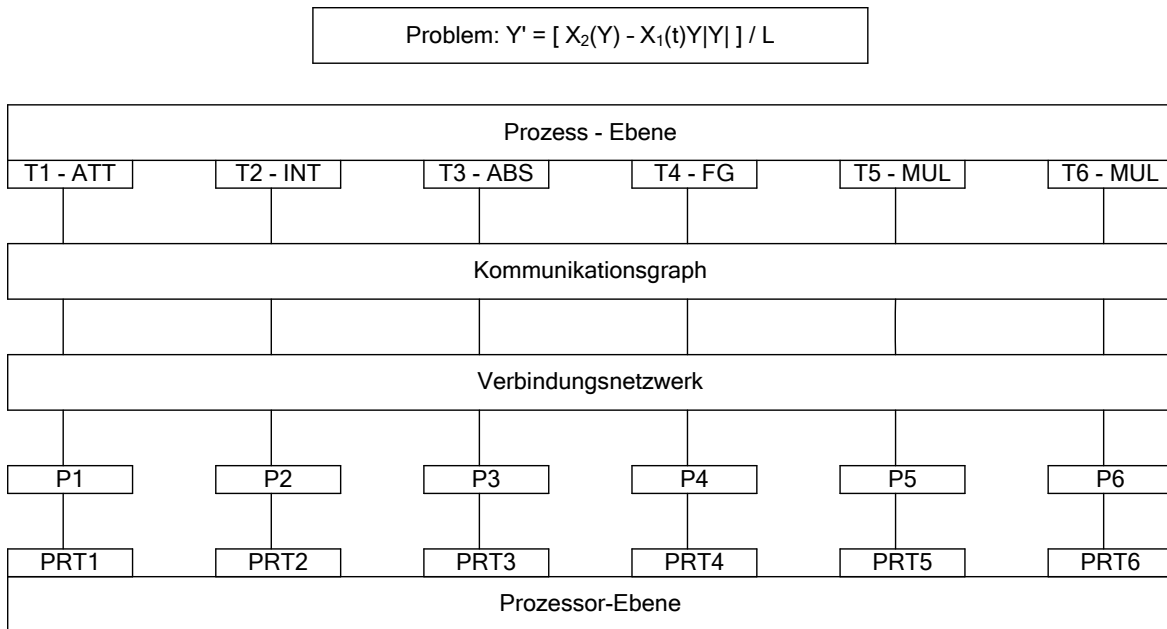


Abb.4 MIMD-Parallelität und BO-Verfahren

3. Definition der virtuellen Paar „Funktionaler Block - Prozess“. Virtueller Funktionsblock wird in Abb. 5 dargestellt. Dabei sind: \overline{X} - Vektor der realen Eingabevariablen; KM - Kommunikationsmatrix; \overline{VE} - Vektor der virtuellen Eingabevariablen. MIMD-Prozess, der dem Funktionsblock entspricht, kann man mit dem Blockdiagramm darstellen (Abb.6).

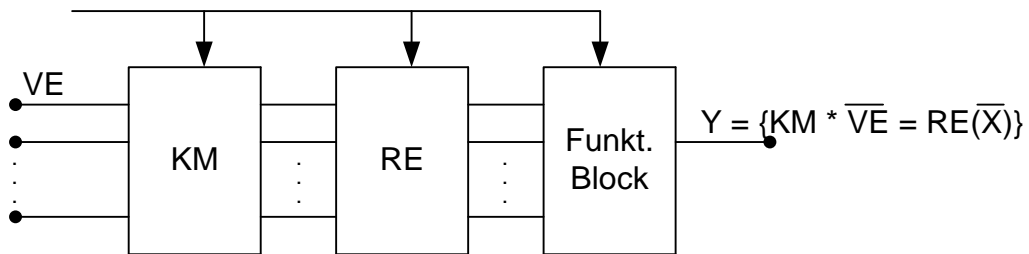


Abb. 5. Virtueller Funktionsblock der BO-Simulationssprache

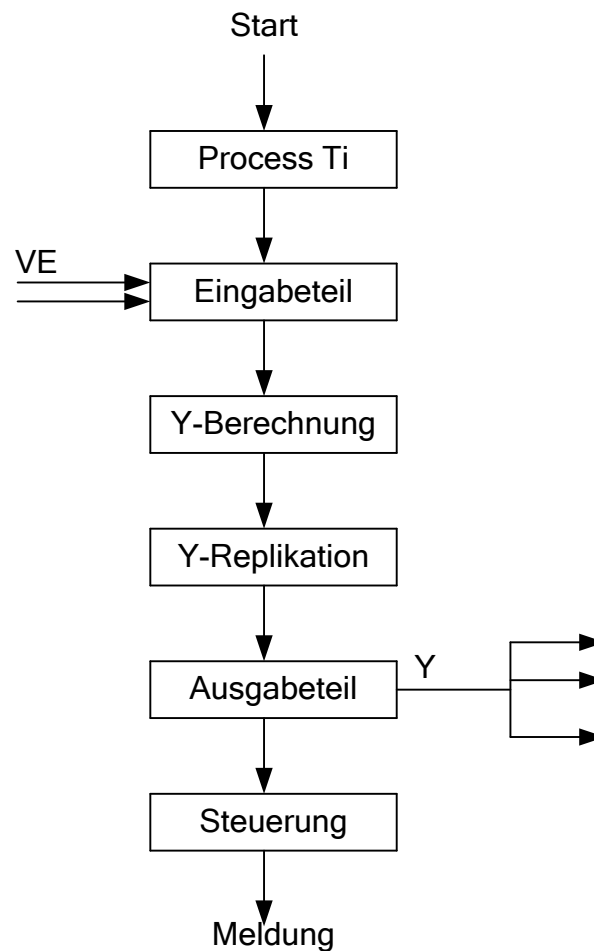


Abb. 6. Blockdiagramm des MIMD-Prozesses.

4. Abbildung der BO-Modellstruktur in virtuelle parallele Modellstruktur (VPMS). VPMS ist eine virtuelle Prozess- und Kommunikationsstruktur. Führen wir Verbindungsvektor für Prozess T_i ein:

$$VST_i = (S_{i1}T_1 \ S_{i2}T_2 \ \dots \ S_{ik} \ T_k \ \dots \ S_{in} \ T_n) = \bigvee_{\substack{k=1 \\ i \in k}}^n (S_{ik}T_k) \quad (5)$$

Hier sind i – Prozessnummer, $i=1,2,\dots,n$; $S_{ik}=1$ – wenn die Verbindung $T_i \leftrightarrow T_k$ vorhanden ist und 0 – wenn gibt es keine Verbindung $T_i \leftrightarrow T_k$.

Für $k=i$ $S_{ii} = 1$, d.h. Zwischenergebnis wird im i -Prozess für weitere Berechnungen benutzt. Vektor VST_i charakterisiert virtueller Prozess T_i : einziger Ausgang und n Eingänge, die durch S_{ij} bekommen die Variablen von Ausgängen der restlichen Prozesse.

Menge der Verbindungsvektoren für ganze BO-Struktur kann so dargestellt werden

$$\begin{aligned} VST_1 &= (S_{11}T_1 \ S_{12}T_2 \ \dots \ S_{1k} \ T_k \ \dots \ S_{1n} \ T_n) \\ VST_2 &= (S_{21}T_1 \ S_{22}T_2 \ \dots \ S_{2k} \ T_k \ \dots \ S_{2n} \ T_n) \\ &\dots\dots\dots \\ VST_k &= (S_{k1}T_1 \ S_{k2}T_2 \ \dots \ S_{kk} \ T_k \ \dots \ S_{kn} \ T_n) \\ &\dots\dots\dots \\ VST_n &= (S_{n1}T_1 \ S_{n2}T_2 \ \dots \ S_{nk} \ T_k \ \dots \ S_{nn} \ T_n) \end{aligned} \quad (6)$$

Mit der Verwendung von (6) kommen wir zur Beschreibung der blockorientierten Struktur des MIMD-Models

$$\begin{aligned} VART_1 &= FUNT_1(S_{11}VART_1 \ S_{12}VART_2 \ \dots \ S_{1n}VART_n) \\ VART_2 &= FUNT_2(S_{21}VART_1 \ S_{22}VART_2 \ \dots \ S_{2n}VART_n) \\ &\dots\dots\dots \\ VART_k &= FUNT_k(S_{k1}VART_1 \ S_{k2}VART_2 \ \dots \ S_{kn}VART_n) \\ &\dots\dots\dots \\ VART_{n-1} &= FUNT_{n-1}(S_{n-1,1}VART_1 \ S_{n-1,2}VART_2 \ \dots \ S_{n-1,n}VART_n) \\ VART_n &= FUNT_n(S_{n1}VART_1 \ S_{n2}VART_2 \ \dots \ S_{nn}VART_n) \end{aligned} \quad (7)$$

Hier sind $VART_i$ – die Ausgangsvariablen von Prozessen T_i , $i = 1,2,\dots,n$; $FUNT_i$ – die von Prozessen T_i realisierte Funktionen. Aus (7) folgt die Kommunikationsmatrix

$$KM = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{k1} & S_{k2} & \dots & S_{kn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{n1} & S_{22} & \dots & S_{nn} \end{pmatrix}, \quad (8)$$

die alle von Blockschaltbild bedingte Verbindungen formal darstellt.

Rechte Seite von (6) lässt sich formal als die Matrix-Multiplikation generieren:

$$VST = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{k1} & S_{k2} & \dots & S_{kn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{n1} & S_{n2} & \dots & S_{nn} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} T_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & T_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & T_k & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & T_n \end{pmatrix} \quad (9)$$

Die zusammengestellte Vektoren $VST_1 \dots VST_n$ sind die Zeile der Modellzustandsmatrix (MZM):

$$MZM = KM * DT \quad (10)$$

Dabei ist DT eine Diagonalmatrix der T – Prozesse.

5. Devirtualisierung der VPMS. In Abb.7 sind qualitativ die Lastcharakteristiken der Funktionsblöcke gezeigt.

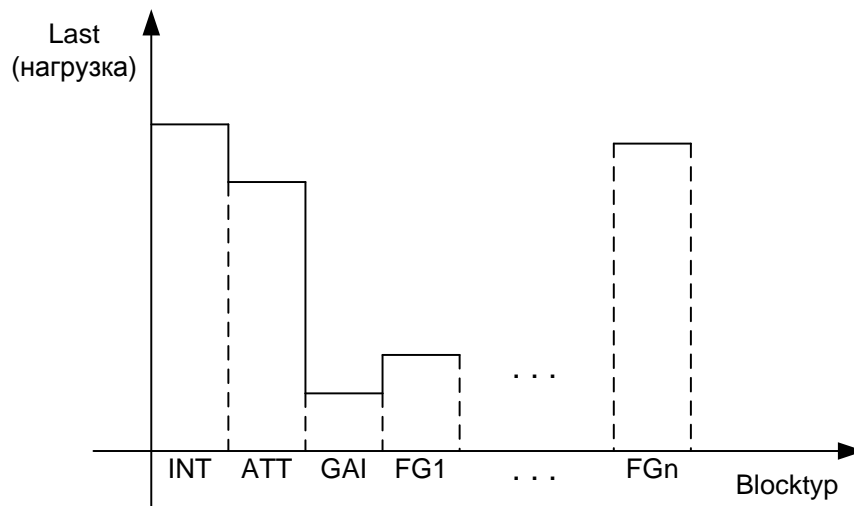


Abb. 7. Zur Lastanalyse der VM-Blockeinheiten

Abhängig von Art der mathematischen Operationen und numerischen Verfahren der Implementierung jeder Block besitzt eigenes Realisierungsprogramm, das für MIMD-Prozess bestimmter Last bedeutet. Prinzipiell ist Struktur der BO-MIMD-Prozesse in Abb.4 lauffähig, aber die Prozesse haben ungleichmäßige Arbeitsumfänge. Deshalb bei der Devirtualisierung soll umfangreiche Lastbalancierung des Blockschaltbildes durchgeführt werden. Dem minimalkörnigen Prozess (MKP) soll eine Funktionsblockkette zugeordnet werden, die eine Differentialgleichung der ersten Ordnung löst. Diesen Ketten werden vom Generator des BO-Lösers nach entwickelte Algorithmen erstellt. So entsteht die von dem BO-Lösungsprinzip bedingte virtuelle Blockschaltung, die das virtuelle parallele

Simulationsmodell der ersten Parallelitätsebene (PE-1) mit minimal körnigen Prozessen „realisiert“. Das virtuelle Verbindungsnetzwerk (VNW) hat zwei Ebene: innere MKP-Verbindungen sowie äußere, die alle MKP entsprechend der Approximationsschema verbinden.

Für die gut strukturierten Simulationsprobleme ist oft möglich eine Matrix-Vektor-Darstellung der Gleichungssysteme zu erstellen, z.B. für dynamisches Netzobjekt

$$\begin{aligned} X &= -WY \\ Y' &= S_u H - S_u R Z - S_u R R(t) Z \end{aligned} \quad (11)$$

mit folgenden Bezeichnungen: X, Y – Luftstromvektoren in Baum- und Antibaumzweigen; S_u – umgewandelte Maschenmatrix; $R, R R(t)$ – diagonale Parameternmatrizen; Z – Vektor mit den Komponenten $X_j|X_j|, Y_k|Y_k|, i = 1, 2, \dots, n-1; k = 1, 2, \dots, \gamma; \gamma = m-n+1; m, n$ – die Kanten- und Knotenmenge; H – Vektor der Druckwerten; W – berechnete Topologiematrix.

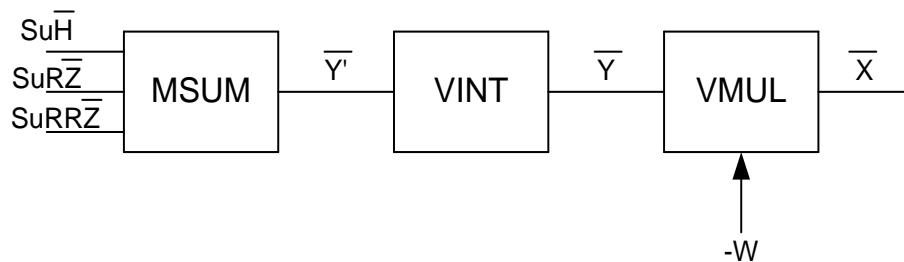


Abb.8. Matrix-Vektor-Funktionsblöcke im Einsatz für das Lösen des Gleichungssystems (11)

Suche der gleichmässigen eindimensionalen und Matrix-Vektor-Lastketten beinhaltet folgende Operationen:

- a) Auswahl der lastmaximalen Blöcken(LMB);
- b) Lastanalyse der Blöckenketten;
- c) Erstellung der Modellstruktur mit den lastgleichen Blockmodule.

Dann wird eine Abbildung der Modellstruktur mit den lastgleichen Blockmodule in Prozessestruktur durchgeführt: Zuordnung “Blockmodule-Prozesse”; Erstellung der Prozessestruktur mit der Definition der Verbindungen zwischen den Prozesse. Struktur der Matrix-Vektor-Prozesse wird ähnlich erstellt. Die Verbindungen zwischen den Prozessen können durch Topologie-und Kommunikationsmatrizen (wie in (11), Matrix W) definiert werden.

Der Devirtualisierungsvorgang soll vom vorgeschlagenen in der VPSU-Simulationssoftware eingebauten BO-Devirtualisator durchgeführt werden. Als Randbedingungen hat er die Parallelitätsebene PE-1 und Zielrechnersystem ZRS. Die optimale Zuordnung dem ZRS wird mit der Berücksichtigung der höheren Parallelitätsebenen (PE) etwa PE-2 – PE-4 und der Abbildung ihren virtuellen Verbindungsnetzwerke VNW-2 – VNW-4 in dem ZRS-Verbindungsnetzwerk realisiert. Diese Zuordnung benutzt Code-Generator, der ein lauffähiges MPI-Programm generiert.

6. Zusammenfassung und Ausblick. Die steigenden Anforderungen seitens Gegenstandsgebiete an die Methoden und Mittel der Modellierung und Simulation stimulieren die Anwendung von parallelen Höchstleistungsrechnern der vorhandenen und künftigen MIMD-Architekturen und rufen die neue zu lösenden theoretischen und praktischen Probleme der parallelen Simulationstechnik hervor. Problem der Erhöhung von Benutzerfreundlichkeit paralleler Simulationswerkzeuge wird durch Entwicklung der parallelen Simulationssprachen gelöst sein. BO-Lösensprinzip entspricht der MIMD-Parallelität und kann als eine virtuelle Zuordnung „Funktionsblock – Prozess“ betrachtet werden. Dem minimalkörnigen Prozess soll eine Funktionsblockkette zugeordnet werden, welche eine Differentialgleichung der ersten Ordnung löst. Die betrachteten Ansätze erlauben kontinuierlicher Übergang von vorhandenen standardisierten Sprachen und Bibliotheken der Programmierung zu den höheren Sprachen der parallelen Modellierung und Simulation, sind wichtiger Faktor für die Erweiterung der Anwendung von parallelen Rechnern und der modellgestützten Projektierung.

1. *Feldmann, L.P., Resch, M., Svjatnyj, V.A., Zeitz, M.:* Software-Architektur für parallele Simulationsumgebungen. Plenarvortrag am ASIM‘2014-Symposium Simulationstechnik (Berlin, 03.-05.09.2014), Tagungsband, S.3-7.
2. *Schmidt B.:* Simulationssysteme der 5. Generation. SiP, Heft 1, 1994, S. 5-6.
3. *Maurer, W.:* Modelica simuliert komplexe Systeme. In: Schweizerische Technische Zeitschrift STZ (Swiss Engineering); Nr. 7/8, STV-Verlags AG der Ingenieure und Architekten, Juli/Aug. 2011.

С. Е. Саух, д-р техн. наук
 Ин-т проблем моделирования в энергетике
 им. Г. Е. Пухова НАН Украины
 (Украина, 03164, Киев, ул. Генерала Наумова, 15,
 тел.(044) 4241063, E-mail: ipme@ipme.kiev.ua)

Стабилизированный метод ускоренного решения вариационных неравенств большой размерности

We designed method of shearing matrix elements of the Clarke's generalized Jacobian for providing numerical stability of the quasi-Newton methods of iterative solving of finite-dimensional variational inequalities. For large-scale problems we justified the need of using the method of incomplete column-row factorization of Jacobian matrices for accelerated solving of arising nonsmooth algebraic systems of equations.

Ключевые слова: вариационные неравенства, обобщенный якобиан Кларка, квазиньютоновские методы, численная устойчивость, метод смещения малых величин, столбцово-строчная факторизация матриц.

Введение. Задача решения вариационных неравенств состоит в нахождении вектора $\mathbf{x}^* \in \mathbf{R}_C^n$ такого, что

$$\langle \mathbf{F}(\mathbf{x}^*), \mathbf{x} - \mathbf{x}^* \rangle \geq 0, \forall \mathbf{x} \in \mathbf{R}_C^n, \quad (1)$$

где $\langle \mathbf{a}, \mathbf{b} \rangle$ – скалярное произведение векторов $\mathbf{a} \in \mathbf{R}^n$ и $\mathbf{b} \in \mathbf{R}^n$; \mathbf{F} – непрерывно дифференцируемая вектор-функция, причем $\mathbf{F}: \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^n$; \mathbf{R}_C^n – непустое замкнутое выпуклое множество, которое обычно имеет вид

$$\mathbf{R}_C^n = \{ \mathbf{x} \in \mathbf{R}^n : \mathbf{H}(\mathbf{x}) = \mathbf{0}, \mathbf{G}(\mathbf{x}) \geq \mathbf{0} \}. \quad (2)$$

Здесь дважды непрерывно дифференцируемые вектор-функции \mathbf{H} и \mathbf{G} такие, что $\mathbf{H}: \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^{n_H}$ и $\mathbf{G}: \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^{n_G}$ [1 – 3].

Условия оптимальности Каруша-Куна-Таккера. Решение задачи (1)-(2) удовлетворяет условиям оптимальности Каруша-Куна-Таккера [1] и, поэтому, совпадает с решением смешанной системы равенств и комплементарных неравенств вида

$$\begin{cases} \mathbf{L}(\mathbf{x}, \boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\mu}) = \mathbf{0} \\ \mathbf{H}(\mathbf{x}) = \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \leq \boldsymbol{\mu} \perp \mathbf{G}(\mathbf{x}) \geq \mathbf{0} \end{cases} \quad (3)$$

где вектор-функция Лагранжа

$$\mathbf{L}(\mathbf{x}, \boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\mu}) = \mathbf{F}(\mathbf{x}) - \left(\frac{d\mathbf{H}(\mathbf{x})}{d\mathbf{x}} \right)^T \boldsymbol{\lambda} - \left(\frac{d\mathbf{G}(\mathbf{x})}{d\mathbf{x}} \right)^T \boldsymbol{\mu}$$

является функцией $\mathbf{L}(\mathbf{w})$ трех векторных неизвестных $\mathbf{w} = (\mathbf{x}, \boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\mu})$, включая

множители $\lambda \in \mathbb{R}^{n_H}$ и $\mu \in \mathbb{R}_+^{n_G}$.

Представление смешанной задачи комплементарности в виде нелинейной негладкой системы алгебраических уравнений. Используя C -функции [1, 5], в частности, функцию Фишера-Бурмейстера $\varphi_{\text{FB}} : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$ вида

$$\varphi_{\text{FB}}(a, b) = \sqrt{a^2 + b^2} - a - b. \quad (4)$$

систему (3) можно тождественно преобразовать в систему негладких уравнений.

$$\Phi(\mathbf{w}) = \begin{pmatrix} \mathbf{L}(\mathbf{w}) \\ \mathbf{H}(\mathbf{x}) \\ \varphi_{\text{FB}}(\boldsymbol{\mu}, \mathbf{G}(\mathbf{x})) \end{pmatrix} = \mathbf{0}. \quad (5)$$

Таким образом поиск искомого решения $\mathbf{x}^* \in \mathbb{R}_C^n$ задачи (1)-(2) сводится к поиску решения $\mathbf{w}^* = (\mathbf{x}^*, \boldsymbol{\lambda}^*, \boldsymbol{\mu}^*) \in \mathbb{R}^{n+n_H+n_G}$ нелинейной негладкой системы алгебраических уравнений вида (5).

Квази-ньютоновские методы решения нелинейной негладкой системы алгебраических уравнений. Решение системы уравнений (5) осуществляется итерационными методами квази-ньютоновского типа, глобальную сходимость которых обеспечивают методы оценочных функций, поиска линий, поиска пути, доверительной области, и другие [1]. При этом для дифференцирования C -функций и построения обобщенных якобианов Кларка привлекаются методы негладкого анализа [1 – 2, 4], а негладкая вектор-функция $\Phi(\mathbf{w})$ в окрестностях итерационной последовательности точек $\{\mathbf{w}_s \mid s = 0, 1, \dots\}$ представляется множеством линейных вектор-функций

$$\{\Phi_s(\mathbf{w}) = \Phi(\mathbf{w}_s) + \Phi_w \Delta \mathbf{w}_s \mid s = 0, 1, \dots\}, \quad (6)$$

где

$$\Phi(\mathbf{w}_s) = \begin{pmatrix} \mathbf{L}(\mathbf{w}_s) \\ \mathbf{H}(\mathbf{x}_s) \\ \varphi_{\text{FB}}(\boldsymbol{\mu}_s, \mathbf{G}(\mathbf{x}_s)) \end{pmatrix}, \Delta \mathbf{w}_s = \begin{pmatrix} \mathbf{x} - \mathbf{x}_s \\ \boldsymbol{\lambda} - \boldsymbol{\lambda}_s \\ \boldsymbol{\mu} - \boldsymbol{\mu}_s \end{pmatrix},$$

$$\Phi_w = \begin{bmatrix} L_x & -H_x^T & -G_x^T \\ H_x & 0 & 0 \\ \varphi_G G_x & 0 & \varphi_\mu \end{bmatrix},$$

$$\varphi_G = \text{diag} \left\{ \left(\begin{array}{cc} \frac{g_i(\mathbf{x})}{\sqrt{\mu_i^2 + [g_i(\mathbf{x})]^2}} - 1, & \mu_i g_i(\mathbf{x}) \neq 0 \\ -1, & \mu_i g_i(\mathbf{x}) = 0 \end{array} \right), i = \overline{1, n_G} \right\} \left| \begin{array}{l} \mathbf{x} = \mathbf{x}_s \\ \boldsymbol{\mu} = \boldsymbol{\mu}_s \end{array} \right.,$$

$$\varphi_\mu = \text{diag} \left\{ \left(\begin{array}{cc} \frac{\mu_i}{\sqrt{\mu_i^2 + [g_i(\mathbf{x})]^2}} - 1, & \mu_i g_i(\mathbf{x}) \neq 0 \\ -1, & \mu_i g_i(\mathbf{x}) = 0 \end{array} \right), i \in \overline{1, n_G} \right\} \left| \begin{array}{l} \mathbf{x} = \mathbf{x}_s \\ \boldsymbol{\mu} = \boldsymbol{\mu}_s \end{array} \right.,$$

$$H_x = \frac{d\mathbf{H}(\mathbf{x})}{d\mathbf{x}} \Big|_{\mathbf{x} = \mathbf{x}_s}, \quad G_x = \frac{d\mathbf{G}(\mathbf{x})}{d\mathbf{x}} \Big|_{\mathbf{x} = \mathbf{x}_s},$$

$$L_x = \left(\frac{d\mathbf{F}(\mathbf{x})}{d\mathbf{x}} - \frac{d^2\mathbf{H}(\mathbf{x})}{d\mathbf{x}^T d\mathbf{x}} \boldsymbol{\lambda} - \frac{d^2\mathbf{G}(\mathbf{x})}{d\mathbf{x}^T d\mathbf{x}} \boldsymbol{\mu} \right) \Big|_{\mathbf{w} = \mathbf{w}_s}.$$

С помощью линейных функций (6) систему уравнений (5) аппроксимируют системами линейных алгебраических уравнений вида

$$\{ \Phi_w \Delta \mathbf{w}_s = -\Phi(\mathbf{w}_s) \mid s = 0, 1, \dots \}, \quad (7)$$

откуда определяют направления $\{ \Delta \mathbf{w}_s \mid s = 0, 1, \dots \}$ поиска решения $\mathbf{w}^* = (\mathbf{x}^*, \boldsymbol{\lambda}^*, \boldsymbol{\mu}^*) \in \mathbb{R}^{n+n_H+n_G}$.

Алгоритмы решения нелинейной полугладкой системы уравнений приближенным методом Ньютона. Нахождение направляющих векторов $\{ \Delta \mathbf{w}_s \mid s = 0, 1, \dots \}$ методами прямого решения соответствующих систем линейных алгебраических уравнений сопряжено с трудностями использования ограниченных вычислительных ресурсов [2, 8]. Заметим, что в широко применяемом приложении PATH направляющие векторы $\{ \Delta \mathbf{w}_s \mid s = 0, 1, \dots \}$ вычисляются методом полной LU -факторизации матриц систем линейных алгебраических уравнений, формируемых по оригинальному алгоритму [7]. При этом используются технологии разреженных матриц.

В случае большой размерности $n + n_H + n_G$ систем уравнений Ньютона (7) и больших уровней заполнения матриц Φ_w ненулевыми элементами, получение численных решений $\Delta \mathbf{w}_s$ может быть существенно затруднено или оказаться невозможным ввиду ограниченных вычислительных ресурсов. Поэтому, вместо поиска точных решений $\Delta \mathbf{w}_s$ систем уравнений Ньютона (7), прибегают к поиску приближенных решений $\Delta \tilde{\mathbf{w}}_s$, удовлетворяющих системам уравнений вида

$$\{ \Phi_w \Delta \tilde{\mathbf{w}}_s = -\Phi(\mathbf{w}_s) + \boldsymbol{\varepsilon}_s \mid s = 0, 1, \dots \}. \quad (8)$$

При этом минимизируют невязки $\boldsymbol{\varepsilon}_s$ так, чтобы их евклидовы нормы были меньше ε – верхней границы приемлемых норм невязок.

Рационально использовать вычислительные ресурсы позволяют алгоритмы, построенные на основе методов неточного итерационного решения систем уравнений (7) и методов ньютоновского типа итерационного решения задачи (5). Один из известных таких алгоритмов (**Алгоритм 1**) представлен ниже [2 – 4].

Алгоритм 1. Решение полугладкой нелинейной системы уравнений (5) приближенным методом Ньютона

Шаг 1. Устанавливаем начальное приближение \mathbf{w}_0 и выбираем значения параметров $\rho > 0$, $\beta \in (0,1)$, $\sigma \in (0,1)$, $q > 2$, $\gamma_0 \geq 0$, $\tau_1 \geq 0$, $\tau_2 \geq 0$.

Шаг 2. Контролируем критерий остановки:

(i) номер итерации s достиг установленной величины s_{max} ;

(ii) $\|\Phi(\mathbf{w}_s)\| < \tau_1$;

(iii) $\left| \|\Phi(\mathbf{w}_s)\| - \|\Phi(\mathbf{w}_{s-1})\| \right| < \tau_2$.

Шаг 3. Выбираем элемент $\Phi_w \in \partial_B \Phi(\mathbf{w}_s)$ и вычисляем направление $\Delta \mathbf{w}_s$.

Находим решение $\Delta \mathbf{w}_s$ системы уравнений $\Phi_w \Delta \mathbf{w}_s = -\Phi(\mathbf{w}_s) + \boldsymbol{\varepsilon}_s$ такой, что $\|\boldsymbol{\varepsilon}_s\| \leq \gamma_s \|\Phi(\mathbf{w}_s)\|$. Если это невозможно или, если не выполняется условие $\nabla \Psi(\mathbf{w}_s)^T \Delta \mathbf{w}_s \leq -\rho \|\Delta \mathbf{w}_s\|^q$, тогда устанавливаем $\Delta \mathbf{w}_s = -\nabla \Psi(\mathbf{w}_s) = -\Phi_w^T \Phi(\mathbf{w}_s)$.

Шаг 4. Выбираем стратегию линейного поиска (правило Армико):

вычисляем минимальное целое l такое, чтобы для $d_s = \beta^l$ выполнялось условие $\Psi(\mathbf{w}_s + d_s \Delta \mathbf{w}_s) \leq \Psi(\mathbf{w}_s) + \sigma d_s \nabla \Psi(\mathbf{w}_s)^T \Delta \mathbf{w}_s$.

Шаг 5. Вычисляем $\mathbf{w}_{s+1} = \mathbf{w}_s + d_s \Delta \mathbf{w}_s$ и $s = s + 1$. Выбираем $\gamma_s \geq 0$ и возвращаемся к шагу 2.

Для поиска приближенного решения систем уравнений (8) с контролем невязок $\boldsymbol{\varepsilon}_s$ на шаге 3 этого алгоритма в работе [4] были использованы различные методы подпространств Крылова. Такие методы оказались эффективными для решения систем алгебраических уравнений с хорошо обусловленными матрицами Φ_w и практически непригодными в случае их плохой обусловленности. Поэтому в работе [2] был применен метод наименьших квадратов с QR -разложением (LSQR), а также согласованный с ним алгоритм MINOS формирования предобусловлевателей, реализующий неполное LU -разложение матриц Φ_w с частичным выбором ведущего элемента и пороговым методом отсекаания малозначимых элементов в образующихся факторных матрицах [8].

Поскольку среди матриц $\{\Phi_w | s = 0, 1, \dots\}$ встречаются плохо обусловленные, то формирование предобусловливателей традиционно осуществляется для матриц $\{\Phi_w + \alpha E | s = 0, 1, \dots\}$ со смещенными на величину α диагональными элементами, т.е. со смещенными спектрами собственных чисел и уменьшенными числами обусловленности. Однако, применение предобусловливателей матриц $\Phi_w + \alpha E$ существенно замедляет сходимость итерационных алгоритмов решения уравнений вида (7). Поэтому величину смещения α выбирают, с одной стороны, как можно меньшей, пытаясь сохранить свойства матриц Φ_w в матрицах $\Phi_w + \alpha E$, а, с другой стороны, не настолько малой, чтобы потерять устойчивость алгоритма неполной факторизации матриц $\Phi_w + \alpha E$ при отсечении малозначимых элементов в факторных матрицах \tilde{L} и \tilde{U} таких, что $\Phi_w + \alpha E \approx \tilde{L}\tilde{U}$.

Причины образования плохо обусловленных матриц из множества $\{\Phi_w | s = 0, 1, \dots\}$ до сих пор не исследовались. Анализ особых свойств обобщенных якобианов Кларка, представленных матрицами $\varphi_G \in \partial_B \Phi_{FB}(\mu, \mathbf{G}(\mathbf{x}))$, $\varphi_\mu \in \partial_B \Phi_{FB}(\mu, \mathbf{G}(\mathbf{x}))$ и $\Phi_w \in \partial_B \Phi(\mathbf{w})$, позволяет установить такие причины и найти подход к их устранению [11].

Алгоритм смещения малых элементов матричных компонент обобщенных якобианов Кларка. Для обеспечения вычислительной устойчивости алгоритмов построения предобусловливателей матриц $\{\Phi_w | s = 0, 1, \dots\}$ необходимо осуществлять коррекцию значений соответствующих им диагональных элементов субматриц φ_μ и φ_G , чьи абсолютные значения не превышают априори устанавливаемого порогового уровня δ . Предобусловливатели матриц $\tilde{\Phi}_w$, формируемых **Алгоритмом 2** (представлен ниже) селективного смещения диагональных элементов в субматрицах φ_μ и φ_G матрицы Φ_w , обладают более высокими аппроксимационными свойствами, по сравнению с теми предобусловливателями, которые традиционно формируются на основе матриц со смещенными диагональными элементами вида $\{\Phi_w + \alpha E | s = 0, 1, \dots\}$. Результаты экспериментальных исследований убедительно подтверждают этот вывод.

В работе [11] для обеспечения вычислительной устойчивости квази-ньютоновских методов решения негладких систем уравнений (5) с плохо обусловленными матрицами Φ_w использован алгоритм 2 смещения малых элементов матричных компонент обобщенных якобианов Кларка, а для решения систем уравнений Ньютона (7) применен метод *CR*-факторизации матриц Φ_w , который менее требователен к вычислительным ресурсам по сравнению с методом *LU*-факторизации [9].

Ниже представлен метод неполной *CR*-факторизации матриц Φ_w для решения уравнений Ньютона (7).

Алгоритм 2. Смещение малых элементов матричных компонент обобщенных якобианов Кларка.

Шаг 1. Выбираем значение порогового параметра $\delta > 0$.

Шаг 2. Для заданных $\mathbf{x} = \mathbf{x}_s$, $\boldsymbol{\lambda} = \boldsymbol{\lambda}_s$, $\boldsymbol{\mu} = \boldsymbol{\mu}_s$ формируем матрицы L_x , H_x , G_x , $\varphi_G \in \partial_B \Phi_{FB}(\boldsymbol{\mu}, \mathbf{G}(\mathbf{x}))$, $\varphi_\mu \in \partial_B \Phi_{FB}(\boldsymbol{\mu}, \mathbf{G}(\mathbf{x}))$ и $\Phi_w \in \partial_B \Phi(\mathbf{w})$.

Шаг 3. Смещаем малые диагональные элементы субматрицы φ_μ и образуем

$$\text{субматрицу } \tilde{\varphi}_\mu \text{ с элементами } \tilde{\varphi}_{\mu i} = \begin{pmatrix} \varphi_{\mu i}, & |\varphi_{\mu i}| > \delta \\ \varphi_{\mu i} - \delta, & |\varphi_{\mu i}| \leq \delta \end{pmatrix}, \forall i \in \overline{1, n_G}.$$

Шаг 4. Смещаем малые диагональные элементы субматрицы φ_G и образуем

$$\text{субматрицу } \tilde{\varphi}_G \text{ с элементами } \tilde{\varphi}_{G i} = \begin{pmatrix} \varphi_{G i}, & |\varphi_{G i}| > \delta \\ 0, & |\varphi_{G i}| \leq \delta \end{pmatrix}, \forall i \in \overline{1, n_G}.$$

Шаг 5. В матрице Φ_w субматрицы φ_G и φ_μ замещаем субматрицами $\tilde{\varphi}_G$ и

$$\tilde{\varphi}_\mu. \text{ В результате получаем матрицу } \tilde{\Phi}_w = \begin{bmatrix} L_x & -H_x^T & -G_x^T \\ H_x & 0 & 0 \\ \tilde{\varphi}_G G_x & 0 & \tilde{\varphi}_\mu \end{bmatrix}.$$

Метод CR-факторизации матриц. Основой метода является последовательность из m шагов вычислений, выполняемых над заданной $m \times m$ матрицей A в соответствии с формулами

$$A_{(-i_1, -j_1)} = A - \mathbf{C}_{j_1} \cdot \mathbf{R}_{i_1},$$

$$\mathbf{A}_{(-i_1, -j_1)}(i_1, :) = \mathbf{0}^T, \mathbf{A}_{(-i_1, -j_1)}(:, j_1) = \mathbf{0},$$

$$i_1 \in N, j_1 \in N;$$

$$A_{(-i_2, -j_2)} = A_{(-i_1, -j_1)} - \mathbf{C}_{j_2} \cdot \mathbf{R}_{i_2},$$

$$\mathbf{A}_{(-i_2, -j_2)}(i_2, :) = \mathbf{0}^T, \mathbf{A}_{(-i_2, -j_2)}(:, j_2) = \mathbf{0},$$

$$\{i_2 \in N / i_2 \neq i_1\}, \{j_2 \in N / j_2 \neq j_1\};$$

⋮

$$A_{(-i_m, -j_m)} = A_{(-i_{m-1}, -j_{m-1})} - \mathbf{C}_{j_m} \cdot \mathbf{R}_{i_m} = 0,$$

$$\{i_m \in N / i_m \notin \{i_k \mid k = 1, 2, \dots, m-1\}\},$$

$$\{j_m \in N / j_m \notin \{j_k \mid k = 1, 2, \dots, m-1\}\},$$

(9)

где N – множество вида $\{1, 2, \dots, m\}$; $\mathbf{A}_{(-i_k, -j_k)}(i_k, \cdot) = \mathbf{0}^T$ и $\mathbf{A}_{(-i_k, -j_k)}(\cdot, j_k) = \mathbf{0}$ – нулевые вектор-строка и вектор-столбец матрицы $\mathbf{A}_{(-i_k, -j_k)}$, формируемой на k –м шаге вычислений [9].

Поскольку в формируемых матрицах $\{A_{(-i_k, -j_k)} | k = 1, 2, \dots, m\}$ столбцы с номерами $\{j_k | k = 1, 2, \dots, m\}$ и строки с номерами $\{i_k | k = 1, 2, \dots, m\}$ являются нулевыми, то итоговая матрица будет также нулевой, т.е. $A_{(-i_m, -j_m)} \equiv \mathbf{0}$.

Элементы $\{c_{i_k j_k} | k = 1, 2, \dots, m\}$ и $\{r_{i_k j_k} | k = 1, 2, \dots, m\}$ вектор-столбцов $\{\mathbf{C}_{j_k} | k = 1, 2, \dots, m\}$ и вектор-строк $\{\mathbf{R}_{i_k} | k = 1, 2, \dots, m\}$ легко определяются по ведущим элементам $\{A_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i_k, j_k) | k = 1, 2, \dots, m\}$ преобразуемых матриц $\{A_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})} | k = 1, 2, \dots, m\}$, где $A_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})} = A/k = 1$. Элементы $c_{i_k j_k}$ и $r_{i_k j_k}$, удовлетворяющие равенству $c_{i_k j_k} \cdot r_{i_k j_k} = A_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i_k, j_k)$, находятся в предположении, что либо $c_{i_k j_k} = 1$ и $r_{i_k j_k} = A_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i_k, j_k)$, либо $r_{i_k j_k} = 1$ и $c_{i_k j_k} = A_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i_k, j_k)$.

Из соотношений (9) следует равенство

$$A = \sum_{k=1}^m \mathbf{C}_{j_k} \mathbf{R}_{i_k} = CR, \quad (10)$$

где матрицы C и R образованы из вектор-столбцов $\{\mathbf{C}_{j_k} | k = 1, 2, \dots, m\}$ и вектор-строк $\{\mathbf{R}_{i_k} | k = 1, 2, \dots, m\}$ путем их размещения в порядке возрастания значений индекса $k = 1, 2, \dots, m$. Заметим, что при организации машинных вычислений подобное упорядоченное размещение указанных выше групп векторов не производится, а вычисляемые на k –м шаге векторы \mathbf{C}_{j_k} и \mathbf{R}_{i_k} размещаются непосредственно в областях памяти, в которых образуются нуль-векторы $\mathbf{A}_{(-i_k, -j_k)}(\cdot, j_k) = \mathbf{0}$ и $\mathbf{A}_{(-i_k, -j_k)}(i_k, \cdot) = \mathbf{0}^T$.

Основное преимущество метода CR –факторизации над существующими методами заключается в адаптивности выражений (9) – (10) к позиционированию выбираемых ведущих элементов. Поскольку использование специальных схем хранения разреженных матриц сопряжено с необходимостью выполнения множества неарифметических операций для получения доступа к матричным элементам, то отсутствие в методе CR –факторизации перестановок строк и столбцов приводит к существенному сокращению объема вычислений, в среднем на треть.

Устойчивость метода CR –факторизации матриц. Соотношения (9) определяют итерационный характер формул CR –факторизации матриц с числом итераций m . В случае матриц большой размерности такая последовательная цепь вычислений может приводить к существенному накоплению ошибок. Поэтому, для обеспечения устойчивости вычислительного процесса, на k –м шаге

факторизации следует выбирать ведущий элемент так, чтобы минимизировать влияние произведения $\mathbf{C}_{j_k} \cdot \mathbf{R}_{i_k}$ на матрицу $A_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}$, из которой образуется матрица $A_{(-i_k, -j_k)}$. Следовательно поиск ведущего элемента $a_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i_k, j_k)$ в матрице $A_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}$ следует производить в соответствии с требованием получения таких множителей \mathbf{C}_{j_k} и \mathbf{R}_{i_k} , которые имеют минимально возможную норму

$$\|A_{(-i_k, -j_k)} - A_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}\| = \|\mathbf{C}_{j_k} \cdot \mathbf{R}_{i_k}\| \leq \|\mathbf{C}_{j_k}\| \cdot \|\mathbf{R}_{i_k}\| \rightarrow \min_{(i_k, j_k)}. \quad (11)$$

Здесь и ниже символом $\|\circ\|$ обозначена октаэдральная норма объекта \circ . Выбор именно такой нормы связан с простотой алгоритма ее вычисления и, что самое главное, устойчивостью получаемых результатов к вычислительным ошибкам.

Так как

$$\|\mathbf{C}_{j_k}\| = \sum_i |c_{ij_k}| = \frac{\sum_i |a_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i, j_k)|}{|r_{i_k j_k}|}, \quad (12)$$

$$\|\mathbf{R}_{i_k}\| = \sum_j |r_{i_k j}| = \frac{\sum_j |a_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i_k, j)|}{|c_{i_k j_k}|}, \quad (13)$$

$a_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i_k, j_k) = c_{i_k j_k} r_{i_k j_k}$ и, к тому же, j_k – столбец и i_k – строка матрицы $A_{(-i_k, -j_k)}$ являются нулевыми, то из (11), с учетом (9), имеем уточненное выражение

$$\left(\|A_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i_k, *)\| - |a_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i_k, j_k)| \right) \times \frac{\|A_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(*, j_k)\| - |a_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i_k, j_k)|}{|a_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i_k, j_k)|} \rightarrow \min_{(i_k, j_k)}, \quad (14)$$

где

$$\|A_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i_k, *)\| = \sum_j |a_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i_k, j)|,$$

$$\|A_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(*, j_k)\| = \sum_i |a_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i, j_k)|.$$

Критерий (14) является простым в реализации, поскольку нахождение входящих в него норм осуществляется рекуррентно и не требует значительных вычислительных затрат. К тому же, для поиска ведущего элемента $a_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i_k, j_k)$ нет необходимости производить оценки функционала в

выражении (14) для всех элементов матрицы $A_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}$. Поиск ведущего элемента достаточно осуществить в $m_k \ll m$ ненулевых строках матрицы $A_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}$ содержащих наименьшее количество ненулевых элементов. Такой способ поиска ведущего элемента не только обеспечивает устойчивость вычислений, но и уменьшает различие между шаблонами матриц $A_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}$ и $A_{(-i_k, -j_k)}$.

Метод ICR-факторизации матриц. Обращаясь к рекуррентным соотношениям вида (9), определим условия, при которых на k -м шаге факторизации можно пренебречь влиянием отдельных элементов столбца \mathbf{C}_{j_k} и строки \mathbf{R}_{i_k} формируемых факторных матриц \mathbf{C} и \mathbf{R} на матрицу $A_{(-i_k, -j_k)}$. Очевидно, в случае несопоставимости строчных и столбцовых октаэдральных норм соответствующих векторов, а именно

$$|c_{ij_k}| \cdot \|\mathbf{R}_{i_k}\| \ll \|A_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i, *)\| \quad (15)$$

и

$$|r_{i_k j}| \cdot \|\mathbf{C}_{j_k}\| \ll \|A_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(*, j)\|, \quad (16)$$

элементы c_{ij_k} и $r_{i_k j}$ оказываются несущественными и их можно полагать равными нулю. Для оценивания значимости элементов c_{ij_k} и $r_{i_k j}$ нет необходимости в предварительном вычислении столбца \mathbf{C}_{j_k} и строки \mathbf{R}_{i_k} , поскольку выражения (15) и (16), с учетом (12) и (13), можно представить в тождественном виде

$$\frac{|c_{ij_k}|}{|c_{i_k j_k}|} \ll \frac{\|A_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i, *)\|}{\|A_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i_k, *)\|} = \frac{\sum_j |a_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i, j)|}{\sum_j |a_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i_k, j)|}, \quad (17)$$

и

$$\frac{|r_{i_k j}|}{|r_{i_k j_k}|} \ll \frac{\|A_{(-i_k, -j_k)}(*, j)\|}{\|A_{(-i_k, -j_k)}(*, j_k)\|} = \frac{\sum_i |a_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i, j)|}{\sum_i |a_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i, j_k)|}. \quad (18)$$

Полученные соотношения позволяют оценивать значимость элементов столбца \mathbf{C}_{j_k} и строки \mathbf{R}_{i_k} основываясь только на соотношениях норм между соответствующими строками и столбцами матрицы $A_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}$. Параметризация выражений (17) и (18) позволяет представить их в виде

$$\frac{|c_{ij_k}|}{|c_{i_k j_k}|} < \tau \frac{\sum_j |a_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i, j)|}{\sum_j |a_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i_k, j)|} \quad (19)$$

и

$$\frac{|r_{i_k j}|}{|r_{i_k j_k}|} < \tau \frac{\sum_i |a_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i, j)|}{\sum_i |a_{(-i_{k-1}, -j_{k-1})}(i, j_k)|}, \quad (20)$$

удобном для практического использования. Априори задаваемое значение параметра τ устанавливает границу раздела элементов c_{ij_k} и $r_{i_k j}$ на значимые и незначимые. В процессе факторизации значимые элементы сохраняются в столбцах $\tilde{C}_{j_k}(\tau)$ и строках $\tilde{R}_{i_k}(\tau)$, образуя матрицы $\tilde{C}(\tau)$ и $\tilde{R}(\tau)$.

Тождественность выражений (19) и (20) выражениям (15) и (16) позволяет интерпретировать отброшенные малозначимые элементы c_{ij_k} и $r_{i_k j}$ в формулах (9) как ошибки машинных вычислений, а параметр τ рассматривать в качестве обобщенной характеристики таких ошибок. Заметим, что для факторных множителей $\tilde{C}(\tau)$ и $\tilde{R}(\tau)$ справедливыми являются предельные выражения вида

$$\lim_{\tau \rightarrow 0} \tilde{C}(\tau) = C, \quad \lim_{\tau \rightarrow 0} \tilde{R}(\tau) = R. \quad (21)$$

Метод, основанный на формулах (9) CR -факторизации матриц с выбором ведущих элементов в соответствии с критерием (11) и пренебрежением элементов факторных матриц, удовлетворяющих условиям (19) и (20), является методом неполной столбцово-строчной (ICR -) факторизации матриц [10].

Решение систем уравнений Ньютона методом ICR -факторизации матриц. Применяя методы CR - и ICR -факторизации матриц Φ_w , входящих в системы уравнений Ньютона (7), найдем, соответственно,

$$\Phi_w = C_s R_s \quad \text{и} \quad \Phi_w = \tilde{C}_s(\tau) \tilde{R}_s(\tau) + \Delta \Phi_s(\tau), \quad (22)$$

где матрица ошибок ICR -факторизации определяется выражением

$$\Delta \Phi_s(\tau) = C_s R_s - \tilde{C}_s(\tau) \tilde{R}_s(\tau). \quad (23)$$

С помощью факторизованных матриц (22) представим системы уравнений (7) в виде

$$\left\{ \tilde{C}_s(\tau) \tilde{R}_s(\tau) \Delta \mathbf{w}_s = -\Phi(\mathbf{w}_s) - \Delta \Phi_s(\tau) \Delta \mathbf{w}_s \mid s = 0, 1, \dots \right\}. \quad (24)$$

Принимая во внимание соотношение (21), установим предельное выражение для матрицы ошибок вида

$$\lim_{\tau \rightarrow 0} \Delta \Phi_s(\tau) = 0. \quad (25)$$

Анализ соотношений (11) и (15) – (16) показывает, что для любого достаточно малого значения $\tau > 0$ оказывается справедливым неравенство

$$\| \Delta \Phi_s(\tau) \| \ll \| \tilde{C}_s(\tau) \tilde{R}_s(\tau) \|. \quad (26)$$

Это означает, что искомые решения $\{ \Delta \mathbf{w}_s | s = 0, 1, \dots \}$ систем уравнений Ньютона вида (24) можно оценить приближенно решениями $\{ \Delta \tilde{\mathbf{w}}_s | s = 0, 1, \dots \}$ систем уравнений вида

$$\{ \tilde{C}_s(\tau) \tilde{R}_s(\tau) \Delta \tilde{\mathbf{w}}_s = -\Phi(\mathbf{w}_s)_s | s = 0, 1, \dots \}, \quad (27)$$

Для оценки погрешностей таких решений вычтем уравнения (27) из соответствующих уравнений (24) и, после несложных преобразований, установим

$$\{ \Delta \mathbf{w}_s - \Delta \tilde{\mathbf{w}}_s = (\tilde{C}_s(\tau) \tilde{R}_s(\tau))^{-1} \Delta \Phi_s(\tau) \Delta \mathbf{w}_s | s = 0, 1, \dots \}. \quad (28)$$

С учетом неравенства (26), а также неравенства

$$\| (\tilde{C}_s(\tau) \tilde{R}_s(\tau))^{-1} \Delta \Phi_s(\tau) \| \leq \| (\tilde{C}_s(\tau) \tilde{R}_s(\tau))^{-1} \| \cdot \| \Delta \Phi_s(\tau) \|, \quad (29)$$

справедливого для произведения норм любых двух матриц, окончательно получим искомые оценки погрешностей в виде

$$\{ \| \Delta \mathbf{w}_s - \Delta \tilde{\mathbf{w}}_s \| \leq \delta_s(\tau) \| \Delta \mathbf{w}_s \| | s = 0, 1, \dots \}, \quad (30)$$

где $\delta_s(\tau) = \| (\tilde{C}_s(\tau) \tilde{R}_s(\tau))^{-1} \| \cdot \| \Delta \Phi_s(\tau) \| \ll 1$.

Анализ выражения (30), содержащего оценки верхних границ погрешностей приближенных решений $\{ \Delta \tilde{\mathbf{w}}_s | s = 0, 1, \dots \}$ систем уравнений (27), показывает основное преимущество метода *ICR*–факторизации матриц Φ_w – возможность формирования предобусловливателей, позволяющих получать близкие к точным решения системы уравнений Ньютона. Поскольку метод *ICR*–факторизации обеспечивает минимальные погрешности аппроксимации матриц Φ_w факторными множителями $\tilde{C}_s(\tau)$ и $\tilde{R}_s(\tau)$, то его использование может осуществляться вместо, а не в составе итерационных методов минимизации невязок в уравнении (8), что позволяет существенно сократить затраты

вычислительных ресурсов при решении вариационных неравенств большой размерности [12].

Заключение. Метод смещения малых элементов матричных компонент обобщенных якобианов Кларка обеспечивает вычислительную устойчивость квази-ньютоновских методов решения нелинейных негладких систем алгебраических уравнений и, поэтому, существенно расширяет область успешного применения современных алгоритмов решения вариационных неравенств.

Благодаря особым аппроксимационным свойствам метода неполной столбцово-строчной факторизации матриц и, как следствие, возможности его применения для прямого решения аппроксимирующих систем уравнений Ньютона, оказывается возможной замена традиционно используемых итерационных методов минимизации невязок систем уравнений Ньютона на прямой метод решения аппроксимирующих систем уравнений с факторизованными матрицами. Замена итерационных методов на оригинальный прямой метод решения уравнений Ньютона позволяет существенно снизить требования к вычислительным ресурсам, необходимым для решения вариационных неравенств большой размерности.

Разработанное на описанной выше новой методической основе приложение ICRS по своим возможностям заметно превосходит известные приложения, в том числе широко используемое приложение PATH, что подтверждается рядом вычислительных экспериментов.

1. *Facchinei F., Pang J.-S.* Finite-dimensional Variational Inequalities and Complementarity Problems. Vol.I. – Springer, 2003. – 728 p., Vol.II. – Springer, 2003. – 728 p.
2. *Ruggiero V., Tinti F.* A preconditioner for solving large scale variational inequality problems by a semismooth inexact approach // International Journal of Computer Mathematics. – 2006. – N 10. – P. 723–739.
3. *Petra S.* Semismooth Least Squares Methods for Complementarity Problems: Ph.D. Thesis. – Wurzburg, 2008. – 162 p. – http://www.opus-bayern.de/uni-wuerzburg/volltexte/2006/1866/pdf/dissertation_petra.pdf.
4. *Kanzow C.* Inexact Semismooth Newton Methods for Large-Scale Complementarity Problems. Preprint 249. Institute of Applied Mathematics and Statistics. – Wurzburg, 2003. – 22 p. – <http://www.mathematik.uni-wuerzburg.de/~kanzow/paper/InSemiP.pdf>
5. *Fischer A.* A special Newton-type optimization method // Optimization. – 1992. – Vol. 24. – № 3 – 4. – P. 269 – 284.
6. *Billups S. C., Dirkse S. P., and Ferris M. C.* A comparison of large scale mixed complementarity problem solvers // Computational Optimization and Applications. – 1997. – № 7. – P. 3 – 25.
7. *Dirkse S.P., Ferris M.C.* The PATH solver: A non-monotone stabilization scheme for mixed complementarity problems. Optimization Methods and Software. – 1995. – № 5. – P. 123 – 156.
8. *Saad Y.* Iterative Methods for Sparse Linear Systems. – Society for Industrial and Applied Mathematics. – Philadelphia, 2003. – 548 p.
9. *Саух С.Е.* Метод CR-факторизации матриц большой размерности // Электронное моделирование. – 2007. – N 6. – С 3 – 22.
10. *Саух С.Е.* Неполная столбцово-строчная факторизация матриц для итерационного решения больших систем уравнений // Электронное моделирование. – 2010. – N 6. – С 3 – 14.
11. *Саух С.Е.* Метод смещения малых элементов в обобщенных якобинах Кларка для обеспечения численной устойчивости квази-ньютоновских методов решения вариационных неравенств // Электронное моделирование. – 2015. – N 4. – С. 3 – 18.
12. *Саух С.Е.* Применение неполной столбцово-строчной факторизации матриц в квази-ньютоновских методах решения вариационных неравенств большой размерности // Электронное моделирование. – 2015. – N 5. – С. 3 – 15.

К.В. Агеев, канд. техн. наук,
Ин-т газа НАН Украины
(Украина, 03113, Киев, ул. Дегтяревская, 39,
тел.(044)4561311, e-mail: agueyev@ua.ru)

Исследование струйно-вихревых процессов в энерготехнологическом оборудовании методами имитационного и численного CFD-моделирования

The imitation modelling of aerodynamics processes on the «cold unit» (the aerodynamic prototype) and subsequent numerical CFD-simulation of high-temperature processes in recuperator on the modelling data basis as the approach for heat exchangers type family with jet-wortex process in working space development are proposed.

Key words: jet-wortex process recuperators, numerical CFD-simulation, imitation modelling.

Введение. В настоящее время в различных отраслях промышленности широко используются энерготехнологические агрегаты — вихревые предтопки, циклонные нагреватели, теплообменники и вихревые горелочные устройства с активными гидрогазодинамическими режимами, основанные на применении закрученных высокотурбулентных потоков теплоносителей и вихревого эффекта Ранка.

Указанные типы оборудования (циклонные и вихревые устройства) обладают компактным габаритным размерам при одновременном обеспечении высоких удельных эксплуатационных характеристик. При этом существуют факторы, которые тормозят внедрение вихревых технологий в промышленности, несмотря на эффективность вихревых аппаратов и вихревой технологии как таковой.

Одной из наиболее важных особенностей указанных устройств является значительная зависимость эффективности их работы от режимных и конструктивных параметров [1]. Поэтому разработка новых и совершенствование известных устройств, в которых реализуются вихревые и в особенности — струйно-вихревые процессы, как возникающие за счет эффекта синергии при взаимодействии системы истекающих импактных (ударных) струй и вихревого спирального потока, а так же исследование протекающих в таком энерготехнологическом оборудовании активных гидрогазидинамических процессов является актуальной научной задачей.

Методика исследования. Исследование струйно-вихревых процессов в рабочем пространстве рекуператора конструкции [2] с активными гидрогазодинамическими режимами проводилось на физической модели (холодном стенде) с последующим CFD-моделированием процессов теплообмена на воздушной стороне рекуператора в научно-практическом комплексе SolidWorks Flow Simulation.

Физическая модель (ФМ) была выполнена в компоновке согласно конструкции рекуператора [2] из оргстекла (Plexiglass), лопасти в форме винтовой крыльчатки выполнялись из ABS-пластика методом стереолитографического прототипирования (3D-печати) с допусками до 0,1 мм при минимальной шероховатости (рис. 1.). Температура нагрева наружной нагреваемой трубы варьировалась в диапазоне 100–400 °С с шагом 100 °С. На ФМ также проводилась

визуализация протекающих в системе процессов путем введения в рабочее пространство ФМ белого дыма из раствора на основе глицерина, производимого специализированной дымовой машиной Chauvet Shurrigane 700 (производство США), применяемой в киноиндустрии для создания эффектов [3].



Рис. 1. Холодный аэродинамический стенд (физическая модель) для исследования струйно-вихревых процессов в рабочем пространстве рекуператора. Винтовые крыльчатки изготовлены методом 3D-печати из ABS-пластика [2]

Численное исследование для всех конструкций ФМ было проведено в SolidWorks с установкой максимальной точности моделирования, что соответствует программному ограничению — 8 циклов по 239 итераций решения уравнения Навье-Стокса. Численное CFD-моделирование проводили на основе аэродинамических параметров, полученных на этапе имитационного исследования на ФМ с количеством ячеек охлаждающего воздуха в модели Fluid cells > 26000 до 100000 штук, неполных ячеек (вследствие «сгущения») Partial cells > 150000 штук, объемы численных CFD-исследований были ограничены величиной 300–400 итераций.

Такое решение было принято после проведения моделирования струйно-вихревых процессов для конструкции рекуператора с одной лопастью в форме винтовой крыльчатки [2] с числом итераций 1500–1700 (~7,9 цикла) и длительностью 32–35 часов машинного времени, которое в результате показало достижение отклонения расчетных температур нагретого воздуха на выходе из струйно-вихревого рекуператора в диапазоне погрешности применявшейся измерительной техники $\pm 1-2$ °С по достижении диапазона 300–400 итераций.

Графические зависимости параметров струйно-вихревого процесса в рабочем пространстве теплообменника получены экспортированием результатов моделирования из системы SolidWorks после визуализации «линий тока» в CFD-модели. В связи с тем, что программный пакет MS Excel 2003 имеет ограничения по объему используемой ядром программы памяти и, следовательно, ограничен объем импортируемых в него данных моделирования (этот предел составляет ~ 6000 табличных строк), при визуализации «линий тока» для CFD-модели был принят запрет на возвратное течение (только поступательное), и число этих линий было принято равным количеству применяемых в конструкции ФМ сопел.

Анализ результатов. При визуализации результатов CFD-моделирования струйно-вихревых процессов можно было наблюдать (рис. 2.), что характер истечения струй из сопел внутренней воздушной перфорированной трубы и распределение зон разогрева воздуха для 330 и 1700 итераций, за исключением участков локального, точечного перегрева, обладает значительным подобием.

Спиральной вихревой структуры разогретого потока на CFD-модели мы не наблюдаем по всей длине рекуператора, при этом значительная крутка потока видна при непосредственном приближении потока к лопастям на конце рекуператора и на выходе из них (рис. 2.) [4].

Показано, что именно лопасти придают турбулизированному потоку не только поступательное, но и отчетливо вращательное движение, закручивая поток под углами, оптимальными для обеспечения максимальной эффективности конвективного теплообмена с нагретой наружной стенкой теплообменника.

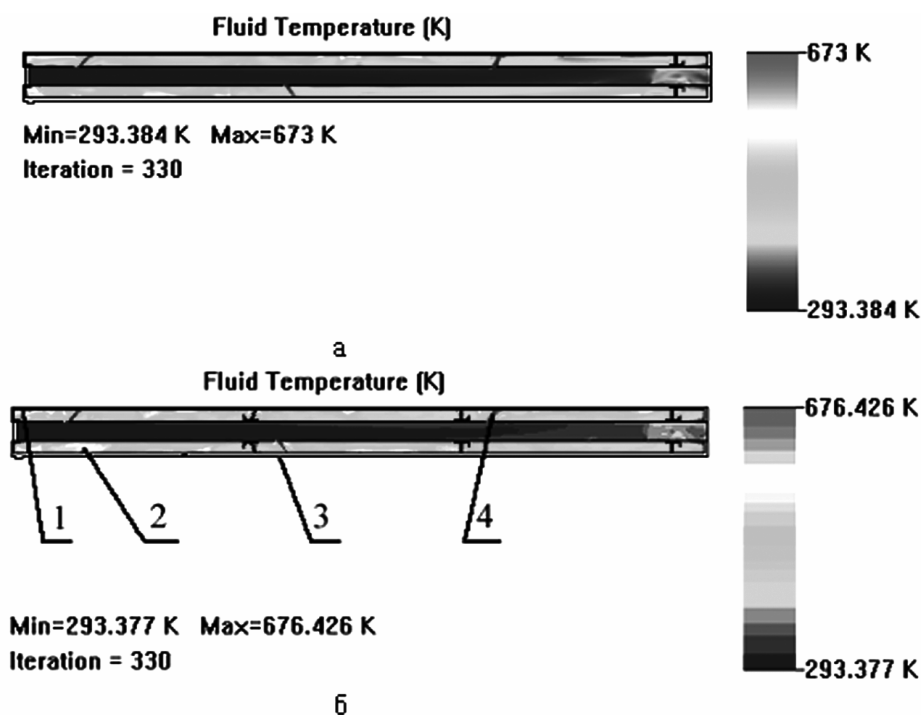


Рис. 2. Структура вихревых турбулизированных потоков в рабочем объеме CFD-модели струйно-вихревого рекуператора при температуре нагрева наружной нагреваемой трубы 400 °С [2]: 1 — формирование возвратного течения и зоны перегрева, 2 — разогрев вихря в зоне контакта, 3 — наружная нагреваемая труба, 4 — импактная струя [3].

Проведение имитационного и численного CFD-исследования струйно-вихревых процессов, протекающих в теплообменнике конструкции [2] позволил решить задачу его усовершенствования за счет, согласно предложению, оснащения его дополнительной наружной нагреваемой трубой, выполненной гладкой, U-образной формы, образующей с основной нагреваемой трубой две прямотрубные секции, которые соединены коленом [5]. При этом в дополнительной выходной прямотрубной секции установлен винтовой многозаходный завихритель (рис. 3), вход в который выполнен со скосом под острым углом к оси завихрителя.

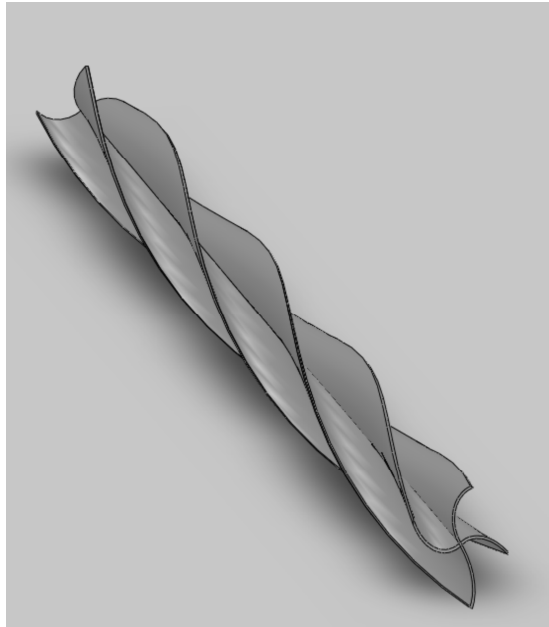


Рис. 3. Винтовой многозаходный завихритель струйно-вихревого высокотемпературного U-образного рекуператора [5].

Конструкция рекуператора [5] позволяет применять трубы больших диаметров, по сравнению с [2] для изготовления теплообменных секций для случаев, когда требуется использование винтовых крыльчаток (рис. 4.) большего размера, что может быть нецелесообразным ввиду возникновения при обтекании их лопастей специфических эффектов, наблюдаемых, например, в авиации при обтекании крыла самолета либо в турбинной технике и пр.

Заключение.

1. Ляндзберг А. Р. Вихревые теплообменники и конденсация в закрученном потоке. [Текст] / А. Р. Ляндзберг, А. С. Латкин // — Петропавловск-Камчатский: КамчаткаГТУ, 2004. — 149 с.
2. Пат. 109992 Укр., МПК9 F 28 D 1/04, F 23 L 15/04. Рекуператор / К.В. Агеев. — Оpubл. 26.10.15, Бюл. № 20.
3. Агеев, К.В. Струйно-вихревые рекуператоры для энергосберегающих технологий /К.В.Агеев, А.Е.Денисова // Холодильна техніка та технологія. Енергетика та енергозбереження. — 2015. — № 51(4). — С. 76–82.
4. Рекуперативні теплообмінники на основі струминно-вихрової технології в технологічних процесах та апаратах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.06 / К.В. Агеев; Міністерство освіти і науки України, Одеський національний політехнічний університет. — Одеса, 2015 — 20 с.
5. Пат. 111022 Укр., МПК9 F 28 D 1/04, F 23 L 15/04. Рекуператор / К.В. Агеев. — Оpubл. 10.03.16, Бюл. № 5.

О. А. Дмитриева¹⁾, д-р техн. наук,
¹⁾Донецкий национальный технический университет
 (Украина, 85300, Красноармейск, пл. Шибанкова, 2,
 тел.(06239) 2-03-09, e-mail: dmitrieva.donntu@gmail.com)

О модификации методов типа Биккарта для расширения области устойчивости

The article is devoted to the problem of development and justification of parallel numerical methods for simulation of dynamic systems with lumped parameters. Single advancing Bickart point methods class as source for extension of stability area was selected and attempts were made to increase the number of block-forming calculation points. Methods absolute stability for initial data and for the right part was proved. The estimates of the highest-order approximation of the proposed methods has been received.

Ключевые слова: задача Коши, разностная схема, матрица перехода, устойчивость, порядок аппроксимации

Введение. Как правило, для использования в параллельных вычислительных системах стараются адаптировать многошаговые или многоточечные численные методы решения задачи (1), структура которых хорошо согласуется с топологией процессорного поля [1]. Однако наличие барьеров Далквиста [2], которые характеризуются ограниченным порядком А–устойчивых многошаговых методов, приводит к необходимости разработки новых подходов, связанных либо с использованием производных от решений высших порядков [3], либо с введением дополнительных этапов: стадийной [4] и(или) опережающей точки (методы с забеганием вперед) [5]. Материал данной статьи ориентирован на разработку и обоснование методов моделирования динамических систем с расширенной областью устойчивости, обладающих высокими показателями параллелизма. В работе [6] в качестве исходного выбран класс одношаговых методов с одной опережающей точкой типа Биккарта [2] и осуществлена попытка увеличить количество расчетных точек, формирующих блок. В представляемой работе предлагается ввести в рассмотрение дополнительные опорные точки.

Генерирование разностных схем многошаговых блочных методов типа Биккарта. Если при численном решении задачи Коши

$$x'(t) = f(t, x(t)), \quad x(t_0) = x_0 \quad (1)$$

в качестве опережающей ввести не одну, а несколько точек, блок размерностью s , $T_n^s = \{t_{n,1}, t_{n,2}, \dots, t_{n,s}\}$, то приближенные значения решения в них $U_n^s = \{u_{n,1}, u_{n,2}, \dots, u_{n,s}\}$ можно будет определять параллельно из соотношений, построенных по методам типа Биккарта, но с увеличенным количеством расчетных точек. Если ввести в рассмотрение в дополнение к множеству расчетных точек несколько опорных $U_{n-1}^m = \{u_{n-(m-1)}, u_{n-(m-2)}, \dots, u_{n,0}\}$ предыдущего блока, то искомые решения можно будет находить параллельно из соотношений, определяющих многошаговые методы типа Биккарта

$$\frac{1}{\tau} \sum_{j=-(m-1)}^s a_{i,j} u_{n,j} = f_{n,i}, \quad i=1,2,\dots,s, \quad n=1,2,\dots, \quad (2)$$

где $a_{i,j}, i=1,2,\dots,s, j=-(m-1), -(m-2), \dots, 0, 1, \dots, s$ – неизвестные коэффициенты разностных уравнений,

τ - шаг интегрирования, $f_{n,i} = f(x(t_n + i\tau), t_n + i\tau)$.

Для определения коэффициентов разностной схемы, как и в одношаговом случае, нужно сформировать соотношения, позволяющие оценить невязки при численном решении $x(t)$ исходного дифференциального уравнения (1)

$$r_{n,i} = -\frac{1}{\tau} \sum_{j=-(m-1)}^s a_{i,j} x_{n,j} + x'_{n,i}, \quad i = 1, 2, \dots, s, \quad (3)$$

где $x_{n,i} = x(t_n + i\tau)$, $x'_{n,i} = x'(t_n + i\tau)$.

Для i -го уравнения необходимо потребовать его аппроксимации в точке $t_{n,0}$. При этом значения $x(t_n + j\tau)$ и $x'(t_n + i\tau)$ необходимо разложить в ряды Тейлора в окрестности точки $t_{n,0}$, подставить эти разложения в выражение (3) и сгруппировать члены с одинаковыми степенями по τ . Полученная при этом система линейных уравнений позволит определить неизвестные коэффициенты разностных схем из (2):

$$\sum_{j=l-m}^s a_{ij} = 0, \quad 1 - \sum_{j=l-m}^s j * a_{i,j} = 0, \quad (4)$$

$$i^{l-1} - \frac{1}{l} \sum_{j=l-m}^l a_{i,j} * j^l = 0, \quad i = 1, 2, \dots, s, \quad l = 2, 3, \dots, s + m - 1.$$

С помощью системы (4) можно получить расчетные коэффициенты для произвольного количества искомых точек в блоке, при этом точность аппроксимации будет ограничена порядком $O(\tau^{s+m})$. Порядок аппроксимации метода можно наращивать, увеличивая количество расчетных и (или) опорных точек. Повышение порядка аппроксимации за счет наращивания количества расчетных точек целесообразно при увеличении числа доступных процессоров, в противном случае рекомендуется увеличение числа опорных.

Коэффициенты разностных уравнений (2) можно определить не только из решений системы (4), но и с помощью интегро-интерполяционного метода. Для этого необходимо построить интерполяционный многочлен $L_{m+s-1}(t)$ с узлами интерполяции $t_{n,i}$ и соответствующими им значениями сеточной функции $u_{n,i}$, $i = -(m-1), -(m-2), \dots, s$. Далее необходимо найти производные полученного интерполяционного многочлена в узлах сетки $t_{n,i}$, $i = 1, 2, \dots, s$. Приравняв их к соответствующим значениям правой части дифференциального уравнения, можно получить разностные уравнения для блока. Предельное значение порядка аппроксимации разностных методов дифференцирования, рассматриваемых как частный вид общих многошаговых методов, также будет определяться порядком $O(\tau^{s+m})$.

Исследование устойчивости по начальным данным. Для оценки устойчивости по начальным данным уравнений (2) введем соответствующие вектора:

$$U_n = \{u_{n,i}\}, \quad i = -(m-1), -(m-2), \dots, 0 \text{ – вектор известных решений,}$$

$$U_{n+1} = \{u_{n+1,i}\}, \quad n = 1, 2, \dots, \quad i = 1, 2, \dots, s \text{ – вектор искомых решений,}$$

$F_{n+1} = \{f_{n+1,i}\}$, $n=1,2,\dots$, $i=1,2,\dots,s$ – вектор правых частей системы (2).

Тогда в матричной форме уравнения (2) будут иметь вид:

$$A_1 U_n + A_2 U_{n+1} = \tau F_{n+1}, \quad n=1,2,\dots \quad (5)$$

Можно разрешить (5) относительно U_{n+1} :

$$U_{n+1} = QU_n + \tau GF_{n+1}, \quad n=1,2,\dots, \quad i=1,2,\dots,s, \quad (6)$$

где $Q = -A_2^{-1}A_1$, $G = A_2^{-1}$.

Для оценки устойчивости полученных методов по начальным данным необходимо определить матрицу перехода соответствующей однородной системы уравнений вида:

$$U_{n+1} = QU_n. \quad (7)$$

Поскольку в общем случае число опорных и расчетных точек может не совпадать, то систему (7) нужно преобразовать к эквивалентной

$$W_{n+1} = \tilde{Q}W_n, \quad (8)$$

где $W_n = \{u_{n,-(m-1)}, u_{n,-(m-2)}, \dots, u_{n,0}\}$, $W_{n+1} = \{u_{n,s-(m-1)}, u_{n,s-(m-2)}, \dots, u_{n,0}, \dots, u_{n,s}\}$.

Матрица Q в (7) имеет размерность $s \times m$, а матрица \tilde{Q} из (8) – квадратная, и ее размерность определяется $\max(s, m)$. Если число опорных и расчетных точек совпадает $s = m$, то $\tilde{Q} = Q$. В случае, если расчетных точек больше, чем опорных ($s > m$), в матрицу \tilde{Q} вводятся нулевые столбцы в первые $s - m$ позиций, оставшиеся столбцы определяются значениями матрицы Q . Если число опорных точек превышает расчетные ($m > s$), матрица \tilde{Q} имеет вид:

$$\tilde{Q} = \begin{pmatrix} 00 \dots 0 & 1 & 00 \dots 0 \\ 00 \dots 0 & 0 & 1 & 0 \dots 0 \\ \dots & & & \\ 00 \dots 0 & 0 & 0 & 0 \dots 1 \\ q_{1,1} & q_{1,2} & \dots & q_{1,m} \\ \dots & & & \\ q_{s,1} & q_{s,2} & \dots & q_{s,m} \end{pmatrix}.$$

Для устойчивости по начальным данным численного метода (2) должно выполняться условие корней. Это означает, что для некоторой нормы матрицы \tilde{Q} должно быть справедливым неравенство $\|\tilde{Q}\| \leq 1$, обеспечивающее расположение всех собственных чисел матрицы внутри или на границе круга единичного радиуса, причем кратные корни не могут быть расположены на границе. Это условие выполняется для любого соотношения опорных и расчетных точек в (2), что гарантирует устойчивость по начальным данным.

Оценка устойчивости по правой части. Для исследования устойчивости по правой части, как и в одношаговом случае [6], вводится модельное уравнение

$$x' = \lambda x, \quad t > 0, \quad (9)$$

где λ - комплексное число ($\lambda < 0$).

Система (2) преобразуется к эквивалентной системе с учетом того, что $f_{n+1,i} = f(t_{n+1,i}, u_{n+1,i}) = \lambda u_{n+1,i}$, и после введения замены $\mu = \lambda \tau$, строится система уравнений, для которой матрица перехода Q будет иметь вид:

$$Q = -(A_2 - \mu E)^{-1} A_1. \quad (10)$$

Затем находится численное решение модельного уравнения, а устойчивость решения при $n \rightarrow \infty$ гарантируется при условии $\|Q\| \leq 1$. В силу возможного несовпадения опорных и расчетных точек матрицу (10) нужно преобразовать к представлению \tilde{Q} , описанному выше. Устойчивость численного метода (2) по правой части определяется собственными значениями матрицы \tilde{Q} . Собственные значения матрицы \tilde{Q} зависят от μ , поэтому необходимо найти те области для собственных значений μ , в которых $|q(\mu)| \leq 1$. Границей G области устойчивости является множество таких точек, для которых $|q(\mu)| = 1$. В проведенных исследованиях при любых соотношениях опорных и расчетных точек границей G являлась мнимая ось, а областью устойчивости метода вся левая полуплоскость $Re(\mu) < 0$, следовательно, методы (2) абсолютно устойчивы по правой части. С увеличением количества опорных и(или) расчетных точек абсолютная устойчивость методов не нарушается.

Заключение. Материал, приведенный в работе, ориентирован на создание параллельных численных методов моделирования динамических систем с сосредоточенными параметрами. В качестве исходного выбран класс методов с одной опережающей точкой типа Биккарта и осуществлена попытка увеличить количество расчетных точек, формирующих блок. На основе выражений для невязок и разложений в ряд Тейлора сформирован общий вид системы алгебраических уравнений, позволяющей определить расчетные коэффициенты для любого количества опережающих точек. Доказана абсолютная устойчивость предложенных методов по начальным данным и по правой части, что позволяет использовать эти методы при параллельном моделировании объектов, описываемых жесткими, плохо обусловленными, быстро осциллирующими системами обыкновенных дифференциальных уравнений.

1. *Дмитрієва О.А.* Паралельне моделювання динамічних об'єктів зі сконцентрованими параметрами. - Харків: «Ноулідж», 2014. – 336 с.
2. *Хайрер, Э., Ваннер Г.* Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Жесткие задачи. – М.: Мир. – 1999. – 685 с.
3. *Дмитрієва О.А.* Разработка многошаговых параллельных коллокационных блочных методов с использованием интерполяционных полиномов Эрмита // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2013, № 5 (64). – С. 243–249.
4. *Фельдман Л.П.,* Общие линейные блочные многошаговые методы решения задачи Коши // Научные труды ДонНТУ. – 2007, № 8 (120). – С. 243–249.
5. *Дмитрієва О.А.* Паралельні чисельні методи моделювання динамічних об'єктів. – Красноармійськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2016. – 384 с.
6. *Дмитрієва О.А.* Разработка и обоснование параллельных одношаговых блочных методов типа Биккарта // Системы обработки информации. – 2014, № 7(123). – С. 121-126.

V. K. Dobrovolsky, Ph.D.,
retired researcher, Kyiv, Ukraine,
e-mail: vol.dobrovol@gmail.com
098-279-4517

Microprocessor with Tagged Registers

This paper describes the microprocessor provided with a tag in each register of the register file as some extension of a register. The tags are 3- or 4-bit width. The tag shows the data type of the register contents and also whether the register is used (is busy) by an instruction, or it is free. Also, some load instructions may have an action tag indicating an operation which has to be performed on the registers recently loaded. The register tags reduce the number of machine instructions processing the data in registers, and enhance the reliability of microprocessor operation.

Keywords: microprocessor, tagged registers, instruction set.

Introduction. The notion of tag has been used as a data identification prefix in some computer architectures in the past. The stack computers of the Burroughs Corporation [1, pp. 18-20] in the early sixties had 3-bit tag to mark the data type in the 48-bit word. The Soviet Elbrus-1 and Elbrus-2 stack computers (multiprocessor computing complexes) in the seventies were provided with 8-bit tag that pointed the data type and the data access rules for 64-bit data [2, p. 226]. The tags were considered as some extension of data in the main computer memory. A special register tag was absent in both the Burroughs and Elbrus computers. In both computers after the data with tag are loaded into a register, an executing instruction explores the tag to decide what further action to perform. Some improvement in reliability due to tagging demanded large overhead for additional memory (6.25 and 12.5 percents), and did not justify tagging in the main computer memory at all.

Tagged registers. The idea of the register tag refers to the data contained in the hardware registers, and does not concern data in the main computer memory. The computer architecture with tagged registers is applicable to a wide range of microprocessors from small to powerful, thus the tags are of different widths for different processors, the register file being a general purpose one. For concreteness the further discussion is carrying out on the exemplary RISC processor, the register file being 64 32-bit registers.

From the programmer's point of view a tag is an inherent and inalienable attribute of the register though the programmer deals with tags directly in rare cases. Confining the tagging exclusively to registers, but not to the data stored in the main memory, is, surely, an essential step forward. The register tagging means rather low overhead expenses, because even 4-bit tag occupies relatively not great part of space of the tagged 31-bit or 64-bit register.

The register data tag shows the data type of the register contents and also whether the register is busy, i.e. is used by an instruction, or is free for write operation, the read operation being ambiguous for a free tag. The data tag defines not only the data type, but also the width of data. Also the data tag indicates the wrong data in the register as a result of the incorrect operation, and any succeeding instruction cannot make use of such a register. The most convenient is the 4-bit data tag. The 3-bit data tags is suitable for small controllers. For greater tags there are insufficient space in the machine instruction. Table 1 shows the proposed interpretations of the 4-bit tag. As a rule the tags are filled

by the load instruction, the tag value is an operand of this instruction.

In the proposed microprocessor architecture the arithmetic and logical instructions are generalized, and are different for various number of operands processed: 1, 2, 3, or 4. Generalization of instructions allow to reduce considerably the instruction count to 128, or to 64, or even to 32 instructions. Typically an instruction deals with 1 to 3 registers, one of which is a destination register, sometimes as a source one simultaneously, other registers are source ones. An issued instruction firstly analyzes the data tags, type and width of data to process. Then the appropriate functional unit initiates the necessary operation, e.g. floating point multiplication, the source operands are moved into the functional unit, the result of operation is written into the operand destination register with the corresponding data tag.

Table 1. Interpretations of the data register tags

Tag code, bits	Register Contents Interpretation	
'0000'b	Register is free for write	
'0001'b	32-bit integer	
'0010'b	64-bit integer	
'0011'b	128-bit integer	
'0100'b	32-bit unsigned	
'0101'b	64-bit unsigned	
'0110'b	128-bit unsigned	
'0111'b	32-bit floating point	
'1000'b	64-bit floating point	
'1001'b	128-bit floating point	
'1010'b	bits	in a register which width is specific for the given processor
'1011'b	bytes	
'1100'b	double bytes	
'1101'b	graphic data	
'1110'b	Reserved	
'1111'b	Wrong resulting data if operation failed	

Load and store instructions. Load instructions have the field containing the data tag value. The instruction fills several registers with information from the main computer memory, and fills all data tags with the values contained in the instruction as well. The load instructions contain one or two 4-bit fields for the tag values. In the case of two fields the first loaded register gets the first tag value, the rest of registers gets the value from the second tag field. The next instruction processes the information in the loaded registers. Fig. 1a and fig 1b give an examples of the 32-bit load instruction format. The instruction operands address data in the main computer memory using, e.g. base and index registers, and offset.

The store instruction is symmetrical to the load instruction. The data tag in the register to store should coincide with the tag value in the instruction. Such a check adds to the reliability of computing, though the data in the main computer memory became of a “featureless type”.

Load instruction with the subsequent data processing. A new load instruction is proposed that combines the load with the subsequent processing of recently loaded data in registers, this feature is not obligatory yet. The 4-bit action operand in the instruction indicates the action (operation) to perform using loaded registers. The term action is used to avoid confusion with the operation in the operation code (opcode) in the load instruction proper. The hardware explores the operation field and the tag value field, selects the required functional unit, transfers the register contents to it, thus accomplishing the operation. This may be initiated while the load instruction still executes. In other words the action operand launches a certain prescribed instruction from the instruction set. The loaded registers should be arranged in the same order as in the prescribed instruction. Fig. 1c gives an example of the instruction. Since load instructions compose an essential part of executable code, the described approach is rather effective, though it realizes only arithmetic and some logical operations. The exemplary list of the combined operations is given in table 2. Other bitwise and bitewise operations may be added to the list too.

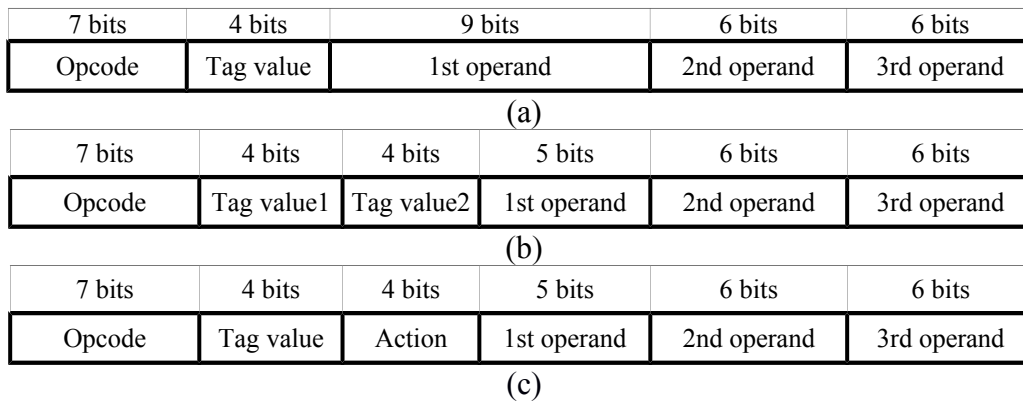


Fig 1. Examples of the 32-bit instruction format for load instructions: (a) with one tag value; (b) with two tag values; (c) with tag value and action

Table 2. Actions (operations) for combined load instructions

Action code, bits	Action (operation on registers)
'0001'b	Add, 2 operands
'0010'b	Add, 3 operands
'0011'b	Subtract, 2 operands
'0100'b	Subtract, 3 operands
'0101'b	Multiply, 2 operands
'0110'b	Multiply, 3 operands
'0111'b	Multiply and accumulate, 3 operands
'1000'b	Divide, 3 operands
'1001'b	Divide with remainder for integers and unsigned, 4 operands
'1010'b	Comparison, 2 operands, condition codes
'1011'b	Search a byte string or a bit string in register(s), 4 operands

States of data register tags. A data tag may have three states: (1) free state with the bit zero value '0000'b, (2) busy state with the non-zero value in the range '0001'b to '1110'b, and (3) error state with the value '1111'b when the operation involving the register fails. The programmer may change the status of the data tags by a special machine instruction, but the necessity for this arises very rarely.

Any instruction is allowed to write into (destination) register if the data tag is free, otherwise the hardware skips several machine cycles until the destination register acquires free state. Such a latency may appear after operations like division which takes many machine cycles. This does not noticeably influence on the throughput of the processor. The number of skipped machine cycles is stipulated by the general microprocessor adjustments. At times an instruction cannot write a register during too excessive number of machine cycles though the register is expected to be free. Such an event indicates either errors in the algorithm, or incorrect work of compiler. The mentioned event is a specific sort of a deadlock.

The busy state of the register means that the register may be read by an instruction and its contents processed. But after the read operation—it is important—the data tag of the register is zeroed and the register becomes free. In rare cases the register contents is necessary after the previous read operation. Then the programmer should copy the register contents with data tag beforehand by a special instruction. Any instruction that reads data in the source registers matches the register data tags with the tag values in the instruction. In rare cases owing to incorrect usage of the load instruction a mismatch may arise, then an interruption “wrong data tag” occurs.

Conclusion. Microcontrollers and microprocessors based on the proposed new architecture are aimed at usage in control systems, and as a processor core in multi- and manycore systems, and are applicable for a line of devices from small to powerful. The balance of drawbacks and beauties of the proposed architecture is in favor of advantages:

- (1) tagged registers reduce the number of instructions in the instruction set;
- (2) tagged registers simplify the compiler and interpreter design as they does not take into account the operation latencies in the most of machine instructions;
- (3) tagged registers enhance the reliability of microprocessor operation, and help the programmer to create error-free software on debugging stage of work;
- (4) tagged registers allow dynamic data checking at run-time, detecting errors in algorithms since definite operations are consistent only with a certain types of data.

The proposed new microprocessor architecture is open for discussion and evaluation, stimulating the progress in the development of computer architectures.

1. Instruction operations for the B8501 Central Processing Module. Reference Manual. — Burroughs Corporation. — 1966. — 101 p.
2. Королев Л.Н. Архитектура электронных вычислительных машин. — М: Научный мир, 2005. — 272 с. Korolev, L.N. (2005), *Arkhitektura elektronnyh vychislitelnyh mashin* [Architecture of electronic computers], Nauchny mir, Moscow, Russia.

Е.Е. Федоров (д.т.н., доц.),
Ю.Л. Дикова

Донецкий национальный технический университет, Украина, г. Красноармейск, пл. Шибанкова 2
E-mail: fedorovee75@mail.ru, juli.dikova@gmail.com

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ РУДНИЧНОЙ АТМОСФЕРЫ

The article is considered a centralized multi-agent system prediction of mine atmosphere, consisting of a main agent and a set of subordinate agents, the interaction between them is based on the FIPA-Subscribe Protocol. The basis of the main agent is an ANN of high order, the basis of subordinate agents is ANN NARMA. The proposed approach to the construction of multi-agent systems will increase the accuracy of the forecast of the mine atmosphere characteristic values by 10%, and the probability of the mine atmosphere condition forecast by 7%.

Keywords: mine atmosphere, centralized multi-agent system, artificial neural network, NARMA.

Постановка проблемы. В настоящее время одной из важнейших проблем, существующих в горной промышленности, является повышение производственной безопасности. Современные компьютерные системы аэрогазового контроля [1 – 2], используемые на шахтах, не предусматривают возможность прогноза содержания взрывоопасных газов. Это приводит к тому, что мероприятия, направленные на недопущение аварий или снижение их последствий, могут быть проведены слишком поздно. Поэтому разработка способов прогноза содержания взрывоопасных газов в горных выработках, используемых для повышения качества оценки аэрогазовой ситуации, является актуальной.

Анализ исследований. На сегодняшний день в качестве инструмента для прогноза широко применяются следующие методы: регрессионные и авторегрессионные методы прогнозирования; методы, основанные на экспоненциальном сглаживании; методы на базе цепей Маркова; на базе классификационно-регрессионных деревьев; искусственные нейронные сети (ИНС). В работе [3] приведена сравнительная характеристика перечисленных способов. Поскольку использование ИНС [4-6] при прогнозировании дает ощутимое преимущество, которое заключается в том, что: взаимосвязи между факторами исследуются на готовых моделях; не требуются никакие предположения относительно распределения факторов; априорная информация о факторах может отсутствовать; исходные данные могут сильно коррелировать, быть неполными или зашумленными; возможен анализ систем с высокой степенью не линейности; быстрая разработка модели; высокая адаптивность; возможен анализ систем с большим количеством факторов; не требуется полный перебор всех возможных моделей; возможен анализ систем с неоднородными факторами, в статье будет использоваться нейросетевой способ прогноза.

Архитектурно-структурная организация программной компоненты на основе мультиагентной системы [7-10] обеспечивает параллелизм обработки информации. Таким образом, использование мультиагентной системы позволяет повысить скорость прогноза состояния рудничной атмосферы за счет распараллеливания процессов прогноза значений ее характеристик.

Постановка задачи исследования. Целью работы является разработка мультиагентной системы прогноза состояния рудничной атмосферы. Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

– определить структуру мультиагентной системы и поведение ее агентов;

- определить структуру ИНС прогноза для каждого агента;
- выбрать критерий оценки качества ИНС прогноза;
- обучить ИНС прогноза для каждого агента;
- выполнить численные исследования.

Результаты разработки и исследований. В статье предлагается централизованная мультиагентная система прогноза состояния рудничной атмосферы, состоящая из главного агента A и набора подчиненных независимых друг от друга агентов A_i . Взаимодействие между главным и подчиненными агентами осуществляется на основе протокола FIPA-Subscribe. Каждый подчиненный агент A_i прогнозирует значение одного из 21 следующих признаков (характеристик) рудничной атмосферы: давление, температура, скорость движения и влагосодержание атмосферного воздуха, концентрация в атмосферном воздухе метана (CH_4), этана (C_2H_6), пропана (C_3H_8), бутана (C_4H_{10}), этилена (C_2H_4), ацетилена (C_2H_2), водорода (H_2), сероводорода (H_2S), оксида углерода (CO), диоксида углерода (CO_2), оксида азота (NO), диоксида азота (NO_2), тетраоксида диазота (N_2O_4), пентаоксида диазота (N_2O_5), диоксида серы (SO_2), кислорода (O_2), пыли.

БД главного агента A хранит вектор последних спрогнозированных состояний рудничной атмосферы. БЗ главного агента A хранит набор ассоциативных правил предложенной в работе ИНС высоких порядков. БД каждого подчиненного агента A_i хранит вектор последних измеренных значений i -го признака и соответствующий ему вектор последних спрогнозированных значений i -го признака. БЗ каждого подчиненного агента A_i хранит набор ассоциативных правил для i -й ИНС NARMA.

Алгоритм работы главного агента A заключается в следующем: агент A запускает всех подчиненных агентов A_i , затем посылает им запрос о подписке на получение спрогнозированных значений признаков и ожидает от каждого подчиненного агента ответ-подтверждение. Далее главный агент сообщает оператору результат ответов. В случае успешного подтверждения главный агент производит сбор прогнозируемых значений признаков $y_i(n+1)$ от подчиненных агентов и выполняет прогноз состояния рудничной атмосферы $z(n+1) = F(y_1(n+1), \dots, y_{21}(n+1))$, используя предложенную в работе ИНС высоких порядков. Конечный результат прогноза $z(n+1)$ агент A отправляет оператору.

Алгоритм работы каждого подчиненного агента A_i заключается в следующем: агент A_i ожидает, пока не получит запрос на подписку от главного агента и посылает в ответ согласие на подписку. Далее агент A_i ожидает заданный шаг квантования по времени Δt и с помощью соответствующего датчика получает измеренное значение признака $u_i(n)$. Если модуль разности между измеренным значением признака $u_i(n)$ и спрогнозированным ранее значением признака $y_i(n)$ превышает заданный порог, то агент A_i сообщает главному агенту A о сбое в подписке. В случае корректной работы агент A_i выполняет прогноз значения признака

$y_i(n+1) = F_i(u_i(n), \dots, u_i(n-M), y_i(n), \dots, y_i(n-M))$, используя i -ю ИНС NARMA [4]. Спрогнозированное значение признака $y_i(n+1)$ посылается главному агенту.

В основу работы главного агента положена авторская ИНС высоких порядков, структурная схема которой приведена на рис 1.

Для обучения ИНС главного агента использовался алгоритм обратного распространения ошибки (BackPropogation), а для обучения ИНС подчиненных агентов использовались метаэвристики [5-6].

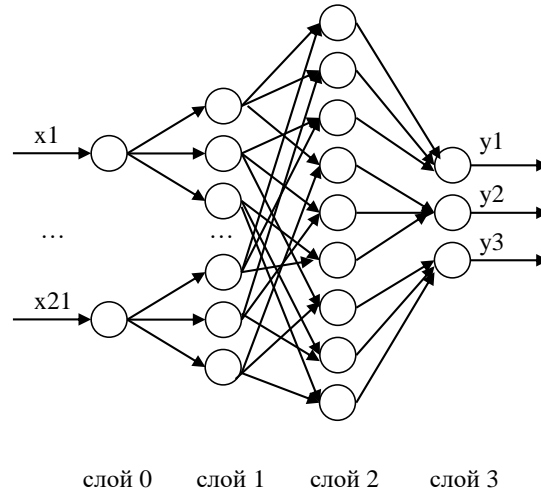


Рис. 1. ИНС высоких порядков главного агента

Модель ИНС представлена в виде:

$$y_j^{(1)} = \begin{cases} \frac{1}{1 + \exp(b_{1j} - a_{1ij}x_i)} & j = (i-1)N^{(3)} + 1 \\ \frac{1}{1 + \exp(b_{2j} - a_{2ij}x_i)} + \frac{1}{1 + \exp(d_{2j} - c_{2ij}x_i)} & j = (i-1)N^{(3)} + 2, \quad j \in 1, N^{(1)}, \quad i \in 1, N^{(0)} \\ \frac{1}{1 + \exp(b_{3j} - a_{3ij}x_i)} & j = (i-1)N^{(3)} + 3 \end{cases}$$

$$y_j^{(2)} = f^{(2)}(s_j^{(2)}) = s_j^{(2)}, \quad j \in 1, N^{(2)},$$

$$s_j^{(2)} = b_j^{(2)} + \sum_{i_1=1}^{N^{(1)}} \dots \sum_{i_{N^{(0)}=1}^{N^{(1)}} w_{i_1 \dots i_{N^{(0)}} j}^{(2)} y_{i_1}^{(1)} * \dots * y_{i_{N^{(0)}}}^{(1)},$$

$$y_j^{(3)} = f^{(3)}(s_j^{(3)}) = s_j^{(3)}, \quad j \in 1, N^{(3)},$$

$$s_j^{(3)} = b_j^{(3)} + \sum_{i_1=1}^{N^{(2)}} w_{i_1 j}^{(3)} y_{i_1}^{(2)} + \sum_{i_1=1}^{N^{(2)}} \dots \sum_{i_k=1}^{N^{(2)}} w_{i_1 \dots i_k j}^{(3)} y_{i_1}^{(2)} * \dots * y_{i_k}^{(2)} + \dots + \sum_{i_1=1}^{N^{(2)}} \dots \sum_{i_{N^{(2)}=1}^{N^{(2)}} w_{i_1 \dots i_{N^{(2)}} j}^{(3)} y_{i_1}^{(2)} * \dots * y_{i_{N^{(2)}}}^{(2)}.$$

Предложенная мультиагентная система была реализована в программной среде JADE.

Выводы. Предложенная мультиагентная система прогноза состояния рудничной атмосферы обладает следующими достоинствами:

- упрощено разделение задач между подчиненными агентами;

- подчиненные агенты для решения своих задач обладают необходимой информацией о текущем состоянии рудничной атмосферы;
- подчиненные агенты не мешают друг другу во время решения своих задач;
- подчиненным агентам не нужно явно общаться между собой во время решения своих задач;

- подчиненные агенты не дублируют действия друг друга.

На основе численного исследования структуры ИНС NARMA, используемой для прогноза значений признаков подчиненными агентами, были выбраны функции активации, определено количество нейронов в скрытом слое и величина задержки, что позволило ускорить процедуру обучения.

Предложенная ИНС высоких порядков, используемая для прогноза состояния главным агентом, обладает следующими достоинствами:

- возможность использования в одном слое разных функций активации, что позволяет учесть особенности признаков (характеристик) рудничной атмосферы;
- отсутствие необходимости определения количества скрытых слоев и количества нейронов в этих слоях, что упрощает адаптацию структуры ИНС;
- универсальность и расширяемость для любого необходимого количества признаков (характеристик) рудничной атмосферы.

Адаптация параметров предложенных ИНС выполнялась с помощью комбинации локального и случайного поиска, вероятность выполнения которых зависела от номера итерации. Это позволило увеличить точность прогноза значений признаков (характеристик) рудничной атмосферы на 10%, а вероятность прогноза состояния рудничной атмосферы на 7%.

Предложенный подход к построению мультиагентных систем может быть использован для компьютерных систем прогноза общего и специального назначения.

Список использованной литературы

1. Федоров Е.Е. Разработка способа комплексного контроля концентрации вредных газов / Е.Е.Федоров, Ю.Л. Дикова // Известия донецкого горного института, 2015. – №1. с. 30-34.
2. Айруни А. Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений в угольных шахтах / А. Айруни. – М., Наука, 1987. – 310 с.
3. Чучуева И.А. Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобия: дис. . . . кандидата технических наук: 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ / Чучуева Ирина Александровна. – Москва, 2012. – 153 с.
4. Haykin S. Neural networks / S. Haykin. – NY: Pearson Education, 1999. – p.823.
5. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский. – Пер. с польского И.Д. Рудинского. - М.: Финансы и статистика – 2002. – 344 с.
6. Скобцов Ю.А. Метаэвристики: монография / Ю.А. Скобцов, Е.Е. Федоров. – Донецк: Ноулидж, 2013. – 426 с.
7. Городецкий В.И. Многоагентные системы (обзор) / В.И. Городецкий, М.С. Грушинский, А.В. Хабалов // Новости искусственного интеллекта. – 1997. – № 1. – С. 12-47.
8. Bellifemine F. Developing multi-agent systems with JADE / F. Bellifemine, G. Caire, D. Greenwood. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2007. –286 p.
9. Wooldridge M. An Introduction to MultiAgent Systems / M. Wooldridge. – Chichester: John Wiley & Sons, Inc., 2002. – 348 p.
10. Федоров Е.Е. Методология создания мультиагентной системы речевого управления: монография / Е.Е. Федоров. – Донецк: изд-во «Ноулидж», 2011. – 356 с.

D. Khlopov¹⁾, M.Sc.,

M. Mangold²⁾, apl. Prof. Dr-Ing. habil.,

¹⁾Max Planck Institute for Dynamics of Complex Technical Systems
(Germany, 39106, Magdeburg, Sandtorstr. 1,
тел.+49(391) 6110388, e-mail: khlopov@mpi-magdeburg.mpg.de)

²⁾Max Planck Institute for Dynamics of Complex Technical Systems
(Germany, 39106, Magdeburg, Sandtorstr. 1,
тел.+49(391) 6110361, e-mail: mangold@mpi-magdeburg.mpg.de)

Программное средство для автоматического упрощения моделей дифференциально-алгебраических систем с помощью метода истинного ортогонального разложения

Proper Orthogonal Decomposition (POD) is an attractive way to obtain reduced models of low order. This article reports on the automatization of the mentioned reduction method. An automatic procedure for the model reduction of differential algebraic systems is presented, which is implemented in the modeling and simulation environment ProMoT/Diana.

Ключевые слова: упрощение нелинейных моделей, истинное ортогональное разложение, компьютерное моделирование, системы дифференциально-алгебраических уравнений

Введение. Численные решения большого количества современных математических моделей реальных процессов являются очень трудоемкими задачами. В первую очередь это касается нелинейных систем с распределенными параметрами. Как правило, для получения численного решения исходная система бесконечного порядка после дискретизации сводится к системе дифференциально-алгебраических уравнений. Однако результирующий порядок таких систем очень высок, что затрудняет их использование в задачах управления и оптимизации. Поэтому существует потребность в упрощении таких моделей. Методы упрощения позволяют получать модели с малым количеством уравнений при умении воспроизводить поведение исходной системы с необходимой точностью в релевантном диапазоне параметров системы.

В этой работе используется метод истинного ортогонального разложения (POD) для разработки системы автоматического упрощения моделей. Этот метод был успешно применен к многочисленным проблемам гидродинамики, а также к таким системам популяционного баланса, как кристаллизаторы [1] и грануляторы [2]. Проблема заключается в том, что применение данного метода вручную к сложным инженерным моделям является очень утомительной задачей. Идея данной работы – предоставить программную среду, которая производит упрощение моделей автоматически при минимальном участии пользователя.

Математический метод. Перед применением метода исходная модель должна быть представлена в виде системы дифференциально-алгебраических уравнений

$$B \frac{dx}{dt}(t) = Ax(t) + C + g(x(t)), \quad (1)$$

где $x(t)$ – дискретизированный вектор состояний, B и A – системные матрицы, C – вектор констант, а функция $g(x(t))$ описывает нелинейности системы.

POD метод [3, 4, 5] грубо может быть разделен на две части. Первая часть включает в себя предварительные вычисления: численное решение исходной

модели и вывод уравнений упрощенной модели. В зависимости от сложности исходной модели, эта часть может быть чрезвычайно трудоемкой. Но эта инвестиция сполна окупается во второй простой части, где необходимо получить численное решение упрощенной модели очень низкого порядка.

Основной идеей данного метода является аппроксимация решения исходной модели линейной комбинацией независимых от времени базисных функций, взвешенных зависимыми от времени коэффициентами. Базисные функции вычисляются посредством сингулярного разложения матрицы «снэпшотов», которая формируется в результате численного решения исходной модели. Для получения уравнений для коэффициентов вышеупомянутая аппроксимация подставляется в исходное уравнение (1). Теперь необходимо ликвидировать проекции невязок аппроксимации на упрощенный базис. Это достигается при помощи метода взвешенных невязок Галеркина, в результате чего формируются следующие уравнения для коэффициентов

$$\Psi^{xT} B \Psi^x \frac{d\phi^x}{dt}(t) = \Psi^{xT} A \Psi^x \phi^x(t) + \Psi^{xT} C + \Psi^{xT} g(\Psi^x \phi^x(t)) \quad (2)$$

Присутствие нелинейности g в уравнении (2) вносит дополнительную сложность в упрощенную модель. Для устранения этой проблемы используется метод эмпирической интерполяции [6], который добавляет в структуру упрощенной модели несколько линейных алгебраических уравнений. Таким образом, полученная упрощенная модель является системой дифференциально-алгебраических уравнений низкого порядка. Основная задача разрабатываемого программного обеспечения заключается в формировании уравнений упрощенной модели в символьном виде из произвольно структурированной исходной модели.

Программная реализация. Автоматизация POD метода реализована на базе среды моделирования ProMoT [7], которая написана на языке программирования Common Lisp. ProMoT поддерживает структурированную реализацию динамических моделей, описываемых системами нелинейных дифференциально-алгебраических уравнений. Партнером этой среды, который выполняет численные решения, является вычислительная среда Diana [8]. Для эффективности численное ядро Diana написано на языке C++. Разработанное программное обеспечение для автоматического упрощения моделей является частью проекта ProMoT, поэтому написано на языке Common Lisp. Основными компонентами среды являются генератор «снэпшотов», символьный преобразователь, генератор численных данных и строитель упрощенной модели.

ProMoT предоставляет язык моделирования MDL. Для запуска процедуры упрощения пользователь должен предоставить уже дискретизированную исходную модель, написанную на языке MDL. Далее Diana выполняет численное решение этой модели и в качестве результата возвращает матрицу «снэпшотов».

Далее описывается работа символьного преобразователя, который преобразует произвольно структурированную исходную модель к требуемому виду (1). Основной задачей преобразователя является формирование системных матриц A и B , а также вектора констант C из (1). Для этого ProMoT предоставляет доступ к объектам моделирования (переменным и уравнениям моделей) в символьном виде. Для выполнения математических операций над ними

используется система компьютерной алгебры Maxima. Матрица В формируется с помощью операций символьного дифференцирования исходных уравнений по операторам дифференцирования. Для формирования матрицы А и вектора С существует два подхода. При первом подходе матрица А – это матрица Якоби, сформированная в результате символьного дифференцирования, а вектор С пуст. Во втором случае А и С являются частью аффинной функции, полученной в результате применения операции линейной регрессии к матрице «снэпшотов».

Для формирования уравнений упрощенной модели необходимо найти соответствующие базисные функции посредством сингулярного разложения. Для выполнения такого рода операций требуется специализированное программное обеспечение. В данной работе используется система для математических вычислений GNU Octave. Для удобства использования был разработан программный интерфейс, который позволяет запускать Octave в интерактивном режиме, отправлять данные, запускать операции над ними и получать результат.

После выполнения всех вышеописанных действий имеется вся необходимая информация для построения уравнений упрощенной модели. В качестве последнего шага программное обеспечение создает новый файл модели и записывает в него уравнения упрощенной модели в символьном виде.

Пример: кристаллизатор. Исходная модель кристаллизатора является вариантом модели из [9, 10]. Кристаллизатор имеет форму цилиндра, диаметр которого сужается в направлении его дна. Жидкость поступает в кристаллизатор извне через его основание. Поток жидкости направлен снизу вверх, транспортируя при этом мелкие частицы в верхнюю часть кристаллизатора. Крупные частицы направляются вниз из-за силы тяжести. Главным предположением этой модели является то, что кристаллизатор содержит достаточно большое количество частиц, чтобы фаза частиц могла быть описана при помощи популяции частиц с их количественной плотностью $n(x, L, t)$, которая обозначает количество частиц размера L в объеме пространства x . Уравнение популяционного баланса имеет следующий вид

$$A(x) \frac{\partial n}{\partial t} \Big|_{x,L,t} = - \frac{\partial}{\partial t} (A(x) v_p(x, L, t) n(x, L, t)) + D \frac{\partial}{\partial x} \left(A(x) \frac{\partial n}{\partial t} \Big|_{x,L,t} \right) \quad (3)$$

Первое слагаемое правой части уравнения (3) описывает адвективное перемещение частиц, а второе – перемещение частиц под действием дисперсии. Величина $A(x)$ обозначает площадь поперечного сечения кристаллизатора.

Для получения численного решения данная модель была дискретизирована с использованием следующей сетки дискретизации: 120 точек в направлении внешней координаты (положение в пространстве вдоль кристаллизатора) и 80 точек в направлении внутренней координаты (размер частиц). В совокупности дискретизированная модель состоит из 9600 обычных дифференциальных уравнений. «Снэпшоты» - это накопленные решения исходной модели на равноудаленной временной сетке для $t=0..2000$ секунд с интервалом в 10 секунд.

Разработанное программное обеспечение смогло построить соответствующую упрощенную модель, которая состоит из 28 обычных дифференциальных уравнений и 13 алгебраических уравнений в сравнении с 9600 дифференциальными уравнениями исходной модели. Поведения упрощенной и

исходной моделей очень хорошо согласуются, как показано на рисунке 1. На нем отображается значение относительной суммарной погрешности двух решений в виде $\|n1(t) - n2(t)\| / \|n1(t)\|$, где $n1(t)$ и $n2(t)$ обозначают решения исходной и упрощенной моделей в момент времени t , соответственно.

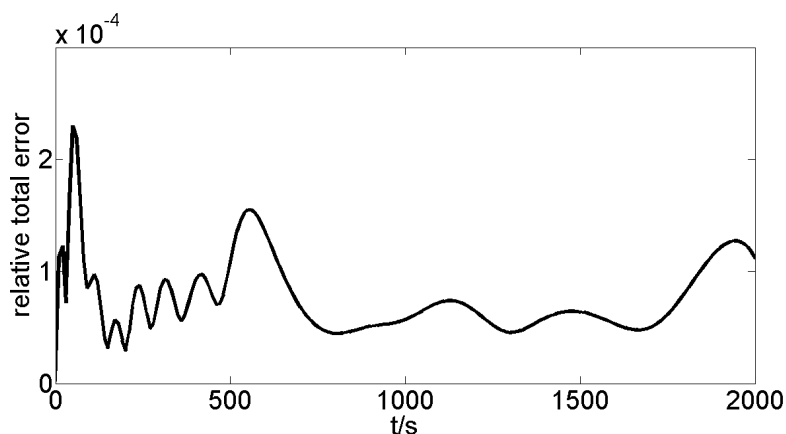


Рис. 1. Относительная суммарная погрешность аппроксимации

Заключение. Разработано программное обеспечение для упрощения моделей с использованием POD метода. Хотя базисные функции, полученные из матрицы «снэпшотов» исходной модели, дают некоторое представление об ожидаемой точности упрощенной модели, в зависимости от многих факторов погрешность аппроксимации может покинуть требуемый диапазон. Для этих целей должно быть разработано эффективное средство апостериорной оценки погрешности.

1. *M. Krasnyk, M. Mangold.* Reduction of a urea crystallizer model by proper orthogonal decomposition and best point interpolation. — *Industrial & Engineering Chemistry Research* 49. — 2010. — 9887-9898.
2. *M. Mangold.* Model reduction of a batch drum granulator by proper orthogonal decomposition. — In: 8th IFAC Symposium on Advanced Control of Chemical Processes. — 10-13 July 2012, Singapore. — 856-861.
3. *K. Kunish, S. Volkwein.* Galerkin proper orthogonal decomposition methods for a general equation in fluid dynamics. — *SIAM Journal on Numerical Analysis* 40 (2). — 2003. — 492-515.
4. *H.M. Park, D.H. Cho.* The use of the karhunen-love decomposition for the modeling of distributed parameter systems. — *Chemical Engineering Science.* — 1996. — 81-98.
5. *L. Sirovich.* Turbulence and the dynamics of coherent structures part i: coherent structures. — *Quarterly of Applied Mathematics* 45 (3). — 1987. — 257-267.
6. *M. A. Grepl, Y. Maday, N.C. Nguyen, A.T. Patera.* Efficient reduced-basis treatment of nonaffine and nonlinear partial differential equations. — *ESAIM: Mathematical Modelling and Numerical Analysis* 41 (3). — 2007. — 575-605.
7. *M. Ginkel, A. Kremling, T. Nutsch, R. Rehner, E.D. Gilles.* Modular modeling of cellular systems with ProMoT/diva. — *Bioinformatics* 19 (9). — 2003. — 1169-1176.
8. *M. Krasnyk.* Ph.D. Thesis. — Otto-von-Guericke-University Magdeburg. — 2009.
9. *S. Palis, D. Binev, H. Lorenz, A. Seidel-Morgenstern, A. Kienle.* Population balance modeling of crystallization in a fluidized bed. — *BIWIC 2013 20th International Workshop on Industrial Crystallization.* — 2013. — 252-259.
10. *M. Mangold, D. Khlopov, S. Palis, L. Feng, P. Benner, D. Binev, A. Seidel-Morgenstern.* Nonlinear model reduction of a continuous fluidized bed crystallizer. — *Journal of Computational and Applied Mathematics* 289. — 2015. — 253-266.

В. М. Карпенко, канд. техн. наук,
 Національна акціонерна компанія «Нафтогаз України»
 (Україна, 01001, Київ, вул. Б. Хмельницького, 6,
 тел. (+38) 0663814781, e-mail: intexnaftogaz@ukr.net)

Основні теореми енергоінформаційного аналізу динаміки фізичних точок

The basic existence theorems energy dynamics models: a physical point of physical energy invariant point, system of physical points as a physical line in physical space. Energy invariant combines the laws, preservation, alteration, transfer and packaging of energy.

Key words: energy-analysis, dynamics, physical point system of physical points, existence theorems.

Вступ. Динамікою фізичної точки (ФТ) є її осциляція, поступальний, параболічний, гіперболічний і стохастичний рухи. Кожний з цих рухів моделюється окремим рівнянням. ФТ розглядається корпускулою і хвилею, для яких також розроблені окремі моделі динаміки алгебраїчні і геометричні.

Науковою проблемою є поєднання названих рухів в єдину модель.

Запропоноване рішення проблеми – енергоінформаційний метод аналізу динаміки корпускулярних і хвильових об'єктів [1]. В статті наведені доведені основні теореми існування енергоінформаційних моделей: фізичної точки, енергетичного інваріанту фізичної точки і системи фізичних точок, як фізичної лінії у фізичному просторі.

Теорема 1: Існування енергоінформаційної моделі динаміки фізичної точки (ЕМД-ФТ).

Якщо задане рівняння вигляду

$$\xi(t) = K(t) + U(t), \quad d\xi(t)/dt = 0, \quad (1)$$

де функції $K(t) = 0,5m\dot{x}^2(t)$, $U(t) = 0,5\mu x^2(t)$ мають невідомі параметри: $m = const$, $\mu = const$, то заміна $m = 2K(t)/\dot{x}^2(t)$, $\mu = 2U(t)/x^2(t)$ надає визначення даних параметрів рівняннями

$$\mu = \frac{2\xi}{x^2(t)} \left\{ 1 - \frac{f(t) \ln[\eta(t)]}{[f(t) - \ln[\eta(t)]]} \right\}, \quad (2); \quad m = \frac{\xi}{0,5\dot{x}^2(t)} \cdot \frac{\ln[\eta(t)] f(t)}{[f(t) - \ln[\eta(t)]]}, \quad (3)$$

де $f(t) = V_0/x_0(t - t_0)$ – довільна функція початкових умов, $\eta(t) = x(t)/x_0$ а диференціал рівняння (1) в енергоінформаційному представленні має вигляд

$$\varphi^2(t) = \frac{K(t)U(t)}{\xi^2} = -\frac{\ddot{x}(t)}{x(t)} \cdot t^2 = \frac{\mu}{m} \cdot t^2 = \omega_0^2 t^2 = \frac{1}{4} \cdot \sin^2(2\omega_0 t). \quad (4)$$

Лема ЕМД-ФТ. Рівняння (4) має еквівалентні представлення:

$$t^2 \ddot{x}(t) + \varphi^2(t) \cdot x(t) = 0 \quad (4.1)$$

$$\ddot{x}(t) - [C^2 t^2 + C] \cdot x(t) = 0 \quad (4.2)$$

$$\ddot{x}(t) - [C^2(t) t^2 + C(t)] \cdot x(t) = 0 \quad (4.3)$$

$$\ddot{x}(t) + \left[\frac{\varphi^2(t)}{t^2} = \omega_0^2 \right]_{\substack{t \rightarrow \infty \\ \varphi(t) \rightarrow \infty}} \cdot x(t) = 0 \quad (4.4)$$

середня частота

$$\ddot{x}(t) + \left[\frac{\sin^2(2\omega_0 t)}{4 \cdot t^2} \right]_{t \rightarrow 0} \cdot x(t) = 0 \quad (4.5)$$

$$\ddot{x}(t) + \left[\frac{K(t)U(t)}{\xi^2 t^2} \right]_{t=\tau=const} \cdot x(t) = 0 \quad (4.6)$$

$$\ddot{x}(\tau) + \left[\frac{U(\tau)}{\xi} - \frac{U^2(\tau)}{\xi^2} \right]_{t=\tau=const} \cdot \left\langle \frac{x(\tau)}{\tau^2} \right\rangle = 0 \quad (4.7)$$

миттєве прискорення *середнє прискорення*

Теорема 2: Існування рівняння енергетичного інваріанту ЕМД-ФТ.

Якщо задане функціональне рівняння вигляду

$$E = K + U, \quad \Delta E \neq 0, \quad (5)$$

де E, K, U - довільні функції, зв'язані замкнутою системою простих операторів

$$\begin{cases} a_{\sim} + a_{\sim} = \xi \\ a_{\sim} - a_{\sim} = \psi_1 \end{cases}, \quad (5.1); \quad \begin{cases} a_{\sim} + a_{\sim} = \xi \\ a_{\sim} \cdot a_{\sim} = \psi_2 \end{cases}, \quad (5.2); \quad \begin{cases} a_{\sim} + a_{\sim} = \xi \\ a_{\sim} / a_{\sim} = \psi_3 \end{cases}, \quad (5.3)$$

де $a_{\sim} = K/E_0$; $a_{\sim} = U/E_0$; $\xi = E/E_0 = 1$ - нормовані функції на кінцеве значення функції E_0 ; ψ_i - довільні функції, то існує рівняння інваріанту ЕМД-ФТ у вигляді

$$\varepsilon^2 - \xi \cdot \varepsilon + \xi^2 \cdot \psi_0^2 = 0, \quad (6)$$

де $\varepsilon_{1,2} = \xi \left(0,5 \pm \sqrt{0,25 - \psi_0^2} \right)$ - оператор; ψ_0^2 - енергетичний інваріант ФТ, що визначається рівняннями

$$\left\{ \psi_0^2 = \frac{a_{\sim} a_{\sim}}{\xi^2} = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{\psi_1^2}{\xi^2} \right) = \frac{\psi_2}{\xi^2} = \frac{\psi_3}{(1 + \psi_3)^2} \right.$$

Лема 2. Рівнянню (6) задовольняють:

- 1) енергетичні закони фізики;
- 2) кривизни диференціальної геометрії;
- 3) кватерніони алгебри.

Теорема 3. Існування енергоінформаційної моделі системи фізичних точок (ЕМД-СФТ), як лінії у просторі.

Якщо задане рівняння інваріанту ЕМД-ФТ

$$\varepsilon^2 - \xi \cdot \varepsilon + \xi^2 \cdot \psi_0^2 = 0,$$

то при рівномірному і послідовному розподілі енергетичного інваріанту ψ_0^2/n між n зв'язаними фізичними точками однорідного простору, загальний інваріант визначається рівнянням

$$\psi_0 = \frac{\sqrt{KU}}{\xi} = e^{-\psi_0^2}, \quad (7)$$

названого функцією детермінованої імовірності (ФДІ)

Лема 3. Функція детермінованої імовірності має:

• **Фундаментальні енергетичні властивості в часі і просторі;**

1) ФДІ має вигляд солітону передачі енергії фізичною точкою

$$\xi(\psi) = \xi_0 e^{-\psi^2}, \quad \text{Дж} \quad (7.1)$$

де $\psi^2 = KU / \xi^2$ - енергетичний інваріант ЕМД-ФТ; $\xi(\psi)$ - вихідна загальна енергія з ФТ; ξ_0 - задана вхідна загальна енергія ФТ; K, U - кінетична та потенціальна енергії солітону;

2) Диференціал ФДІ у енергетичному просторі $\Re[E]$ надає ФДІ-квант енергії

$$d\xi(\psi) = \hbar = -2\xi_0\psi(\xi) e^{-\psi^2(\xi)} d\psi = \text{const}, \quad \text{Дж.} \quad (7.2)$$

де \hbar - мінімальна енергія;

3) Інтеграл ФДІ у енергетичному просторі $\Re[E]$

$$I(\psi) = \int_0^\infty \xi(\psi) d\psi = \xi_0 \int_0^\infty e^{-\psi^2} d\psi = \xi_0 \frac{\sqrt{\pi}}{2}, \quad \text{Дж.} \quad (7.3)$$

4) Інтегрування ФДІ по часу у просторі $\Re[E - s - t]$ дає функцію Дії

$$S(t) = \int_0^T \xi(t) dt = \xi_0 \int_0^T e^{-\psi^2(t)} dt, \quad \text{Дж}\cdot\text{с.} \quad (7.4)$$

5) Диференціювання функції Дії по часу у просторі $\Re[E - s - t]$ дає функцію енергії

$$\frac{dS(t)}{dt} = \xi_0 e^{-\psi^2(t)}, \quad \text{Дж.} \quad (7.5)$$

6) Друга похідна функції Дії в просторі $\Re[E - s - t]$ дає функцією потужності

$$\frac{d^2 S(t)}{dt^2} = -2\xi_0 e^{-\psi^2} \psi(t) \frac{d\psi(t)}{dt}, \quad \text{Дж/с.} \quad (7.6)$$

7) Енергоінформаційна модель ФДІ-кванта має однозначний зв'язок амплітуди, частоти загасання і частоти Фур'є з енергією кванта

$$\frac{d^2 S(t)}{dt^2} = \begin{cases} -\xi_0 \omega_0 t e^{-\omega_0^2 t^2} \\ \mp \xi_0 \omega_0 e^{-\omega_0^2 t^2} \sin(4\omega_0 t) \end{cases}, \quad \text{Дж/с.} \quad (7.7)$$

• **Фундаментальні інформаційні характеристики поза часом і простором.**

Енергоінформаційна ентропія - ЕМД-СФТ представляється у вигляді

$$\psi^2 = \frac{a_{\sim}}{\xi_i^2} = -\ln \frac{\xi_i}{\xi_0} \rightarrow$$

$$\rightarrow S_E = a_{\sim} = - \left[\xi_i \cdot \ln \frac{\xi_i}{\xi_0} + \dots + \xi_i \cdot \ln \frac{\xi_i}{\xi_0} \right]_{\xi_0=1}^{N=\xi_i/\hbar} = -\hbar \sum_{i=1}^N \xi_i \cdot \ln \xi_i ,$$

де $\xi_0 = 1$ - нормована загальна енергія; $\xi_i < 1$ - передана частка енергії від загальної енергії; $N = \xi_i/\hbar$ - ціле число квантів, що передали енергію.

Термодинамічна ентропія Дж. Гіббса [2] визначається рівнянням виду

$$S_G = -k \cdot \int_{\Gamma} F(X) \ln F(X) d\Gamma + S_0 ,$$

де $F(X)$ - розподіл щільності імовірності станів у фазовому $6N$ -вимірному Γ -просторі статистично-фізичної системи; $k = 1,3806 \cdot 10^{-23}$ - постійна Больцмана, Дж/К; X - $6N$ -вимірні координати Γ -простору статистично-фізичної системи.

Квантова ентропія Дж. Фон Неймана [3] у діагональному представленні визначається рівнянням виду

$$S_N = -\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \log_2 \lambda_i ,$$

де n - число станів хвильової функції ψ_i ; λ_i - власні значення матриці щільності імовірності квантового стану.

Інформаційна ентропія К. Шеннона [4] визначається рівнянням виду

$$H_b(p) = -K \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_b p_i ,$$

де $H_b(p)$ - b -арна ентропія ($b=e$ - нат);

K - позитивна константа для зручного вибору одиниці виміру; n - число символів з яких складається повідомлення; $p_i = N_i/N$ - імовірність появи i -го символу у повідомленні; N_i - абсолютна частота i -го символу у повідомленні; N - число всіх переданих і прийнятих символів у повідомленні.

Висновок. Енергоінформаційна модель ФДІ-кванта в метрологічному просторі $\mathfrak{R}[E]$ має однозначний зв'язок з термодинамічною ентропією Дж. Гіббса, квантовою ентропією Дж. Фон Неймана і інформаційною ентропією К. Шеннона.

2. Рівняння енергетичного інваріанту ЕМД-ФТ відкриває шлях до квантових обчислень у фізичному просторі, що є окремим науковим напрямком досліджень.

1. Карпенко В.М. Енергоінформаційний аналіз коливань фізичного осцилятора неоднорідного півпростору / В.М. Карпенко, О.В. Карпенко / Геоінформатика, 2013, №1 (45). - С. 1-18.
2. Гіббс Дж.В. Основные принципы статистической механики. М. 1946.
3. Фон Нейман И. Математические основы квантовой механики. М.: «Наука», 1964. 367 с.
4. Шеннон К. Э. Работы по теории информации и кибернетике. М.: ИЛ, 1963. 829 с.

Aleksandr Katkow, Dr.Sci.Tech.,
University of Computer Sciences and Skills
(17A, Rzgowska Str., 93-153, Lodz, Poland
Tel.: (048) 343620297, e-mail: aleksandr.katkow@yahoo.com)

Additive Algorithm for Lossy Data Compression

In this paper the additive algorithm of spectral analysis is considered. This algorithm consists of algebraic summation of samples of basis functions taken at certain points of an interval of an independent variable of a given function. The considered variant uses the additive algorithm for Discrete Cosine Transform (DCT), which is widely used in practice for compressing graphic images. The conception of the accelerated calculation of the DCT is considered on examples of real two dimensional graphic images.

Keywords: High Performance Computing, Lossy Data Compression

Introduction. Lossy data compression gives a possibility to obtain a compact representation of data with enough satisfactory accuracy. There is a significant number of publications that are devoted to problems of construction of numerical schemes for the rapid compression of information. The vast majority of them are devoted to methods of rapid compression and decompression of image information. Part of publications is devoted to constructing algorithms for performing transformation with using reduced number of arithmetic operations [1-2]. In other part of these publications the number of operations is reduced by means of eliminations of multiplications during the performing transformation by using only algebraic addition operations. These algorithms are called additive [3-6].

First the method of approximate calculation of Fourier integrals by means of the additive formulas, i.e. formulas containing only operations of algebraic addition, was represented in [3]. In this publication has been described by the basic idea of the method. Additive formulas for calculating the direct and inverse Fourier integral have been discussed in [4]. In this paper has been considered the practical implementation of formulas of the AFT (Additive Fourier Transform), has been described by the idea of building the dual formulas of the AFT. In [5] have proposed practical formulas of the AFT and has been studied a question about the number of discrete values of the functions that need to be to calculate the coefficients of the DFT in accordance with the formulas of the AFT. In [6] was considered a dual AFT formulas of the direct and inverse Fourier integral, which are based on estimation changes in value the investigated signal during its analysis. In [7] was considered the method of using both the direct and the dual formulas for computing the coefficients of the discrete Fourier transformation to solve differential equations in partial derivatives. In [8-10] discussed issues of practical implementation of formulas of the AFT and has been given a suggestion to use AFT formulas for real time modeling.

The additive realization of DCT conversion. Now we consider an application of the additive algorithm for calculation of the DCT, which is widely used for image compression. It is well known that the DCT is a Fourier-related transform. In general, there are eight variants of the standard DCT, four of which are often used. Let us consider the development of the DST-II, which is the most commonly used in modern technologies of compression for visual and audio images, such as JPEG and MPEG [1-2]. The DCT, as a

cosine transform, assumes an even extension of an original function. The DCT is used to convert real numbers $f(0), \dots, f(N-1)$ in a series of real numbers $G(0), \dots, G(N-1)$, where $G(0)$ is the average value of the sample sequence.

$$G(0) = \sqrt{1/N} \sum_{n=0}^{N-1} f(n)$$

$$G(k) = \sqrt{2/N} \sum_{n=0}^{N-1} f(n) \cos(\pi k(2n+1)/2N), \quad k = 1, 2, \dots, N-1$$

Now we apply additive algorithm for receiving of the ADCT formulas as it was described above. The formula for $G(k)$ is transformed as follows

$$G(k) = \sqrt{2/N} \tau \lambda \sum_{m=0}^{Nd} \text{sgn}(\tau \lambda_m) \cos(\pi k(2x_m+1)/2N), \quad k = 1, 2, \dots, N-1.$$

where $\tau \lambda = |\tau \lambda_m|$, $\tau \lambda_m$ is a current value of a of the integral of linearized values of the original function $f(n), n \in (0, \dots, N)$, $\tau \lambda$ is a threshold value of the integral, Nd is the number of intervals of integration. Suppose that we have the original function in view of discrete values given in points n of uniform grid of an independent variable. For testing the additive algorithm we choose the result of scanning a line of real image as an original function. For example, we take the result of scanning a monochromatic image presented in the system RGB at 24 bits. In this case each color is presented by 8 bits, therefore brightness of the image points lie in the range 0 - 255. To estimate the result of modeling we will compare it with the result of using the conventional DCT algorithm. In accordance with idea of an additive algorithm a grid of values of an independent variable, in nodes of which there should be chosen values of basis functions, is irregular and is determined in the process of integration of an original function. We obtain the brightness of an image between neighbors pixels using linear interpolation.

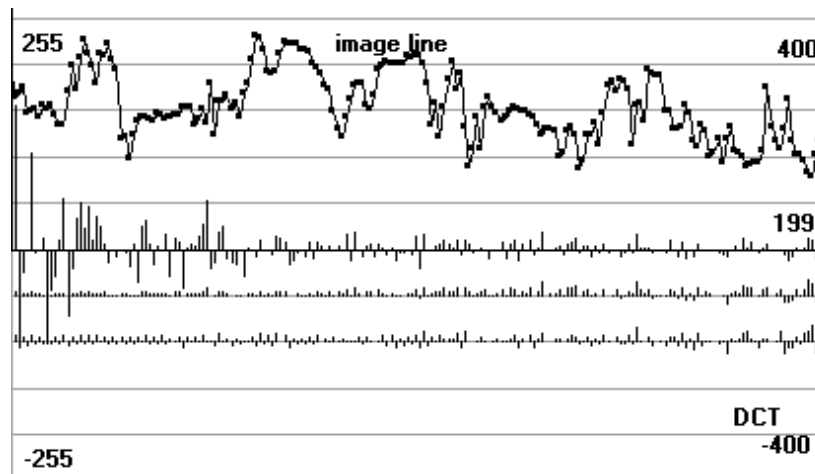


Fig.1. Values of brightness of points on a line of the image, spectrum of the original signal performed by the additive algorithm, and graphs of the errors

The experimental conditions were as follows: $N \in [0, 199]$. The results of the experiment with $\lambda_m = 132$ are represented on the graph of errors, which is displaced downwards along the ordinate on 160 positions down on Fig.1. The number of points Nd in which it is necessary to take values of the basis function equals 235. The results of the experiment with $\lambda_m = 73$ are represented on the graph of errors, which is displaced downwards along the ordinate on 80 positions down. The number of the points Nd in which it is necessary to take the values of the basis function equals 422.

Moreover, the calculations of the average error in the experiment was conducted according to the following formula:

$$errorA = (1/N) \sum_{n=0}^{N-1} [DCT(n) - ADCT(n)]$$

and the average error modulo is represented according to formula

$$errorAm = (1/N) \sum_{n=0}^{N-1} mod[DCT(n) - ADCT(n)]$$

Table 1. Comparison errors of the additive algorithm.

lambda	Nd	errorA	errorAm
64	481	6.63	8.33
73	422	6.25	7.82
96	322	5.31	7.55
132	235	3.64	9.17

The results of the experiment are shown in Table 1. Table provides information as about the average error as and about the average error obtained by addition of modules of the errors on the analysis interval. It is interesting to note that the average error in a certain range depends on the number of samples of basic functions Nd. Error becomes less if number of samples N becomes less. This phenomenon may be explained by increasing symmetry of the errors, relative point of zero value. We can see displacement of errors in direction positive value on Fig.1, where is represented the graph of errors, that was displaced downwards along the ordinate on 80 positions down. On the other hand average modules errors increases rapidly when the number of samples N approaches to the number of samples of the original signal in the DCT algorithm. This phenomenon is understandable and do not require explanation, see Fig.1, where is represented the graph of errors, that is displaced downwards along the ordinate on 160 positions down.

We also tested the additive algorithm using it for compression of two-dimensional images. In this case we used the additive algorithm ADCT for image processing in one direction and the conventional discrete algorithm DCT in an opposite direction. To perform the first step we had to get a table of values of an independent variable in which the integral of brightness of the original image is equal to the threshold value. This

sequence of values of an independent variable is used in the calculation of the discrete spectrum in accordance with additive algorithm ADCT.



Fig. 1. Image that was restored by DCT after ADCT compression.

Conclusions. The positive feature of the considered algorithm is that it can be applied in every integral transform of a signal with different basis functions. For this purpose an original signal has to be converted into a sequence of values of an independent variable. The application of proposed algorithms in practice makes sense if there is an opportunity to have the values of basis functions in points of an irregular grid values of an independent variable of an analyzed function. The results show that the algorithm may be successfully applied to compress graphical images.

1. Shao X., Johnson S. G., Type-IV DCT, DST, and MDCT algorithms with reduced numbers of arithmetic operations // *Signal Processing*, **88**(6), 2008. -- Pp. 1553-1564
2. S. G. Johnson and M. Frigo, A modified split-radix FFT with fewer arithmetic operations // *IEEE Trans. Signal Processing*, **55**(1), 2007. -- Pp. 111–119.
3. Borkovsky B.A., Katkow A.F., Romanthov V.P., Additive Formulas Discrete Fourier Transformation. In *Mathematical Modeling and Theory of Electrical Circuit*, IE, Academy of Sciences of Ukraine, Naukova Dumka, Kiev, 14, 1976. -- Pp. 80-84.
4. Borkovsky B.A., Katkow A.F., Additive methods to solve the problem of spectral analysis of signals. In *Electronics and Modelling*, Institute of Mathematics, Academy of Sciences of Ukraine, 16, 1977. – Pp. 5-13.
5. Borkovsky B. A., The Additive Fourier Transformation. In *Mathematical Modeling and Theory of Electrical Circuit*, IE, Academy of Sciences of Ukraine, Naukova Dumka, Kiev, 16, 1978. – Pp. 47-53.
6. Katkow A.F., Dual Formulas Additive Fourier Transformation. In *Mathematical Modeling and Theory of Electrical Circuit*, IE, Academy of Sciences of Ukraine, Naukova Dumka, Kiev, 16, 1978. – Pp. 53-59.
7. Katkov A., Wegrzyn-Skrzypczak E., Speedy Numerical Algorithms and Architecture for Additive Spectral Analysis // *Journal of Mathematical Modeling and Algorithms*, **1**(3), 2002. – Pp. 225-241.
8. Katkow, A., Additive algorithms of spectral analysis of signals in real time. In: *An Introductory Guide to Image and Video Processing*, iConcept Press Ltd., USA, 2013. – Pp. 251-269.
9. Katkow A., Accelerated Additive Algorithm with Lossy Data Compression. In book: *Advances in Intelligent System and Computing*, Vol. 431, Information Systems Architecture and Technology– Part III, ISSN 2194-5357, Springer International Publishing Switzerland, 2015. -- Pp. 63-74..
10. Gubareni N., Katkow A., Simulation of signal oriented algorithm with lossy data compression, // *Journal of Theoretical and Applied Computer Science*, **9**(2), 2015. -- Pp. 51-65.

О.Г.Додонов, д-р техн. наук,
О.С.Горбачик, канд. техн. наук,
М.Г.Кузнєцова, канд. техн. наук,
Ін-т проблем реєстрації інформації НАН України
(Україна, 03112, Київ, вул. Шпака, 2,
тел. (044)4542164, e-mail: ges@ipri.kiev.ua)

Комп'ютерне моделювання та розробка систем організаційного управління

The problems of modelling processes of organizational management, the creation of computer modelling systems for working out automated systems of organizational management and its implementation are developed.

Ключові слова: процеси організаційного управління, автоматизовані системи організаційного управління, комп'ютерне моделювання.

Вступ. Створення засобів для автоматизації організаційного управління було і залишається важливим науково-практичним завданням. В Україні роботи з моделювання та автоматизації процесів організаційного управління розпочались ще у 1964 році в Інституті кібернетики АН УРСР дослідженням методів аналогового та цифрового моделювання задач оптимального планування. У відділі математичного моделювання чл.-кор. АН УРСР Г.Є.Пухова було створено спеціалізовану машину АСОП-2 (Автоматизована Система Організації Робіт), що призначалася для автоматизації розрахунків при вирішенні задач сіткового планування та управління. Розробка АСОП-2 базувалась на ідеї вирішення задач сіткового планування на основі моделювання їх як передачі і розповсюдження електричних імпульсів через систему логічних елементів [1]. Пізніше було сформульовано принципи побудови цифрових аналогів для вирішення задач на графах та мережах, які запатентовані у США, ФРН, Франції, Японії і втілені у технічних рішеннях для серійних спеціалізованих аналогових та гібридних обчислювальних машин.

Роботи із моделювання систем організаційного управління продовжились в Інституті проблем моделювання в енергетиці НАН України. Було створено і впроваджено обчислювальні системи з динамічною реконфігурацією для розв'язання задач організаційного керування та планування «Структура-1», «Структура-2», «Структура-3», «Структура-4», «ТВК» [2]; систему моделювання «ДИСИМ»; розподілену інформаційну систему галузевої обчислювальної мережі «СЕТИС»; обчислювальну систему для розв'язання задач оперативно-організаційного керування «ДИСУП»; комплекс технічних засобів системи керування та індикації телевізійної системи тренажно-моделюючого комплексу Центру підготовки космонавтів ім. Ю.О.Гагаріна.

Фундаментальні та прикладні дослідження з проблем управління складними технічними об'єктами, підтримки процесів розв'язання управлінських завдань проводяться в Інституті проблем реєстрації інформації НАН України. Було створено автоматизовану інформаційну систему для управління технічним забезпеченням Збройних сил; інформаційно-обчислювальну систему для управління озброєнням при інженерно-авіаційному забезпеченні бойової підготовки і бойових дій авіації Збройних сил СРСР, інформаційно-обчислювальну систему для автоматизації управління інженерно-авіаційним

забезпеченням корабельної авіації; автоматизовану інформаційну систему для управління інженерно-технічним забезпеченням штабу озброєння Збройних сил України [3], Урядову інформаційно-аналітичну систему з питань надзвичайних ситуацій (УІАС НС). Сьогодні УІАС НС – це постійно діюча система, яка узагальнює інформацію щодо НС з усієї України для реалізації довідкових та аналітичних функцій, прогнозування й моделювання виникнення та розвитку надзвичайних ситуацій, оцінювання збитків, планування заходів із попередження НС, координування та контролю дій з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Проводити натурні експерименти із сучасними системами організаційного управління (СОУ) небезпечно, витратно, а іноді і взагалі неможливо, але безумовно є потреба у дослідженні таких систем, аналізі процесів їх взаємодії, прогнозуванні змін у функціонуванні, передбаченні переходу у небажані стани і запобіганні цим процесам, тому залишається актуальним і важливим створення спеціалізованих засобів моделювання СОУ.

Системи організаційного управління. Організаційне управління – багатофазний процес переробки інформації, прийняття рішень, напрацювання і реалізації управлінських дій для досягнення поставлених цілей. Сукупність організаційної структури і механізмів функціонування (організаційного управління), набір правил, процедур, алгоритмів, що забезпечують досягнення поставленої мети із залученням до цього необхідних ресурсів, утворюють систему організаційного управління. Будь-яка СОУ за суттю своєю є складною системою збору, аналізу та опрацювання інформації з метою отримання бажаного кінцевого результату в умовах певних обмежень.

До основних процесів організаційного управління відносять: інформаційне забезпечення реалізації ділового процесу; планування та підтримку прийняття управлінських рішень; управління процесами доведення рішень до виконавців, розподілу завдань та повноважень, виділення ресурсів, реалізації технологічних процесів тощо; контроль за ходом виконання завдань; прогнозування подій; документування дій; реєстрацію дій та подій для аналізу виконання ділового процесу та оцінки СОУ; вилучення знань з накопичених даних та зареєстрованої інформації; підтримку безпеки функціонування та корегування управління при виникненні небажаних впливів.

Кожна система організаційного управління є певним чином унікальною, та управлінські процеси, що в ній реалізуються, однакові для будь-якої СОУ, тож інструментарій для напрацювання рішень та моделювання СОУ має бути одночасно й унікальним, й універсальним. Необхідно мати можливість налаштування моделюючих засобів згідно вимог конкретної предметної сфери.

Засоби автоматизації СОУ повинні дозволяти передбачити, які ситуації матимуть місце на об'єкті управління, визначати, яку поведінку системи слід вважати доцільною; інформаційно підтримувати і орієнтувати щодо створення необхідних ситуацій або визначення стратегій поведінки; надавати прогноз фактичного результату функціонування об'єкта при наявності порушень. Мають підтримувати методи і методики побудови стратегій уникнення кризових явищ, засоби безпеки, унеможливлення руйнування об'єкта управління, надавати способи корегування поведінки і управління об'єктом у залежності від характеру впливів і взаємодії із зовнішнім середовищем.

Моделювання СОУ надає чітке розуміння причинно-наслідкових зв'язків між складовими і елементами керованого об'єкта, динаміки змін кожної складової, кожного елемента, відпрацювати методи та засоби ефективного управління розподіленими у просторі й, у загальному випадку, асинхронно функціонуючими складовими на основі принципів децентралізованого управління у відповідності до вимог технічних систем, з урахуванням особливостей технологічних процесів та наявних відношень у соціальних системах.

Комп'ютерний моделюючий комплекс (КМК). Для адекватного моделювання процесів переробки інформації складовими СОУ з урахуванням існуючої системи підпорядкованості й взаємодії між керуючими елементами СОУ доцільно створити КМК, інструментарій якого надасть можливість вибору й апробації практично придатних формалізованих методик забезпечення процесів прийняття рішень з високою оперативністю напрацювання цих рішень, простотою і зручністю використання, наочністю результатів управління.

Методологія моделювання передбачає побудову системи математичних моделей, що у сукупності мають відобразити властивості СОУ, зокрема, такі важливі, як цілісність та ієрархічність. Побудова цих моделей базується на формальній схемі СОУ, відбиваючи її властивості на притаманній кожній моделі формальній мові. Крім того, будь-яка модель містить у своїй структурі декілька рівнів опису процесів у СОУ (мінімум два).

Архітектура КМК залежить від обраної моделі предметної сфери й особливостей моделей систем та процесів. Кожне завдання, що виконується протягом реалізації ділового процесу, відтворюється у КМК як окрема функціональна задача, що включається до відповідної групи функціональних задач: інформаційне забезпечення, планування, розрахунки, контроль, оперативне управління, документування, графічна візуалізація тощо. Технологія розробки КМК дозволяє максимально наблизити моделювання функцій управління до наявної практики прийняття рішень. Функціональні задачі реалізуються в КМК як програмні модулі, що забезпечує можливість формування адекватної управлінської структури (сукупності взаємопов'язаних автоматизованих робочих місць (АРМ) – інтерактивних програмно-інформаційних комплексів) у відповідності із сценарієм моделювання процесу управління. Існує можливість гнучкого налаштування функціональності будь-якого АРМ з урахуванням прав доступу та особливостей управлінських завдань, що моделюються. Сценаріями передбачається моделювання різних змін, зокрема, порушень, у процесі управління та критичних станів на об'єкті управління. Є можливість опрацювати підготовку і напрацювання рішень щодо упорядкування дій, необхідних для виконання функціональних завдань, вибудувати послідовність операцій, що реалізуються у рамках відповідної технології управління, визначити, які фахівці, у який час, які технологічні процеси мають виконувати, щоб отримати спільний бажаний кінцевий результат (досягти загальносистемної цілі функціонування СОУ). Технологією моделювання передбачається апробація технічних засобів, методик та інструкцій по їх застосуванню, програмно-технічного, інформаційного та іншого забезпечення, необхідного і достатнього для виконання певного набору завдань управління у конкретній предметній сфері, створення баз даних та знань для подальшого впровадження в автоматизовану СОУ [5].

Функціональна структура КМК дозволяє відпрацьовувати управлінські структури різних типів (ієрархічні, мережецентричні), системи взаємодій та регламентованостей у СОУ. Засоби КМК дозволяють змодельовати функціональні процеси управління як сукупність різних видів руху потоків інформації, узгодити їх, провести налаштування, впорядкував сукупність управлінських процесів із необхідними формами документів й структур баз даних (інформаційним забезпеченням), враховуючи вимоги документування у конкретній предметній сфері.

Прикладами вдалого застосування КМК, що створений в Інституті проблем реєстрації інформації НАН України, можуть слугувати спільні з фахівцями інших держав розробки автоматизованих систем організаційного управління спеціального призначення [6]. Усі проектні рішення щодо автоматизації технологічних процесів збору, обробки, збереження та аналізу інформації для управління діями технічного персоналу та функціонуванням об'єкта управління, а також організації інформаційної взаємодії між посадовими особами під час поточної діяльності чи виконання спеціальних завдань попередньо відпрацьовувались та оптимізувались на КМК. Завдяки модульній технології побудови КМК забезпечується гнучкість, масштабованість, легкість модифікації функціональної та організаційної структури КМК у відповідності до особливостей та цілей конкретного ділового процесу. Наявність засобів імітації поведінки об'єкта управління, різноманітних сценаріїв моделювання дозволяє дослідити у реальному часі динаміку змін управління, проаналізувати процеси управління і контролю тощо. КМК, як тренажери, не лише більш економічно вигідні, але іноді вони єдино можливий засіб практичної підготовки спеціалістів, зокрема, у військовій, космічній, енергетичній сферах.

Висновки. КМК з відповідним інструментарієм є сучасним середовищем розробки СОУ, моделювання процесів організаційного управління, розв'язання завдань автоматизації таких процесів.

1. Васильев В.В., Додонов А.Г. Гибридные модели задач оптимизации.–К.:«Наук. думка»,1974.–215с.
2. Додонов А.Г., Хаджинов В.В., Волосков И.И. Вычислительные системы для решения задач оперативно-организационного управления. – К.: «Наук. думка», 1988. – 216 с.
3. Додонов А.Г., Кузнецова М.Г., Горбачик Е.С. Введение в теорию живучести вычислительных систем. – К.: «Наук. думка», 1990. – 184 с.
4. Додонов О.Г., Горбачик О.С., Кузнецова М.Г. Системи організаційного управління: інформаційні технології та безпека // Информационные технологии и безопасность: оценка состояния. Материалы Международной науч. конференции ИТБ-2013.- В.13.-К.:ИПРИ НАНУ, 2013.-С.5-11.
5. Додонов А.Г., Литвиненко А.Е., Луцкий М.Г. Методы принятия решений в автоматизированной системе управления предполетной подготовкой летательных аппаратов. – К.: НАУ, 2011. – 340 с.
6. Додонов О.Г. Комп'ютерне моделювання процесів організаційного управління // Вісник НАН України, 2016.- №1.- С.69-77.

А. Ф. Верлань¹⁾, д-р техн. наук,
К. Н. Ключка²⁾, канд. техн. наук,
А. А. Сытник²⁾, канд. техн. наук,
С. Ю. Протасов²⁾, канд. техн. наук,

¹⁾Ин-т проблем моделирования в энергетике

им. Г. Е. Пухова НАН Украины

(Украина, 03164, Киев, ул. Генерала Наумова, 15,

тел.(044) 4241063, e-mail: a.f.verlan@gmail.com)

²⁾Черкасский государственный технологический университет

(Украина, 18006, Черкассы, бул. Шевченка, 460

тел.(0472) 73-02-56, e-mail: ux0cx@ukr.net)

О некоторых особенностях применения интегральных уравнений в вопросе анализа динамики электрических цепей

The problems of the further development of the methods of electrical circuits mathematical modeling based on efficient using of parametric and nonparametric models are carried out in the article. The effective methods of computation of transitional processes in electrical circuits on the basis of integral dynamic models were designed through the analysis of nonparametric models properties as integral operators and Volterra equations.

Ключевые слова: электрические цепи, переходные процессы, интегральные уравнения Вольтерры.

Введение. Обычно основным и весьма эффективным математическим аппаратом расчета переходных процессов в электрических цепях являются обычные дифференциальные уравнения, составляющие содержание широко распространенного классического метода и метода переменных состояния. Однако возможности этого класса математических моделей ограничены, прежде всего, при исследовании нестационарных цепей, цепей с распределенными параметрами, при решении некоторых обратных задач.

Постановка задачи. Последующим развитием теории и приложения методов моделирования динамики электрических цепей является применение метода интегральных уравнений, представляющего собой совокупность приемов определения интегральных математических соотношений между известными начальными данными и определяемыми параметрами электрической цепи, а также способов эквивалентных преобразований полученных уравнений и точного или приближенного их решения [1]. В представленном материале рассмотрены интегральные методы, для расчета переходных процессов в цепях при наличии в них элементов с переменными параметрами, в т.ч. нелинейных, основанные на использовании различных форм закона Ома-Дюамеля [2], и впервые использованные в работах Г.Е. Пухова [3]. Далее рассмотрим вопрос формирования интегральных уравнений нестационарных цепей.

Решение задачи. Рассмотрим расчет переходного процесса в цепи с одним нелинейным или переменным параметром. В этом случае цепь всегда можно представить в виде двухполюсника 1, который имеет постоянные параметры, и двухполюсника 2, который является переменной или нелинейной проводимостью, индуктивностью, емкостью (рис.1).

Пусть двухполюсник 2 является переменной омической проводимостью $g = g(t)$. Тогда можно записать уравнения:

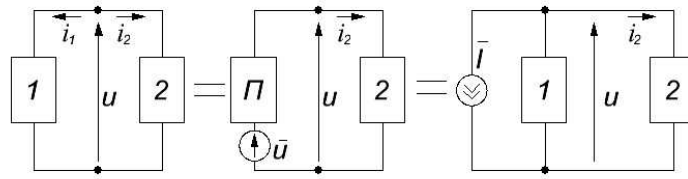


Рис. 1. Получение эквивалентного двухполюсника

$$\int_0^t i_1(s) ds = \int_0^t y(t-s)[u(s) - \bar{u}(s)] ds, \quad (1)$$

$$i_1(t) + i_2(t) = 0, \quad i_2(t) = g(t)u(t).$$

Исключая отсюда токи i_1 и i_2 , получаем интегральное уравнение Вольтерры

$$\int_0^t [y(t-s) + g(s)]u(s) ds = \int_0^t y(t-s)\bar{u}(s) ds, \quad (2)$$

решение которого дает напряжение $u = u(t)$ на переменной проводимости $g = g(t)$.

При численных расчетах вместо (2) решается система линейных конечных уравнений.

Рассмотрим случай, когда двухполюсник 2 является нелинейной омической проводимостью. В этом случае для цепи рис. 1 можно составить уравнение

$$\int_0^t i_1(s) ds = \int_0^t y(t-s)[u(s) - \bar{u}(s)] ds, \quad (3)$$

$$i_1(t) + i_2(t) = 0, \quad i_2(t) = i(u),$$

где $i(u)$ – известная функция напряжения u .

Исключая из этих уравнений токи, получим интегральное уравнение

$$\int_0^t \{y(t-s)u(s) + i[u(s)]\} ds = \int_0^t y(t-s)\bar{u}(s) ds, \quad (4)$$

позволяющее определять напряжение на нелинейной проводимости. При численных расчетах вместо уравнения (4), решается система нелинейных конечных уравнений.

Для иллюстрации представленной расчетной схемы рассмотрим пример. Пусть цепь, состоящая из последовательно соединенных постоянной индуктивности L , постоянного сопротивления R и переменной проводимости $g(t) = at$, включается на источник с постоянной е.д.с. E (рис.2). Необходимо найти напряжение на проводимости $g(t)$.

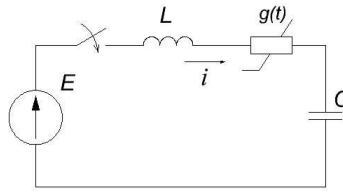


Рис. 2. Расчетная схема

В данном случае

$$y(t) = \frac{1 - e^{-\frac{Rt}{L}}}{R}, \quad \bar{u} = E.$$

Интегральное уравнение для определения неизвестного напряжения имеет вид

$$\int_0^t \left(\frac{1 - e^{-\frac{Rt}{L}}}{R} + as \right) u(s) ds = \int_0^t \frac{1 - e^{-\frac{Rt}{L}}}{R} E ds.$$

При нахождении численных результатов с помощью формулы прямоугольников приходим к системе линейных уравнений

$$\begin{aligned} (y_1 + g_0)u_0 &= y_1 E, \\ (y_2 + g_0)u_0 + (y_2 + g_1)u_1 &= (y_2 + y_1)E, \\ (y_3 + g_0)u_0 + (y_2 + g_1)u_1 + (y_1 + g_2)u_2 &= (y_3 + y_2 + y_1)E \end{aligned}$$

и т.д.

В данной системе уравнений $y_k = \frac{1}{R}(1 - w^k)$, $g_k = kah$, $w = e^{-\frac{R}{L}h}$.

Значение напряжения u_k при $t = t_k = kh$ определяется последовательно: из первого уравнения находится u_0 , со второго – u_1 , из третьего – u_2 и так далее.

Получение интегральных уравнений методом «расщепления». Развитием, вышеприведенных методов, предлагается методика описания произвольной цепи по частям, когда любая линейная подсхема представляется интегральными уравнениями с ядрами, переходными характеристиками участков (или весовыми функциями), которые могут быть определены аналитически. Аналогом такой методики разделения и описания цепи является эквивалентное преобразование дифференциальных уравнений в интегральные, которое может быть названо «методом расщепления» оператора уравнения на линейную и нелинейную части с последующим решением линейной части как самостоятельного уравнения. Возможны различные способы расщепления, один из которых проиллюстрируем следующим образом. Задано дифференциальное уравнение

$$y^{(n)}(t) + \sum_{i=1}^{n-1} a_i y^{(n-i)}(t) + F[y(t)] = f(t). \quad (5)$$

Полагаем начальные условия известными и решаем уравнение, как линейное, операторным методом

$$V(p)Y(p) + S(p) = \Phi(p) + Q(p),$$

где $S(p)$ – изображение от $F[y(t)]$.

$$Q(p) = Q[p, y(0), y'(0), \dots, y^{(n-1)}(0)] = q(t), \quad (6)$$

$$Y(p) = K(p)[\Phi(p) + Q(p)] - K(p)S(p), \quad (7)$$

$$K(p) = \frac{1}{V(p)}. \quad (8)$$

От уравнения для изображений переходим к уравнению в оригиналах

$$y(t) = \int_0^t k(t-s) \left[f(s) - q(s, y(0), y'(0), \dots, y^{(n-1)}(0)) \right] ds - \int_0^t k(t-s) F[y(s)] ds, \quad (9)$$

которое и является интегральным уравнением, которое находится. Его ядро $k(t)$ может трактоваться как переходная характеристика линейной части цепи. Применение переходных характеристик элементов и участков цепей является отражением понятия последствия линейной системы и приводит к практическому использованию интегральных операторов и уравнений Вольтерры в качестве основных математических моделей [4].

Заключение. Таким образом, существенные преимущества математических моделей электрических цепей, основанных на интегральном законе Ома-Дюамеля в форме, предложенной Г.Е. Пуховым, открываются при использовании предложенного подхода при анализе переходных процессов в электрических цепях, содержащих разнородные элементы, вследствие использования единого подхода и идентичности вычислительных схем.

1. Верлань А. Ф. Метод интегральных уравнений в задаче описания и расчета электрических цепей // Электронное моделирование, 1983, — №5. — С. 8—12.
2. Карсон Д. Р. Электрические нестационарные явления и операционные исчисления — Киев: Гос.-научн.-техн. изд-во Украины, 1934. — 232 с.
3. Пухов Г. Е. Интегральные методы расчета электрических цепей // Теоретическая электротехника, 1966, вып. 2, С. 5—14.
4. Верлань А. Ф. Некоторые особенности интегрального метода математического моделирования // Электроника и моделирование, 1975, вып. №5, С. 82—86.

Беляева М.А. д.т.н., проф.

каф. Технико-экономических систем

Российский экономический университет им. Г.В.Плеханова,

(117997, Российская Федерация, Город Москва, Стремянный пер., д. 36, 6-й корп., 327 ауд.

e-mail belyaevamar@mail.ru)

Моделирование производственного процесса и анализа объема продаж продукции с использованием современных программных средств

Организацию производственного процесса и анализ продаж готовой продукции, которая является результатом этого производственного процесса можно смоделировать, провести имитацию, поставить сценарным методом оптимизационный эксперимент, затем апробировать с помощью различных программных продуктов, провести анализ и внедрить, если это целесообразно. При этом для любого производственного процесса и анализа продаж используются стандартные математические, экономико-статистические методы, соответствующие современным программным средствам, реализующие модели, рассмотрим процесс моделирования на примере производства и реализации пластиковых окон.

За последние несколько лет окна ПВХ стали очень популярными и прочно вошли в современную жизнь. Это и неудивительно, поскольку они обладают целым рядом преимуществ. Благодаря высокой плотности притвора и герметичности стеклопакета, окна ПВХ прекрасно защищают от холода, сквозняков, городского шума и пыли, экологически безопасны, удобны и просты в эксплуатации и надолго сохраняют свой превосходный внешний вид. Правильный выбор пластиковых окон очень важен, потому что их эксплуатация составляет примерно 35-40 лет. Деревянные окна того же качества, имеют стоимость в два раза больше, поэтому люди, как правило, выбирают пластиковые окна. И очень важно знать требования к техническим характеристикам, и какие нужно использовать критерии при выборе пластиковых окон. Окна в доме - это не только связь квартиры с внешним миром, а еще и "обязанность" держать комнату теплой и защищать её от шума и солнечных лучей.

В данной работе для оптимальной организации производственного процесса используются программные продукты, в которых можно реализовать структурно-функциональные модели ARIS и BPwin, для анализа объема продаж многоподходная система имитационная система Anylogic, агентный подход и разработка программной модели, решающей задачу сбора и анализа статистических данных продаж пластиковых окон компании Salamander, которая работает в современных условиях конкурентной экономики. Принимаются во внимание постоянно меняющиеся значения внутренних и внешних факторов, когда необходимо выполнять поступающие заказы от клиентов за минимальное время и с минимальными затратами компании-производителя [1, 2, 3,4]

В модели используется принцип «виртуальной» торговли агентов за ресурсы, в результате которой наступает равновесие, где каждому агенту-заказу выделяется часть рабочего времени агента-ресурса. Такой способ позволяет осуществлять планирование в реальном времени, т.е. учитывать внезапные остановки оборудования или возникновения новых ресурсов и заказов простым добавлением, удалением или изменением параметров агентов модели. Особенность работы заключается в том, что моделирование поведения ресурсов предприятия, взаимодействия их с источниками заказов, с внешними и внутренними ресурсами в рамках определенных ограничений и критериев оптимизации, используется не как простой набор результатов для дальнейшего анализа и принятия решений, а по сути уже является некоторым готовым решением (или набором решений) задачи составления производственного плана. Другими словами, не предпринимается попытка найти аналитическое решение задачи в общем случае, а каждый раз для

заданного набора данных в результате моделирования генерируется набор правдоподобных решений.

Наиболее эффективными способами изучения статистики продаж пластиковых окон Salamander, является компьютерное агентное моделирование. Изучение данного моделирования подразумевает выполнение следующих задач: изучение предметной области; изучение программных продуктов на рынке данной среде; выделение агентов в предметной области; построение модели в выбранном программном продукте; сбор статистики и выявления оптимальные решения; рекомендации и практическая реализация разработанных моделей [3].

В настоящее время пластиковые окна получили высокую популярность, стали заменять старые деревянные окна на современные пластиковые. Такой повышенный интерес обусловлен длительным сроком эксплуатации, а также отличной тепло- и звукоизоляцией. Несмотря на тот факт, что в России окна производят и устанавливают более чем 600 предприятий, спрос на эту продукцию не уменьшается. Стоит отметить, что неплохим спросом пользуются и деревянные окна. Они не менее надежны, чем пластиковые, но при этом они эстетичны и экологичны. Соответственно и стоимость деревянных окон дороже окон из ПВХ. Предпринимателям понимают, что и прибыль от производства деревянных окон намного больше. Для того чтобы ваш оконный бизнес мог конкурировать с крупными компаниями, необходимо четко продумать бизнес-план. Перед тем, как открыть бизнес по производству пластиковых окон, проводят анализ маркетинговой ситуации, данный рынок в регионе и изучить зарубежные инновации в данной отрасли. Чтобы быть конкурентоспособным необходимо предложить потенциальным покупателям либо низкие цены, либо высокое качество, или же уникальный продукт, окна которые не производят другие компании в регионе или стране. Такой серьезный подход к делу существенно повысит шансы предпринимателям в данной сфере организовать прибыльный бизнес.

Стеклопакеты в современном представлении появились в середине XIX века. Первый патент был выдан в 1865 году. Стеклопакеты того времени были похожи на современные устройства, только вместо межстекольных рамочных уплотнителей (спейсеров) были применены толстые веревки или канаты. Однако тогда широкого распространения эта технология не получила, и до 1934 года промышленное производство стеклопакетов не осуществлялось. Когда же производители Германии поставили изготовление стеклопакетов на поток, то сделано это было для усовершенствования железнодорожных вагонов. В Германии стали применять стеклопакеты для поездов дальнего пользования. В 1938 году на мировом рынке появились стеклопакеты, состоявшие из стекол и оснащенные свинцовой распорной рамкой. Элементы были спаяны между собой по периметру. Такие стеклопакеты впервые начали выпускать в США. Чуть позже, в 1950 году, впервые появилась конструкция стеклопакетов с эластичными уплотнителями. При их производстве была применена пустотелая рейка из алюминия, заполненная специальным осушительным средством. В СССР такие конструкции начали изготавливать в 1960-е годы. Появление современного стеклопакета с двойной герметизацией произошло в 1970 году. Эта технология сегодня используется при производстве 90% всех подобных конструкций.

Производство окон делится на три основных направления: окна из поливинилхлорида (ПВХ), деревянные и алюминиевые окна. Из этих направлений алюминиевые конструкции наименее востребованы. Все виды окон имеют свои плюсы и минусы. Но все окна объединяет наличие особой конструкции – стеклопакета, который в свою очередь состоит из нескольких стекол, которые скреплены между собой резиновым уплотнителем и герметичной металлической рамкой. Между стеклами есть воздух с пониженной влажностью, благодаря которому при низких температурах за окном стекло не запотекает. Чтобы этот эффект был более устойчив в межстекольное пространство добавляют порошок, способный поглощать избытки влаги. В некоторых стеклопакетах для

устранения запотевания вместо воздуха закачивают аргон. Еще одним отличием между стеклопакетами является количество стекол. Чем больше стекол, тем надежнее окно. Если стекол только два – это однокамерный стеклопакет, если 3 стекла – двухкамерный, 4 стекла – трехкамерный. Толщина стеклопакета может быть разной. К примеру, стандартные размеры для однокамерного стеклопакета – 20 мм., 24 мм. и 32 мм.. По желанию заказчика возможна установка более толстых стекол. Профили делятся на виды: штапик, рамочный профиль, импост и профиль для створки. Так же, деревянные окна можно разделить на финское и евро окно. Но это деление очень условное, потому, что есть конструкции деревянных окон, которые разработаны разными российскими производителями.

Качественное окно имеет хорошую шумоизоляцию и удерживает тепло в помещении. Но при этом важно, чтобы окно не препятствовало теплообмену. Чтобы оценить теплозащитные характеристики металлопластикового окна в нашей стране используют величину R_0 , которая обозначает сопротивление теплопередаче. В нормативах DIN используется коэффициент теплопроводности k . На теплозащитные свойства окон влияет общий размер, поперечное сечение рамы, материал стеклопакета, количество и размещение уплотнителя. На звукоизоляционные свойства влияет ширина воздушного промежутка в стеклопакете и степень проницаемости стыков (качество герметизации). Итак, для того чтобы организовать производство окон из ПВХ необходимы помещение, производственное оборудование и материалы. Предварительно оценив спрос на пластиковые окна можно планировать объемы производства. Необходимая производственная площадь напрямую зависит от планируемых объемов. Минимальная площадь 60 кв.м., но оптимальным будет помещение площадью 200 кв.м. Помещение должно быть отапливаемым и иметь хорошую систему вентиляции. Рекомендации относительно высоты потолков производственного помещения – не менее 3-х метров. Российские компании предлагают все необходимое для производства оборудование примерно за 75 000 \$. Оборудование от зарубежных компаний стоит намного дороже – минимум 90 000 \$. Для производства пластиковых окон необходимы такие материалы: профиль ПВХ, уплотнитель, стеклопакеты и фурнитура. Одним из важных условий успешности и прибыльности бизнеса является высокое качество произведенной продукции и привлечение к бизнесу высококвалифицированного персонала. Необходимый должностной состав сотрудников: главный технолог должен знать процесс производства пластиковых окон от и до, уметь самостоятельно собрать окно, производить необходимые расчеты, контролировать работу других рабочих; мастер смены (минимум 3 – 4 человека), осуществляющий контроль работу подчиненных, процесса производства и качеством продукции; инженер-технолог и инженер-механик, обслуживающие производственный процесс и оборудование; кладовщик осуществляющий прием и отгрузку товара; мастера по установке пластиковых окон, занимающийся монтажом окон на объекте заказчика; водители для доставки продукции к заказчику; секретарь для общения с клиентами и приема заказов; менеджер по рекламе и менеджер по продажам.

Эти должности очень важны для развития бизнеса, от их умений и квалификации зависит прибыль. При правильной организации бизнеса по производству пластиковых окон может приносить доход до 120 – 300 тыс. рублей ежемесячно.

Процесс изготовления пластиковых окон довольно прост и состоит из отдельных этапов: сборка стеклопакета и изготовление профиля из ПВХ. Для того чтобы оконный профиль из ПВХ необходимо его разрезать, разрезать и установить арматуру, фрезеровать дренажные канавки и поперечины, изготовить пазы и отверстия для фурнитуры, сварить все элементы, зачистить углы и установить фурнитуру. В случае нехватки необходимых для затрат финансовых средств для организации производства пластиковых окон, можно начать с предоставления услуг по монтажу окон. Капиталовложения в этот бизнес намного меньше, чем в производство, но и прибыль не столь высока. К тому же конкурировать с производителями, которые зачастую и сами предоставляют услуги по

монтажу окон, достаточно сложно. Для проведения монтажа окон необходимы инструменты: перфоратор, рулетка, уровень и шуруповерт. Установка пластиковых окон заказчику, в большинстве случаев сопровождается сначала демонтажом старых окон. Специалисты подсчитали, что заказ с одной квартиры в среднем стоит 30 – 45 тыс. рублей. Работу в полном объеме выполняют примерно за два дня. Бригада, которая занимается установкой окон, как правило, состоит из двух-трех опытных рабочих и одного стажера. Стажер обычно получает меньшую заработную плату, нежели основной состав бригады. Наличие обучающегося работника в бригаде стало почти что нормой, так как в данном бизнесе характерна большая текучка кадров. Важным двигателем бизнеса по оказанию услуг монтажа пластиковых окон является реклама.

Для разработки модели необходимы основные входные потоки: стеклянные листы; материалы для дистанционной рамки; комплектующие для сборки дистанционного контура; материалы для герметизации; влагопоглотитель; пластик\дерево. Основными технологическими операциями производства пластиковых окон являются: резка стекла; резка дистанционной рамки; мойка стекла; засыпание влагопоглотителя; сборка дистанционного контура; нанесение первичного слоя герметизации; сборка стеклопакета; обжим стеклопакета; нанесение вторичного слоя герметизации; визуальный контроль качества.

Для моделирования производства был использован дискретно-событийный подход имитационной системы Anylogic, экранная форма представлена на рис.1. [3,4, 5].

Список входных переменных: количество материалов и затраты на хранение и доставку материалов по видам; интенсивность поступления материала на склад определяется Критической точкой заказа материалов; время обработки сырья на оборудовании задано случайной величиной, заданной равномерным законом распределения $F=UNIF(MIN, MAX)$; время перемещения сырья и полуфабрикатов между разными технологическими операциями, задается числом (по умолчанию 10); доля брака задается вероятностью (по умолчанию 0,05); цена готовой продукции, задается числом (\$1000); список выходных переменных: коэффициент загрузки оборудования по каждому оборудованию; среднее время ожидания в очереди на обработку по каждому оборудованию; средняя длина очереди полуфабрикатов; объем бракованной продукции; среднее время производства одного окна; функция оптимизации прибыль компании.

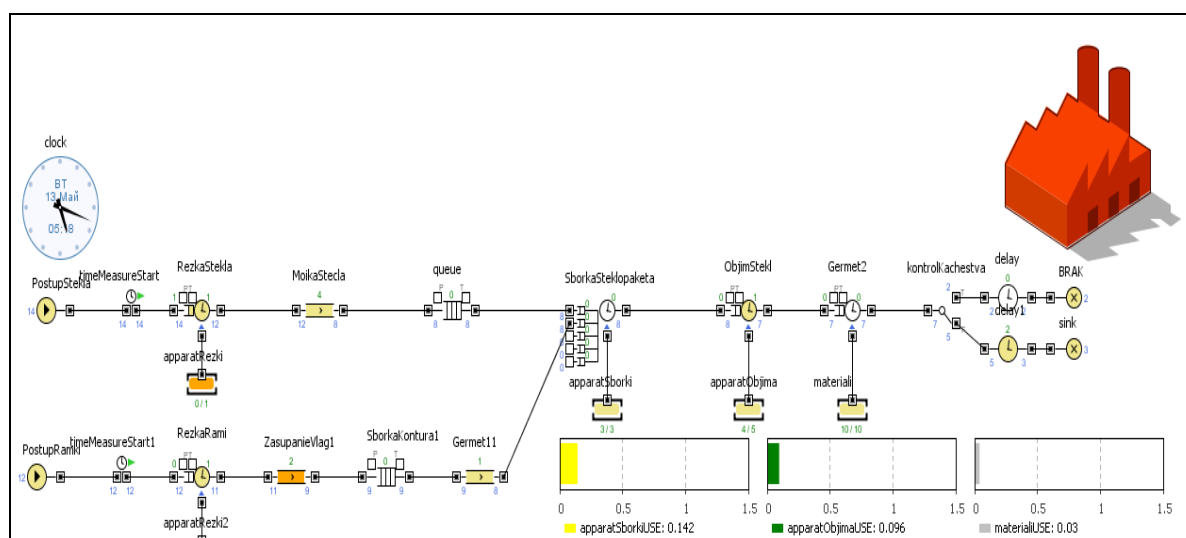


Рис. 1 Дискретно-событийная модель производственного процесса пластиковых окон

Основными направлениями деятельности компании является производство, продажа и установка пластиковых окон Salamander. Окна Саламандер (Саламандра) изготавливаются из высококачественного немецкого армированного ПВХ профиля Salamander. В зависимости от требуемых характеристик и внешнего вида, можно выбрать окна в элитном и стандартном исполнении, а также бюджетные варианты окон других

ПВХ систем - Rehau и Propex. Все металлопластиковые окна Salamander из Германии, обладают повышенной прочностью и надежностью конструкции, имеют отличные показатели по теплозащите и шумоизоляции, а также неповторимый внешний дизайн.

Окна Саламандер имеют 3-х, 4-х, 5-ти или 6-ти камерный профиль в раме и створке окна, 2-х или 3-х контурное уплотнение. При установке возможен полный комплекс работ - демонтаж старых конструкций, установка подоконников и отливов, отделка откосов, или только монтаж с минимальными затратами. При необходимости наши оконные системы Salamander обеспечивают звукоизоляционное, теплосберегающее или остекление с повышенной степенью защиты от проникновения.

В качестве агентов были выбраны три вида окон, продаваемых компанией Salamander, а так же 5 округов города Москва (ЦАО, СВАО, ЮВАО, СЗАО и ЮЗАО) и соответственно агенты- покупатели этих окон. Факторы, влияющие на продажу окон в этих округах, использовались следующие: изменения в цене; акции; количество торговых точек в каждом округе. В качестве статистических данных были использованы такие данные, как диаграмма, отображающая долю продаж на общем рынке по каждому агенту-окну; динамика продаж этих агентов на рынке; доход от продажи окон в каждом округе; средний недельный доход на одну торговую точку в округе; общее количество купивших каждый вид окна по городу; количество покупателей, купивших каждый из видов окна по каждому округу. Для выбора наилучшей альтернативы из множества локально-оптимальных решений может быть использован критерий предпочтения продукта [3, 5] его выбора, выражаемый многомерной суммой взвешенных нормированных отклонений параметров состояния продукта от их значений:

$$Q = \sum_{i=1}^m a_i \left(1 - \sqrt{\sum_{j=1}^n b_{ij} \left(\frac{x_{ij}^0 - x_{ij}}{\Delta x_{ij}} \right)^2} \right), \quad (1)$$

где: x_{ij}^0 , x_{ij} - значение параметра состояния j -го фактора i -й группы до и после выбора; Δx_j - допустимое отклонение параметра от желаемого значения; b_{ij} - весовой коэффициент отклонения j -го фактора i -й группы; a_i - коэффициент значимости i -ой группы факторов. Из множества локально-оптимальных решений ($k = 1, n$) определяется лучшая альтернатива по функции предпочтения как:

$$\Phi_k = \sum_{l=1}^n \left(\frac{P_l^{opt} - P_{kl}}{P_l^{opt}} \right)^2 ; k = \overline{1,4} \quad (2)$$

где: P_k^{opt} - оптимальная величина k -го критерия; P_{kl} - значение k -го критерия в l -ой альтернативе или функционалу полезности [2,4]. Вводится шкала желательности по оцениванию пластиковых окон

$0 < Q \leq 1$ при шкале желательности :

1,0 - 0,8 - очень хорошо;

0,8 - 0,5 - хорошо;

0,5 - 0,2 - удовлетворительно;

0,2 - 0,0 - плохо

меньше 0,0 - очень плохо или отрицательное значение [6 ,7, 8]. окна использовать нельзя.

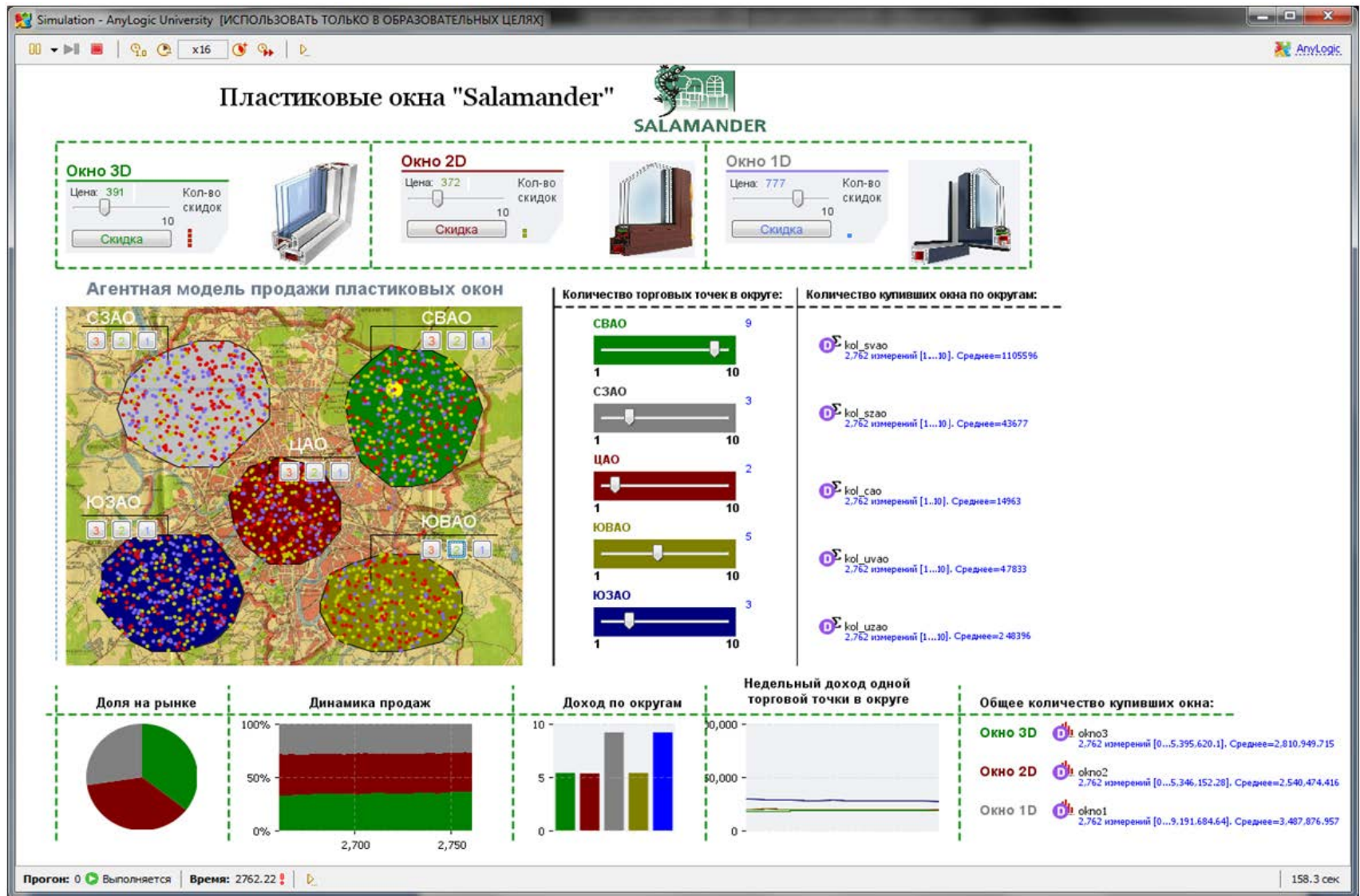


Рис. 2. Экранная форма по реализации пластиковых окон (имитационная система Anylogic)

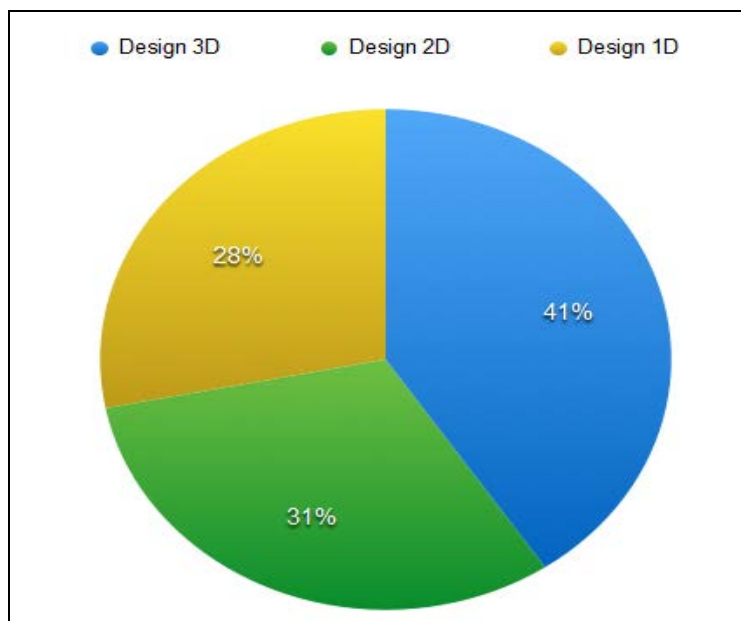


Рис. 3. Рейтинг продаж трех видов окон

Таким образом, многоподходная имитационная система AnyLogic дает возможность создавать комплекс моделей функций деятельности предприятия и формировать компьютерную систему поддержки принятия решений как на стратегическом уровне, так и на уровне менеджмента, может служить помощью руководителям и менеджерам в принятии оптимальных управленческих решений, начиная от производственного процесса и заканчивая продажей готовой продукции.

Используя системный подход и иерархические модели в имитационной системе AnyLogic и применяя современные методы интеграции данных, транспортировки данных, экспорт и импорт данных в разные программные продукты, а также агрегацию с различными информационными системами и программными кодами языков программирования высокого уровня с использованием соответствующих процедур и внешних функций, можно разработать мощный универсальный программный продукт, который можно будет внедрить на любом предприятии и для решения разных задач, любого производственного процесса.

1. М.А.Беляева *Имитационное моделирование социально-экономических систем для поддержки принятия решений*//Пищевая промышленность, 2011, - № 4.- С. 86-87
2. М.А.Беляева *Системный анализ технологий и бизнес-процессов мясоперерабатывающего производства*// Пищевая промышленность», 2013, - № 7.- С.
3. Беляева М.А. *Моделирование систем М.* - МГУП, 2012, ч. 1, 182 с
4. Беляева М.А. *Моделирование систем М.* - МГУП, 2012, ч. 2, 142 с.
5. www.xjtek.ru – официальный сайт компании «XJ Technologies»
6. М.А.Беляева *Системный анализ технологий и бизнес-процессов в мясном производстве.* М. .РЭУ, 2015, 384 с.
7. Беляева М.А. *Многокритериальная оптимизация процессов тепловой обработки мясных полуфабрикатов/автореферат на соиск. уч.ст. докт. техн. наук. М.МГУПБ, 2009, 50 с*

8. Беляева М.А. Моделирование и оптимизация управление качеством мясных изделий в процессе тепловой обработки. М. Франтера, 2006, 248 с.
9. Guarino, Manuel Mora, Mahesh Raisinghani, Ovsei Gelman, and Miguel Angel Sicilia. *Onto-ServSys: A Service System Ontology*.- <https://www.econbiz.de/Record/onto-servsys-a-service-system-ontology-mora-manuel/10009127309>.
10. Petrenko A.I. *Mobile health applications to support the diabetic patient and the doctor*.-// *Design & Test Symposium (EWDTS), 2014 East-West, Publication Year: 2014 , Page(s): 1 – 6 .*
DOI: 10.1109/EWDTS.2014.7027105
11. Петренко О.О. Порівняння типів архітектури систем сервісів.-// *Системні дослідження і інформаційні технології*. - 2015. - № 4. - С. 48-62.
12. Egon Lüftenegger, Marco Comuzzi, Paul Grefen, Caren Weisleder. *The Service Dominant Business Model: A Service Focused Conceptualization*.- // *BETA publicatie, WP 402 (working paper), ISBN, NUR982, Eindhoven, January 2013*.- 23 p.
13. A. Osterwalder and I. Pigneur. *Business model generation: a handbook for visionaries, game changers and challengers*. - // *Wiley, New Jersey, 2010*.
14. S. Alahmari, D. De Roure, Ed. Zaluska *A Model-Driven Architecture Approach to the Efficient Identification of Services on Service-oriented Enterprise Architecture*. -//*At The Second Workshop on Service oriented Enterprise Architecture for Enterprise Engineering in conjunction with the 14th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference, Vitória, Brazil, 2010*
15. Claus Pahl. *Semantic Model-Driven Architecting of Service-based Software Systems*.- <http://ceur-ws.org/Vol-244/paper3.pdf>
16. C. Pahl. *An Ontology for Software Component Matching*. -//*International Journal on Software Tools for Technology Transfer, Special Edition on Component-based Systems Engineering, 7 (2006), pp. 1-10*.
17. Петренко І.А., Петренко О.О. Автоматизовані методи пошуку і відкриття необхідних сервісів.-// *Вісник Університету «Україна», Серія «Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика»*.- 2015.-№1(17).- С. 55-64.
18. Czarnecki, K. and S. Helsen. *Feature-Based Survey of Model Transformation Approaches*.-// *Ibm Systems Journal 45(3), 2006, pp. 621-645*.
19. Петренко О.О. Підготовка кадрів для індустрії сервісів.-// *Information Technologies in Education*.- 2015.-№ 22.-С.158-164.- DOI: 10.14308/ite000528

Е.С. Дорошенко¹⁾, ассистент (системная инженерия),
К. В. Левченко²⁾, бакалавр (системная инженерия),
¹⁾ Национальный технический университет Украины «КПИ»
(Украина, 03056, Киев, пр. Победы, 37,
тел. 0932051821, e-mail: doroshenko@wdc.org.ua)
²⁾ Национальный технический университет Украины «КПИ»
(Украина, 03056, Киев, пр. Победы, 37,
тел. 0682230587, e-mail: ksulevchenko95@gmail.com)

Практика применения сверточных нейронных сетей для распознавания эмоций

In this research were considered two types of machine learning of convolutional neural network: fine-tuning and learning of “empty” network using NVIDIA CUDA driver.

Ключевые слова: нейронные сети, машинное обучение, распознавание образов, NVIDIA CUDA.

Введение. В виду развития вычислительной техники и программного обеспечения стало возможным реализовывать ресурсоемкие математические задачи, такие как моделирование нейронных сетей, при помощи аппаратных решений, которые относительно быстро по времени реализуются на распространенных программно-аппаратных платформах. Существуют программные комплексы, библиотеки, фреймворки, которые позволяют создавать нейронную сеть достаточно удобно и понятно в виде блоков, которые соединяются связями, или в виде описания наподобие файлов разметки. Для повышения производительности обучения используются видеокарты, управление которыми осуществляется при помощи драйверов, которые работают as-is.

Обзор и анализ методов распознавания. Существуют различные методы распознавания графических образов. Первым из них является метод перебора вида объекта и сопоставление этих видов с распознаваемым объектом. Изменения вида может производиться под различными углами, смещениями, масштабами. Очевидным недостатком такого подхода является большой объем информации, который необходимо каждый раз обрабатывать для распознавания лишь одного объекта. Например, для цифр необходимо перебирать всевозможные написания, шрифты и свойства шрифта.

Второй подход – это поиск контура объекта и исследование его свойств: выделение особенностей, наличия углов. Этот метод сопровождается различными неточностями определения контура и его особенностей.

Третий подход – это использование искусственных нейронных сетей. Для повышения точности распознавания необходимо большое количество примеров данных для обучения, а также важен правильный подбор структуры сети. Для работы с изображениями чаще всего используют сверточные нейронные сети, которые схожи в своей работе со зрительной корой головного мозга кошки. Идея заключается в чередовании сверточных слоев, субдискретизирующих слоев и наличии полносвязных слоев на выходе.

Данная архитектура включает три основных парадигмы: локальное восприятие, разделяемые веса и субдискретизация. Локальное восприятие подразумевает, что что на вход одного нейрона подается не все изображение (или выходы предыдущего слоя), а лишь некоторая его область. Такой подход позволил сохранять топологию изображения от слоя к слою.

Концепция разделяемых весов предполагает, что для большого количества связей используется очень небольшой набор весов. То есть, если у нас имеется на входе изображение размерами 32x32 пикселя, то каждый из нейронов следующего слоя примет на вход только небольшой участок этого изображения размером, к примеру, 5x5, причем каждый из фрагментов будет обработан одним и тем же набором. Самых наборов весов – ядер (kernels) - может быть много, но каждый из них будет применен ко всему изображению. Каждый фрагмент изображения поэлементно умножается на небольшую матрицу весов (ядро), результат суммируется (производится свертка). Эта сумма является пикселем выходного изображения, которое называется картой признаков и передается по сети дальше.

Суть субдискретизации заключается в уменьшении пространственной размерности изображения. Она нужна для обеспечения инвариантности к масштабу.

В итоге, данные парадигмы улучшают обобщающие свойства сети (generalization), что в итоге позитивно сказывается на способности сети находить инварианты в изображении и реагировать главным образом на них, не обращая внимания на прочий шум; они также обеспечивают частичную устойчивость к изменениям масштаба, смещениям, поворотам и прочим искажениям. Таким образом сверточная нейронная сеть не имеет недостатков, которые были описаны в предыдущих двух подходах.^[1]

Недостатками нейронных сетей является добавление нового эталонного образца в базу данных, которое требует полного переобучения сети. Также не существует формальных подходов для выбора архитектуры сети, что заставляет работать с нейронной сетью, как с «черным ящиком».

Постановка задачи. Главной целью данного исследования было добиться точности в 60% при распознавании эмоций для любых изображений. Исходя из этого можно сформулировать следующие задачи: выбор типа нейронной сети, архитектуры сети, набора изображений, на котором будет обучаться сеть и способа обучения сети. В виду очевидных преимуществ для работы с изображениями была выбрана сверточная нейронная сеть. Для достижения правильного распознавания при различных исходных условиях необходимо взять достаточно большой набор различающихся изображений в исследуемой тематике.

Решение задачи. Для задачи распознавания эмоций была использована предобученная сверточная нейронная сеть GoogleNet, которая была натренирована на множестве разных изображений. Известно, что подстройка сети (fine-tuning)^[2] дает лучшие результаты, чем обучение сети сначала.

Поэтому данная сеть была подстроена (fine-tuning) для распознавания эмоций на наборе изображений Cohn-Kanade+ (СК+), в которой размечено в Facial Action Coding System 327 выражений лиц (эмоций). В результате тренировки была получена точность 95% при тестировании на изображениях из данной выборки. Также отмечается такая же точность при распознавании эмоций для изображений, снятых в схожих условиях, таких как JAFFE набор.



Рисунок 1 – эмоция «страх» в ск+ наборе и JAFFE наборе.

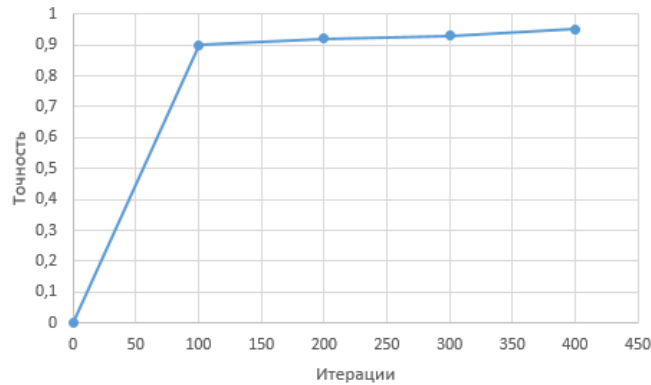


Рисунок 2 – график зависимости точности обучения от количества итераций для первого способа обучения.

Однако, для изображений, которые не входят в эти наборы распознавание проходит хуже. Распознавание области лица и приведение изображения в схожие условия (перевод в grayscale и замена фона на серый) также не дало результатов.

Исходя из этого эксперимента можно сделать вывод, что данная нейронная сеть не имеет проблем переобучения, так как она распознает с высокой точностью изображения, снятых в схожих условиях, поскольку иначе она бы не справлялась с задачей с заданной точностью. Но при этом отмечается проблема недостатка «разнообразия» входных данных, такой как разных ракурсов съемки, размеров, цветовой схемы изображений.

Для устранения этой проблемы был использован набор изображений fer-2013, который состоит из 35887 изображений размером 48x48. Поскольку в предыдущем эксперименте размер изображений был гораздо больше, то необходимо переделать структуру сети так, чтобы количество сверточных и субдискретизирующих слоев стало меньше, с целью эффективного выделения карты признаков для распознавания.



Рисунок 3 – пример изображений из набора fer-2013.

Структура новой сети:

1. Input: 48x48x1fm
2. Convolutional layer (fully connected wrt feature maps) with 5x5 weighting windows, 42x42x32fm, activation function - rectified linear
3. Max subsampling layer, 21x21x32fm
4. Convolutional layer (fully connected wrt feature maps) with 4x4 weighting windows, 20x20x32fm, activation function - rectified linear
5. Average subsampling layer, 10x10x32fm
6. Convolutional layer (fully connected wrt feature maps) with 5x5 weighting windows, 10x10x64fm, activation function - rectified linear
7. Average subsampling layer, 5x5x64fm
8. Fully connected with 20% dropout of output neurons, 3072 output neurons, activation function - rectified linear

9. Fully connected, 7 output neurons, activation function - L2 SVM

В итоге, качество распознавания стало лучше. Для корректной работы необходимо выделять область лица на фотографии и сжатии его до размера 48x48. Это было сделано при помощи фреймворка opencv для Python. Таким образом, точность распознавания достигла 65% для ряда различающихся посылаемых изображений.

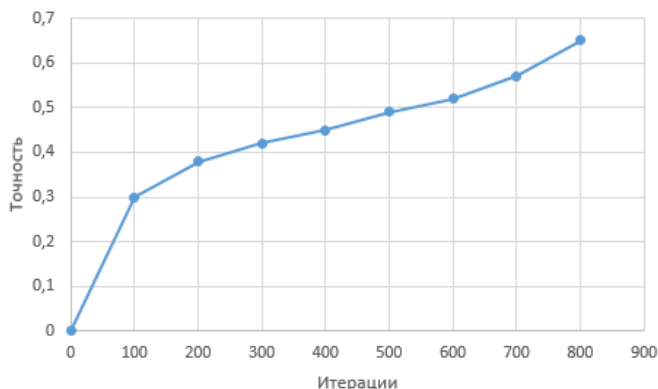


Рисунок 4 – график зависимости точности обучения от количества итераций для второго способа обучения.

Для рассмотренных реализаций был использован фреймворк Caffe для Python, так как он позволяет достаточно легко задавать структуру сети, исходные данные для обучения наподобие json-файлов. Также он предоставляет простой способ сохранения результатов для дальнейшего использования нейронной сети. Обучение проводилось на видеокарте NVIDIA GeForce GTX 760 при помощи драйвера NVIDIA CUDA^[3]. В обоих случаях обучение продолжалось около 6 часов.

Заключение. В результате данного исследования были рассмотрены 2 способа обучения сверточных нейронных сетей. В случае с подстройкой сети были достигнуты хорошие результаты, но только для изображений, сделанных в похожих условиях. Их этого можно сделать вывод, что подстройка работает очень хорошо, так как сеть уже натренирована для выделения определенных признаков, а акцентирование ее внимания на нужных изображениях повышает точность распознавания. Вторым важным моментом является разнообразие входных данных, так как именно из-за недостатка разнообразия первая сеть справлялась с распознаванием других изображений хуже. Также была собрана другая сверточная нейронная сеть, у которой точность распознавания стала хуже, но при этом ее применимость стала шире. Возможно, при правильной подстройке сети с меньшим количеством слоев, чем у GoogLeNet, точность распознавания стала бы выше, так как подстройка сети позволяет получать более точные результаты.

1. Y. LeCun and Y. Bengio: Convolutional Networks for Images, Speech, and Time-Series, in Arbib, M. A. (Eds), The Handbook of Brain Theory and Neural Networks, MIT Press, 1995
2. Angie K. Reyes, Juan C. Caicedo, Jorge E. Camargo: Fine-tuning Deep Convolutional Networks for Plant Recognition. [Электронный ресурс] URL: <http://ceur-ws.org/Vol-1391/121-CR.pdf> (Дата обращения 02.04.2016).
3. <http://www.nvidia.com.ua/object/cuda-parallel-computing-ru.html>

Р. Коляда¹⁾, студент,
К.В. Максименко-Шейко^{1,2)}, д-р техн. наук,
Т.И. Шейко²⁾, д-р техн. наук

¹⁾Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина
 (Украина, 61022, Харьков, пл. Свободы, 7,
 тел. (099) 7582225, e-mail: koljadar@gmail.com)

²⁾Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины
 (Украина, 61046, Харьков, ул. Дм. Пожарского, 2/10,
 тел. (0572) 942774, e-mail: sheyko@ipmach.kharkov.ua)

R-функции в математическом моделировании физических полей в топливной кассете ТВЭЛов

The goal of this work is the mathematical and computer modelling of the conjugate problem of convective heat exchange in fuel lattices with the help of the R-functions method and the research of influence of the packing kind at the speed and temperature distribution. The conjugate boundary value problems of heat exchange are considered for cases when the viscous incompressible liquid flowing around a bunch of rods on non-classical section channels.

Ключевые слова: R-функции, метод Ритца, топливная кассета, ТВЭЛы.

Введение. Одна из основных задач расчета ядерного реактора — определение поля температур. В этом случае появляется необходимость в решении соответствующих задач переноса в сопряженной постановке. Наличие внутренних источников тепла в элементах реактора усложняет как уравнение теплопроводности, так и методы его решения [1].

Целью работы является исследование влияния вида упаковки на распределение скорости и температуры.

Основная часть. Для построения уравнения восьмигранного кожуха воспользуемся методикой, разработанной в [2-5]. Рассмотрим уравнение прямой

$$\sigma \equiv R_v - x \geq 0 \text{ и периодическую функцию } \mu_v = \frac{8}{n\pi} \sum_k (-1)^{k+1} \frac{\sin \left[(2k-1) \frac{n\theta}{2} \right]}{(2k-1)^2}$$

($n = 8$). В результате получим $\omega_b \equiv R_v - r \cos \mu_v \geq 0$, где $r = \sqrt{x^2 + y^2}$,

$$\theta = \arctg \frac{y}{x}.$$

Остановимся на построении функции $\omega(x, y) \equiv \omega_b \wedge_0 \overline{\omega_{iv}} \geq 0$, когда ТВЭЛ транслируется с циклической симметрией n_i раз вдоль окружности радиуса R_i ($i = 1, 2, 3$).

Здесь $n_1 = 18$, $R_1 = 4.2$, $n_2 = 12$, $R_2 = 2.8$, $n_3 = 6$, $R_3 = 1.5$, $R_{iv} = 0.2$. Вос-

пользуемся функциями $\omega_{oi} \equiv \frac{1}{2R_{iv}} (R_{iv}^2 - (x - R_i)^2 - y^2)$ и формулами

$$\mu_i = \frac{8}{n_i \pi} \sum_k (-1)^{k+1} \frac{\sin \left[(2k-1) \frac{n_i \theta}{2} \right]}{(2k-1)^2}. \quad \text{В результате получим}$$

$\omega_{iv} \equiv \frac{1}{2R_{iv}} (R_{iv}^2 - (r \cos \mu_i - R_i)^2 - (r \sin \mu_i)^2) \geq 0$. Таким образом, уравнение границы кассеты с 37 ТВЭЛами (при наличии центрального ТВЭЛа) имеет вид

$$\omega \equiv \omega_b \wedge_0 \omega_{iv1} \vee_0 \omega_{iv2} \vee_0 \omega_{iv3} \vee_0 \frac{1}{2R_{iv}} (R_{iv}^2 - x^2 - y^2) \geq 0.$$

Для построения треугольной (шахматной) упаковки ТВЭЛов зададим $f_1 = R_{iv}^2 - \mu_x^2 - \mu_y^2 \geq 0$ и $f_2 = R_{iv}^2 - \mu_{x1}^2 - \mu_{y1}^2 \geq 0$,

$$\text{где } \mu_x = \frac{4h_x}{\pi^2} \sum_k (-1)^{k+1} \frac{\sin \left[(2k-1) \frac{\pi x}{h_x} \right]}{(2k-1)^2}, \quad \mu_y = \frac{4h_y}{\pi^2} \sum_k (-1)^{k+1} \frac{\sin \left[(2k-1) \frac{\pi y}{h_y} \right]}{(2k-1)^2},$$

$$\mu_{x1} = \frac{4h_x}{\pi^2} \sum_k (-1)^{k+1} \frac{\sin \left[\frac{(2k-1)\pi(x-h_x/2)}{h_x} \right]}{(2k-1)^2},$$

$$\mu_{y1} = \frac{4h_y}{\pi^2} \sum_k (-1)^{k+1} \frac{\sin \left[\frac{(2k-1)\pi(y-h_y/2)}{h_x} \right]}{(2k-1)^2}.$$

Тогда уравнение топливной кассеты имеет вид $\omega \equiv \omega_b \wedge_0 \omega_{iv} \geq 0, \omega_{iv} \equiv f_1 \vee_0 f_2 \geq 0$. Построение функции $\omega(x, y)$ выполнено при следующих значениях буквенных параметров: $R_{iv} = 0.2; h_x = 2.75; h_y = 1.52$.

Для построения прямоугольной (коридорной) упаковки ТВЭЛов зададим $f_1 = R_{iv}^2 - \mu_x^2 - \mu_y^2 \geq 0$, где

$$\mu_x = \frac{4h_x}{\pi^2} \sum_k (-1)^{k+1} \frac{\sin \left[(2k-1) \frac{\pi x}{h_x} \right]}{(2k-1)^2}, \quad \mu_y = \frac{4h_y}{\pi^2} \sum_k (-1)^{k+1} \frac{\sin \left[(2k-1) \frac{\pi y}{h_y} \right]}{(2k-1)^2}.$$

Тогда уравнение топливной кассеты имеет вид $\omega \equiv \omega_b \wedge_0 \overline{\omega_{iv}} \geq 0, \omega_{iv} \equiv f_1 \geq 0$. Построение функции $\omega(x, y)$ выполнено при следующих значениях буквенных параметров: $R_{iv} = 0.2; h_x = h_y = 1.5$. Основная система уравнений, описывающая процесс теплообмена в потоке вязкой жидкости, при постоянных физических

свойствах жидкости и температуры имеет вид: $\frac{DT}{D\tau} = a\Delta T + \frac{q_v}{\rho c_p} + \frac{\mu\Phi}{\rho c_p}$;

$\frac{D\vec{V}}{Dt} = -\frac{1}{\rho}\vec{\nabla}p + \nu\Delta\vec{V}$; $div\vec{V} = 0$. В случае стационарных процессов температура тела не зависит от времени, и уравнение теплопроводности принимает вид $V_z \frac{\partial T}{\partial z} = a\Delta T + \frac{q_v}{\rho c_p}$, а математическая модель поля скоростей имеет вид $\Delta V_z = -\frac{\nabla P}{\mu l} = -C$. В области тепловой стабилизации, когда $\frac{\partial T}{\partial z} = \text{const}$, полу-

чим $-div(\lambda\nabla T) = q_v - V_z C_1$. Таким образом, математическая модель сводится к системе уравнений

$$\begin{cases} \Delta V_z = -C & \text{в } \Omega_b \cap \overline{\Omega_{tv}} \\ -div(\lambda_i \nabla T_i) = F_i & \text{в } \Omega_b \end{cases}, \text{ где } \begin{cases} F_1 = -V_z & \text{в } \Omega_b \cap \overline{\Omega_{tv}} \\ F_2 = q_v & \text{в } \Omega_{tv} \end{cases}, \text{ с граничными ус-}$$

ловиями

$$V_z|_{\partial\Omega_b \cap \overline{\partial\Omega_{tv}}} = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial n} + hT|_{\Omega_b} = 0, \quad T_1|_{\partial\Omega_{tv}} = T_2|_{\partial\Omega_{tv}}, \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial n_1} \Big|_{\partial\Omega_{tv}} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial n_2} \Big|_{\partial\Omega_{tv}}. \quad (1)$$

Зная уравнения кожуха кассеты и ТВЭЛов, мы можем постановку задачи

$$(1) \text{ переписать в виде } \begin{cases} \Delta V_z = -C \\ -div(\lambda\nabla T) = F \end{cases}, \text{ с граничными условиями}$$

$$V_z|_{\partial\Omega_b \cap \overline{\partial\Omega_{tv}}} = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial n} + hT|_{\Omega_b} = 0, \quad T_1|_{\partial\Omega_{tv}} = T_2|_{\partial\Omega_{tv}}, \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial n_1} \Big|_{\partial\Omega_{tv}} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial n_2} \Big|_{\partial\Omega_{tv}}, \text{ где}$$

$$\lambda = \lambda_1 \frac{1 - \text{sign}\omega_{tv}}{2} + \lambda_2 \frac{1 + \text{sign}\omega_{tv}}{2}, \quad F = -V_z \frac{1 - \text{sign}\omega_{tv}}{2} + q_v \frac{1 + \text{sign}\omega_{tv}}{2}.$$

Для решения использовался метод R-функций в сочетании с вариационным методом Ритца. Структуры решения имеют вид $V_z = \omega p_1$, где

$\omega(x, y) \equiv \omega_b \wedge_0 \overline{\omega_{tv}} \geq 0$, $u = p_2 + \omega_b(-D_1 p_2 + h p_2)$ или $T = p_2$, а неопреде-

ленные компоненты $p_1 = \sum_{i=1}^N c_{ik} \varphi_{ik}(x, y)$, $p_2 = \sum_{i=1}^N d_{ik} \varphi_{ik}(x, y)$ отыскиваем,

минимизируя функционалы $I = \int_{\Omega} ((\nabla V_z)^2 - 2CV_z) d\Omega$ и

$$I = \int_{\Omega} (\lambda(\nabla T)^2 - 2FT) d\Omega + \int_{\partial\Omega_b} hT^2 d\partial\Omega_b.$$

Ниже (рис.1,2) приведены результаты исследований для различных упаковок ТВЭЛов. При этом $\lambda_1 = 1$, $\lambda_2 = 10$, $h = 1$, $q_v = 10$.

Заключение. Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что при цилиндрической упаковке максимальная температура на 9,8 % больше, чем при шахматной, и на 18,6 % больше, чем при коридорной упаковке.

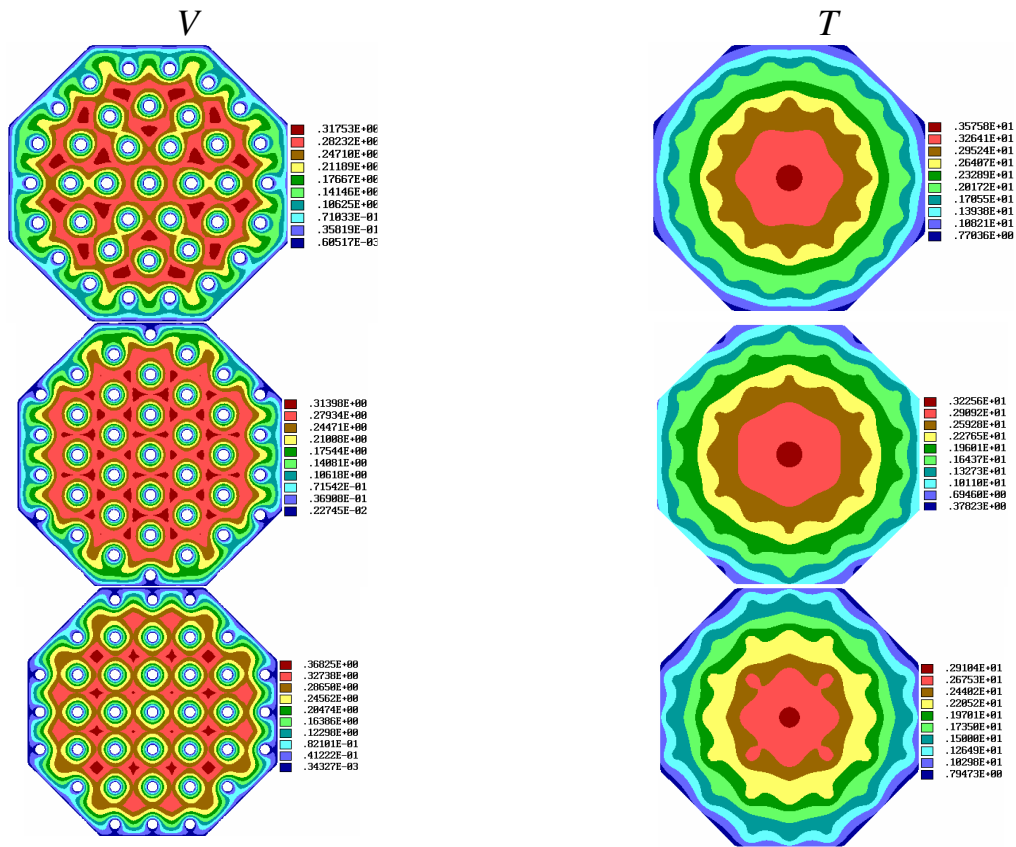


Рис.1. Картины распределения поля скоростей и температур

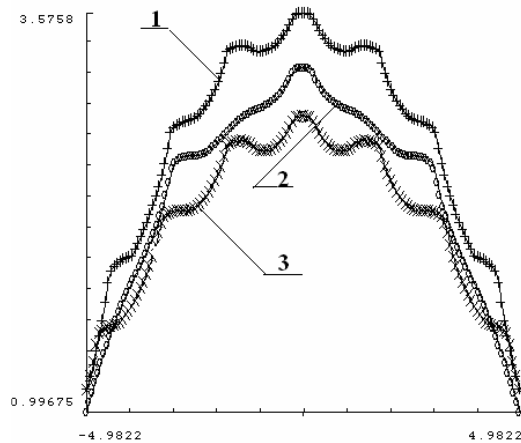


Рис.2. Графики распределения температуры в сечении $x = 0$, где 1— цилиндрическая, 2— шахматная, 3— коридорная упаковки

1. Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А. Теплообмен в ядерных энергетических установках // М.: Атомиздат. — 1974.—367 с.
2. Максименко-Шейко К.В., Толок А.В., Шейко Т.И. Сопряженная задача конвективного теплообмена в топливной кассете ТВЭЛов // Информационные технологии. — 2013. — №11. — С. 32-36.
3. Maksymenko-Sheyko K.V., Uvarov R.A., Sheyko T.I. The R-functions method in mathematical modeling of convective heat transfer in fuel cartridge with fuel rods // Problems of atomic science and technology. Series: Nuclear Physics Investigations (60). — 2013. — N3 (85). — Pp. 205-209.
4. Рвачев В.Л. Теория R-функций и некоторые ее приложения.—К., Наук.думка, 1982.—552 с.
5. Максименко-Шейко К.В. R-функции в математическом моделировании геометрических объектов и физических полей. — Харьков, ИПМаш НАН Украины, 2009. — 306 с.

А. Л. Масюк, аспирант кафедры компьютерной инженерии
Донецкий национальный технический университет «ДонНТУ»
(Украина, 85300, Красноармейск, пл. Шибанкова, 2
тел. (066) 8374600, e-mail: ars.masiuk@gmail.com)

Реализация стека недавних действий для визуальных средств редактирования моделей данных

This article describes an extension to the Command pattern which has been developed to provide more efficient implementation of the Undo/Redo stack as an important part of software tools allowing creation and modification of the data models used in visual modelling environments.

Ключевые слова: Отмена, Редактирование, Стек, Команда, Генерирование

Для большинства систем моделирования, реализующих визуальное редактирование модели объекта и его параметров (в частности, модели шахтных вентиляционных сетей [1]), актуально хранение стека недавних действий, выполненных пользователем в отношении данного объекта. Это значительно облегчает редактирование, поскольку пользователь может с помощью такого стека легко отменить ошибочные действия.

В настоящее время стандартным подходом к реализации данной возможности являются два паттерна проектирования: Memento ("Хранитель") и Command ("Команда") [2]. Оба паттерна отличаются друг от друга в трудоёмкости реализации и в эффективности использования ресурсов компьютера.

Паттерн **Memento** основан на пошаговом запоминании состояний редактируемой модели после каждого выполненного пользователем действия. Его реализация обычно достаточно проста и имплементируется посредством полной сериализации модели в бинарный архив, который затем помещается в стек состояний. Другим преимуществом данного паттерна является, соответственно, простота восстановления любого сохранённого состояния модели в любой момент времени (через десериализацию соответствующего архива).

Рассмотрим пример формирования стека с применением паттерна Memento (таблица 1). Для наглядности в качестве исходных данных взят произвольный короткий текст на английском языке.

Таблица 1. Пример паттерна Memento

Шаг	Модель данных	Выполненная операция	Состояние стека
1	It is a text which is to be edited	Исходные данные до редактирования	It is a text which is to be edited
2	It is a text to be edited	Удалена часть данных с позиции 12 по 20 (9 символов)	It is a text to be edited
3	It is some text to be edited	Замена одного символа "a" в позиции 6 на четыре символа "some"	It is some text to be edited
4	It is some longer text to be edited	Добавлена последовательность "longer" в позиции 11	It is some longer text to be edited

К главному недостатку паттерна Memento относится повышенный объём потребляемой памяти, т.к. каждое состояние модели должно быть сохранено заново, независимо от того, насколько значительно оно изменилось в результате действий пользователя (что и проиллюстрировано в приведенном примере).

Чтобы уменьшить расход памяти, используется сжатие сериализованных архивов, и, соответственно, их распаковка при десериализации, но эффективность данного способа сильно зависит от используемого алгоритма сжатия, объёма и структуры данных. Таким образом, паттерн Memento имеет смысл использовать в системах, в которых каждая операция над моделью приводит к значительному её изменению (например, изменение графического изображения посредством фильтров).

Паттерн **Command** основан на сохранении списка модификаций (команд), применяемых к исходной модели. Каждое действие пользователя над моделью описывается в виде команды, которая применяется к предыдущему состоянию модели, и её параметров, необходимых для выполнения модификации. В стек сохраняется только код команды и набор параметров, что, как правило, занимает относительно небольшой объем памяти. Рассмотрим пример формирования стека с применением паттерна Command (таблица 2).

Таблица 2. Пример паттерна Command

Шаг	Модель данных	Выполненная операция	Состояние стека
1	It is a text which is to be edited	Исходные данные до редактирования	-
2	It is a text to be edited	Удалена часть данных с позиции 12 по 20 (9 символов)	DELETE, 12, 9
3	It is some text to be edited	Замена одного символа "a" в позиции 6 на четыре символа "some"	REPLACE, 6, 1, "some"
4	It is some longer text to be edited	Добавлена последовательность "longer" в позиции 11	INSERT, 11, "longer"

В стек на каждом шаге заносится код одного из возможных действий над исходной моделью данных (в примере использовано три команды — удаление DELETE, замена REPLACE, вставка INSERT). Каждому действию соответствует определённый набор параметров. Так, в примере каждая из команд первым параметром определяет начальную позицию в исходном тексте; вторым параметром для команды удаления и замены указана длина исходной последовательности (удаляемой либо замещаемой); последний параметр для команд вставки и замены — соответственно, вставленный либо изменённый пользователем текст.

Очевидно, восстановление предыдущих состояний требует последовательного применения всех сохранённых команд к исходному (базовому) состоянию модели, пока не будет достигнута нужная трансформация. Также очевидно, что в зависимости от имплементации команд и размера стека для восстановления нужного состояния модели может потребоваться значительное количество операций, (так, если пользователь, находясь в шаге 4, решит отменить вставку слова "longer", то алгоритм должен будет последовательно выполнить команды от 1 до 3, что неэффективно). Поэтому на практике применяется модификация метода, состоящая в следующем: после каждой выполненной пользователем команды в список команд создаётся и заносится команда, обратная выполненной (например, при операции вставки текста в список команд будет помещена команда удаления данного текста). Каждый раз при выполнении пользователем операции отмены, к текущему состоянию модели данных

применяется соответствующая "обратная" команда, а в список повторов будет занесена команда, в свою очередь обратная ей. Соответственно, при выполнении пользователем операции повтора "обратные" команды применяются к модели и удаляются из данного списка.

Основным недостатком данного метода является высокая (по сравнению с Memento) трудоёмкость реализации, поскольку во-первых, каждое действие пользователя необходимо описать соответствующей командой-модификатором, а во-вторых, для каждой команды должна быть создана обратная ей операция, что не всегда возможно (например, если команда представляет собой необратимое действие вроде графического фильтра, то "обратная" операция, по сути, должна содержать копию предыдущего состояния модели).

Предлагаемый в данной статье метод был разработан с учётом достоинств и недостатков описанных подходов к реализации стека недавних действий. Он по принципу напоминает паттерн Command, но значительно облегчает его имплементацию. Суть метода заключается в автоматическом генерировании команд-модификаторов на основе различий между предыдущим и текущим состояниями модели данных. Поскольку в общем случае заранее неизвестно, какие данные и каким образом были изменены в процессе редактирования, алгоритм поиска различий должен быть универсальным и не зависеть от формата данных. Для этого наиболее очевидным представляется использовать поиск по двоичному массиву, полученному после сериализации модели.

Поскольку на каждом шаге редактирования модель, как правило, изменяется незначительно, то различия между состояниями модели также будут минимальными по отношению к общему объёму данных (например, при изменении только одного параметра модели). Таким образом, достаточно выполнить побайтовое сравнение двух массивов состояний и обнаружить начало и продолжительность изменённой последовательности байт. На основе результата поиска выполняется генерация соответствующих команд и их занесение в списки модификаторов.

Любое последовательное изменение двоичного массива можно описать одной из операций: *добавление* (либо *вставка*); *удаление* и *замена*. Таким образом, для формирования модификаторов достаточно только трёх команд, каждая из которых обладает фиксированным набором параметров: начальный индекс в исходном массиве, длина последовательности (при удалении или замене) и собственно изменённые данные (при вставке или замене). Каждой "прямой" трансформации соответствует аналогичная "обратная" трансформация, которая преобразует результирующий массив байт обратно в исходный (так, каждая вставка обратна удалению и наоборот, а каждая замена — обратной замене).

Очевидно, что операции удаления и вставки можно свести к операции замены. Удаление соответствует замене на пустоту. Вставку можно представить как операцию замены пустоты. В таком случае все модификаторы могут быть сгенерированы по единому шаблону с тремя параметрами:

1. [позиция начала изменения]
2. [длина изменяемой последовательности]
3. [последовательность, замещающая исходную с позиции (1) длиной (2) байт]

В таблице 3 приведен окончательный вариант работы алгоритма.

Таблица 3. Пример работы предложенного алгоритма

Шаг	Модель данных	Выполненная операция	Команды повтора	Список команд отмены
1	It is a text which is to be edited	Исходные данные до редактирования	-	-
2	It is a text to be edited	Удалена часть данных с позиции 12 по 20 (9 символов)	12, 9, ""	12, 0, "which is "
3	It is some text to be edited	Замена одного символа "a" в позиции 6 на четыре символа "some"	6, 1, "some"	6, 4, "a"
4	It is some longer text to be edited	Добавлена последовательность "longer" в позиции 11	11, 0, "longer"	11, 6, ""

Как видно из приведенного примера, основным в реализации алгоритма является поиск изменённых последовательностей между исходным и текущим состояниями модели. В общем случае (если изменения незначительны), достаточно эффективным будет применение двунаправленного сравнения обоих состояний модели до первого несовпадения. В зависимости от позиции найденного несовпадения (или его отсутствия) можно сделать вывод о том, какие модификаторы должны быть применены к последовательностям.

Характеристики метода по сравнению с паттерном Memento:

- Низкий расход памяти в большинстве случаев.

Характеристики метода по сравнению с паттерном Command:

- Универсальность реализации (единый алгоритм без необходимости добавления новых команд при расширении функциональности редактора модели).

Наиболее эффективным представляется использование данного метода для реализации стека недавних состояний в системах, которые незначительно модифицируют модель данных при каждом отдельном шаге редактирования (например, редактирование текстовых данных либо численных параметров).

Недостатком метода является зависимость эффективности использования оперативной памяти от выполненных операций. В случае частых незначительных изменений данных как результата одной команды (например, после операции множественной замены одинаковых значений), двунаправленный поиск не сможет обеспечить преимущество автоматической генерации модификаторов и потребуются применение более эффективного алгоритма поиска различий. Общее решение данной проблемы может заключаться в последовательном применении различных алгоритмов поиска (например, алгоритма LCS [3]) и генерировании групп модификаторов в зависимости от полученных результатов.

1. Масюк А.Л. Підсистема діалогу паралельного моделюючого середовища, орієнтованого на шахтні вентиляційні мережі. / Наукові праці ДонНТУ. Серія «Проблеми моделювання та автоматизації проектування» (МАП-2005). Випуск: 78 - Донецьк: ДонНТУ. - 2005. – 272 с.
2. Э.Гамма, Р.Хелм, Р.Джонсон, Дж.Влиссидс. Приёмы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. // Addison-Wesley, «Питер», 1994. — 395 с.
3. Chvatal, Václáv; Sankoff, David (1975), "Longest common subsequences of two random sequences", Journal of Applied Probability 12: 306–315

И. В. Мельник¹⁾, д-р техн. наук,

А. О. Лунтовский²⁾, д-р техн. наук

¹⁾Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», факультет электроники, кафедра электронных приборов и устройств (Украина, 03056, г. Киев, пр. Победы, 37, корпус 12, тел. (044) 2049505, e-mail: imelnik@edd.ntu-kpi.kiev.ua)

²⁾Саксонская академия, отделение информатики и системотехники, г. Дрезден, Германия (Германия, 01307, г. Дрезден, Ханс-Грундиг штрассе, 25 тел. (49351) 44722703, e-mail: Andriy.Luntovskyy@gmx.net)

Моделирование процесса охлаждения компьютерных узлов путём решения уравнения теплового баланса

The method of simulation of waste heating in the systems of water cooling of computers blocks, based on analytical solving of Boltzmann thermodynamic equation, is proposed in this work. The dependences of the processors' blocks temperature and of the cooling systems' energetic efficiency from the power, dissipated on the processors' blocks, as well as from the water consumption, have been obtained.

Ключевые слова: распределенные компьютерные системы, тепловые потери, уравнение теплового баланса.

Введение. Мировые тенденции направлений научных и инженерных исследований, связанных с развитием и совершенствованием компьютерной техники, постоянно меняются, что приводит к необходимости разработки новых средств моделирования и проектирования компьютерных узлов. В последние годы, в связи с развитием технологий сетевых облачных вычислений и с переходом к туманным вычислениям [1], в технологически развитых странах возрос интерес к инженерным вопросам, связанным с оценкой энергопотребления компьютеров большой вычислительной мощности и с повышением энергетической эффективности распределенных компьютерных систем [1, 2]. Это связано с тем, что начиная с 2012 г. специалистами проявляется повышенный интерес к проблеме использования тепловой мощности, выделяемой компьютерными узлами, для полезных целей, например, для обогрева помещений или для производственных нужд [3]. Однако инженерные методы оценки тепловой мощности, выделяемой на охлаждаемых процессорных блоках, в настоящее время не достаточно хорошо разработаны, а сложные расчеты систем охлаждения, основанные на численном решении уравнения теплопроводности, требуют использования больших вычислительных ресурсов, что не всегда оправдано [4]. Поэтому проектирование энергетически эффективных компьютерных комплексов сегодня, в основном, выполняется эмпирическим путём, без учета количества выделяемой теплоты и без расчета общего баланса выделяемой и потребляемой энергии. Это в значительной степени снижает эффективность проектирования и его качество [3].

Целью данной работы было создание простой и эффективной методики моделирования системы водяного охлаждения компьютерных блоков, состоящих из нескольких процессорных узлов. Исходный код разработанных программ был написан на языке программирования системы MatLab [5, 6].

Описание модели охлаждаемого компьютерного узла. Разработанная модель системы водяного охлаждения компьютерного узла основана на аналитическом решении уравнения теплового баланса. В общем случае уравнение теплового баланса для термодинамической системы записывается следующим образом [4, 5]:

$$P_a = c_c m_c \frac{dT_s}{dt} + P_t, P_t = \frac{S_c(T_s - T_w)}{r(T)}, R(T) = \frac{l_c(T)}{\lambda_c(T)}, \quad (1)$$

где P_a – поглощаемая мощность, P_t – мощность, расходуемая на теплопроводность, T_s – температура поверхности, T_w – температура охлаждающей жидкости, c_c – теплопроводность нагреваемого материала, m_c – его масса, $r(T)$ – тепловое сопротивление, зависящее от свойств материала и от температуры и, λ_c – теплопроводность материала, l_c – его толщина. Поскольку в работе не стояла задача исследования зависимости температуры охлаждаемых блоков от времени, уравнения теплового баланса (1) решалось только для стационарного режима.

Начальные и граничные условия, для которых решалось уравнение (1), определяются структурой системы охлаждения и геометрией её узлов. При постановке задачи моделирования предполагалось, что охлаждающая жидкость или газ подаются трубе, выполненной из материала с высокой теплопроводностью, с заданной скоростью $v_{\text{охл}}$. Размеры охлаждаемых блоков считались одинаковыми и составляли $a \cdot b$, а расстояние между блоками полагалось равным l . Обобщенная схема элемента моделируемой системы охлаждения приведена на рис. 1.

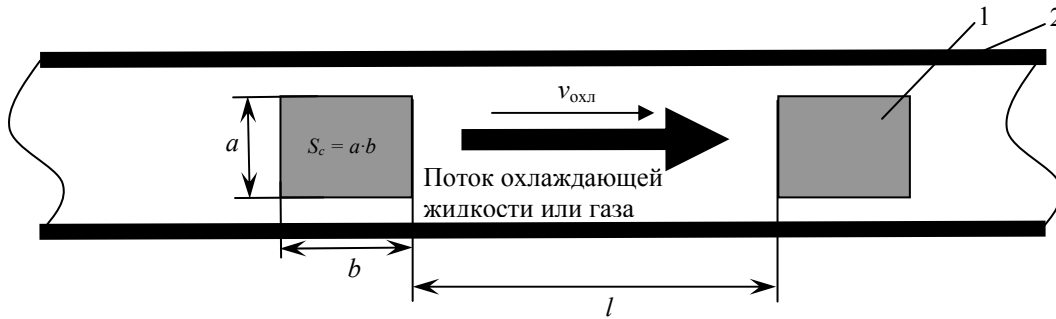


Рис. 1 Структурная схема элемента моделируемой системы охлаждения процессорного узла.

1 – охлаждаемые процессорные блоки, 2 – труба с охлаждаемой жидкостью или газом; $v_{\text{охл}}$ – скорость охлаждающей жидкости или газа.

Основными задачами моделирования были расчет и анализ температуры охлаждаемых процессорных блоков, которая по техническим нормам не должна превышать 55°C , температуры охлаждающей жидкости, а также оценка теплового к.п.д. системы, определяемого как отношение:

$$\eta = \frac{P_w}{P_b + P_w + P_t}, \quad (2)$$

где P_w – мощность, расходуемая на нагрев воды, P_b – мощность, расходуемая на нагрев процессорного блока. Для оценки баланса мощности моделируемая система рассматривалась в разрезе, соответствующая конструктивная схема приведена на рис. 2.

Особенность постановки задачи моделирования состояла в том, что она решалась аналитически для произвольного количества охлаждаемых процессорных блоков n . Полученное решение уравнения теплового баланса (1) можно записать следующим образом:

$$\overline{T}_{\text{кр}}^i = \frac{(Pab h_{\text{тр}} R_{c1}) / v_{\text{охл}} + (T_{\text{охл}}^{i-1})}{2}, \quad T_{\text{охл}}^i = \overline{T}_{\text{кр}} - \frac{PT_{\text{охл}}^i R_{c1}}{c_{\text{охл}} \rho_{\text{охл}} v_{\text{охл}}^2} A_i = \frac{c_{\text{охл}} \rho_{\text{охл}} v_{\text{охл}}^2}{(a + h_{\text{тр}}) l_i R_{c2}},$$

$$R_{c2} = \frac{d_c(T)}{\lambda_c(T)} + \frac{1}{\alpha_{\text{охл}}}, R_{c1} = \frac{d_{31}(T)}{\lambda_{31}(T)} + \frac{d_k(T)}{\lambda_k(T)} + \frac{d_{32}(T)}{\lambda_{32}(T)} + \frac{d_c(T)}{\lambda_c(T)} + \frac{1}{\alpha_{\text{охл}}}, \quad (3)$$

$$(T_{\text{охл}}^{i-1}) = T_{\text{охл}}^i (1 + A_i) - A_i T_0, \alpha_{\text{охл}} = k_1 + k_2 \sqrt{v_{\text{охл}}},$$

где $\lambda_{31}(T)$ – теплопроводность зазора между процессорным блоком и корпусом, $\lambda_k(T)$ – теплопроводность корпуса процессора, $\lambda_{32}(T)$ – теплопроводность зазора между корпусом и охлаждающей трубой, $\lambda_c(T)$ – теплопроводность стенки трубы, $\alpha_{\text{охл}}$ – коэффициент теплоотдачи между охлаждающей жидкостью или газом и стенкой трубы, $T_{\text{сп}}^i$ – усреднённая температура кристалла процессора. Основные геометрические параметры моделируемой системы охлаждения приведены на рис. 1 и на рис. 2.

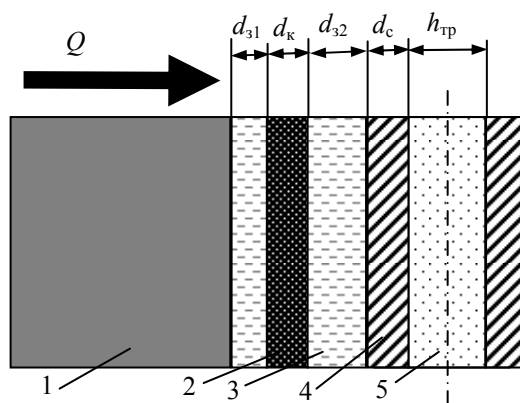


Рис. 2. Схема распределения теплового баланса на охлаждаемом процессорном блоке. 1 – кристалл процессора, который охлаждается; 2 – корпус процессора; 3 – зазор между процессором и трубой с охлаждающей жидкостью или газом; 4 – стенка трубы; 5 – полость трубы.

Q – тепловой поток, d_k – толщина стенки корпуса, d_3 – толщина зазора, d_c – толщина стенки трубы, $h_{\text{тр}}$ – высота полости трубы.

Результаты моделирования и их анализ. Расчеты с использованием соотношений (3) проводились для следующих параметров моделируемой системы: материал первого зазора – кварцевое стекло $\left(\lambda_{31} = 1,36 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}\right)$, материал второго зазора – воздух $\left(\lambda_{32} = 0,034 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}\right)$, материал корпуса – поливинилхлорид $\left(\lambda_k = 0,17 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}\right)$, материал трубы – медь $\left(\lambda_c = 384 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}\right)$, $k_1 = 350$, $k_2 = 2100$, $d_{31} = 10^{-4}$ м, $d_k = 5 \cdot 10^{-4}$ м, $d_{32} = 10^{-4}$ м, $d_c = 1 \cdot 10^{-3}$ м, $a = 0,05$ м, $b = 0,05$ м, $h_{\text{тр}} = 0,05$ м, $T_{\text{охл}} = 10^0$ С, $l = 0,1$ м [7, 8]. Разработанная программа, предназначенная для моделирования систем охлаждения компьютерных узлов, позволяет менять термодинамические свойства используемых материалов в диалоговом окне пользователя со считыванием соответствующих коэффициентов из базы данных, составленной по справочной литературе [4, 7, 8].

Полученные результаты моделирования, приведенные на рис. 3, позволили сделать вывод о том, что, для десяти процессорных блоков, при длине участка трубы между блоками $l > 0,1$ м и при мощности, выделяемой на процессорном блоке, $P_c < 500$ Вт, температура кристалла, при соответствующей скорости подачи воды, не превышает критическую, а максимальный тепловой к.п.д. системы составляет примерно 70 – 75%.

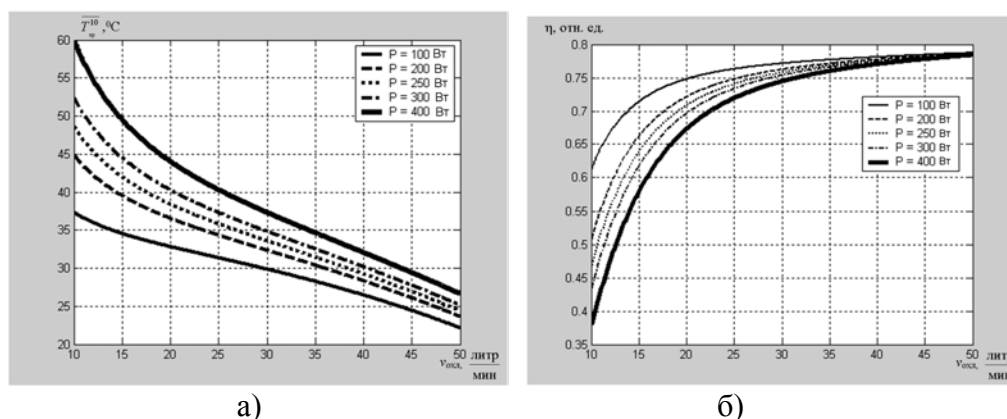


Рис. 3. Зависимости усредненной температуры последнего охлаждаемого процессорного блока (а) и теплового к.п.д. системы охлаждения (б) от мощности, выделяемой на процессорном блоке, и от скорости подачи воды

Важный практический вывод, полученный с использованием средств моделирования, состоит в том, что при соответствующем выборе расстояния между процессорными блоками l температура охлаждаемых блоков практически не зависит от их количества.

Заключение. В работе получена и проанализирована математическая модель процесса охлаждения вычислительных блоков компьютерных узлов. Путём решения уравнения теплового баланса рассчитана температура охлаждаемых процессорных блоков. Полученные результаты моделирования представляют практический интерес для проектировщиков серверов и распределенных вычислительных систем.

1. Лунтовский А. О., Мельник И. В. Современные системы туманных вычислений и методы их проектирования. // Электронное моделирование. – Т. 37.– 2015. – № 2. – С. 59-76.
2. Лунтовський А. О., Мельник І. В., Шикова М. С. Етапи розвитку сучасних мережних технологій та приклад створення енергетично-ефективного мультимедійного сервісу на основі комп'ютерного вузла. // Електроніка і зв'язь. – Том 19. – №6 (83). – 2014. – С. 121 – 127.
3. Fichter K., Weiss R. The support system for green start-up companies in Germany, Borderstep Institute (Ed.) Booklet, 2014 (Online): <http://www.borderstep.de/publikationen/>.
4. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 417 с.
5. Мельник І.В. Система науково-технічних розрахунків MatLab та її використання для розв'язання задач із електроніки: навчальний посібник у 2-х томах. Т. 1. Основи роботи та функції системи. – К.: Університет «Україна», 2009. – 507 с.
6. Мельник І.В. Система науково-технічних розрахунків MatLab та її використання для розв'язання задач із електроніки: навчальний посібник у 2-х томах. Т. 2. Основи програмування та розв'язання прикладних задач. – К.: Університет «Україна», 2009. – 327 с.
7. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер с нем. – М.: Мир, 1982. – 520 с.
8. Эспе В. Технология электровакуумных материалов. В 3-х томах. – М.: Энергия, 1969.

Seyedehmelina Meraji, Phd student
Taras Shevchenko National University of Kiev
60, Volodymyrska St, 01601, Kiev, Ukraine
Tel: (044) 239 3333, e-mail: Seyedehmelina.meraji@gmail.com

Pre-Eminent Threats and Constraints in Mobile Ad-Hoc Network

Abstract: Mobile Ad-Hoc network intimidations and restrictions.

Keywords: MANET security, Ad-Hoc threats, wireless networks, security criteria.

Introduction. A MANET (Mobile Ad-Hoc Network) is an independent assortment of mobile users that interconnect over comparative bandwidth inhibited wireless links. The network topology may change rapidly and erratically over time, creating mobility with the nodes. In MANETs, each node also works as router for forwarding packets. However, there is slight progress in resolving the protected auto configuration issues in MANETs, which has controlled the propagation of intimidations producing vulnerabilities in MANETs. It is clear that ad-hoc networks have no integrated mechanism and strategy such as a firewall, intrusion detection system, or proxy in order to defend and protect against threats. Consequently, it is compulsory that the interest in defending each ad-hoc components or mechanisms within the network is the responsibility and accountability of associate node. Security is one of the critical and serious factors of concern to establish protected communication among dissimilar nodes in a MANET environment. Ad-hoc networking can be functional wherever there exists little or no communication infrastructure or the current existing infrastructure is costly or unsuitable to use within areas such as military battlefield, local level, commercial sector and personal area network.

The main distinguishing properties of Ad-hoc networks are self-organization, mobility, wireless capability and resource constraints as well as set of hosts, more frequently called nodes. The key prominent and recurrent features are the self-organization property of the network. Meaning, there is no particular or specific authority in charge and controlling the establishment and coordination of the network. Further, the mobility component refers to the ability for nodes to join and leave the network and can change location over time. As a result, ad-hoc networks become extremely active and dynamic, which is the combination of fixed or static topology. The wireless capability of the nodes is the ability to communicate with other nodes through wireless links. The other property referred to as resource constraints means that nodes have limited power, CPU, memory, bandwidth, etc. These limitations provoke nodes to be self-centered, trying to share individual resources as slightly as possible and to consume resources of other nodes as much as permitted.

In addition, Security Services and Attacks are two vital aspects in securing networks. Services refer to protecting policies implemented to make a network secure, while internal, external, passive and active attacks use network vulnerabilities to corrupt a security service. It is essential and mandatory for deployment of funds to ensure sustained network security and data integrity. In MANET, all networking functions such as routing and packet forwarding are performed by nodes in a self-organizing manner. Consequently, securing a MANET is challenging resulting from the absence of

infrastructure, peer to peer architecture with multi-hop routing, mobile device physical vulnerability, stringent resource constraints, wireless medium and node mobility. Thus, the main purpose of this discussion is the evaluation of MANET and consideration of the network's security attributes, focusing on the availability, authentication, confidentiality, anonymity, integrity, non-repudiation and authorization. Furthermore, it would be effective to recognize security solution constraints such as lightweight, decentralized, reactive and fault-tolerance in evaluating the MANET. Figure 1 shows the interaction between the security services, attack management challenges and the security parameters.

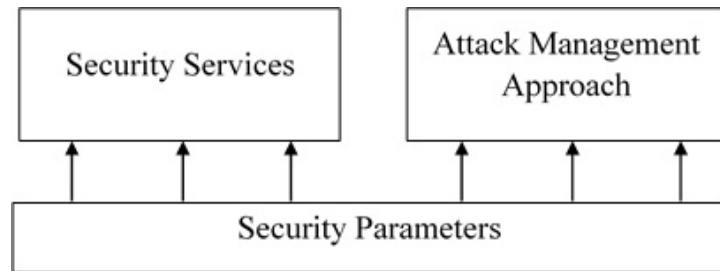


Fig. 1. Interaction between security parameters and challenges

The wireless network is largely prone to attacks resulting from the presence of active eavesdropping as well as passive interference. It is tasking to implement and deploy security mechanisms because of the absence of Trusted Third Party adds. The limitation in computational capability and factors influencing power consumption that exist in most mobile devices play a role in the treats and the vulnerability of the service. Further, high security algorithms such as public key algorithms require high computation as such cannot be handle by the mobile devices. MANET's self-organizing properties expose trusted nodes within the network to a higher chance of attack. Therefore, the fundamental task is protection of the network's internal and external infrastructure [1]. Because of node mobility mechanism, it is hard to distinguish between stale routing and faked routing data.

The node mobility mechanism applies frequent networking reconfiguration which creates more chances for attacks. Current MANETs authorize different types of attacks. These attacks are classified as modifications with the function of redirection by modifying route sequence number, redirection by modifying hop count, source route modification, tunneling and impersonation. The routing protocol attacks include fabrication (falsifying route errors and broadcast falsified routes), spoofing attacks and rushing attacks, wormhole and lack of cooperation. As a result of the random node mobility, security becomes a complex issue. The application layer has security issues with detecting and preventing viruses, application abuses, worms and malicious nodes. In regards to authenticating and securing end-to-end communication, data encryption between two nodes is implemented in the transport layer to ensure security [2]. Protection of ad-hoc routing as well as forwarding protocols is the prevailing security issue in the network layer. The security issue in the link layer is protection of the integrity of wireless MAC protocol, providing link layer security support and the general security of the link layer itself. Preventing signal jamming denial of service attacks is the security concern of physical layer.

Some solutions implemented to secure routing protocols include authentication during all phases of data transmission, trust level metric, secure neighbor verification, randomize message forwarding and onion encryption. Detection solutions against selfishness are End to end feedbacks, monitoring in promiscuous mode (watchdog), activity based overhearing, mutually according admission in network environment, reputation based solution and probing. Preventive solutions against selfishness are nuglets (nodes which use the service must pay to nodes that provide the service) and data dispersal this is the addition of redundancy to the message sent and enablement of partial reception to enhance successful reconstruction of messages [3].

Conclusions. The drawbacks to securing routing protocols is the requirement of certificate authority or key sharing mechanism, difficulty to define trust level, important overhead when mobility increases and high computational cost. The supplement of new nodes in a MANET for the duration of the auto configuration procedure can produce and generate new intimidations due to the variabilities in the behavior of these categories of networks, which would produce a deficiency of trust in the transmission or broadcasting of information through them. Finally, the present auto configuration protocols, through the obtainable susceptibilities and vulnerabilities, have not determined, in their majority, the security difficulties that originate for the period of the supplement of new nodes, generating a requirement for suggestions that contain this latter constituent.

1. *C. Tschudin, R. Gold, O. Rensfelt, et al.*, "LUNAR -A Lightweight Underlay Network Ad-Hoc Routing Protocol and Implementation", Proceedings of NEW2AN'04, 2014.
2. *S.a.A.k.G, H.o.d.R.m, and S. sharma*, "A Comprehensive Review of Security Issues in Manets," International Journal of Computer Applications vol. 69 2013.
3. *S. Ozdemir and H. Cam*, "Integration of false data detection with data aggregation and confidential transmission in wireless sensor networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 18, no. 3, pp. 736-749, 2010.

Г. І. Романишин¹⁾,
Р. І. Романишин²⁾,

¹⁾Львівський національний університет ім. Івана Франка
(Україна, 79000, Львів, вул. Драгоманова, 50,
тел.(032) 2319370, e-mail: halyna.romanyshyn@gmail.com)

²⁾Фізико-механічний інститут НАН України
(Україна, 79000, Львів, вул. Наукова, 5,
тел. (032) 2296500, e-mail: romanyshyn@ipm.lviv.ua)

Розробка бази даних ультразвукових матеріалознавчих досліджень на основі реєстрації зворотньо розсіяного сигналу

Structure of database in ultrasonic materials research by use of backscattered ultrasonic signal is described. The backscattered ultrasonic signal is the most sensitive to structural changes and its damage of metal. It is a large array of data, like noise and requires adequate statistical analysis.

Ключові слова: база даних, ультразвукові матеріалознавчі дослідження, зворотньо розсіяний сигнал, розсіяна пошкодженість.

Вступ. Важливою задачею технічної діагностики є оцінювання стану металу ультразвуковими методами. Не дивлячись на те, що ультразвукові методи знайшли широке застосування в неруйнівному контролі [1, 2] і медицині, для оцінювання переддефектного стану металу, розсіяної пошкодженості застосовуються обмежено і переважно в лабораторних умовах [3-7]. Для розвитку цих методів необхідним є забезпечення можливості документування параметрів об'єкту контролю, стану металу, умов і результатів експериментальних досліджень. Забезпечення цієї можливості здійснюється шляхом розробки бази даних ультразвукових матеріалознавчих досліджень.

Предметна область. Використання зворотньо розсіяних сигналів накладає ряд вимог до формування бази даних, які обумовлені особливостями цих сигналів, а також підходами до їх обробки. Відмітимо наступні особливості ультразвукових матеріалознавчих досліджень на основі реєстрації зворотньо розсіяних сигналів, які визначають структуру бази даних:

- проводиться сканування поверхні об'єкту контролю прямим роздільно сумішеним п'єзоперетворювачем, ультразвукове імпульсне зондування та багатократна реєстрація сигналу у вигляді А-скану [8];

- часова реалізація зареєстрованого сигналу містить кілька ділянок: зонduючий імпульс, ревербераційний сигнал призми, сигнал, який відбитий від границі призма-метал, «інформативний сигнал», перший відбитий донний сигнал і т.д.;

- інформативним сигналом є частина А-скану від кінця імпульсу, відбитого від границі призма-метал до початку першого відбитого донного сигналу;

- припускається, що ця частина А-скану є зворотньо розсіяним сигналом від відповідних ділянок неоднорідностей зондованого об'єкту і несе інформацію про параметри стану металу, зокрема, про розсіюну пошкодженість [9];

- зворотньо розсіяний ультразвуковий сигнал є шумоподібним сигналом (в неруйнівному контролі його називають «структурним шумом») і для його обробки застосовують статистичні методи;

- параметри статистичної обробки залежать від характеристик п'єзоперетворювача (частота, тривалість зонduючого імпульсу), приймальної системи (частота дискретизації), об'єкту контролю, вимог діагностики;

- результати статистичної обробки багатократно зареєстрованих часових реалізацій зворотньо розсіяного сигналу є інформативними параметрами про розсіюну пошкодженість в об'ємі матеріалу.

Структура бази даних. На рис. 6 подана ER діаграма бази даних, згенерована VISUAL STUDIO.

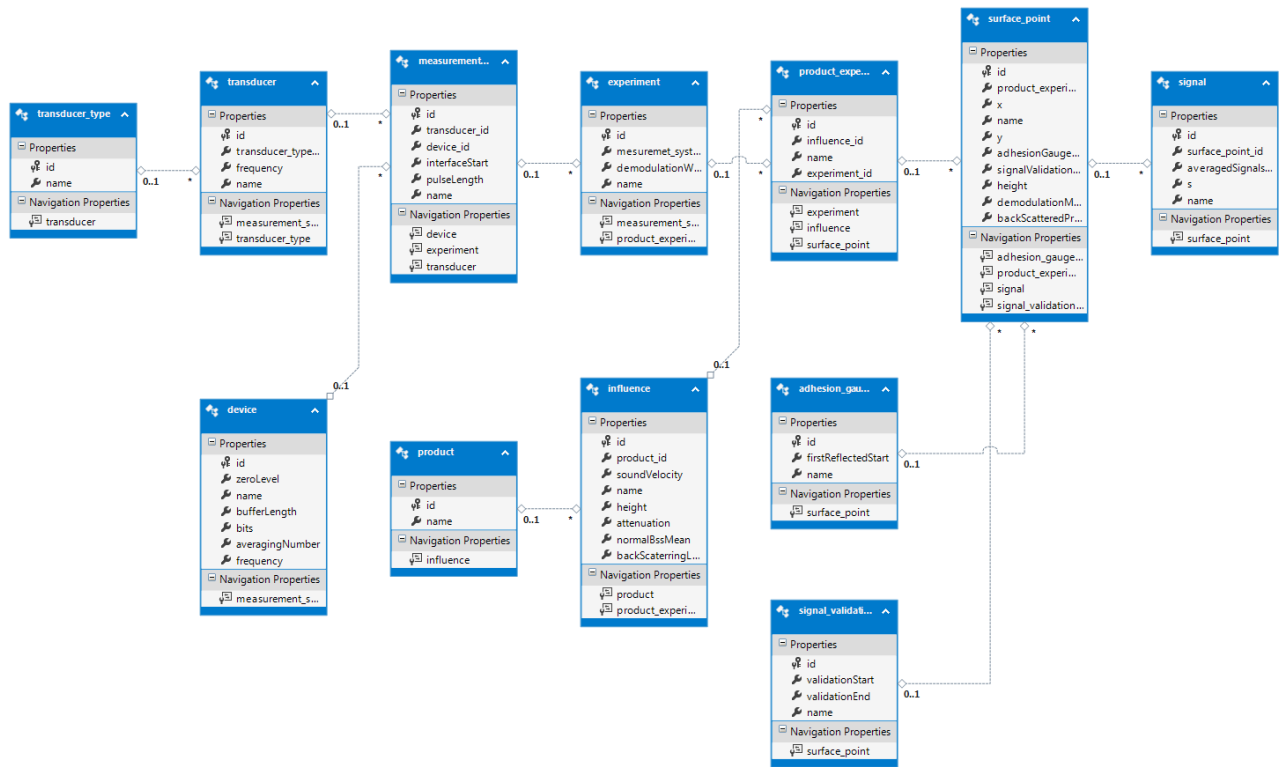


Рис. 1. ER-діаграма бази даних ультразвукових матеріалознавчих досліджень

Тут можна виділити три частини бази даних: вимірювальні засоби (ультразвукові діагностичні системи); об'єкт контролю; результати діагностики. Інформація про вимірювальні засоби, апріорні дані про об'єкт контролю, результати досліджень заносяться у відповідні таблиці для подальших досліджень.

Основою діагностики розсіяної пошкодженості є інформаційна технологія статистичної обробки часової реалізації зворотньо розсіяного сигналу, яка враховує вплив акустичного контакту, підсилення приймального тракту, апаратурні шуми, загасання сигналу із-за поглинання і розсіювання в процесі поширення і дозволяє визначити профіль перерізу зворотнього розсіювання вздовж шляху поширення сигналу.

Інформаційна технологія обробки зворотньо розсіяного сигналу.

1. Нехай в точці сканування (x, y) зареєстрована реалізація $s(x, y) = \{s(n; x, y), n = 1, \dots, N\}$ ($s(n; x, y)$ - n -ий відлік, N - загальна кількість відліків).

Інформативною частиною сигналу про стан матеріалу по товщині є ділянка сигналу від кінця імпульсу, відбитого від границі призма-метал, до початку першого донного відбитого сигналу. Припускається, що вплив розсіяної пошкодженості матеріалу на зонduючий сигнал проявляється у вигляді амплітудної модуляції зонduючого сигналу. Отримання інформації про розсіюну пошкодженість середовища по шляху зондування здійснюється шляхом демодуляції зареєстрованого зворотньо розсіяного сигналу.

2. Виділяємо інформативну частину сигналу $s_i(x, y) = \{s(n; x, y), n = N_1, \dots, N_2\}$ (N_1 - номер відліку кінця імпульсу, відбитого від границі призма-метал, N_2 - номер відліку початку першого донного відбитого сигналу). Отримуємо реалізацію інтенсивності $p(x, y) = \{p(n; x, y) = s^2(n; x, y), n = N_1, \dots, N_2\}$

Реалізація інтенсивності – шумоподібний вузькосмуговий сигнал.

3. Проводимо детектування інтенсивності шляхом усереднення в біжучому вікні тривалістю одного періоду несучої

$$d(x, y) = \left\{ d(n; x, y) = \frac{1}{2\Delta} \sum_{k=n-\Delta+1}^{n+\Delta} s^2(k; x, y), n = N_1, \dots, N_2 + \Delta_{imp} \right\} \quad \left(\Delta = \text{Int} \frac{F}{f}, f - \text{частота} \right)$$

зонduючого сигналу, F - частота дискретизації; Δ_{imp} - тривалість зонduючого імпульсу (кілька періодів несучої), яка визначається на основі відбитого донного сигналу).

Приведене детектування є обчисленням автокореляційної функції шумоподібного модульованого сигналу при нульовій затримці, в результаті чого отримуємо потужність сигналу. Усереднення інтенсивності на періоді несучої забезпечує практично відсутність похибки автокореляції із-за «урізання» даних.

4. Обчислюємо енергію сигналу на проміжку $N_1 - \Delta_{imp} \div N_2 + \Delta_{imp}$ і нормуємо кожний відлік інтенсивності до цієї величини

$$E = \sum_{n=N_1-\Delta_{imp}}^{N_2+\Delta_{imp}} d(n; x, y)$$

$$c(x, y) = \left\{ c(n; x, y) = \frac{d(n; x, y)}{E}, n = N_1, \dots, N_2 \right\}.$$

В результаті такого нормування отримуємо реалізацію інтенсивності зворотньо розсіяного сигналу, яка має одиничну енергію на проміжку нормування з врахуванням енергії відбитого донного сигналу.

За допомогою цієї процедури позбавляємось впливу контакту та підсилення приймального тракту.

5. Враховуємо вплив загасання сигналу по шляху зондування внаслідок розсіювання

$$r(x, y) = \left\{ r(n; x, y) = \frac{c(n; x, y)}{1 - \sum_{i=N_1}^{N_1+n-1} c(i; x, y)}, n = N_1, \dots, N_2 \right\}.$$

В результаті отримаємо профіль перерізу зворотнього розсіювання вздовж шляху поширення зонduючого сигналу, який відображає розсіюну пошкодженість матеріалу.

Заклучення. Розроблена база даних ультразвукових матеріалознавчих досліджень, які націлені на визначення розсіяної пошкодженості матеріалів на основі реєстрації зворотньо розсіяного ультразвукового сигналу. База даних дозволяє документувати параметри ультразвукових засобів діагностики, апіорні дані про об'єкт досліджень та результати діагностики. База даних інтегрована в діагностичне програмне забезпечення ІСТ ультразвукового комп'ютерного томографа UST5M. Програмне забезпечення реалізоване на мові C# з використанням технології ORM для роботи з базами даних MySQL та парадигми об'єктно-орієнтованого програмування для подальшого гнучкого вдосконалення. База даних може використовуватися в матеріалознавчих дослідженнях та для моніторингу переддефектного стану конструкційних матеріалів в процесі експлуатації і завчасного виявлення місць, ймовірних щодо виникнення дефектів.

1. Крауткремер И. Ультразвуковой контроль материалов: Справ. изд. / Й.Крауткремер, Г.Крауткремер / Пер. с нем. – М.: Металлургия, 1991. – 752с.
2. <http://ndetoolbox.com/>.
3. Родюшкин В. М. От поиска дефектов к поиску преддефектного состояния // Вестник научно-технического развития / В. М.Родюшкин. – 2009. - №4. – С.51-56.
4. Miralles R. Material grain noise analysis by using higher-order Statistics / R.Miralles, L.Vergara, J.Gosalbez // Signal Processing. – 2004. – P. 197-205.
5. Ville E Kananen. Discriminating pores from inclusions in rolled steel by ultrasonic echo analysis / Ville E Kananen, Joona J Eskelinen, Edward O Hæggstrom // Meas. Sci. Technol. – 2011, 22. – P. 105704 (7 p.).
6. Бусов В.Л. Рассеяние ультразвуковых волн на микротрещинах в фрагментированных поликристаллах // Акустичний вісник. – 2007, т. 10, № 3. – С. 19-24.
7. <https://www.cnde.iastate.edu/ultrasonics/ut-publications>.
8. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн.2. Акустические методы контроля: практ. пособие / Ермолов И.Н., Алешин Н.П., Потапов А.И.; под ред. Сухорукова В.В. – М.: Высшая школа, 1991. – 283с.
9. Степанова Л.В., Игонин С.А. Описание рассеянного разрушения: параметр поврежденности Ю.Н.Работнова: историческая справка, фундаментальные результаты и современное состояние // Вестник СамГУ – Естественнаучная серия. – 2014, № 3 (114). – С.97-114.

С. Е. Саух, д-р техн. наук
А. В. Борисенко, д-р техн. наук
Ин-т проблем моделирования в энергетике
им. Г. Е. Пухова НАН Украины
(Украина, 03164, Киев, ул. Генерала Наумова, 15,
тел.(044) 4241063, E-mail: ipme@ipme.kiev.ua)

Особенности представления электрических сетей в моделях конкурентного равновесия на рынке электроэнергии

We substantiated the mathematical description of the network of transmission lines, which is suitable for its adequate representation in the model of the equilibrium state of the electricity market. In the description all the flows of electricity in the network are strictly correspond to Kirchhoff's laws. Furthermore, this description includes the existing characteristics of transmission lines, which provides its applicability to the practical problems of electricity market modelling.

Ключевые слова: электрическая сеть, модель, рынок электроэнергии, равновесное состояние.

Введение. Сложность современных рыночных механизмов управления предприятиями электроэнергетики требует создания адекватных инструментов анализа текущего состояния рынков электроэнергии и перспектив их развития. Существующие модельные инструменты анализа рынков с совершенной и несовершенной (олигополистической) конкуренцией [1–5] адекватно отображают поведение генерирующих компаний и потребителей. Однако, в таких моделях поведение сетевого оператора представляется в упрощенном виде: цель его деятельности ограничивается задачей балансирования потоков электроэнергии в энергоузлах; потери электроэнергии, передаваемой по электрической сети, не учитываются; потоки электроэнергии в линиях электропередачи определяются на основе упрощенной модели сети, – цепи постоянного тока, – и используются в балансовых уравнениях потоков электроэнергии в энергоузлах сети, а так же в неравенствах, отражающих ограничения на потоки электроэнергии в линиях.

Вместе с тем, цены на передачу электроэнергии и ограниченная пропускная способность линий могут дезинтегрировать рынки и увеличивать давление рыночной власти на генерирующие компании значительно удаленные от потребителей. Для адекватного отображения подобных явлений в [6] предложена модель электрической сети в виде цепи постоянного тока с нелинейными потерями. Анализ приведенных в [6] описания модели и результатов вычислительных экспериментов показал наличие двух методических ошибок, влияющих на адекватность моделирования равновесного состояния энергорынка: во-первых, алгебраическая сумма потоков электроэнергии из энергоузлов в сеть и из сети в энергоузлы установлена равной нулю, а не сумме потерь во всех линиях электрической сети; во-вторых, первый закон Кирхгофа для энергоузлов представлен в виде неравенств с целью «...обеспечения видимости области сходимости...» применяемого вычислительного алгоритма решения задачи дополненности и, не смотря на то, что получаемые при этом результаты при определенных условиях могут строго соответствовать выполнению этого закона, такое его представление является некорректным. Кроме того, если выражения для передаваемых по линиям потоков электроэнергии имеют вид линейных функций с коэффициентами, определяемыми реактивными и активными сопротивлениями линий, то потери в линиях представлены квадратичными функциями с коэффициентами никак не связанными с характеристиками существующих линий

электропередачи, что порождает сложности использования такой модели в задачах практического толка.

Ниже представлена модель электрической сети, лишенная отмеченных недостатков. Она является частью общей модели конкурентного равновесия на рынке электроэнергетики.

Модель электрической сети в виде цепи постоянного тока с потерями. Пусть электрическая сеть образована из M линий электропередачи соединяющих I энергоузлов. Следуя [7], для линии $m \in M$, подсоединенной к энергоузлам $i \in I$ и $j \in I$, имеющей активное сопротивление R_m и реактивное сопротивление X_m , находящейся под напряжением V_m , запишем выражения для граничных потоков электроэнергии мощностями $flow_{i \rightarrow m}$ и $flow_{m \rightarrow j}$, направленных из энергоузла i в линию m и из линии m в энергоузел j , соответственно:

$$flow_{i \rightarrow m} = + \frac{V_m^2 X_m}{R_m^2 + X_m^2} (\delta_i - \delta_j) + \frac{V_m^2 R_m}{R_m^2 + X_m^2} \frac{(\delta_i - \delta_j)^2}{2}, \quad (1)$$

$$flow_{m \rightarrow j} = - \frac{V_m^2 X_m}{R_m^2 + X_m^2} (\delta_i - \delta_j) + \frac{V_m^2 R_m}{R_m^2 + X_m^2} \frac{(\delta_i - \delta_j)^2}{2}. \quad (2)$$

Очевидно, потери мощности в линии m составят величину:

$$L_m = flow_{i \rightarrow m} + flow_{m \rightarrow j} = \frac{V_m^2 R_m}{R_m^2 + X_m^2} (\delta_i - \delta_j)^2. \quad (3)$$

В соотношениях (1) – (3) величины δ_i и δ_j являются мгновенными фазовыми углами переменного напряжения в энергоузлах i и j .

В каждом энергоузле $i \in I$ потоки электроэнергии подчинены первому закону Кирхгофа, т.е.

$$\sum_{m \in M_-(i)} flow_{i \rightarrow m} + \sum_{m \in M_+(i)} flow_{m \rightarrow i} + y_i = 0, \quad i \in I, \quad (4)$$

где y_i – алгебраическая сумма потоков электроэнергии производимой и потребляемой в этом энергоузле, а множества $M_-(i)$ и $M_+(i)$ предствалют две группы линий, по которым потоки электроэнергии покидают энергоузел i и поступают в него, соответственно.

Учитывая (1) – (2), множество соотношений (1) удобно рассматривать в векторно-матричной форме

$$\mathbf{y} = \mathbf{D}\mathbf{X}\mathbf{D}^T \boldsymbol{\delta} - \frac{1}{2} \overline{\mathbf{D}}\mathbf{R} [(\mathbf{D}^T \boldsymbol{\delta}) \circ (\mathbf{D}^T \boldsymbol{\delta})]. \quad (5)$$

Здесь векторы \mathbf{y} и δ представляют множества элементов $\{y_i, i = \overline{1, I}\}$ и $\{\delta_i, i = \overline{1, I}\}$, диагональные матрицы $\mathbf{R} = \text{diag} \left\{ \frac{V_m^2 R_m}{R_m^2 + X_m^2}, m = \overline{1, M} \right\}$ и $\mathbf{X} = \text{diag} \left\{ \frac{V_m^2 X_m}{R_m^2 + X_m^2}, m = \overline{1, M} \right\}$ содержат элементы, вычисляемые по заданным

физическим параметрам линий, матрицы \mathbf{D} и $\overline{\mathbf{D}}$ являются матрицами инцидентности ориентированного и неориентированного графов сети, матрица \mathbf{D}^T образована транспонированием матрицы \mathbf{D} , а символ \circ обозначает произведение Адамара.

Принцип минимума потенциальной энергии в электрической сети. В системе уравнений (5) отражена связь между векторами узловых потоков электроэнергии \mathbf{y} и фазовых углов δ . Однако, система (5) не устанавливает взаимно однозначного соответствия между этими векторами. Так, заданному вектору \mathbf{y} можно поставить в соответствие множество векторов $\delta + \delta_0 \mathbf{1}$, где $\mathbf{1}$ – единичный вектор, а δ_0 – произвольно выбираемая константа. Таким образом, тождественной системе уравнений (5) является множество систем уравнений вида

$$\mathbf{y} = \mathbf{D}\mathbf{X}\mathbf{D}^T (\delta + \delta_0 \mathbf{1}) - \frac{1}{2} \overline{\mathbf{D}}\mathbf{R} \left[(\mathbf{D}^T (\delta + \delta_0 \mathbf{1})) \circ (\mathbf{D}^T (\delta + \delta_0 \mathbf{1})) \right]. \quad (6)$$

Для установления взаимной однозначности между векторами \mathbf{y} и δ обратимся к основным положениям теории энергетических цепей [8], а именно, воспользуемся классификацией переменных в такой цепи, в соответствии с которой векторы \mathbf{y} и δ отнесем к обобщенным последовательным и параллельным переменным действия. Поиск минимума обобщенной потенциальной энергии в электрической сети по параметру δ_0 приводит нас к необходимости решения задачи поиска экстремума вида

$$\frac{1}{2} (\delta + \delta_0 \mathbf{1}, \delta + \delta_0 \mathbf{1}) \xrightarrow{\delta_0} \min \quad (7)$$

или решения уравнения вида

$$\mathbf{1}^T (\delta + \delta_0 \mathbf{1}) = 0. \quad (8)$$

Очевидно, для каждого фиксированного значения параметра δ_0 система уравнений (6) вместе с уравнением (8) устанавливают взаимно однозначное соответствие между векторами \mathbf{y} и $\delta + \delta_0 \mathbf{1}$. При условии $\delta_0 = 0$ уравнение

$$\mathbf{1}^T \delta = 0 \quad (9)$$

дополняет систему уравнений (5) и образуют с ней модель электрической сети.

Модель равновесного состояния энергорынка. Воспользуемся представленным выше описанием потоков электроэнергии в электрической сети вида (1) – (2), (5), (9) для уточнения равновесной модели энергорынка приведенной в [6].

Неизменной частью модели является описание поведения на рынке F конкурирующих между собой генерирующих компаний, максимизирующих каждая свою прибыль, т.е. $\forall f \in F$ имеем критериальное выражение

$$\sum_{i \in I} \left[(1-B)p_i \left(a_i + \sum_{f \in F} s_{fi} \right) + B p_i \left(s_{fi} + \sum_{j \in F, j \neq f} s_{ji} + a_i \right) - w_i \right] s_{fi} - \sum_{i \in I} \sum_{h \in H(f,i)} [C_{fih}(g_{fih}) - w_i g_{fih}] \xrightarrow{\{s_{fi}, g_{fih}\}} \max, \quad (10)$$

уравнение баланса объемов продаж s_{fi} и производства g_{fih} электроэнергии

$$\sum_{i \in I} s_{fi} - \sum_{i \in I} \sum_{h \in H(f,i)} g_{fih} = 0, \quad (11)$$

а также множество неравенств вида

$$0 \leq g_{fih} \leq G_{fih}^{max}, \quad i \in I, h \in H(f,i), \quad (12)$$

отражающих ограничения сверху и снизу на объемы производства электроэнергии g_{fih} для каждой из имеющихся у компании f генерирующих мощностей, установленных в энергоузле $i \in I$ и образующих множество $H(f,i)$. Верхние границы таких ограничений обозначены величинами G_{fih}^{max} .

В выражении (10) параметр B может принимать одно из двух значений, а именно, 0 или 1, что соответствует условиям совершенной и несовершенной конкуренции между генерирующими компаниями на энергорынке. Обратная функция спроса p_i вида

$$p_i = \alpha_i - \beta_i \left(a_i + \sum_{f \in F} s_{fi} \right), \quad i \in I \quad (13)$$

определяют цену электроэнергии в энергоузле $i \in I$ в зависимости от объемов $\sum_{f \in F} s_{fi}$ и a_i ее продаж генерирующими компаниями и арбитражным торговцем, соответственно. Коэффициенты $\alpha_i > 0$, $\beta_i > 0$ обратной функции спроса p_i определяются заранее на основе статистических данных по объемам и ценам потребления электроэнергии в энергоузлах. Особая форма записи аргумента этой функции в выражении (10) выбрана с целью выделить в нем варьируемую s_{fi} и

неварьируемую $\sum_{j \in F, j \neq f} s_{ji} + a_i$ части слагаемых. Функция $C_{fih}(g_{fih})$ отражает себестоимость производства электроэнергии объемом g_{fih} , причем $\partial C_{fih} / \partial g_{fih} \geq 0$. Обычно эта функция представляется в упрощенном виде $C_{fih}(g_{fih}) = C_{fih}^M g_{fih}$, что позволяет воспользоваться коэффициентом удельных маржинальных затрат C_{fih}^M для определения себестоимости производства электроэнергии на каждом блоке $h \in H(f, i)$ установленном в энергоузле $i \in I$ принадлежащем компании $f \in F$.

Измененная часть модели отражает деятельность системного оператора по максимизации своей прибыли

$$\sum_{i \in I} w_i y_i(\delta) + \sum_{m \in M} p_m a_m \xrightarrow{\{\delta_i, a_i\}, i \in I} \max, \quad (14)$$

которая формируется в результате решения задач как диспетчерского управления по балансированию потоков электроэнергии в электрической сети, что дает прибыль $\sum_{i \in I} w_i y_i(\delta)$, так и арбитражной торговли, что дает прибыль $\sum_{m \in M} p_m a_m$.

Используемые в выражениях (10) и (14) цены поставок электроэнергии в энергоузлы являются лагранжевыми множителями, используемыми для учета ограничений в виде балансовых уравнений вида

$$w_i : \quad y_i(\delta) - a_i - \sum_{f \in F} \left(s_{fi} - \sum_{h \in H(f, i)} g_{fih} \right) = 0, \quad i \in I. \quad (15)$$

Критериальное выражение деятельности системного оператора (14), с учетом (15), дополняется уравнениями (5), (9) вида

$$y(\delta) = DXD^T \delta - \frac{1}{2} \overline{DR} [(D^T \delta) \circ (D^T \delta)], \quad (16)$$

$$\mathbf{1}^T \delta = \mathbf{0}, \quad (17)$$

а также неравенствами, отражающими ограничения на потоки электроэнергии в линиях электропередачи вида

$$XD^T \delta + \frac{1}{2} R [(D^T \delta) \circ (D^T \delta)] \leq \overline{Y}, \quad (18)$$

$$-XD^T \delta + \frac{1}{2} R [(D^T \delta) \circ (D^T \delta)] \leq \overline{Y}, \quad (19)$$

где вектор \overline{Y} состоит из значений предельных нагрузок линий электропередачи,

а левые части выражений (18) – (19) представляют собой векторно-матричные формы записей выражений (1) – (2) для потоков электроэнергии на концах линий.

Кроме того, объемы арбитражных сделок системного оператора и алгебраическая сумма объемов электроэнергии поставляемой им в энергоузлы будут равны объему потерь электроэнергии в сети, т.е.

$$\mathbf{1}^T \mathbf{a} - \mathbf{1}^T \mathbf{y}(\delta) = 0, \quad (20)$$

$$L = \mathbf{1}^T \mathbf{y}(\delta). \quad (21)$$

Компьютерное моделирование равновесных состояний энергорынка. Модель (10) – (21) была имплементирована в программное приложение с применением известных и оригинальных методов и алгоритмов формирования и решения нелинейных смешанных задач дополнительности [9 – 10]. Канонизация записи предложенной модели равновесных состояний энергорынка осуществлялась на основе матрично-векторной формы записи соответствующей ей системы комплементарных соотношений и алгебраических уравнений в соответствии с подходом, детально изложенным в [9].

В качестве вычислительной основы решения сформированной смешанной задачи дополнительности использовалось оригинальное приложение ICRS [10]. В результате было создано программное обеспечение, предназначенное для компьютерного моделирования равновесных состояний энергорынка с разным количеством компаний-производителей электроэнергии, генерирующих блоков, которыми они владеют, энергоузлов генерации-потребления электроэнергии, а также с разными электрическими сетями.

Результаты вычислительных экспериментов. Задача математического моделирования равновесного состояния энергорынка решалась применительно к энергосистеме, представленной на рисунке 1. Здесь все линии электропередачи находятся под напряжением 35 кВ и имеют одинаковые реактивные и активные сопротивления, равные соответственно 2,0 Ом и 0,256 Ом. Предельные нагрузки линий – 300 МВт. В энергоузлах 1, 2 и 6 находятся три генератора одинаковой мощности 1000 МВт, характеризующиеся удельными маржинальными затратами, соответственно, 50, 60 и 20 \$/МВт·ч. Генератором в энергоузле 1 владеет одна компания, двумя другими – другая компания. Потребители электроэнергии расположены во всех шести энергоузлах и имеют одинаковые характеристики в виде обратных функций спроса с коэффициентами $\{\alpha_i = 200\}$, $\{\beta_i = 0,4\}$.

Все приведенные выше значения параметров энергосистемы, кроме двух типов параметров линий электропередачи, взяты из [6]. Неиспользуемые и, поэтому, отсутствующие в [6] значения параметров доопределялись нами – это напряжение и значения активных сопротивлений линий электропередачи. Последние были оценены по объемам потерь электроэнергии, приведенным в [6].

В таблице 1 представлены результаты решений двух задач моделирования энергорынка, функционирующих в условиях совершенной и несовершенной конкуренции. Эти решения обозначены соответственно, «Решения по Бертрану» и «Решения по Курно». Для сравнения здесь же представлены результаты моделирования этих рынков, полученные в [6] (столбцы «А»), и результаты, полученные с помощью представленной модели (10) – (21) (столбцы «Б»).

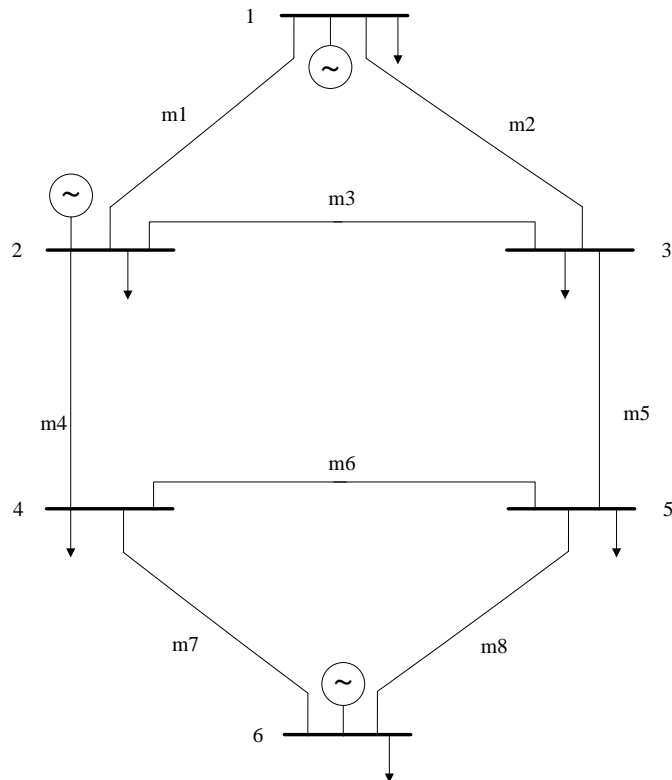


Рис. 1. Пример энергосистемы (шесть энергоузлов, восемь линий, три генератора)

Таблица 1. Пример таблицы

Переменная		Решения по Бертрану		Решения по Курно	
		А	Б	А	Б
Объемы генерации, МВт	$g_{f=1,i=1}$	902,8	901,3	681,7	682,2
	$g_{f=2,i=2}$	293,8	292,6	0,0	0,0
	$g_{f=2,i=6}$	1000,0	1000,0	900,0	900,0
Потоки в линиях, МВт	$flow_{1 \rightarrow m1} / flow_{m1 \rightarrow 2}$	227,9	215,9/-226,3	210,1	201,4/-210,4
	$flow_{1 \rightarrow m2} / flow_{m2 \rightarrow 3}$	300,0	282,0/-300,0	210,1	201,4/-210,4
	$flow_{2 \rightarrow m3} / flow_{m3 \rightarrow 3}$	72,1	69,4/-70,5	0,0	0,0/0,0
	$flow_{2 \rightarrow m4} / flow_{m4 \rightarrow 4}$	89,1	86,4/-88,0	38,5	-38,4/38,0
	$flow_{3 \rightarrow m5} / flow_{m5 \rightarrow 5}$	26,4	25,7/-25,8	38,5	-38,4/38,0
	$flow_{4 \rightarrow m6} / flow_{m6 \rightarrow 5}$	9,4	8,5/-8,5	0,0	0,0/0,0
	$flow_{6 \rightarrow m7} / flow_{m7 \rightarrow 4}$	290,6	274,1/-291,0	300,0	282,0/300,0
	$flow_{6 \rightarrow m8} / flow_{m8 \rightarrow 5}$	300,0	282,0/-300,0	300,0	282,0/300,0
Потери, МВт	L	66,1	66,1	54,2	54,6
Цены в энергоузлах, \$/МВт·ч	p_1	50,0	50,0	95,4	95,5
	p_2	60,0	60,0	104,2	104,2
	p_3	69,3	69,8	104,2	104,2
	p_4	59,3	59,2	102,6	102,5
	p_5	72,9	73,5	102,6	102,5
	p_6	36,2	36,4	80,0	80,0

Сопоставительный анализ представленных решений показывает их близость. Однако, следует отметить, что взятые из [6] значения потоков в линиях электропередачи не дают детального представления о потерях электроэнергии в них, поскольку такие потоки отнесены лишь к энергоузлам слева, к которым подключены линии, и, в ряде случаев, неверно позиционируются, на что указывают различия в знаках потоков в соответствующих столбцах «А» и «Б». Очевидно, результаты, полученные с помощью предложенной модели, отличаются корректностью и полнотой представления потоков электроэнергии в линиях электропередачи.

Заключение. Представленное математическое описание электрических сетей разработано на основе теории энергетических цепей. Такое описание является методически строгим и адекватно отражает процессы передачи электроэнергии в электрических сетях.

В отличие от известных описаний, в предложенном описании сетей потоки электроэнергии являются сбалансированными, т.е. такими, которые соответствуют законам Кирхгофа. Кроме того, здесь нет трудно идентифицируемых коэффициентов, а те, что используются, непосредственно определяются по существующим параметрам линий электропередачи, что обеспечивает возможность применения такого описания электрической сети для решения практических задач моделирования энергорынков.

Результаты проведенных вычислительных экспериментов демонстрируют возможность детализации потерь в электрических сетях с последующим соотношением таких потерь с производственной деятельностью генерирующих компаний по выполнению обязательств перед своими потребителями электроэнергии. На этой основе в дальнейшем могут быть разработаны алгоритмы оценок финансовых обязательств каждой генерирующей компании перед системным оператором по компенсации ему стоимости потерь электроэнергии в электрических сетях.

1. Wei J.-Y., Smeers Y. Spatial Oligopolistic Electricity Models with Cournot Generators and Regulated Transmission Prices // *Operations Research*. — 1999. — Vol. 47 (N 1). — P. 102–112.
2. Hobbs B.F. *Linear Complementarity Models of Nash–Cournot Competition in Bilateral and POOLCO Power Markets* // *IEEE Transactions on Power Systems*. — 2001. — Vol. 16 (N 2). — P. 194–202.
3. Day C.J., Hobbs B.F., Pang, J.-S. Oligopolistic Competition in Power Networks: A Conjectured Supply Function Approach // *IEEE Transactions on Power Systems*. — 2002. — Vol. 17 (N 3). — P. 597–607.
4. Murphy F., Smeers Y. Generation capacity expansion in imperfectly competitive restructured electricity markets // *Operations Research*. — 2005. — Vol. 53 (N 4). — P. 646–661.
5. Борисенко А.В., Саух С.Е. Моделирование равновесного состояния электроэнергетических систем в рыночных условиях // *Моделирование–2008. Сборник трудов конференции*. – Киев: Ин-т проблем моделирования в энергетике им. Г.Е.Пухова, 2008. — С. 172–177.
6. Hobbs B.F., Drayton G., Fisher E.B., Lise W. Improved Transmission Representations in Oligopolistic Market Models: Quadratic Losses, Phase Shifters, and DC Lines // *IEEE Transactions on Power Systems*. — 2008. — Vol. 23 (N 3). — P. 1018–1029.
7. Schweppe F.C., Caramanis M.C., Tabors R.E., Bohn R. E. *Spot Pricing of Electricity* // Kluwer Academic Publishers. Boston, MA. — 1988. — 355p.
8. Саух С.Е. Математическое моделирование энергетических цепей // *Электронное моделирование*. — 2011. — N 3. — С. 3–12.
9. Саух С.Е. Методы компьютерного моделирования конкурентного равновесия на рынках электроэнергии // *Электронное моделирование*.— 2013. — N 5. — С. 11–26.
10. Саух С.Е. Метод смещения малых элементов в обобщенных якобинах Кларка для обеспечения численной устойчивости квази-ньютоновских методов решения вариационных неравенств // *Электронное моделирование*. — 2015. — N 4. — С. 3–18.

I. Spica, Dr. oec.
Scientific institution Business Competence centre
(Latvia, LV-1035, Riga, Kaibalas str., 13,
mob.(371) 29110889, e-mail: inese.spica@gmail.com)

Business environment model in Latvia

The object of the present research paper is business environment. The subject of the research paper is model of the business environment of the Republic of Latvia. The objective of the paper is to study the integration process of micro and macro business environment, to elucidate the factors influencing the business effectiveness, to develop the model of the business environment and proposals for business environment management mechanism in Latvia.

Key words: business, micro environment, macro environment, model, Latvia.

Introduction. Taking into consideration the present business environment situation of the Republic of Latvia, as well as its geographical position and the historical background, it is important to make use of the conditions for further improvement and development of the national economy. The main objective of the paper is to study business environment and to develop business environment model. The tasks advanced in order to reach the objective: 1) to identify the concept of business micro and macro environment; 2) to identify main economic indicators of business environment; 3) to develop business environment model in Latvia.

The concept of business micro and macro environment. Modern business environment is changing more rapidly than before. In this way success in business to a great extent depend on the fact how entrepreneurs understand the business environment and how successful they can accommodate to changes in this environment. Besides one should have a good understanding of the main characteristics of this environment.

Business environment is a set of objective and subjective facts defining and measuring the situation in business during a certain period of time and place.[1]

An entrepreneur is the basic element of business environment.

Business environment conditionally can be divided into two parts: business physical environment and business e-environment.

Business physical environment can be divided into four levels:

- 1) internal microenvironment;
- 2) external microenvironment;
- 3) internal macroenvironment;
- 4) external macroenvironment.

The business internal microenvironment is characterised as a universal environment, which apart from the form of enterprise merges all systems functioning inside the enterprise. The business internal microenvironment consists of various components. Thus the business internal microenvironment can be divided into various smaller spheres of functioning that are common to all types of enterprises. In sole proprietorship one person undertakes all the functions while in big enterprise they are distributed among specialised internal structures. But, apart from the size of the enterprise the areas of functions to be performed are common for all enterprises. [1]

Each enterprise can develop its own business internal microenvironment. This is the environment that is the most easily subjected to different changes and that can be most rapidly changed by entrepreneur. In its turn, the business external microenvironment that is formed by suppliers, consumers, competitors, contact

audience, is more difficult to change by the entrepreneur in a short time. This is connected with inability of the entrepreneur to influence directly the business external microenvironment.[1]

The business internal macroenvironment is formed by the natural, social, legal, public sector, economic, financial, labour force, competition and technological environment. It is characterised by close correlation with the business external microenvironment and the business internal microenvironment. Besides, separate business decisions cannot essentially affect the business internal macroenvironment.[1]

The external business macroenvironment is determined by international environment. The external business macroenvironment is the most complicated business environment and the least subjected to the influence of separate business decisions.[1]

Business e-environment can be divided into two levels:

- 1) e-microenvironment;
- 2) e-macroenvironment.

Business e-microenvironment is the internal business e-environment - intranet. Business e-macroenvironment is the external business e-environment - internet. [2]

Correlation between the entrepreneur and business physical environment and business e-environment takes place continuously. The interaction is complicated and becomes apparent in many and various ways. On the one hand the entrepreneur with its activities influences business physical environment and business e-environment, but on the other hand business physical environment and business e-environment makes the entrepreneur to act in one way or another.

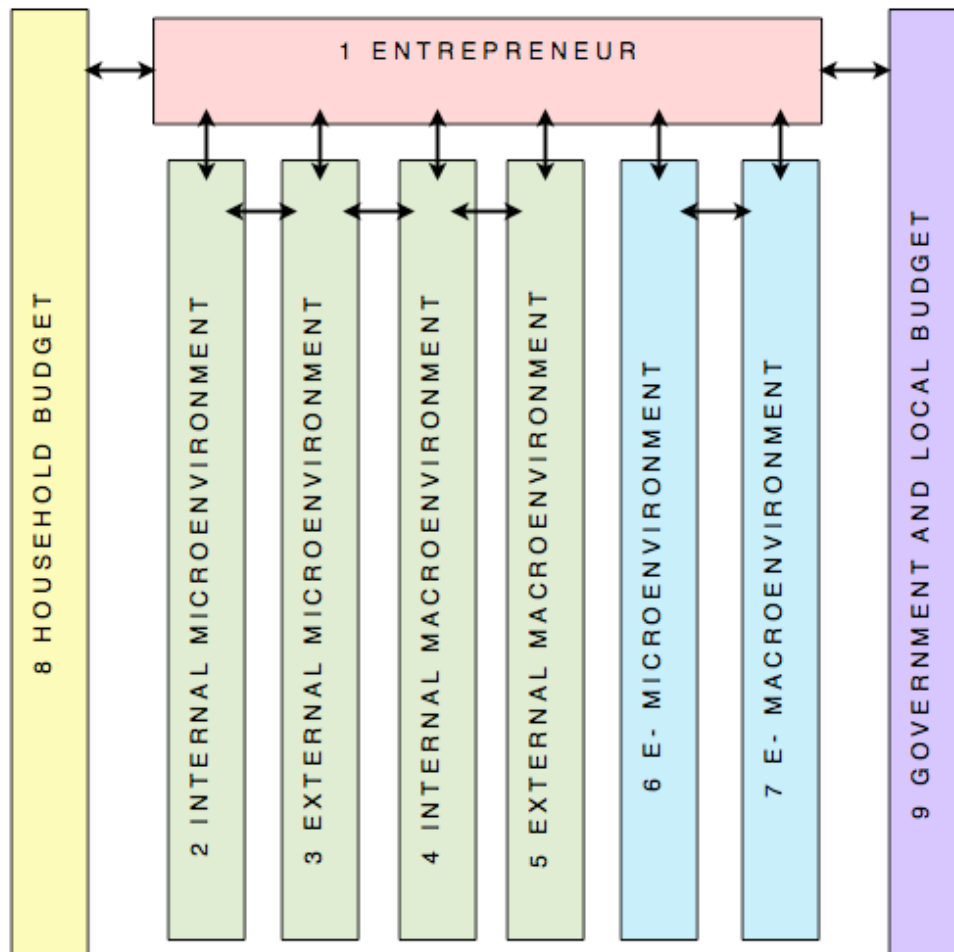
The main economic indicators of business environment. Different economic indicators are used for evaluation of business environment, both in the form of absolute and relative forms of expressing quantities (See table 1).

Table 1. Main economic indicators of business environment

No	Business environment parts	Main economic indicators
1.	Entrepreneur	Entrepreneurs capital; human capital; enterprising
2.	Internal microenvironment	Net profit; net turnover; liquidity, solvency, activity, profitability indicators;
3.	External microenvironment	Number of influential public institutions, non-government institutions, mass media, consumers, suppliers, competitors; Income and expenses of population and enterprises;

4.	<p>Internal macroenvironment:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Natural environment -Social environment -Legal environment -Political environment -Economic environment -Financial environment -Labour force environment -Competition environment -Technological environment -Public sector environment 	<ul style="list-style-type: none"> -Amount of exhaustible, revolved and continuously existing natural resources; -Number of population in a country, structure of population as to the gender and age; birth-rate; death-rate; natural increase; ratio of native population; -Number and structure of registered crimes in the country; number of detected crimes per 10000 inhabitants; -Freedom of speech, media, opinion and uniting into organisations; free elections; independent and fair court system; civil servants and defence system is comparatively little affected by politics; relatively open country as a whole; time limitation in elected positions; -GDP; amount of investments; foreign trade balance; prices index; rate of inflation; -Amount of internal and external financing resources; the figure for the range of interest rate between the borrower and the creditor; loan maturity term; non-compliance risk; changes of the general level of interest rate and the government monetary policy; -Number and structure of the employed; the level of unemployment; average salary; minimum salary; working hours and qualification of labour force; -Number of enterprises and their concentration; conditions of entering the market; level of integration and diversification; situations of competition in the market; - Expenses of enterprises and universities, costs for research and development covered by the government and public organisations; percentage of costs for research and development in GDP; percentage of costs for research and development in the enterprise income; the number of scientists and engineers employed in the sphere of research and development work; percentage of high technology export in the total amount of export of goods; - Number and structure of the employed in the public sector; the size and structure of state expenditure; their percentage against the GDP and dynamics;
5.	<p>External macroenvironment:</p> <ul style="list-style-type: none"> -International environment 	<ul style="list-style-type: none"> -Percentage of foreign trade turnover against the GDP; the amount and structure of export and import; the ration of export and import in the GDP; dynamics of currency exchange rate; equality of purchasing capacity; balance of payments and the dynamics of their structure; the amount and structure of investments; the amount and structure of transit trade;
6.	E-microenvironment	Amount of information technology capital investment; net turnover from e-commerce; net profit from e-commerce; ammount of production of digital products; intranet;
7.	E-macroenvironment	Internet access of households, enterprises; extranet; Website or homepage; enterprises turnover from e-commerce; enterprises having purchased online; enterprises having received orders

The model of business environment. Different economic indicators are used for developing the business environment model in Latvia (See figure 1).



Conclusions. Thus, entrepreneur as the central element of business physical environment and business e-environment has wide possibilities to influence business internal microenvironment, business external microenvironment and business e-microenvironment, but much smaller possibilities to influence business internal macroenvironment, business external macroenvironment and business e-macroenvironment.

1. *Spica I.* Analysis of foreign trade of Latvia and its problem solutions in business // Baltic Journal of Business Environment. - 2005. - Vol. 1. - Nr. 1. - p. 6 - 29.
2. *Spīča I., Spīčs E.* Effectivity of ethnomarketing in e-environment // Economics and Management (CD - ROM) . - 2012. - Vol. 4. - Nr. 17. - p. 1484 - 1490.

І.А. Жуков, д-р техн.наук,
М.К. Печурін, д-р техн.наук
Навчально-науковий Інститут комп'ютерних інформаційних технологій НАУ
(Україна, Київ, 03058, пр.Комарова,1, тел.+0444067678, e-mail: zhuia@ukr.net

МОДЕЛІ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ В ОБЧИСЛЮВАЛЬНОМУ КЛАСТЕРІ

There is proposed to use the models of Nobel laureate V.V.Leontyev for inter - branch balance to resolve the problem of computer resource static distribution, needed for applications in the cluster.

Ключові слова: обчислювальний кластер, модель В.В.Леонтєва, обчислювальний ресурс, розподіл ресурсів, складність моделі

Вступ. Обчислювальні кластери архітектурно є розвитком систем з масовим паралелізмом і виникли як недороге рішення проблеми інтеграції та розподілу обчислювальних ресурсів для розв'язання прикладних задач в різноманітних сферах, у тому числі - авіаційній, зокрема – для організації обчислень в системах управління БПЛА, коли інтеграція ресурсів шляхом традиційних суперкомп'ютерних систем є неприпустимо дорогою та вразливою. Кластери є слабкозв'язаними системами, ґрунтуються на використанні широко поширених і відносно дешевих інформаційних, стандартних мережевих, класичних телекомунікаційних технологій, відповідних програмно-апаратних засобів.

Кластер - це сукупність комп'ютерів, об'єднаних в рамках деякої мережі для вирішення однієї задачі, яке для користувача представляється як єдиний ресурс (концепція початка 80-х попереднього сторіччя DEC), носієм якого є зв'язаний набір повних комп'ютерів (ПК). Під ПК розуміємо комп'ютерну систему, що володіє всіма ресурсами, що потрібні для її повноцінного функціонування, включаючи процесори, пам'ять, підсистему вводу/виводу, а також операційну систему, підсистеми, додатки тощо. ПК кластера завжди відносно незалежні, що допускає зупинку або виключення будь-якого з них для проведення профілактичних робіт або установки додаткового устаткування без порушення працездатності всього кластера. Склад і потужність ПК може мінятись, що дає можливість створювати гетерогенні кластерні системи.

Поняття єдиного ресурсу означає наявність апаратно - програмного забезпечення, що дає можливість користувачам, адміністраторам і прикладним програмам вважати, що є тільки одна суть, з якою вони працюють, а розподіл ресурсів, які постачають ПК для розв'язання прикладної задачі, є функцією системи управління (планування) кластеру.

Під поняття кластерних систем підпадає широкий спектр реальних систем; складовою кластера, яка має всі ознаки окремого кластера, можна вважати пару комп'ютерів, занурених в локальну мережу Ethernet (див. рисунок).

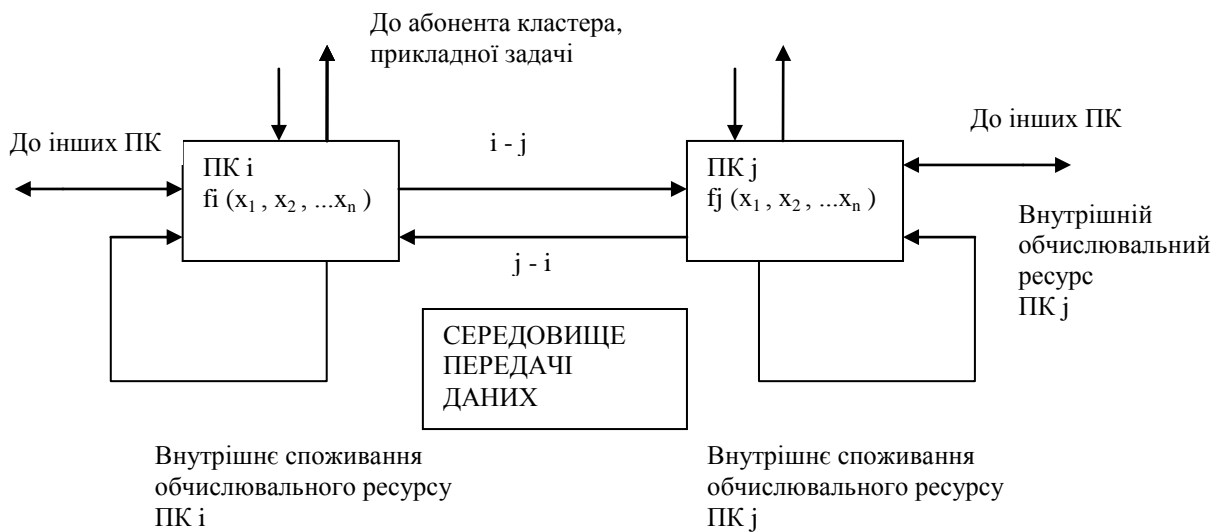


Рисунок. Кластер на основі двох повних комп'ютерів.

Продуктивність ПК i комунікаційної складової кластеру визначається декількома числовими характеристиками.

Основними числовими характеристиками продуктивності комунікаційної складової кластеру є такі: латентність - час початкової затримки при посилці повідомлень і пропускна спроможність мережі, що визначається швидкістю передачі даних по каналах зв'язку (як піковою, так і такою, що досягається на рівні призначених для користувача додатків). Основною числовою характеристикою продуктивності ПК є інтенсивність (технологічного) процесу продукування обчислювального ресурсу.

Чи то найголовнішою (щонайменше – першою у часі) проблемою, яка постає при плануванні (паралельного) розв'язання прикладної задачі з використанням наявного обчислювального ресурсу кластеру, є (попередній) розподіл обчислювальних ресурсів в кластері, який забезпечить розв'язання задачі. Природньо, що можливим результатом планування буде і виявлення неможливості розв'язання прикладної задачі при існуючих обчислювальних потужностях.

Відсутність необхідної проектної інформації для застосування інструментарія теорії розкладів, мереж Петрі тощо примушує пропонувати альтернативні варіанти адекватних об'єкту моделей.

Постановка задачі статичного розподілу обчислювального ресурсу у кластерних системах. Прикладна задача потребує для свого розв'язання n видів обчислювального ресурсу, що продукується в n вузлах кластеру; при цьому максимальний обсяг ресурсу, що продукується в i -му вузлі (далі – $\hat{I}E_i$) для потреб розв'язання довільної прикладної задачі, є відомим і його представлено матрицею $V_{1 \times n}$. Обсяг потрібного для розв'язання поточної задачі ресурсу представлено матрицею $R_{1 \times n}$. Кожний $\hat{I}E_i$ породжує функцію $f_i(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$, яка пов'язує інтенсивності продукування ресурсів у $\hat{I}E_j$ ($j = \overline{1, n}$) з обсягом генерованого обчислювального ресурсу у $\hat{I}E_i$; для

всього кластеру маємо $F_{1 \times n}$. Потрібну інтенсивність (технологічного) процесу продукування обчислювального ресурсу позначимо через $X = \{x_i\}_{1 \times n}$, де $x_i | i = \overline{1, n}$ - інтенсивність (технологічного) процесу продукування обчислювального ресурсу в $\hat{I}E_i$ (загальний обсяг потрібного обчислювального ресурсу i -го виду, що продукується за період розв'язання задачі, дорівнює $E \cdot X^T$; тут E – допоміжна одинична матриця, введення якої обумовлено необхідністю узгодження розмірностей величин обчислювального ресурсу).

Необхідно визначити план (або впевнитись у неіснуванні одного) розподілу продуктивності (інтенсивності технологічного процесу продукування обчислювального ресурсу) по ПК кластера для розв'язання прикладної задачі. Для розрахунку такого плану (-ів) пропонуються наступні три моделі.

Модель 1 задачі статичного розподілу обчислювального ресурсу у кластерних системах.

Припущення.

1. Кожний $\hat{I}E_i | i = \overline{1, n}$ продукує лише один, притаманний цьому ПК, обчислювальний ресурс.
2. Кожен тип обчислювального ресурсу продукується лише одним з $\hat{I}E_i | i = \overline{1, n}$ кластера.
3. Кожний $\hat{I}E_i | i = \overline{1, n}$ має єдину для кластера технологію перетворення обчислювального ресурсу.

Модель розподілу обчислювальних ресурсів приймає вигляд:

$$E \cdot X^T - F^T - R^T = 0, \quad (1)$$

$$X \geq 0. \quad (2)$$

Маємо систему нелінійних рівнянь, для розв'язку якої для функцій довільного типу можна скористатись широким набором методів, зокрема, - методами нелінійного програмування.

Модель 2 задачі статичного розподілу обчислювального ресурсу у кластерних системах.

Припущення.

(1-3) з моделі 1, а також

4. Функції $f_i(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$ є адитивними відносно $x_j | j = \overline{1, n}$, тобто мають вигляд

$$f_i(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n) = f_{i1}(x_1) + f_{i2}(x_2) + \dots + f_{ij}(x_j) + \dots + f_{in}(x_n), \quad i = \overline{1, n}.$$

Тут функція $f_{ij}(x_j)$ представляє зв'язок між вузлами кластеру по продукуванню обчислювального ресурсу, що відображає інтенсивність x_j на частину витрат обчислювального ресурсу $\hat{I}E_i$, враховуючи при цьому витрати ресурсу на передачу даних по каналу $i - j$.

Для всього кластеру маємо $B_{n \times n} = [f_{ij}(x_j)]_{n \times n}$. Нехай $L_{n \times 1} = (1, 1, \dots, 1)^T$.

Модель розподілу обчислювальних ресурсів приймає вигляд:

$$E \cdot X^T - B \cdot L - R^T = 0, \quad (3)$$

$$X \geq 0. \quad (4)$$

Маємо систему нелінійних рівнянь з адитивними функціями; для аналізу моделі можна скористатись також чисельними методами або звести до задачі пошуку потоків у зважених графах.

Модель 3 задачі статичного розподілу обчислювального ресурсу у кластерних системах.

Припущення:

(1-4) з моделі 2, а також

5. $f_{ij}(x_j)$ є лінійною по x_j : $f_{ij}(x_j) = a_{ij} \cdot x_j$, тобто $f_{ij}(x_j)$ можна представити, використавши матрицю (технологічних) коефіцієнтів $A_{n \times n} = [a_{ij}]$, де a_{ij} – коефіцієнт витрат ресурсу i при продукуванні ресурсу в \hat{IE}_j . Лінійна залежність $a_{ij} \cdot x_j$ між інтенсивністю генерування ресурсів $\hat{IE}_j | j = \overline{1, n}$ кластера та обсягом витрат обчислювальних ресурсів $\hat{IE}_i | i = \overline{1, n}$ кластера породжує відповідну лінійну модель. Коефіцієнт a_{ij} враховує витрати i -го ресурсу безпосередньо на продукування одиниці ресурсу j , а також витрати, пов'язані з (теле)комунікаціями.

В матричному вигляді модель розподілу приймає вигляд:

$$E \cdot X^T - A \cdot X^T - R^T = 0, \quad (5)$$

$$X \geq 0. \quad (6)$$

Модель (5)-(6) за своєю структурою є моделлю міжгалузевого балансу В.В.Леонт'єва, для дослідження якої маємо широкий спектр методів, алгоритмів та програмних засобів.

Для продуктивної матриці A маємо ефективний план розподілу обчислювальних ресурсів при введених припущеннях.

В разі блочного характеру технологічної матриці A , що може бути, наприклад, при розпаралелюванні виконання процедури масштабування фотографій в JPEG, отриманих БПЛА, можна, для скорочення часу розрахунків, свести задачу до задачі блочного програмування із застосуванням методів типу Данцига-Вулфа або Корнаи – Липтака.

Висновок. Синтезована модель розподілу ресурсів кластеру на базі статичної лінійної моделі Леонт'єва має відносно низьку обчислювальну складність, і тому може бути ефективно застосована при розподілі обчислювальних ресурсів в кластері в реальному часі, - наприклад, при обробці потоків відеокадрів з БПЛА.

Суттю подальших досліджень у представленому в статті напрямку є синтез екстремальних статичних та динамічних моделей розподілу кластерних обчислювальних ресурсів, а також вибір наглядних і доступних методів та алгоритмів їх аналізу.

I. V. Zaitseva, PhD,
M. V. Popova, PhD,
Stavropol State Agrarian University Stavropol
(Russia 355017, Stavropol, Zootechnical lane,
12) Tel.: 8-962-400-52-13 E-mail: ziki@mail.ru
Tel.: 8-918-741-93-58 E-mail: ppva-marina@

ECONOMIC AND MATHEMATICAL METHODS OF MANAGEMENT OF LABOR POTENTIAL OF THE REGION

When developing the regional employment policy, the labour potential must be used to get the best of quantitative and qualitative changes in the workforce, as well as methods to ensure their effectiveness. Thereby, active employment policy, job hunting stimulation, training, professional skills, acquisition of a new profession is needed. Different social and economic processes in the region influence change of the regional labour potential. Economic and mathematical modeling of the labour potential allows solving control problems at the regional level.

Keywords: the labour potential, the region, the mathematical model.

The analysis of the regional problems of labour economy enables to make a conclusion that the regional labour market is characterized by imbalances of demand and supply of the skilled labour. Thereby, active employment policy, job hunting stimulation, training, professional skills, acquisition of a new profession is needed. When developing the regional employment policy, the labour potential must be used to get the best of quantitative and qualitative changes in the workforce [6, 10].

The basis of the labour potential is labour. The labour potential is defined as an interconnected complex of quantitative and qualitative characteristics of the population to perform labour activity and ensure achievements of production objectives under specific social and economic conditions, taking into account scientific and technical advance [21]. In the research works of foreign scientists one can find the analysis of a salary increase impact on the scale of the labour supply. The substitution effect causes a labor supply increase, while the income effect leads to its reduction. In the research positive correlation between the labour supply volume and the size of net salaries for the USA conditions is found out.

In Sweden, the reduction of the net salary for the particular level of its gross value resulted in a reduction of the labour supply [1, 2].

In the research [4] questions of the labour division are considered, the problems with the costs of knowledge coordination and record are studied.

In the research works [15, 16] a mathematical model of the labour market self-organization for several economic sectors is developed. It enables to trace certain trends of the labour market functioning. The mathematical model also enables to analyze the obtained information on the stable and unstable states of the labour market for n different economic sectors and make a forecast of its state.

Meanwhile, the factors, which influence the labour potential formation, during the transition process from the labour power to the labour resources [8].

The concept “labour potential” should be considered as an extension of the concepts “labour power” and “labour resources”. The categories “labour power” and “labour resources” are similar in their meanings, but have differences in the content. The difference between these concepts is that the “labour power” is an individual person’s ability to work, and “labour resources” is considered as the population size of working age, which has necessary physical and mental abilities, professional training and

qualifications to work in the social production. “Labour potential” contains both existing resources and hidden resources. “Labour resources” contain only stock which is unused [20].

In the research [19] it is stated that the number of labour resources is a dynamic value, which is divided into indicators of natural reinforcement and natural leave. At this moment indicators of natural reinforcement include: the number of working age people, the number of people before and after working age, the number of people from the educational institution system and army. Indicators of natural leave include: the number of people of retirement age, the number of working age people who died, the number of people who joined the army or entered educational institutions at full-time course of study.

In this research a differential equation is suggested. It takes into account changes in the basic social and economic processes taking place in the region and influencing the changes in labour potential of the region. This equation with the given initial conditions is a mathematical model of the labour potential dynamics. This model enables to study the task of optimal control of the amount of working age unemployed people, who did not find work.

The process of constructing a mathematical model of social and economic facilities in general can be divided into six stages: formulation of the economic problem, the qualitative analysis, the construction of a mathematical model, the mathematical model analysis, preparation of the initial information, carrying out model calculations, analysis of the results and their application [18].

The complex nature of the problem of modeling dependencies targets of socio-economic status of the region to support decision making in the management of key parameters, in particular the employment potential, requires a unified modeling techniques applicable studies of factor indicators and regional studies [14].

In the first phase of the study stated goal, which is to achieve and to collect and process statistics. To study the working potential of the goal may be to build a set of tasks for the entire set of targets, or for individual indicators, which are analyzed. At the same stage the information base for the factor indicators. At the second stage, the analysis data base to determine the completeness and accuracy of information and is defined modeling tools: choose methods, adequate levels of certain information and software tools to implement these methods. In the third stage problem is solved at the qualitative and meaningful level. At the stage of qualitative analysis examines the structure of the data, recognize and deal with these contradictions and ambiguities in their descriptions, are overlapping symptoms, with the removal of one of them, building new features. In the fourth stage, the construction of multi-factor models of influence factor indicators allocated to the target sign. The fifth stage is devoted to the analysis and interpretation of the model target, the formation of the forecast for decision-making in the study area [9].

To assess the computational efficiency of the proposed mathematical models now there are a number of methods to optimize the dynamic properties of its own socio-economic systems.

The last decades of the 20th century and the beginning of the new millennium is characterized by the global change in attitude to the human capital and potential. In modern society a human being is the main goal and an active subject of all social and economic processes [3].

Researches of the formation and use of the labour potential of the region are descriptive and not numerous. However, they must be expanded and different methods should be used: economic, social, mathematical, etc., which enable to estimate the impact of the labour potential on economic development and to justify methods of its control [20].

The complex nature of the problem of modeling of social and economic state dependencies of the region to support decision making in the key parameters control, in particular, the labour potential, requires unified modeling methods which are used to study indicators and factors of the regional researches [5, 6].

The authors have developed economic and mathematical model of the labour potential optimal distribution of the region into economic sectors. The model is tested on the statistical data for Stavropol region [19]. The model allows using statistical data on its labour resources and economic indicators, to distribute the labour potential of the region under consideration in the optimal way. Parameters of the model are the total investment amount per employee in the industry and the amount of profit it brings to the industry. They are calculated according to the statistics provided by the state statistical bodies of the region. Utility function is used as the target function in the presented model, it is defined on the great number of sets of human resources in different economic sectors.

In the research [19] the task of optimal distribution of the labour potential of the region into economic sectors is solved with mathematical methods. The developed model takes into account the number of industries in the region, the state of its economy, the income that one employee of i industry brings to the region if its sector of the economy will be in the j state ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, m$). Having composed the matrix of consequences, with a minimum income per an employee of Stavropol region, one can plan the distribution of the labour resources into economic sectors of the region.

The organizational component of the labour potential of the region is essential for functioning of regional enterprises, workforce, households, individual workers, because it determines conditions to form and implement population potentials, professional growth, to achieve high performance, to meet needs. Since the labour potential to a greater degree than the other economic resources reflects the potential of the region, its importance in the regional social and economic complex control constantly grows. Economic and mathematical modeling of the labour potential enables to solve problems of control at the regional level. Solution of the optimal control task of the unemployed people of working age, who did not find work, enables to explore the processes of formation and use of the labour potential of the region and also brings into focus analysis of peculiarities of these processes development under conditions of a market economy in Russia within the specific region [13].

References

1. Household income and health problems during a period of labour-market change and widening income inequalities / A. Aittomäki, P. Martikainen, O. Rahkonen, E. Lahelma // *Social Science & Medicine*. 2014. Vol. 100. P. 84–92.
2. Peichl A., Siegloch S. Accounting for labor demand effects in structural labor supply models // *Labour Economics*. 2012. Vol. 19, № 1. P. 129–138.
3. Klaauw B. From micro data to causality: Forty years of empirical labor economics // *Labour Economics*. 2014. Vol. 30. P. 88–97.
4. Becker G. Murphy The Division of Labor, Coordination Costs and Knowledge // *Quarterly Journal of Economics*. 1992. № 4. P. 1137–1160.
5. Cloves G. A dynamic models for the analysis of labor turnover // *J. Roy. Statistic. Soc. A*. 1972. P. 135.

6. *Croset L., Abdelmalki D., Sandretto Dufort et R.* Les Grandes Questions de l'economie internationale par // Y. Paris: Nathan. 1997. P. 448.
7. *Daniel S.* Hamermesh Leaping into the future of labor economics: the research potential of linking employer and employee data // *Labour Economics*. 1999. Vol. 6, № 1. P. 25–41.
8. *Artuc E., Lederman, D., Porto G.* A mapping of labor mobility costs in the developing world // *Journal of International Economics*. 2015. Vol. 95, № 1. P. 28–41.
9. *List John A., Rasul I.* Chapter 2 - Field Experiments in Labor Economics, In: Orley Ashenfelter and David Card, Editor(s) // *Handbook of Labor Economics*, Elsevier. 2011. Vol. 4, Part A. P. 103–228.
10. *Potrafke N.* Globalization and labor market institutions: International empirical evidence // *Journal of Comparative Economics*. 2013. Vol. 41, № 3. P. 829–842.
11. *Fedotova O., Latun, V.* Migration Potential of Labor Market and the System of Higher Education // *Asian Vector of Development, Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2014. Vol. 149, № 5. P. 327–332.
12. *Perepelitsa V., Popova E., Semenchin E.* Game Theory and Operations Research // Proc. allowance for students. Stavropol Univ SSU. 2004. P. 182.
13. *Muehleemann S., Wolter S.* Firm-sponsored training and poaching externalities in regional labor markets // *Regional Science and Urban Economics*. 2011. Vol. 41, № 6. P. 556–570.
14. *Semenchin E., Zaitseva, I.* Mathematical model of self-organization of the labor market for several industries // *Review of Applied and Industrial Mathematics*. 2003. № 3. P. 740.
15. *Semenchin E., Zaitseva, I.* Mathematical model of self-organization of the labor market for the two industries // *Economics and Mathematical Methods*. 2004. № 4. P. 137–139.
16. *Semenchin E., Zaitseva I.* Mathematical model of self-organization of the labor market for several industries // *Economics and Mathematical Methods*. 2007. № 1. P. 133–136.
17. *Trunin S.* Labor Economics: the textbook. M. : Economy, 2009. 496 p.
18. *Tsybatov V.* Design and Implementation of a Prototype Intelligent System for evolution. Applications of Artificial Entelligence in Engineering // *Computational Mechanics Publication*. 1991. P. 258–268.
19. *Zaitseva I., Semenchin E.* Optimum distribution of the regional labor Potential in its economic sectors. // *International Journal of Applied And Fundamental Research*. 2013. № 1. URL: <http://www.science-sd.com/452-24352>.
20. *Zaitseva I., Popova M.* Technique to study the employment potential of the region: economic-mathematical aspect // *World Applied Sciences Journal*. 2013. № 22 (1). P. 22–25.
21. *Zaitseva I., Semenchin E., Gimbitsky V.* A mathematical model of optimal allocation of labor potential of the region by industries // *Fundamental Research*. 2013. № 8. P. 413–416.
22. *Zaitseva I., Popova M., Vorohobina Y.* The development of the concept of "employment potential" as a socio-economic category // *Management of economic systems: electronic scientific journal*. 2013. № 1. URL: <http://www.uecs.ru/index.php>.

. . . , канд. техн. наук,
 . . . , канд. техн. наук,
 . .. , д-р техн. наук,
 Ін-т проблем моделювання в енергетиці
 ім. Г. Є. Пухова НАН України
 (Україна, 03164, Київ, вул. Генерала Наумова, 15,
 тел. (044) 4249168, e-mail: ak24avo@gmail.com)

The article describes the main stages of building a hybrid intelligent system for problems of ecological safety. We describe a semantic model of the domain and block the possibility of mathematical modelling and assessing the risks of the system. The authors proposed algorithms and visualization of environmental data. Features of the system illustrated in monitoring data of the surface of the atmosphere of Kyiv.

Вступ

Огляд літератури

1. Математичні моделі

2. Семантичне моделювання

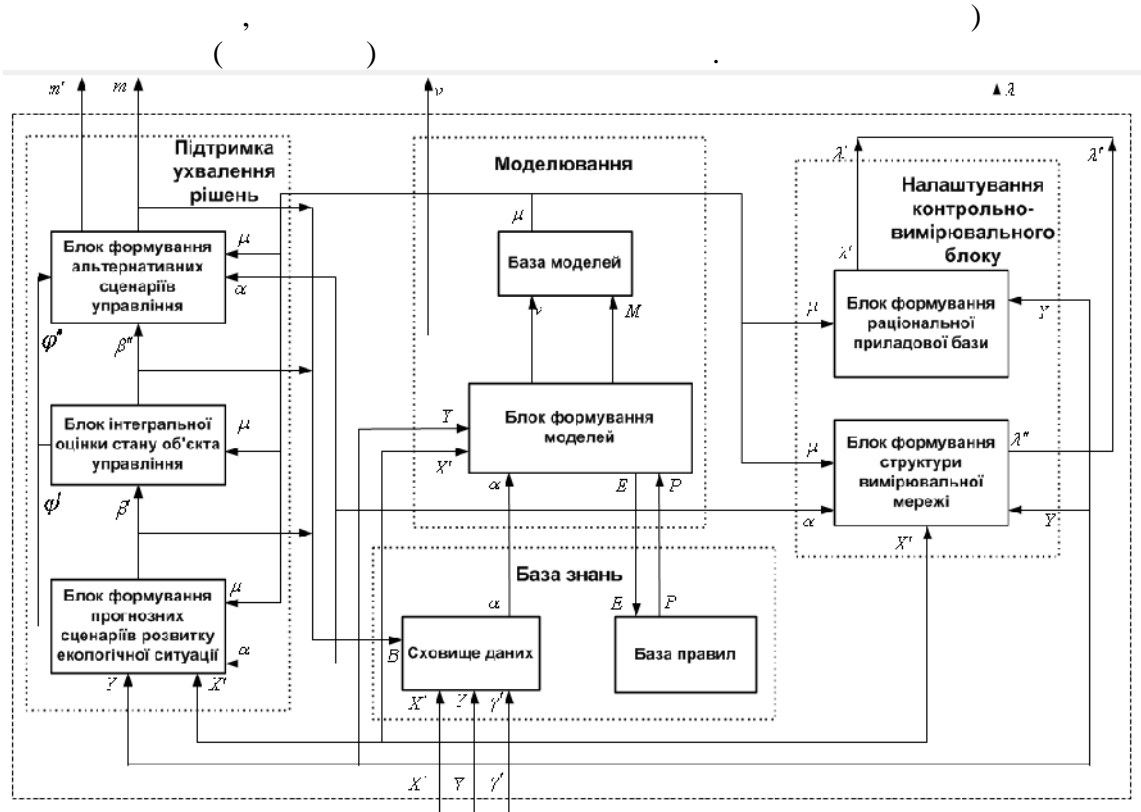
3. Алгоритми моніторингу

4. Візуалізація даних

Висновки

Література

Додаток 1



. 1.

[1].

(patterns),

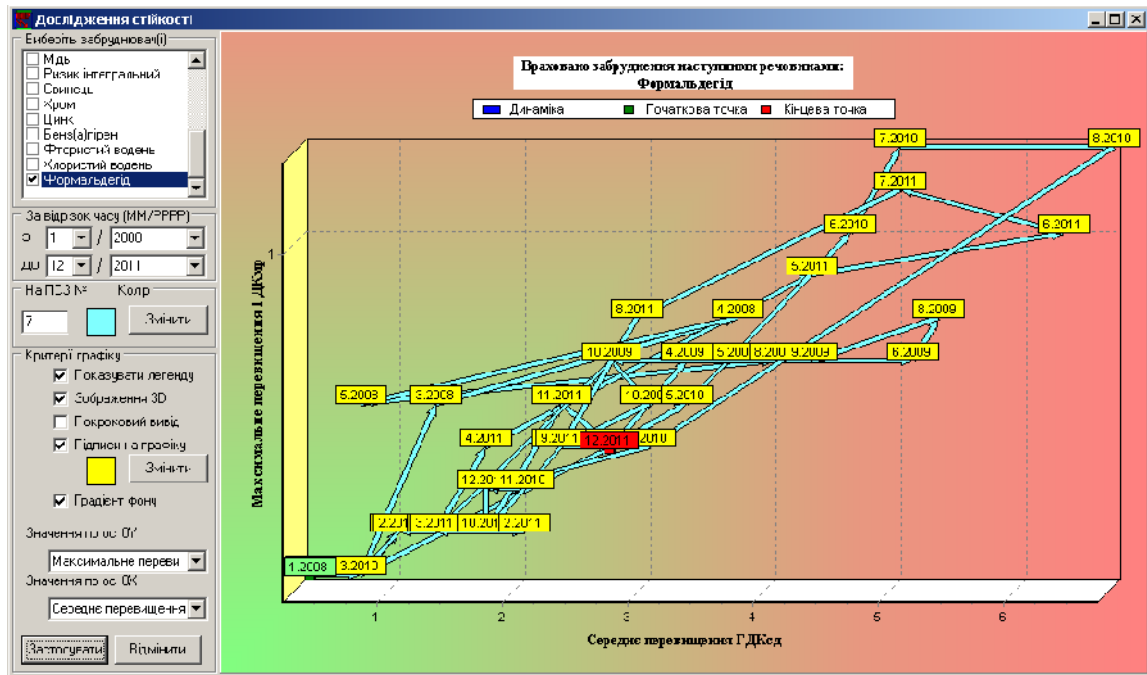
[2,3].

DATA MINING [4],

(),

(

. 2



. 2.

(2008 – 2011)

1. 384 , 2001. –
2. , 2013. – 402 .
3. []:
4. : 01.05.02/ , 2010. – 198 .
 Data Mining. – , 2001. – 366 .

И. З. Ашур, бакалавр, системная инженерия,
 Национальный технический университет Украины «КПИ»
 (Украина, 03056, Киев, ул. Борщаговская, 126,
 тел. +380972938453, e-mail: ilyaachour@gmail.com)

Система 2D рендеринга с использованием интерфейса OpenGL ES 2.0, особенностей и техник VBO/Sprite Batch

This work presents high-performance graphics engine implementation based on OpenGL ES for Android OS devices. Approach performance was precisely measured, all used features and technics combinations were considered and benchmarked.

Ключевые слова: OpenGL ES 2.0, VBO, Sprite Batch, Android, Java

Введение. Разработка приложений для мобильных платформ, использующих высокопроизводительную двумерную компьютерную графику по спецификации и на программном интерфейсе OpenGL требует создания комплексной архитектуры для каждого отдельного решения.

Такие приложения разрабатываются для игровой индустрии, программного обеспечения визуализации, моделирования в части рендеринга визуальных представлений элементов моделей, визуального интерактивного взаимодействия.

Подмножество графического интерфейса OpenGL ES¹⁾ (OpenGL for Embedded Systems — OpenGL для встраиваемых систем) предназначено для встраиваемых систем — мобильных телефонов, умных часов, телевизоров и т.д.

Цель работы. Проводимое исследование нацелено на разработку, создание и анализ производительности универсальной и максимально простой объектно-ориентированной программной прослойки двумерного графического движка на языке программирования Java/C++(JNI) под платформу Android версии 4.1+ (API Level 16) с определенным, расширенным функционалом.

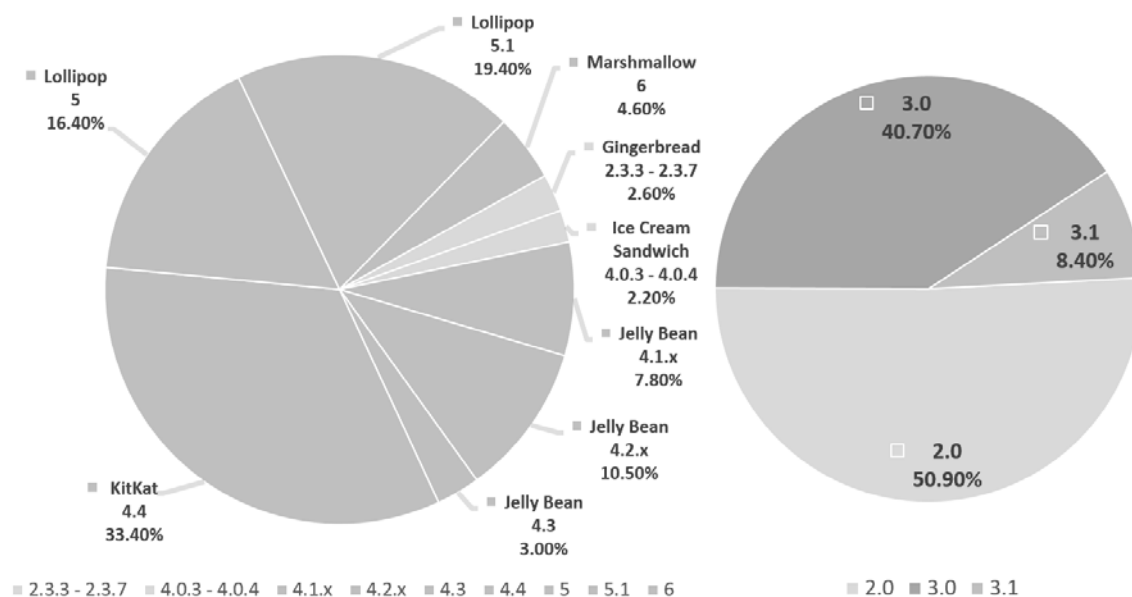


Рис. 2. Сравнительный анализ количества устройств, поддерживающих различные версии OpenGL ES²⁾ на базе различных версий Android³⁾ по состоянию на 4 апреля 2016 года

Решение заключается в инкапсуляции использования таких сложных общих практик, механизмов, техник и особенностей рендеринга⁴⁾ OpenGL ES, как VBO⁵⁾, Sprite Batching, Buffer Orphaning⁶⁾, Object Pooling, Caching, Boxing avoiding, Alpha Blending, Color Blending, Transparency Sorting⁷⁾, Thread Safety, Native Buffer Operations и т.д. в целях достижения максимальной производительности наряду с простотой использования, гибкостью и функциональностью прослойки.

Помимо внутреннего, инкапсулированного функционала необходимо создать ряд интерфейсов и методов для осуществления базовых операций с графическими элементами так называемого “движка”. К таким операциям относятся поддержка матриц аффинных преобразований (матриц модели и вида), обрезка, управление прозрачностью и цветом, упрощенные операции трансформации графических элементов (масштабирование, поворот, перемещение), управление их видимостью, создание, воспроизведение и управление анимацией.

Одна из главных особенностей разработанной прослойки — использование Vertex Buffer Object и матриц модели-вида-проекции с кэшируемым содержанием, что позволяет одновременно и единожды выгружать информацию о вершинах, текстурах и прочих параметрах группы графических элементов (Sprite Batching) в видеоустройство, что эффективно увеличивает производительность рендеринга, особенно касаясь статической графики (графики с неизменяемыми или редко изменяемыми координатами позиций вершин и их текстур).

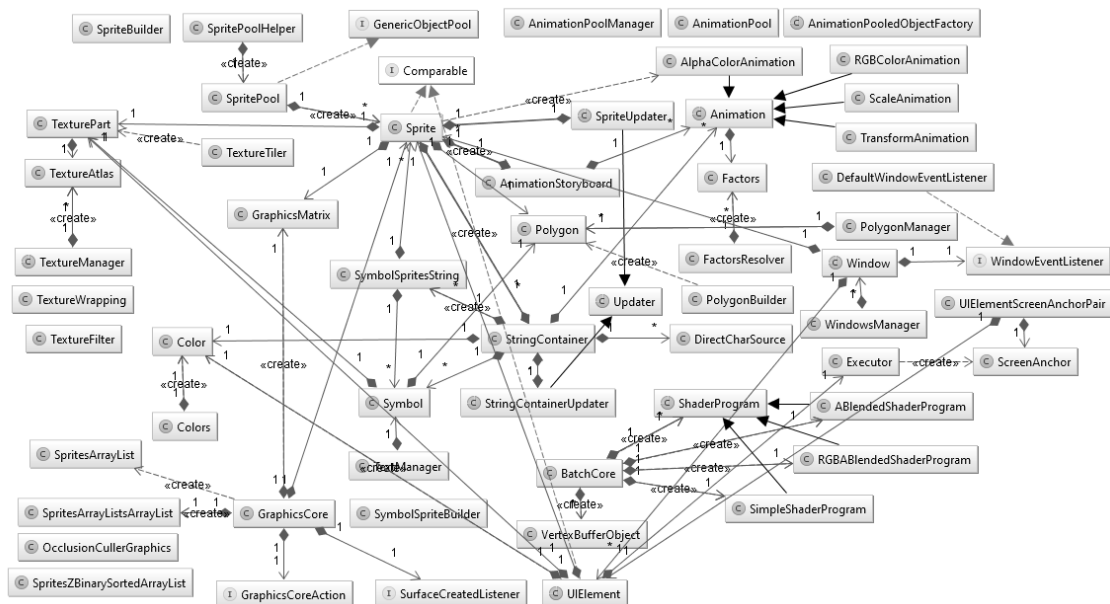


Рис. 3. Схема классов и зависимостей разработанного решения в части графического ядра

Оценка. Для оценки производительности решения были созданы специальные программы-бенчмарки с учетом всех “best practices”. Написание корректных тестов производительности для определенной части большого приложения — сложная задача. Существует множество оптимизаций, которые JVM или аппаратное обеспечение могут применить к конкретному компоненту во время его изолированного тестирования. Непродуманные тесты производительности могут дать оптимистичные результаты, отнюдь не совпадающие с реальными. Именно тестирование конкретного компонента в составе рабочего, практического

приложения с применением таких техник, как JVM warm up (“разогрев” виртуальной машины) может дать достоверные результаты.

Далее будут приведены результаты тестов производительности для итераций разработанного компонента с различающимся стеком используемых техник и особенностей, их сравнение с производительностью реализаций подобных сторонних компонентов. Под метрикой производительности подразумевается время, затраченное процессором и видеоядром на рендеринг одного кадра смешанного (статического и динамического) содержания. Для бенчмаркинга видеоядра использовались нативные инструменты производителей — такие, как: Intel GPA, Mali Developer Tools, PowerVR Tools, Snapdragon Profiler, Adreno GPU Profiler, DS Development Studio.

Сцена для тестов содержит 2000 однотипных спрайтов. Тесты для разного количества спрайтов опускаются по причине практически прямой зависимости между количеством последних и производительностью рендеринга.

Представленные результаты получены на устройстве с процессором Quad-core 2.3 GHz Krait 400 и графическим ядром Adreno 330.

N	VBO Type	VBO Cache	VBO indices	Matrices processing	Matrices cache
1	Instanced VBO	No cache	No indices	GPU-side matrices processing	No cache
2	Batched VBO	No cache	No indices	GPU-side matrices processing	No cache
3	Batched VBO	Client-side cache, managed uploading	No indices	GPU-side matrices processing	No cache
4	Batched VBO	Client-side cache, managed uploading	Immediate VBO indices uploading	GPU-side matrices processing	No cache
5	Batched VBO	Client-side cache, managed uploading	Immediate VBO indices uploading	CPU-side matrices processing	No cache
6	Batched VBO	Client-side cache, managed uploading	One-time VBO indices uploading	CPU-side matrices processing	No cache
7	Batched VBO	Client-side cache, managed uploading	One-time VBO indices uploading	CPU-side matrices processing	Client-side cache
8	Batched VBO	Client-side cache, native uploading	One-time VBO indices uploading	CPU-side matrices processing	Client-side cache
9	Batched orphaned VBO	Client-side cache, native uploading	One-time VBO indices uploading	CPU-side matrices processing	Client-side cache

Рис. 4. Итерации разработки компонента на основе внедрения техник и особенностей. Градации серого отражают относительную производительность данной особенности или техники от темного к светлому

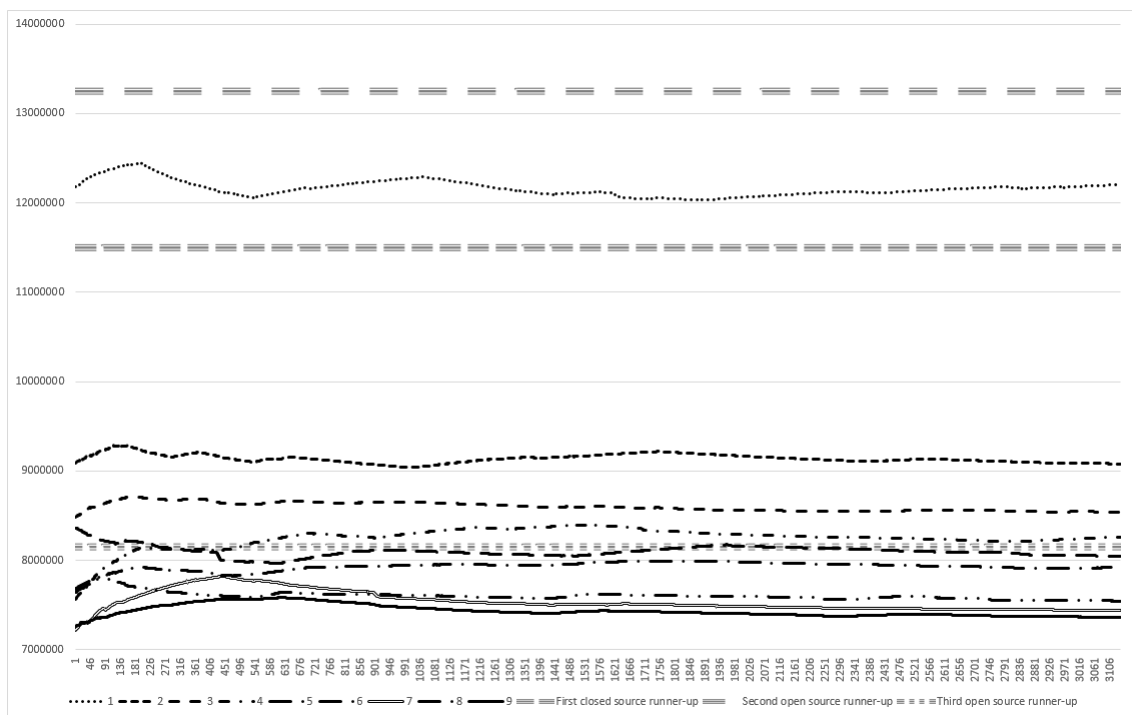


Рис. 5. Графики производительности итераций и решений. Представлено время рендеринга одного кадра в наносекундах

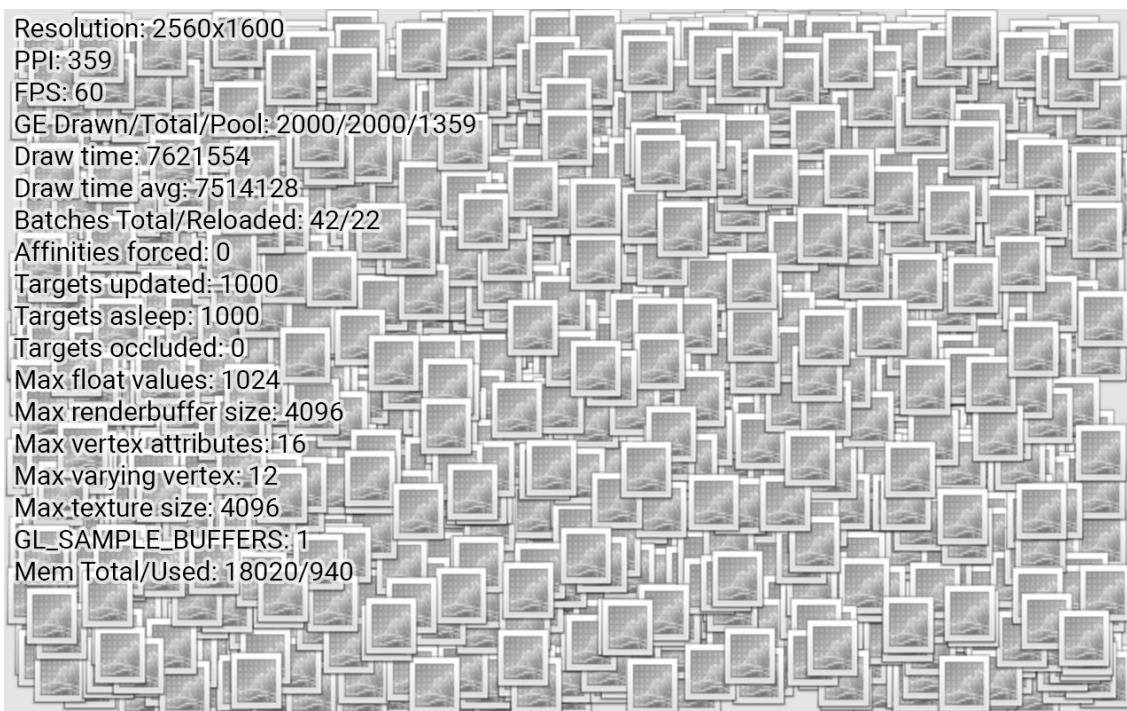


Рис. 6. Пример тестовой сцены с отладочной информацией⁸⁾

Закключение. Предложено решение для производительного аппаратно-ускоренного рендеринга на устройствах под управлением ОС Android, основанное на ряде сложных общих практик, механизмов, техник и особенностей.

Использование данного решения позволяет максимально просто и быстро визуализировать любую высоконагруженную двумерную графику.

Тесты производительности показали, что решение позволяет визуализировать большие объемы графики на примере 2000 спрайтов за промежутки времени до 7.5 миллисекунд, что составляет всего 45% от времени, отведенного исследуемой выборкой устройств на рендеринг одного кадра по соображениям вертикальной синхронизации⁹⁾.

Дальнейшее усовершенствование предусматривает внедрение новых техник и особенностей OpenGL ES последующих версий.

1. OpenGL ES [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.khronos.org/opengles/>
2. Dashboards [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://developer.android.com/intl/ru/about/dashboards/index.html#OpenGL>
3. Dashboards [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://developer.android.com/intl/ru/about/dashboards/index.html#Platform>
4. Vertex Rendering [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://www.opengl.org/wiki/Vertex_Rendering
5. Vertex Specification [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://www.opengl.org/wiki/Vertex_Specification
6. Buffer Object Streaming [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://www.opengl.org/wiki/Buffer_Object_Streaming
7. Transparency Sorting [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://www.opengl.org/wiki/Transparency_Sorting
8. Icons [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://p.yusukekamiyamane.com/>
9. Implementing graphics [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://source.android.com/devices/graphics/implement.html#vsync>

Р.В. Барсук, аспірант,
А.А. Черноиван, зав. Лабораторії,

ДВНЗ "Придніпровська Державна Академія Будівництва та Архітектури"

(Україна, Дніпропетровськ, 49600, вул. Чернишевського, 24-а,
Тел: +38(095)5795713, e-mail: Falazar@yandex.ru)

Тел: +38(050)4818469, e-mail: chernoivan@i.ua)

Моделювання системи завантаження палива

The article deals with fuels loading to the burner systems modeling, such as pellets. System is realized, but because of natural experiments large numbers complexity constructed computer model. Lab View chosen as software package. There are all essential factors that could be changed try include to the model.

Ключові слова: моделювання, система завантаження, зворотній зв'язок, програмна реалізація.

Постановка задачі. Системи опалення, які працюють на пелетах, складаються з наступних головних частин: це пальник на пелетах, механізм завантаження палива та теплообмінна частина. У цій роботі мова піде про один із засобів завантаження пелет до пальника та його комп'ютерне моделювання.

Розглянемо систему завантаження палива до пальника на прикладі трубчастого нагрівача, працюючого на пелетах [1].

Існують різноманітні засоби для завантаження палива до пальника. Одним із найрозповсюдженіших способів є подача за допомогою шнека. У залежності від виконання, система може бути зі змінною швидкістю або переривчаста. А загалом робота пальника, у тому числі його потужність, залежить від геометричних розмірів пальника, та кількості повітря, як первинного так і вторинного. Тому частота обертів шнеку або його розмір підбирається заздалегідь.

Згідно вищенаведеного, зона сталої роботи обмежена та для кожного пальника індивідуальна. Виникає питання, як розширити цю зону сталої роботи.

Одним із варіантів є запропонована у роботі [2] система зі зворотнім зв'язком, блок-схема якої наведена на рис. 1.

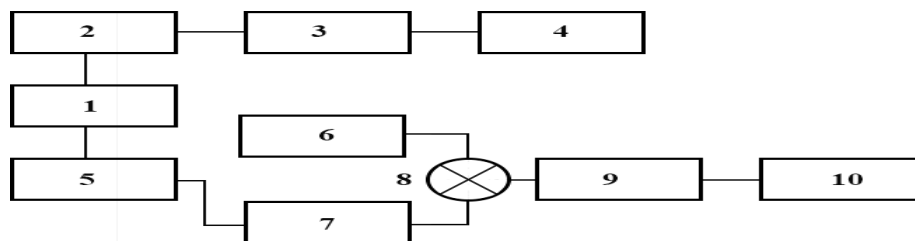


Рис. 1. Блок-схема регулювання роботи пальника

Пояснення до блок-схеми:

- 1 – пальник (у даному випадку пелетний);
- 2 – фотодатчик, орієнтований на поверхню згоряння;
- 3 – частото-задаючий пристрій;
- 4 – виконавчий механізм подачі;
- 5 – теплообмінник;
- 6, 7, 8 – термореле;
- 9 – підсилювач;
- 10 – виконавчий механізм.

Така система реалізована але не є достатньо вивченою. Тому виявляє цікавість подальше дослідження цієї установки. Але через те що натурні експерименти є досить затратні та іноді складні, можна скласти комп'ютерну модель. Також це не суперечить можливістю визначення стійкості цієї системи.

Аналіз останніх публікацій. Моделювання завантаженням паливом пальників досить добре розроблені. Але це відноситься більше до газових пальників [3], тому що вони мають більш стабільні режими та більш точні межі регулювання.

Більш близьким є моделювання процесів завантаження вугілля до пальників [4]. Так як паливо є тверде, то це більш схоже за властивостями до пелет.

Об'єктно-орієнтовані мови програмування для даних задач є найбільш привабливі, тому що в них можна більш простими способами реалізувати деякі складні задачі [5].

Мета. Реалізація за допомогою комп'ютерного моделювання системи подачі палива до пальника задля подальшого дослідження. Важливо закласти у модель усі основні фактори впливу. Також немаловажним є пов'язати усі фактори впливу, щоб у подальшому можна було змінювати деякі параметри. Для реалізації проекту обрано програмний комплекс Labview.

Програмна реалізація системи управління завантаження пелетного пальника. У програмну реалізацію вкладено параметри реально існуючої системи. Задані основні геометричні параметри пальника. На Рис.2 можна побачити схему виконання установки.

Для регулювання на фронтіву панель нанесені наступні елементи: блок регулювання потужністю, що складається з приладів для установки кількості повітря (як первинного так і вторинного). Також присутня дуже важлива частина регулювання – це регулятор відстані чутливого елемента від поверхні горіння пальника.

Нижня частина (синього кольору) умовно позначає патрубок для подачі первинного повітря. Після цього, воно потрапляє до пальника. З правої сторони знаходиться чутливий елемент, та є змога його перемішувати. Ліворуч умовно зображений бункер з паливом (пелетами) та патрубок для подачі його у пальник. На нього нанесені час спрацьовування системи та умовна кількість палива.

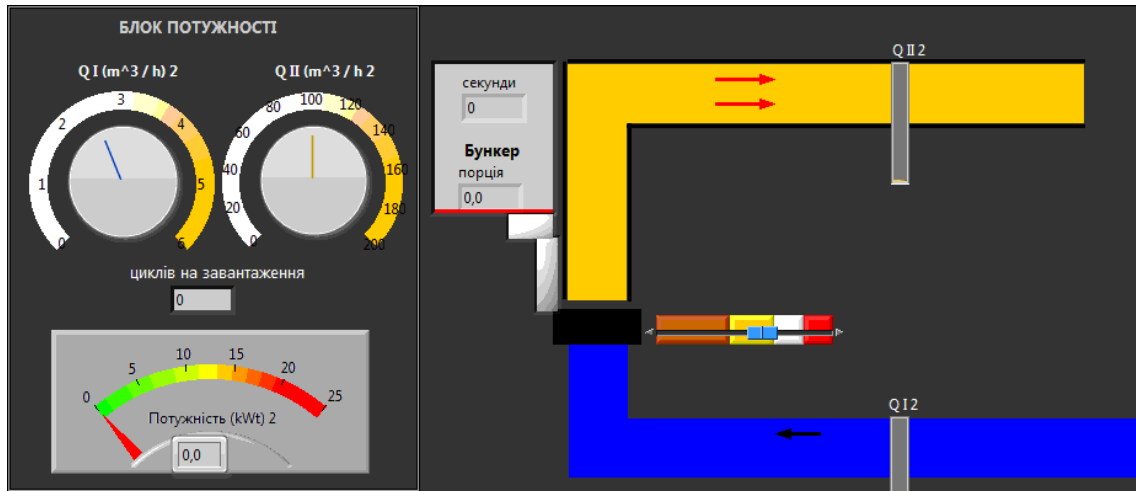


Рис. 2. Схематичне зображення досліджуваної установки на фронт-панелі програми

Блок-схема, на якій зображена внутрішня будова моделі наведена на Рис. 3.

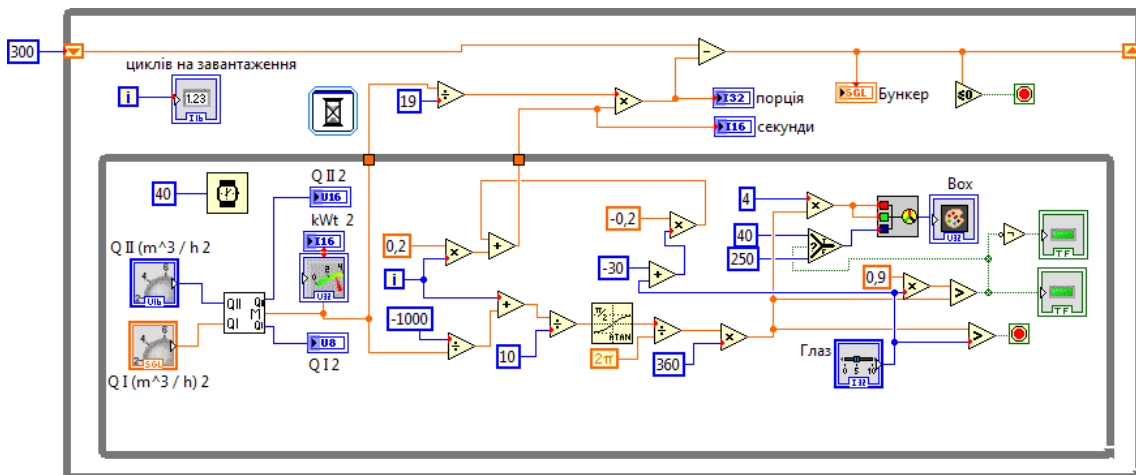


Рис. 3. Внутрішня схема реалізації математичної моделі регулювання пальника.

У повній програмі присутні допоміжні підпрограми, але вони не включені на зображення, так як їх вплив не є досить суттєвий.

Для реалізації проекту було проаналізовано складові системи та їх взаємодія. Були пов'язані витрати первинного та вторинного повітря задля отримання потужності пальника. Характерні геометричні параметри пальника тим самим були також автоматично враховані.

У моделі було задано чутливий елемент. Його реалізація дає змогу побачити принцип дії, а саме те, що його можна переміщувати (далі чи ближче до пальника). А це впливає на частоту спрацьовування, що відбувається і в реальному експерименті на натурній моделі.

Для наглядної роботи зроблено умовно систему завантаження палива, яка також реагує на частоту спрацьовувань.

Загалом така система імітує реальну, що надає змогу не проводити натурні експерименти. Дуже часто це зменшує витрати та час.

Також в комп'ютерну модель реально знімати та добавляти необхідні параметри, які можна буде змінювати. Мова йде про розміри (площа) пальника, тому що вони також можуть впливати на потужність.

Висновки. Теоретичний аналіз різноманітних складних систем значно спрощується, якщо користуватися об'єктно-орієнтованими мовами програмування. По-перше, деякі складні задачі значно спрощуються. Наприклад, у даній системі реалізовано визначення потужності у залежності від різних об'ємних витрат повітря (як первинного, так і вторинного). Для цього потрібно було лише знайти взаємозалежність цих параметрів на відносно невеликому масиві даних експерименту. По-друге, наочність роботи моделі дає багато зручностей. Тому, якщо потрібно визначити деякі невідомі параметри (наприклад, визначити частоту спрацьовування чутливого елемента системи завантаження), достатньо дослідити роботу електронної моделі при зміні відстані від вогню і не працювати з натурною з ризиком перегріти фотоприймач. Модель дозволяє задавати режими роботи пальника неможливі в натурі, наприклад дуже малі або занадто сильні витрати повітря і таке інше.

Тому такі методи моделювання є доволі перспективними. Вони не потребують реалізації натурних систем, та мають широкий спектр застосування.

Література

- 1 - Патент 92674 Україна (UA), МПК F24C 15/00. Пристрій для променевого обігріву та нагрівання повітря/ Р.В. Барсук, В.Ф. Іродов, А.А. Чорнойван; Дата подання 05.04.2014; Дата публ. 26.08.2014, бюл. № 16.
- 2 – Чорнойван А.А. К вопросу об устойчивости и управляемости ТГУ на пеллетах. / Чорнойван А.А., Голощанов К.О. – Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. Труды. Вып. 84./ ГВУЗ “Приднепр. Гос. Академии стр-ва и архитектуры”. С. 203-206
- 3 – Абдулин М.З. Изотермические исследования модулей горелочных устройств на основе струйно-нишевых систем. - Абдулин М.З., Серый А.А. – Вісник НТУ “ХП”. 2013. № 13(987) – с. 81-88
- 4 – Петренко Е.П. Автоматизация управлением розжигом топки низкотемпературного кипящего слоя. Петренко Е.П., Неежмаков С.В. ДНТУ, 2012, с. 128-130
- 5 – Жураковский Я.Ю. Створення імітаційної моделі системи керування в LABVIEW. Жураковский Я.Ю., Жураковська О.С. Автоматика-2014: Матеріали 21-ї Міжнародної конференції з автоматичного управління, Київ, с. 268-269

З.Х. Борукаев¹⁾, канд. техн. наук,
К.Б. Остапченко²⁾, канд. техн. наук,
О.И. Лисовиченко²⁾, канд. техн. наук,

¹⁾Ин-т проблем моделирования в энергетике
им Г.Е. Пухова НАН Украины

(Украина, 03164, Киев, ул. Генерала Наумова, 15,
тел.(044) 4241063, e-mail: ipme@ipme.kiev.ua)

²⁾Национальный технический университет Украины «КПИ»
(Украина, 03056, Киев, пр. Победы, 37,
тел. (044) 4549469 , e-mail:kostya@tk.ntu-kpi.kiev.ua)

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА ОПТОВОЙ ЦЕНЫ ПОКУПКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ЦЕН НА ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ

Anotation. The paper is a continuation of studies of the current state of the relationship of the electricity markets and energy supplies to create complex mathematical models to determine the forecast wholesale price of electricity on the wholesale market, depending on changes in the prices of major energy sources - natural gas, heating oil, thermal coal.

Ключевые слова: динамика, модель, прогнозная оптовая цена, энергоносители.

Введение. В работах [1,2] приведена общая формулировка задачи математического и компьютерного моделирования динамики энергорынка в условиях изменения цен на рынках энергоносителей. В работе [3] проведен анализ взаимосвязи данных динамики цен на электрическую энергию (э/э) и на энергоносители.

Целью настоящей работы является построение и расчетно-экспериментальное исследование одной из таких моделей, рассмотренных в [2], и подтверждения ее адекватности для оперативного - краткосрочного прогнозирования оптовой цены покупки электроэнергии на Оптовом рынке э/э (ОРЭ). Как известно, розничный тариф на электроэнергию рассчитывается для различных классов и групп потребителей на основе оптовой рыночной цены продажи электроэнергии на ОРЭ для поставщиков. Оптовая рыночная цена э/э рассчитывается по формуле [4]:

$$C^{op} = \frac{C^{ок} + C^h}{1 - K^{nc}} \times K$$

где $C^{ок}$ - оптовая цена покупки электроэнергии, K - коэффициент надбавок, который устанавливается Советом рынка и утверждается НКРЭ; C^h - наценка к оптовой рыночной цене, K^{nc} - коэффициент технологических потерь электроэнергии на ее передачу магистральными и межгосударственными сетями.

Очевидно, что прогнозная оптовая цена покупки является ключевым параметром, определяющим динамику рынка электроэнергии, т.к. от ее изменения зависит прогноз оптовой рыночной цены, а также другие показатели динамики энергорынка - платежи, объемы производства и поставки электроэнергии.

1. Построение модели. Процесс формирования оптовой цены покупки э/э у производителей на ОРЭ и на его базе оптовой цены ее продажи поставщикам на каждый час расчетного периода времени, по сути, является процессом поиска равновесных цен, удовлетворяющих экономические интересы как производителей, так и поставщиков э/э. Отличительной особенностью работы энергосистемы является наличие резервной мощности в целях обеспечения

надежности ее работы. Учитывая это обстоятельство можно утверждать, что в периоды нормальной работы энергосистемы, речь идет о поиске равновесной цены на электроэнергию в условиях превышения предложения объемов производимой э/э и мощности над спросом. В работе [2] было показано, что

$$\begin{aligned} C^{ок}(t) &= C_{ТЭС}(t)K_{ТЭС}^{\mathcal{E}}(t) + C_{ТЭЦ}(t)K_{ТЭЦ}^{\mathcal{E}}(t) + A(t), \\ A(t) &= C_{АЭС}(t)K_{АЭС}^{\mathcal{E}}(t) + C_{ГЭС}(t)K_{ГЭС}^{\mathcal{E}}(t) + \\ &C_{ВЭС}(t)K_{ВЭС}^{\mathcal{E}}(t) + C_{СЭС}(t)K_{СЭС}^{\mathcal{E}}(t) \end{aligned} \quad (1)$$

где $C^{ок}(t)$ – оптовая цена покупки э/э у производителей, $C_j(t)$ с соответствующим индексом $j \in \{ТЭС, ТЭЦ, АЭС, ГЭС, ВЭС, СЭС\}$ – отпускная цена производителя j , $\mathcal{E}_j(t)$ – объем отпущенной э/э (произведенной для продажи в ОРЭ) производителем j , $K_j^{\mathcal{E}}(t) = \mathcal{E}_j(t) / \mathcal{E}_{отпуск}(t)$ – доли отпущенной э/э каждым производителем j в общем балансе генерации э/э.

На основе, проведенного в работе [3] анализа данных установлено, что $C_{АЭС}(t)$, $C_{ГЭС}(t)$, $C_{ВЭС}(t)$, $C_{СЭС}(t)$ это контрактные договорные отпускные цены, устанавливаемые Регулятором ОРЭ на довольно длительные промежутки времени, а $C_{ТЭС}(t)$, $C_{ТЭЦ}(t)$, хотя и регулируемые цены, но им присуща весьма заметная динамика.

Учитывая это обстоятельство, все производители э/э были разделены на две группы. В первую включены компании ТЭС и ТЭЦ и для них в модели учитывается реальная динамика средневзвешенных месячных цен как во времени, так и от затрат на энергоносители, являющихся определяющей частью общих затрат энергокомпаний, понесенных ими при производстве э/э. Для группы остальных компаний будем считать цену покупки, независимой от цен на энергоносители, и поэтому, постоянной величиной, равной $A(t)$.

Для упрощения модели $A(t)$ будем определять как

$$A(t) = C_A(t)K_A^{\mathcal{E}}(t), \quad C_A(t) = \frac{\sum_{j \in A} C_j(t)\mathcal{E}_j(t)}{\sum_{j \in A} \mathcal{E}_j(t)}, \quad K_A^{\mathcal{E}}(t) = \frac{\sum_{j \in A} \mathcal{E}_j(t)}{\mathcal{E}_{отпуск}(t)} \quad (2)$$

где $A \in \{АЭС, ГЭС, ВЭС, СЭС\}$.

При построении дискретной модели регулирования цен в условиях превышения предложения над спросом, как правило, исходят из предположения о том, что скорость изменения цены предложения прямо пропорциональна величине избыточного предложения. В нашем случае из (1) видно, что динамика роста $C^{ок}(t)$ напрямую зависит от динамики роста цен на энергоносители и связана с ней прямо пропорциональной зависимостью, т.к. составляющие оптовой цены покупки - $C_{ТЭС}(t)$ и $C_{ТЭЦ}(t)$ напрямую зависят от динамики роста цен на уголь, газ и мазут:

$$C_j(t) = \sum_k \frac{C_k^{nm}(t)}{K_k^Q} r_k^j(t) B_j + \frac{C_j^{ns}(t) + C_j^{yns}(t)}{\mathcal{E}_j(t)}$$

где $C_k^{nm}(t)$ - цена на натуральный энергоноситель $k \in \{\text{газ, мазут, уголь}\}$ для производства э/э, K_k^Q - калорийный эквивалент перевода натурального

энергоносителя k в условное топливо, $r_k^j(t)$ - доля натурального энергоносителя k в производстве э/э производителя $j \in \{TЭС, TЭЦ\}$, $\sum_k r_k^j(t) = 1$, B_j - характеристика удельного расхода условного топлива на единицу отпуска (выработки) э/э производителя j .

Шаг дискретизации по времени в модели краткосрочного прогноза примем равным одному месяцу. Тогда t_i – номер календарного месяца расчетного года, а принимая во внимание неизменность во времени распределения долей натуральных энергоносителей k в производстве э/э, получаем прямо пропорциональную зависимость динамики прироста цены $Ц_{TЭС}(t)$:

$$\frac{dЦ_{TЭС}(t)}{dt} = \frac{d\left(\frac{Ц_y^{nm}(t)}{K_y^Q} r_y^{TЭС}(t) + \frac{Ц_m^{nm}(t)}{K_m^Q} r_m^{TЭС}(t)\right)}{d(c_y Ц_y^{nm}(t) + c_m Ц_m^{nm}(t))} B_{TЭС} =$$

Заменяя левую и правую части разностными выражениями получим:

$$\begin{aligned} Ц_{TЭС}(t_{i+1}) = Ц_{TЭС}(t_i) + c_y (Ц_y^{nm}(t_{i+1}) - Ц_y^{nm}(t_i)) + \\ c_m (Ц_m^{nm}(t_{i+1}) - Ц_m^{nm}(t_i)) \end{aligned} \quad (3)$$

где $c_y = \frac{r_y^{TЭС}}{K_y^Q} B_{TЭС}$, $c_m = \frac{r_m^{TЭС}}{K_m^Q} B_{TЭС}$ - коэффициенты пропорциональности приведенной доли расхода угля и мазута в технологическом процессе производства э/э ТЭС, $r_y^{TЭС} + r_m^{TЭС} = 1$.

Аналогично для $Ц_{TЭЦ}(t)$, получаем

$$\begin{aligned} Ц_{TЭЦ}(t_{i+1}) = Ц_{TЭЦ}(t_i) + \partial_z (Ц_z^{nm}(t_{i+1}) - Ц_z^{nm}(t_i)) + \\ \partial_m (Ц_m^{nm}(t_{i+1}) - Ц_m^{nm}(t_i)) \end{aligned} \quad (4)$$

где $\partial_z = \frac{r_z^{TЭЦ}}{K_z^Q} B_{TЭЦ}$, $\partial_m = \frac{r_m^{TЭЦ}}{K_m^Q} B_{TЭЦ}$ - коэффициенты пропорциональности приведенной доли расхода газа и мазута в технологическом процессе производства э/э ТЭЦ, $r_z^{TЭЦ} + r_m^{TЭЦ} = 1$.

Подставляя выражения (2), (3), (4) в (1) для интервала прогнозирования t_{i+1} , получим:

$$\begin{aligned} Ц_{прог}^{ок}(t_{i+1}) = Ц_{TЭС}(t_i) K_{TЭС}^Э(t_{i+1}) + Ц_{TЭЦ}(t_i) K_{TЭЦ}^Э(t_{i+1}) + Ц_A(t_{i+1}) K_A^Э(t_{i+1}) + \\ \Delta Ц_y^{nm}(t_{i+1}) + \Delta Ц_z^{nm}(t_{i+1}) + \Delta Ц_m^{nm}(t_{i+1}) \end{aligned} \quad (5)$$

Выражения для $\Delta Ц_y^{nm}(t_{i+1})$, $\Delta Ц_z^{nm}(t_{i+1})$, $\Delta Ц_m^{nm}(t_{i+1})$, представляют собой зависимости динамики прироста цен на энергоносители за расчетный период:

$$\begin{aligned} \Delta Ц_y^{nm}(t_{i+1}) &= c_y K_{TЭС}^Э(t_{i+1}) (Ц_y^{nm}(t_{i+1}) - Ц_y^{nm}(t_i)), \\ \Delta Ц_z^{nm}(t_{i+1}) &= \partial_z K_{TЭЦ}^Э(t_{i+1}) (Ц_z^{nm}(t_{i+1}) - Ц_z^{nm}(t_i)), \\ \Delta Ц_m^{nm}(t_{i+1}) &= (c_m K_{TЭС}^Э(t_{i+1}) + \partial_m K_{TЭЦ}^Э(t_{i+1})) (Ц_m^{nm}(t_{i+1}) - Ц_m^{nm}(t_i)). \end{aligned}$$

Таким образом, для расчета получена дискретная модель в виде соотношения (5), с помощью которого при использовании фактических значений

$C_{TЭС}(t_i)$, $C_{TЭЦ}(t_i)$ и установленных Регулятором рынка значений средневзвешенных цен $C_y^{hm}(t_i)$, $C_z^{hm}(t_i)$, $C_m^{hm}(t_i)$ текущего месяца, а также рассчитанных прогнозных значений $K_{TЭС}^э(t_{i+1})$, $K_{TЭЦ}^э(t_{i+1})$, $K_A^э(t_{i+1})$, $C_A(t_{i+1})$, $C_y^{hm}(t_{i+1})$, $C_z^{hm}(t_{i+1})$, $C_m^{hm}(t_{i+1})$ можно определить значение прогнозной величины оптовой цены покупки э/э на последующий месяц t_{i+1} .

2. Расчетно-экспериментальное исследование. Проведено расчетно-экспериментальное исследование с целью определения степени адекватности предложенной модели для разработки краткосрочного прогноза оптовой цены покупки э/э в зависимости от изменения цен на основные энергоносители - газ, уголь, мазут. Проведен анализ степени влияния составляющих в общем балансе формулы (5), а также динамики поведения каждой составляющей от изменения цен на основные энергоносители и возможные направления упрощения полученной зависимости с приемлемой степенью адекватности получаемого прогноза к фактическим значениям по критерию MAPE (MPE).

Заключение. Анализ формулы (1) показал, что расчет оптовой цены зависит от двух типов составляющих - цены за отпуск э/э от определенного вида производителей (генерации) и доли отпущенной э/э каждым производителем в общем балансе. Первая составляющая $C_j(t)$ напрямую зависит от затрат, и следовательно, от цены на энергоносители, используемые в технологическом процессе производства э/э, а вторая $K_j^э(t)$ - от структуры электропотребления, которая складывается на рынке и в итоге влияющая на структуру генерации э/э. Через структуру генерации последняя составляющая косвенным образом зависит от цен на энергоносители, т.к. регулятор ОРЭ при выборе структуры генерации учитывает ценовые заявки производителей э/э. Проведенный анализ факторов, оказывающих существенное влияние на формирования прогноза оптовой цены покупки э/э, позволяет сделать предположение, что основной тренд динамики оптовой цены будет складываться из: тренда, обеспечивающего потребности производства страны (народного хозяйства) и населения (ЖКХ), тренда сезонности в генерации э/э, случайных факторов, к которым следует в первую очередь отнести температуру и освещенность.

1. *Борукаев З.Х.* Моделирование динамики энергорынка в условиях изменения цен на рынках энергоносителей. Часть 1. Общая формулировка задачи/ Борукаев З.Х., Остапченко К.Б., Лисовиченко О.И.//Модельовання та інформаційні технології/Збірник наукових праць/ПІМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України.- Київ, 2014.- Вип.73.- С.139-146.
2. *Борукаев З.Х.* Модели для определения прогнозной оптовой цены покупки электроэнергии в условиях изменения цен на рынках энергоносителей /Борукаев З.Х., Остапченко К.Б., Лисовиченко О.И.//Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління».- 2015.- №2(26).- С.35-43.
3. *Борукаев З.Х.* Анализ взаимосвязи данных динамики энергорынка с изменениями цен на рынках энергоносителей/Борукаев З.Х., Остапченко К.Б., Лисовиченко О.И.//Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління».- 2015.- №1(26).- С.85-101.
4. *Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики України № 921 від 12.09.2003 «Про затвердження Правил Оптового ринку електричної енергії України в редакції, затвердженій Радою ринку від 4 вересня 2003р.».*

В. Л. Верещагин,

Л. А. Верещагин, канд. техн. наук,

Т. И. Прилипко, канд. физ.-мат. наук,

Научно-инновационная Лаборатория «Динамические модели», Центр «Моделирование физических полей и потоков», Центр «Специализированные музейные информационные технологии». E-mail: dml_@ukr.net, dml_vl@ukr.net

ПРИНЦИПЫ ДИДАКТИКИ Я. А. КОМЕНСКОГО И МЕТОДЫ АНАЛОГИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ В ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ СОВРЕМЕННОЙ МУЗЕЙНОЙ ПЕДАГОГИКИ

The approach in the creation of specialized information technology modern museum pedagogy based on the use of the classic principles of didactics J. A. Comenius and analogies and modeling methods in combination with a physically real objects of museum exhibitions.

Ключевые слова: моделирование, информационные технологии, музейная педагогика.

Введение. Музейная педагогика как одна из форм реализации образовательной функции музеев основана на использовании наряду с классическими принципами дидактики [1] дополнительных возможностей музейных экспозиций. В виде отдельного направления музейная педагогика развивается с начала прошлого века, а в последние десятилетия привлекает все большее внимание в качестве одной из перспективных стратегий развития образования [2-4]. Это обусловлено, в частности, усложнением и формализацией школьных и университетских программ и методик обучения, что приводит к отдалению учащихся от осознания связей изучаемых законов природы с реальной действительностью и не способствует формированию навыков практического использования получаемых знаний (чему способствует также и распространение виртуальных развлечений и массовая «гаджетомания»).

Принципы Я. А. Коменского и методы аналогий и моделирования в музейной педагогике. Эти принципы и методы в определенной степени используются при изучении естественных наук, например, в виде экспериментов на основе лабораторных физических моделей и демонстрационных стендов, а в последние годы также и компьютерного моделирования, в частности, в форме анимационных сюжетов визуализации изучаемых явлений и процессов. Однако, использование только таких образовательных технологий объективно приводит к отдалению учащихся от реальной действительностью, не формирует навыки практического использования получаемых знаний и, в конечном итоге, обуславливает несоответствие уровня выпускников колледжей и университетов требованиям эффективной профессиональной деятельности в современных условиях.

Вместе с тем, еще Ян Амос Коменский в гениальной «Великой дидактике», формулируя известное «Золотое правило дидактики» отмечал: «Итак, то, что будет представляться юношеству для изучения, пусть будут вещи, а не тени вещей, вещи, говорю я, плотные, подлинные, полезные, хорошо действующие на чувство и воображение.» [1, стр. 207] .«Все — через наблюдение. Поэтому пусть будет для учащихся Золотым правилом - все, что только можно предоставлять для восприятия чувствами, а именно, видимое — для восприятия зрением, слышимое - слухом, запахи — обонянием, подлежащее вкусу — вкусом, доступное осязанию — путем осязания. Если какие-либо предметы сразу можно

воспринять несколькими чувствами, пусть они сразу схватываются несколькими чувствами . . .» [1, стр. 207-208].

Эти фундаментальные положения многократно подтверждаются как работами в области анализа проблем и стратегий развития образования [2-4] и некоторыми традиционно простейшими методиками на уровне самостоятельных школьных музеев [5], так и разработками рассматриваемых ниже специализированных музейных информационных технологий и систем, а также результатами их внедрения и использования в сфере практической музейной педагогики [6-17].

Принципы создания специализированных информационных технологий музейной педагогики. В развитии современной музейной педагогики представляется целесообразным подход, основанный на сочетании приведенных выше принципов «Золотого правила дидактики» Я. А. Коменского [1] и синергизма возможностей классических методов аналогий и моделирования [6-10] – физического, электронного, компьютерного, - и возможностей современных информационных технологий и систем, интегрированных в специфическую среду музейных экспозиций [7-16].

При этом, принципиально важным аспектом рассматриваемого подхода является предпочтительное использование физически реальных объектов, представленных в качестве экспонатов в музейных экспозициях и включенных в предметно ориентированные и/или междисциплинарные методики демонстрации и изучения основ естественных наук в условиях музеев. Наряду с этим, целесообразность активного участия посетителей в проведении демонстраций и экспериментов обуславливает актуальность решения задач разработки систем и средств мониторинга и предупреждения несанкционированных действий участников экспериментов в пространственных зонах размещения соответствующих экспонатов, а в случаях особо ценных или крупногабаритных физически реальных экспонатов оптимальным решением является разработка физических моделей таких экспонатов или физических моделей фрагментов экспонатов, используемых в экспериментах. При разработке и практической реализации таких физических моделей необходимо формирование и соблюдение критериев геометрического подобия как в отношении геометрических параметров, определяющих существенные элементы формы моделируемого фрагмента, так и его пространственной ориентации относительно соответствующего фрагмента физически реального объекта, представленного в качестве экспоната музея.

Тематические направления и примеры разработок информационных технологий музейной педагогики. На основе данного подхода разработан ряд специализированных музейных информационных технологий, систем, средств и методик, которые внедрены и успешно используются в практической работе музеев [7-16], а ряд специализированных информационно-коммуникационных технологий и методик музейной педагогики в настоящее время разрабатываются с ориентацией на использование физически реальных экспонатов нескольких музеев природоведческого, исторического и технического профилей.

К этим разработкам относятся, в частности, следующие специализированные комплексы музейной педагогики.

Демонстрационные комплексы, предназначенные для изучения принципов действия оптических приборов и соответствующих физических явлений и эффектов, могут формироваться посредством включения в их состав (как раздельно, так и в различных сочетаниях) физически реальных образцов приборов, представленных в качестве экспонатов, физических моделей этих приборов, а также электронных и компьютерных демонстрационных модулей.

Комплекс демонстрации и изучения динамики изменений параметров среды экспозиционного помещения музея предназначен для иллюстрации в реальном времени результатов воздействий на состояние воздушной среды антропогенных факторов при посещении этого помещения группой экскурсантов. Подобные режимы в виде циклических возмущающих воздействий на основные параметры микроклимата экспозиционных помещений характерны для работы музеев в режимах «потоки групп посетителей», а демонстрация изменений текущих значений температуры и относительной влажности воздушной среды конкретного помещения является весьма наглядной и позволяет анализировать как соответствующие физиологические аспекты (например, с представлением информации о значениях тепло- и влаговыделений человека), так и рассматривать принципы и проблемы поддержания параметров микроклимата музейных экспозиционных помещений, что весьма важно для обеспечения сохранности экспонатов [12-15].

Комплекс формирования и демонстрации эффектов полисенсорных воздействий предназначен для использования в условиях экспозиций музеев природоведческого профиля и основан на реализации принципов физического и компьютерного моделирования с управлением режимами воздействий, формируемых с учетом особенностей различных контингентов посетителей, в частности, с ориентацией на лиц с ограниченными возможностями [16].

Демонстрационно-учебный комплекс изучения физических принципов создания подъемной силы крыла самолета предназначен для иллюстрации основ формирования фактически базового фактора, обеспечившего возможность полетов аппаратов тяжелее воздуха и достижения современного уровня развития авиации. При этом, ряд модулей этого комплекса может быть выполнен для режимов постоянного или периодического использования в условиях экспозиций не только в зданиях музеев или в ангарах, но и на открытом воздухе, что характерно для технических музеев и музеев авиации.

Заключение. Сочетание в специализированных информационных технологиях современной музейной педагогики возможностей методов аналогий и моделирования и возможностей музейных экспозиций обеспечивает наглядность обучения благодаря воздействиям именно реальных «вещей» - по Я. А. Коменскому - « . . . на чувство и воображение. А действовать они будут в том случае, если их пододвинуть настолько близко, чтобы они производили на нас впечатление.» [1, стр. 207]. Это позволяет создать условия для активного участия посетителей музея в реализации методик демонстрации и изучения физических принципов функционирования различных видов техники, в частности, непосредственно в зонах размещения в музейных экспозициях

физически реальных объектов, что повышает интерес учащихся к изучаемым дисциплинам, способствует формированию практических навыков использования теоретических знаний и является эффективным дополнением традиционных программ школ, колледжей и университетов.

1. *Коменский Я. А.* Великая дидактика. - Государственное Учебно-педагогическое издательство Наркомпроса. - Т. I - РСФСР. - 1939.
2. *Kratz S., Merrit E.* Museums and the Future of Education. - <http://www.aam-us.org/docs/default-document-library/on-the-horizon-web-version.pdf>.
3. *Golding V.* Learning at the Museum Frontiers: Identity, Race and Power. Surrey, 2009.
4. *Голдинг В.* Коммуникация и образование в музеях XXI века: опыт центра по изучению музеев и галерей. - Вопросы музеологии. № 1, 2010.
5. *Караманов О. В.* Музейна педагогіка в навчально-виховному процесі загальноосвітньої школи. - Освіта та педагогічна наука № 3 (152), 2012. – С. 5-12.
6. *Уемов И. А.* Аналогия и модель. – Вопросы философии. № 3, 1962.
7. *Верещагин В. Л., Верещагин Л. А., Прилипко Т. И.* Моделирование в музейных информационных технологиях: задачи, методы, опыт разработок автоматизированных систем. – Матеріали міжнародної наукової конференції «SIMULATION-2010». Київ, 12-14 травня 2010 року. – Том 1. – С. 218-225.
8. *Верещагин В. Л., Верещагин Л. А.* Междисциплинарные модели функционирования современных музеев как автоматизированных информационных эргатических комплексов. – Матеріали міжнародної наукової конференції «SIMULATION-2012». Київ, 16-18 травня 2012 року. – С. 129-132.
9. *Верещагин В. Л., Верещагин Л. А.* Методи аналогій та ередитарного моделювання як міждисциплінарні методологічні засади створення спеціалізованих музейних інформаційних систем. - Праці Науково-дослідного інституту пам'яткоохоронних досліджень. - Випуск 9. - Розділ II. Матеріали міжнародної наукової конференції "Методичні проблеми пам'яткоохоронних досліджень", 25-26 квітня 2013 року. – Київ – 2014 - С. 332-336.
10. *Верещагин В. Л., Верещагин Л. А.* Методи ередитарного моделювання потокових процесів та принципи їх застосування при створенні спеціалізованих музейних інформаційних технологій// Матеріали ІХ-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції «Український технічний музей: історія, досвід, перспективи». Севастополь. - 2013.
11. *Верещагин В. Л.* Особливості створення та досвід використання мультифункціональних музейних автоматизованих інформаційних систем // Матеріали ІХ-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції «Український технічний музей: історія, досвід, перспективи». Севастополь. - 2013.
12. Патент України 97047, МПК(2011.01) F24F11/00. Спосіб моделювання та оптимізації режимів моніторингу мікроклімату, зокрема, в приміщеннях музеїв або художніх галерей // В. Л. Верещагин, Л. А. Верещагин. Опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24.
13. Патент України 97048, МПК(2011.01) G05B17/00. Спосіб моделювання та моніторингу режимів функціонування музею-панорами, зокрема, режимів художнього полотна музею-панорами/ В. Л. Верещагин, Л. А. Верещагин. Опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24.
14. *Верещагин Л. А., Верещагин В. Л.* Эредитарно-интегральные и пространственно-градиентные аспекты моделирования и мониторинга микроклимата музеев. - 3-я Міжнародна наукова конференція «Технічний музей: історія, досвід, перспективи». 24-26 травня 2012 р. - Київ. – 2012.
15. *Верещагин В. Л.* Принципы анализа и мониторинга влияния динамики внешних метеоусловий на формирование микроклимата помещений музеев. - 3-я Міжнародна наукова конференція «Технічний музей: історія, досвід, перспективи». - 24-26 травня 2012 року. - Київ. – 2012.
16. *Верещагин В. Л.* Досвід створення та впровадження спеціалізованих музейних інформаційних технологій у музеях природничої спрямованості // ІV Міжнародна наукова конференція «Природничі музеї та їх роль в освіті і науці», 27-30 жовтня 2015 року. - Київ. - Ч. 2.- С. 19-21.

С.Д. Винничук, д-р техн. наук
Ин-т проблем моделирования в энергетике
им. Г. Е. Пухова НАН Украины
(Украина, 03164, Киев, ул. Генерала Наумова, 15,
тел.(044) 4249171, E-mail: wynnychuk@i.ua)

Модели и компьютерные средства для оценки эффективности противоаварийной частотной автоматики при возникновении значительных внезапных дефицитов активной мощности в энергосистеме

Постановка задачи. Одной из актуальных задач для современных электроэнергетических систем (ЭС) является обеспечение их устойчивой работы при возникновении внезапных небалансов активной мощности. Появление таких небалансов приводит к переходному частотному процессу, что может приводить к частотным авариям, когда возможен раздел ЭС на автономно работающие части или полное погашение части ЭС. Такие аварии происходили в Украине (1996 и 2001 г.), Италии (2003 г.), США (2003 г.), в объединении УСТЕ (2006 г.) и др. Они сопровождались отключением нагрузки многих потребителей.

Для обеспечения работы энергосистемы при внезапных небалансах мощности в ЭС предусматривается различная системная частотная противоаварийная автоматика (ПА). Условия для работы ее составляющих в значительной степени определяются величиной небаланса

$$\Delta P\% = (P_n - P_{ген}) / P_n \cdot (100\%), \quad (1)$$

где P_n – активная мощность нагрузки, $P_{ген}$ – активная мощность генерации.

В зависимости от соотношения между P_n и $P_{ген}$ различают автоматику ограничения снижения частоты (АОСЧ), когда $P_n > P_{ген}$ (возникает дефицит мощности генерации), и повышения частоты (АОПЧ), когда $P_n < P_{ген}$. В настоящей статье рассматриваются составляющие АОСЧ, задачей которых является сохранение работоспособности системы при возникновении значительных дефицитов активной мощности ($\Delta P\% > 30\%$). К ним относятся: автоматическая частотная разгрузка (АЧР), частотное автоматическое повторное включение нагрузок потребителей (ЧАПВ), частотная делительная автоматика (ЧДА). Хотя система АОСЧ включает и другие составляющие, но именно от функционирования АЧР, ЧАПВ и ЧДА в определяющей степени зависит сохранение работоспособности ЭС. Поэтому важно иметь возможность оценить эффективность их совместной работы. Такие исследования невозможно провести на основании экспериментов в ЭС, поскольку это связано со значительными материальными потерями. Поэтому для анализа эффективности функционирования АЧР, ЧАПВ и ЧДА при значительных дефицитах активной мощности здесь использованы специализированные модели и компьютерные программы. Результаты анализа представлены в настоящей статье.

Математическая модель переходного частотного процесса. Качество оценки об эффективности функционирования АЧР, ЧАПВ и ЧДА при математическом моделировании процессов изменения частоты в энергосистеме в условиях возникновения значительных дефицитов активной мощности и с учетом действия автоматик АЧР, ЧАПВ и ЧДА в определяющей степени зависит от

качества математической модели. Требования к таким моделям представлены в работах [1,2] и многих других публикациях. Их суть в следующем:

- математическая модель должна позволять получать зависимости изменения частоты в электрической системе во время после возникновения в ней аварийных небалансов активной мощности, вызывающих существенное снижение частоты и последующее за этим действие устройств частотной ПА. Качество получаемых при этом результатов должно быть пригодно для надежной оценки принятой настройки составляющих частотной ПА с точки зрения регламентируемых отклонений частоты в переходном процессе и регламентируемой длительности пребывания частоты в заданном частотном диапазоне;
- модель должна быть динамической, но не обязана быть подобной моделям, используемым для расчетов электромеханических переходных процессов, характеризующихся колебательной и апериодической составляющими.

К сожалению, в большинстве динамических моделей режимы работы сети рассчитываются как квазистационарные. Поэтому такие модели не позволяют описывать изменение частоты в произвольной точке ЭС и не могут использоваться для описания длительных частотных переходных процессов, когда учет апериодической составляющей является актуальным. Тогда в качестве динамической модели изменения частоты в ЭС с таким же успехом можно использовать одноузловую модель, если все генераторы заменить одним эквивалентным по генерируемой мощности, статическим частотным характеристикам (СЧХ) нагрузки и генераторов, коэффициенту инерции турбин T_j , а также единому значению коэффициента инерции нагрузки T_n . Вариант такой модели динамического изменения частоты (f) в ЭС, представленной зависимостью

$$\frac{df}{dt} = \frac{(P_{ген} - P_n) \cdot f}{P_{ген} \cdot T_j + P_n \cdot T_n} = \frac{-0.01 \cdot \Delta P\% \cdot f}{T_j + T_n - 0.01 \cdot \Delta P\% \cdot T_j}, \quad (2)$$

которая построена на основании работ [1, 3], исследовался в работе [2]. На основании сравнения результатов математического моделирования с данными экспериментальных исследований для модели (2) было установлено, что

- в режиме снижения частоты имеют место существенные отличия в скорости частоты изменения в разных точках ЭС, но на протяжении значительного диапазона времени (0-1,5 с. от момента возникновения дефицита) среднее значение скорости изменения частоты f'_{cp} , определяемое по графикам рис. 5-7 работы [4] для разных точек измерения, в большинстве случаев близко к ее среднему значению для аналогичных режимов при моделировании по одноузловой модели;
- на промежутке времени примерно 0-1,0 с. от момента возникновения дефицита влияние частотного коэффициента нагрузки в одноузловой модели не является существенным;
- одночастотная одноузловая модель частотных динамических процессов описывает изменение средней скорости снижения частоты для режимов со значительными дефицитами активной мощности в энергосистеме. Она может быть использована для оценки f'_{cp} в случае компактных ЭС.

На основании модели (2) с учетом правил функционирования устройств АЧР были разработаны ряд экспериментальных компьютерных приложений для исследований функционирования автоматик АЧР и ЧАПВ в ЭС (включая все

составляющие АЧР, выделяемые в Украине, а именно очереди АЧР1, АЧР2н, АЧР2с), очереди ЧАПВ, связанные с соответствующими очередями АЧР, где дополнительно возможно анализировать работу очередей АЧРС, как второго пуска для очередей АЧР1, дополнительной аварийной разгрузки по скорости снижения частоты (ДАРС), а также учета особенностей функционирования блоков АЭС в условиях пониженной частоты. На основании анализа структуры частотой ПА и численных экспериментов с моделями было установлено следующее.

1. Для существующей в Украине системы частотной ПА целесообразной является повышение нижней уставки АЧР, которая в настоящее время составляет 47.2 Гц, что связано с наличием турбин, работа которых при частоте ниже 47.5 Гц не допускается. Существует и более новое поколение турбогенераторов с повышенным КПД, работа которых допускается при частоте выше 48 Гц. Если в ходе ликвидации частотной аварии устройствами АЧР1 частота будет понижаться ниже допустимой для турбогенераторов, то параллельно с отключением активной мощности нагрузок будут уменьшаться и генерируемая активная мощность, что может сделать работу АЧР неэффективной.
2. При значительных дефицитах активной мощности и больших значениях скорости снижения частоты (2 Гц/с и более) эффективным оказывается использование АЧРС, как второго пуска для очередей АЧР1, где скорость изменения частоты должна определяться не по мгновенным ее значениям, а по изменению частоты за фиксированный промежуток времени.

Частотная противоаварийная автоматика - это комплекс системных автоматик, включающий ряд автоматик. Однако в случае возникновения значительных дефицитов активной мощности, сопровождающихся резким и глубоким снижением частоты, часть из таких автоматик практически не влияет на ход частотного процесса. Кроме того, исходя из гипотезы, что возникновение значительных дефицитов активной мощности невозможно во всей энергосистеме, а только в ее части, которая не содержит энергоблоки АЭС, достаточно учесть действие АЧР, ЧДА и ЧАПВ для ТЭС и ТЭЦ. При анализе вариантов возможного хода аварийного процесса снижения частоты, сопровождающихся отделением энергоблоков ТЭС или ТЭЦ, рассмотрены три основных модели выделения:

1. отделение электростанции на питание выделенного района согласно условиям первого из степеней ЧДА при срабатывании всех очередей АЧР1 (селективное действие автоматик АЧР и ЧДА)
2. отделения электростанции согласно условиям первого из степеней ЧДА при срабатывании части из очередей АЧР1 (неселективное действие автоматик АЧР и ЧДА).
3. отделения электростанции согласно правилам отработки ЧДА второй ступени при срабатывании всех очередей АЧР2н и части из очередей АЧР1.

Установлено, что к числу факторов, существенно влияющих на успешность выделения электростанции относятся:

- часть нагрузки выделенного района, заведенного под действие АЧР;
- уставки времени задержки для очередей АЧР2н;
- алгоритм работы ЧАПВ;

- равномерность распределения между очередями АЧР задействованного объема нагрузки;
- полнота информации о СЧХ нагрузки и генерации;
- относительно большой объем генерируемой мощности одного блока электростанции и проблематичность обеспечения рекомендованного 5-10-и процентного превышения генерации над нагрузкой после отделения;
- значительные разрывы в величине отключенной активной мощности генерации автоматикой контроля за перетоками из-за относительно большого объема генерируемой мощности одного блока электростанции;
- неопределенность с относительной долей нагрузки, заведенной под действие очередей АЧР, которая фактически может быть отключена.

На основе проведенных исследований установлено следующее:

1. Учитывая, что в реальном процессе ведения режима невозможно установить часть нагрузки, заведенной под действие очередей АЧР, которое фактически может быть отключено, одного использования автоматики отключения активной мощности генерации по КПП недостаточно для обеспечения успешного выделения электростанции на питание собственных нужд и нагрузки района.

2. Из анализа данных расчетов режимов следует, что алгоритм работы устройств ЧАПВ нельзя считать корректным. При значительном времени задержки имеет место существенный рост частоты при излишках генерации порядка 20 и более процентов. В дальнейшем для частотного процесса характерно избыточное подключение нагрузки, из-за чего частота снижается ниже уставок по частоте ряда очередей АЧР, что может приводить к колеблющимся частотным процессам.

Дальнейшие исследования показали, что успешность выделения ТЭС и ТЭЦ на питание выделенного района и собственных нужд становится более успешным, если дополнительно использовать данные о скорости изменения частоты для формирования правил срабатывания устройств очередей ЧАПВ.

Приведенные результаты исследований и сделанные выводы относятся к вопросам ликвидации аварийных режимов со значительными дефицитами активной мощности в компактных ЭС. Вопрос же организации частотной ПА для распределенной электроэнергетической системы требует отдельного изучения.

1. Герих В.П., Логвинов Н.П. О математической модели автоматической частотной разгрузки для исследования переходных процессов в электрической системе. //Новое в Российской энергетике. Электронный журнал. " Энерго-пресс" - №7. – 2002.
2. Винничук С.Д. Проблемы организации частотной противоаварийной автоматики по скорости изменения частоты в компактных энергосистемах. // Электрические сети & системы. - № 4. – 2013. – С 60-65
3. Рабинович Р.С. Автоматическая частотная разгрузка энергосистем. М, Энергоатомиздат, 1989.
4. ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ «Разработка методики настройки совместно двух систем АЧР, существующей и адаптивной с пуском по скорости снижения частоты». «ПРОГРАММА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВМЕСТНОЙ НАСТРОЙКИ АЧР-С И АЧР ПО ОТКЛОНЕНИЮ ЧАСТОТЫ. МОДЕЛЬ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ В СОСТАВЕ ЦАФК ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ НАСТРОЙКИ АЧР». Санкт-Петербург, НИИПТ, 2006. – 72 с.

Н.У. Утеулиев¹⁾ д. ф-м наук,

И.Х. Сиддиков²⁾ канд. техн. Наук,

Р.Ж. Алламуратов²⁾ ассистент,

¹⁾Нукусский филиал Ташкентского университета информационных технологий, профессор кафедры информационных технологий

Тел: (8361) 222-49-10 E-mail: utewlievn@mail.ru

²⁾Кафедры информационные технологии в управлении

Ташкентского технического университета имени А.Р.Беруни

Узбекистан, Ташкент, ул. Университетская 2

Тел: (+99897) 776-84-24 E-mail: d_kh_2011@mail.ru

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КАРБОНИЗАЦИИ КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДЫ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Abstract: The results of the formalization process of carbonation of soda ash as a control object. The result produced by the formalization of the system highlighted the main factors and developed an information model of the process. We present the transfer function matrix of the object on the main transmission channels.

Ключевые слова: процесс карбонизации кальцинированной соды, информационная модель, математическая модель, матричная передаточная функция.

Процесс карбонизации является основным процессом в производстве кальцинированной соды и его протекание оказывает значительное влияние на качественные показатели содовых продуктов. В настоящее время управление процессом карбонизации осуществляется с помощью локальных автоматических систем регулирования [1]: управление отбором суспензии из карбонизационной колонны, регулирование температуры, выходящей из карбонизационной колонны суспензии, регулирование уровня в карбонизационной колонне, поддержание заданной степени предварительной карбонизации. Исследования показали, что разработанные ранее математические модели процесса карбонизации не объясняют многие качественные и количественные явления в ходе протекания технологических процессов. В карбонизационной колонне непрерывного типа концентрация каждого реагента в результате химических превращений значительно изменяется в каждом сечении. Для учета этих особенностей в работе предлагается разработать гибридную кинетическую нейросетевую модель процесса, позволяющую учитывать неопределенность факторов, влияющих на ход технологического процесса и оперативного определения показателей качества продукции для целей поддержания режимов, близких к оптимальным, полученным на этапе предварительного изучения процесса.

Известно [2-3], что карбонизационная колонна представляет собой многомерный объект управления, в котором не все параметры могут быть измерены в оперативном режиме.

Технологический процесс карбонизации как объект управления имеет четыре вектора значений характерных параметров (рис. 1). \bar{X} – вектор значений параметров на входе в систему (расход и компонентный состав сырья, его температура, давление, конструктивные особенности аппаратуры и т.д.), \bar{Y} – вектор значений параметров на выходе из системы (количество и качество конечных продуктов), \bar{Z} – вектор значений параметров возмущения (независимые внешние воздействия на систему, например, температура окружающей среды, скорость ветра, и переменные, связанные с особенностями

функционирования системы, например, дезактивация катализатора в ходе его эксплуатации, отложение примеси на поверхности теплообменной аппаратуры, приводящее к снижению коэффициента теплопередачи, а также незначительные изменения значений параметров, входящих в вектор \bar{X} (например, колебания расхода сырья во времени)), \bar{U} – вектор значений параметров управления процессом (температура, давление, теплоподвод, теплосъем, расход катализатора или реагента и т.д).

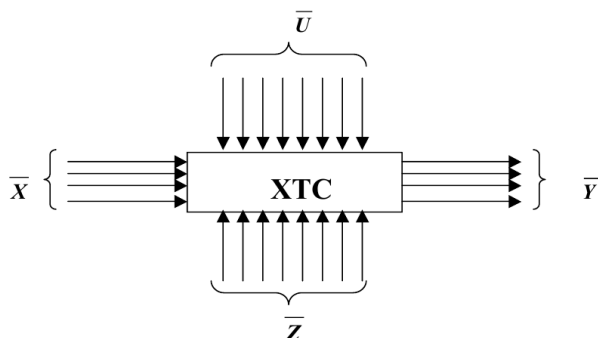


Рис. 1. Структура параметров химико-технологической системы.

На основе изучения технологического процесса карбонизации составлена информационная модель в развернутом виде (рис. 2.), которая является основой составления математической модели процесса.

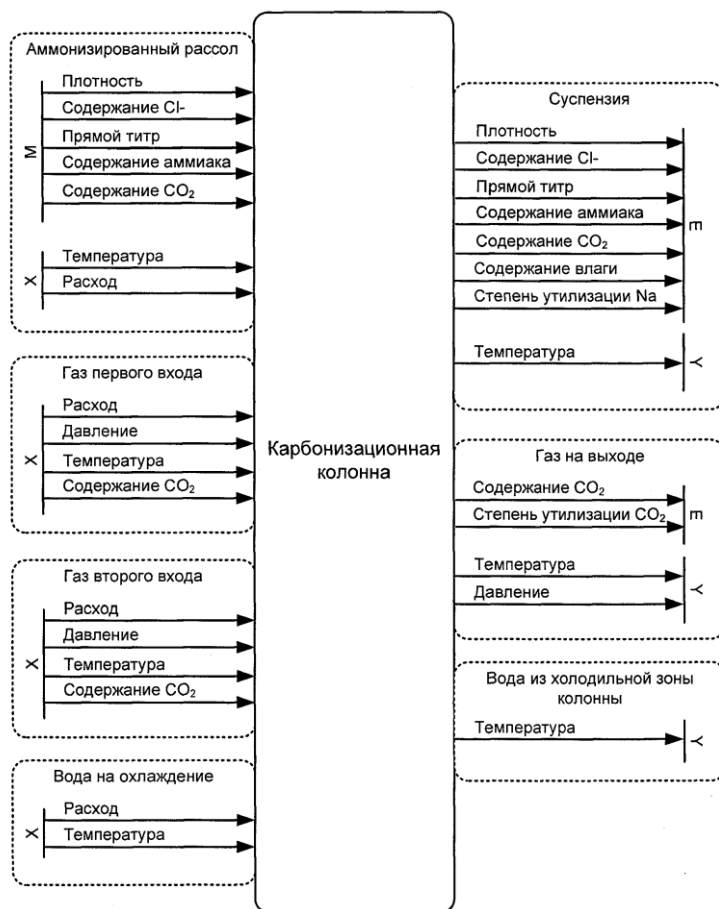


Рис. 2. Информационная модель процесса карбонизации.

Важным моментом при управлении рассматриваемым процессом является учет взаимовлияния параметров. С этой целью требуется построить математическую модель процесса.

Математическая модель формируется на базе математического описания процессов в общем случае в форме систем алгебраических, дифференциальных и интегральных уравнений, связывающих вектор значений параметров выхода \bar{Y} с остальными векторами:

$$\bar{Y} = f(\bar{X}, \bar{Z}, \bar{U}).$$

Передачная функция карбонизационной колонны как многосвязного объекта управления в общем виде имеет вид:

$$W_0(s) = \begin{pmatrix} W_{11}^0(s) & W_{12}^0(s) & W_{13}^0(s) & W_{14}^0(s) & W_{15}^0(s) \\ W_{21}^0(s) & W_{22}^0(s) & W_{23}^0(s) & W_{24}^0(s) & W_{25}^0(s) \\ W_{31}^0(s) & W_{32}^0(s) & W_{33}^0(s) & W_{34}^0(s) & W_{35}^0(s) \\ W_{41}^0(s) & W_{42}^0(s) & W_{43}^0(s) & W_{44}^0(s) & W_{45}^0(s) \\ W_{51}^0(s) & W_{52}^0(s) & W_{53}^0(s) & W_{54}^0(s) & W_{55}^0(s) \end{pmatrix}.$$

Для определения передаточных функций карбонизационной колонны использовались кривые разгона по каждому каналу передач, аппроксимируя которые матричную передаточную функцию объекта можно записать в виде

$$W_0(s) = \begin{pmatrix} \frac{0.88}{37s+1} \cdot e^{-0.2s} & 0 & 0 & \frac{0.12}{64s+1} \cdot e^{-8s} & 0 \\ 0 & \frac{0.69}{45s+1} \cdot e^{-0.7s} & 0 & \frac{1.35}{31s+1} \cdot e^{-3.9s} & \frac{1.24}{41s+1} \cdot e^{-17s} \\ 0 & 0 & \frac{0.71}{41s+1} \cdot e^{-0.9s} & \frac{1.29}{26s+1} \cdot e^{-4.2s} & \frac{1.15}{48s+1} \cdot e^{-5.1s} \\ \frac{-0.23}{42s+1} \cdot e^{-13s} & 0 & 0 & \frac{0.66}{214s+1} \cdot e^{-67s} & \frac{-0.17}{21s+1} \cdot e^{-16s} \\ \frac{1.81}{44s+1} \cdot e^{-7.2s} & 0 & 0 & \frac{-0.11}{37s+1} \cdot e^{-0.5s} & \frac{2.67}{153s+1} \cdot e^{-61s} \end{pmatrix}.$$

Имитационный эксперимент на MatLab (пакет Simulink) показал адекватность полученной модели процессу. Построенная математическая модель является основой изучения динамических свойств процесса и даёт возможность оптимизировать режимы работы карбонизационной колонны.

1. Афанасенко А.Г., Гнатенко Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация процесса карбонизации аммонизированного рассола // Математическое моделирование. 2008. №8. –с. 105–110.
2. Самойлов Н.А. Моделирование в химической технологии и расчет реакторов: Учебное пособие.–Уфа: Изд-во УГНТУ, 2006. – 195 с.
3. Мустафина С.А., Балаев А.В., Смирнов Д.Ю., Спивак С.И. Моделирование каталитического процесса дегидрирования метилбутенов // Системы управления и информационные технологии, 2006. №1, –с.34–40.

Ю. Ю. Гаркуша, бакалавр, системная инженерия
Национальный технический университет Украины «КПИ»
(Украина, 03056, Киев, ул. Борщаговская 126,
тел. (098) 5027994, e-mail: yura.garik@gmail.com)

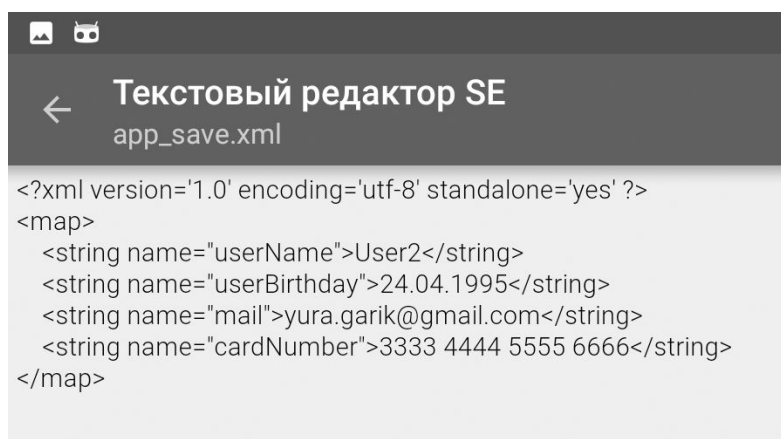
Защита от стороннего вмешательства в файлы, предназначенные для хранения наборов "ключ-значение" Android – приложений

This article is considering data privacy problem resolving by storing in SharedPreferences file objects API-interfaces, which are used to develop applications for the Android operating system. And also EncryptedSharedPreferences is developed as alternative to allow encrypted data storing.

Ключевые слова: шифрование, AES, SharedPreferences, Android, конфиденциальность данных

Введение. Основой для работы любого приложения являются данные. Их обработка и является целью использования любого программного продукта. Данные, обрабатываемые внутри приложения, как правило, хранятся в памяти устройства. Обеспечению безопасности хранения этих данных и посвящена данная статья.

Анализ существующих решений. Для хранения данных, которые используются в приложениях операционной системы Android используются API-интерфейсы SharedPreferences¹). При использовании методов SharedPreferences создается файл формата xml, в котором данные хранятся в виде пар «ключ - значение» в открытом виде, как показано на рис. 1.



```
<?xml version='1.0' encoding='utf-8' standalone='yes' ?>
<map>
  <string name="userName">User2</string>
  <string name="userBirthday">24.04.1995</string>
  <string name="mail">yura.garik@gmail.com</string>
  <string name="cardNumber">3333 4444 5555 6666</string>
</map>
```

Рис. 1 Пример хранимых в файле данных

К данным, сохраненным в таком виде, легко могут получить доступ злоумышленники, а значит данные сохраненные в файле в таком виде, могут быть похищены или отредактированы с помощью самого простого текстового редактора. Несанкционированный доступ к данным может привести к нарушению конфиденциальности данных пользователя сохраненных внутри файла.

Объект SharedPreferences указывает на файл, содержащий пары «ключ - значение» и предоставляет методы для чтения и записи данных в этот файл. Сохранение значения в файл приведено в листинге 1.

```

SharedPreferences.Editor editor = sharedPreferences.edit();
editor.putString(getString(R.string.name), userName);
editor.apply();

```

Листинг 1. Запись переменной userName в файл настроек с ключом R.string.name

Получить сохраненные в файле значения можно с помощью методов get() и set() для каждого типа данных. Получение значения по ключу из файла, созданного при помощи SharedPreferences показано в листинге 2.

```

SharedPreferences sharedPreferences = context.getSharedPreferences(
    getString(R.string.preference_file_key), Context.MODE_PRIVATE);
String value = getResources().getString(R.string.name);

```

Листинг 2. Получение значения, сохраненного в файле, по ключу R.string.name

Разработка собственного решения. Для решения проблемы безопасности хранения данных в файле был разработан собственный класс для работы с файлами под названием EncryptedSharedPreferences. Данный класс обладает такими преимуществами:

1. Созданный класс по удобству и простоте не уступает стандартному классу SharedPreferences
2. Сохранённые при помощи нового класса данные будут храниться в файле в зашифрованном виде.

Для того, чтобы алгоритм работы с новым классом был понятен разработчикам, новый класс был разработан так, что он, реализовывает методы интерфейса SharedPreferences², а это значит, что сигнатуры методов и их назначение будет аналогично тем, которые есть у методов при использовании стандартного SharedPreferences. Внутренняя реализация методов в новом классе EncryptedSharedPreferences может отличаться от той, которая есть в SharedPreferences. Эта особенность позволила применить к значению, которое записывается в файл метод encrypt(), в котором производится шифрование значения (Листинг 3).

```

@Override
public Editor putString(String key, String value) {
    byte[] valueInBytes = stringToByteArray(value);
    byte[] encryptedValueInBytes = new byte[0];
    try {
        encryptedValueInBytes = encrypt(valueInBytes);
    } catch (Exception e) {
        e.printStackTrace();
    }
    String encryptedValueInString = byteArrayToString(encryptedValueInBytes);
    delegate.putString(key, encryptedValueInString);
    return this;
}

```

Листинг 3. Переопределение метода putString () с использованием шифрования

Метод encrypt() разработан таким образом, чтобы шифровать только значение, потому что при хранении ключа в зашифрованном виде, нам потребуется

предварительная расшифровка ключа перед получением значения, что ухудшит удобство использования EncryptedSharedPreferences по сравнению со стандартным SharedPreferences.

Аналогично реализован и метод, выполняющий дешифрование данных внутри переопределенных методов, которые отвечают за возвращение значения сохраненного в файле, который был создан при помощи EncryptedSharedPreferences методы которого были реализованы с интерфейса SharedPreferences. Вызов метода дешифрации значения внутри переопределенного метода getString() показан в листинге 4.

```
@Override
public String getString(String key, String value) {
    byte[] valueInBytes = stringToByteArray(value);
    final String v = delegate.getString(key, null);
    byte[] encryptedValueInBytes = new byte[0];
    try {
        if (v != null) {
            encryptedValueInBytes = decrypt(valueInBytes);
        }
    } catch (Exception e) {
        e.printStackTrace();
    }
    return byteArrayToString(encryptedValueInBytes);
}
```

Листинг 4. Переопределение метода getString () с вызовом метода дешифрации.

Для реализации метода шифрования encrypt(), и метода дешифрования decrypt(), нужно выбрать подходящий алгоритм шифрования. После анализа существующих алгоритмов шифрования, в качестве используемого был выбран алгоритм AES со 128 битным ключом.

С момента появления в публичном доступе, стандарт шифрования AES (Advanced Encryption Standard) стал одним из наиболее часто используемых и наиболее безопасных алгоритмов доступных на сегодняшний день⁹. Алгоритм основан на нескольких заменах, подстановках и линейных преобразованиях, каждое из которых выполняется блоками по 16 байт, поэтому он называется блоковым шифром. Операции повторяются несколько раз, каждый из которых называется «раунд». В течение каждого раунда, на основе ключа шифрования вычисляется уникальный ключ раунда и встраивается в вычисления. Благодаря подобной блоковой структуре AES, изменение даже одного бита или в ключе или в текстовом блоке приводит к полному изменению всего шифра – явное преимущество относительно традиционных потоковых шифров. Разница между AES-128, AES-192 и AES-256 заключается только в длине ключа: 128, 192 или 256 бит – значительное улучшение в сравнении с 56-битовым ключом DES. Для примера: подбор 128-битного AES-ключа современным компьютером занял бы больше времени, чем предполагаемый возраст Вселенной. На сегодняшний день не существует успешных методов взлома шифров AES. Благодаря описанным преимуществам, AES остается предпочтительным алгоритмом для правительственных организаций, банков и других систем, требующих высокий уровень безопасности, по всему миру.

Реализация методов шифрования и дешифрования в классе EncryptedSharedPreferences показана на листинге 5.

```
private static byte[] encrypt(byte[] clear) throws Exception {
    SecretKeySpec secretKeySpec = new SecretKeySpec(key, "AES");
    Cipher cipher = Cipher.getInstance("AES");
    cipher.init(Cipher.ENCRYPT_MODE, secretKeySpec);
    return cipher.doFinal(clear);
}

private static byte[] decrypt(byte[] encrypted) throws Exception {
    SecretKeySpec secretKeySpec = new SecretKeySpec(key, "AES");
    Cipher cipher = Cipher.getInstance("AES");
    cipher.init(Cipher.DECRYPT_MODE, secretKeySpec);
    return cipher.doFinal(encrypted);
}
```

Листинг 5. Реализация методов шифрования и дешифрования AES с использованием 128 битного ключа

Теперь при использовании класса EncryptedSharedPreferences вместо стандартного SharedPreferences, данные будут сохранены в файле xml в зашифрованном виде (Рис.2).

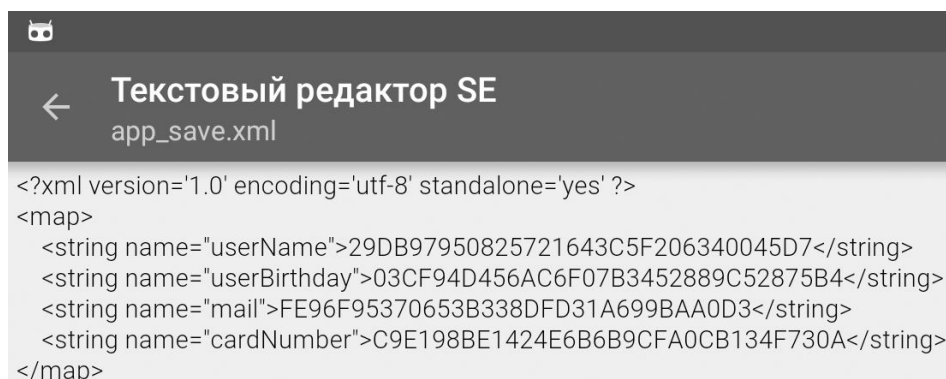


Рис.2 Вид данных хранимых в файле, созданном при помощи объекта EncryptedSharedPreference

Заключение. При работе с данными заданными в виде ключа и значения использование разработчиком приложений класса EncryptedSharedPreference вместо стандартного SharedPreferences повышает безопасность хранимых на устройстве данных и делает сохраненные данные недоступными для злоумышленников, так как все хранимые значения — зашифрованные с помощью алгоритма шифрования AES. А работа с классом EncryptedSharedPreference интуитивно понятна разработчикам, так как класс реализовывает методы аналогичные по назначению тем, которые используются в стандартном SharedPreferences.

1. developer.android.com [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://developer.android.com/training/basics/data-storage/shared-preferences.html>
2. Эжкель Б. Философия Java // Питер — 2009. — № 4. — С.225—231.
3. Зенин О.С., Иванов М.А. Стандарт криптографической защиты AES. Конечные поля. // М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2002. — С. 41—45

С. Я. Гильгурт, канд. техн. наук
Ин-т проблем моделирования в энергетике
им. Г. Е. Пухова НАН Украины
(Украина, 03164, Киев, ул. Генерала Наумова, 15,
тел.(044)4249163, E-mail: hilgurt@ukr.net)

Задача множественного распознавания строк в интенсивном потоке данных и методы ее аппаратного ускорения

A task of multi-pattern string matching against an intensive data stream is investigated. The world experience of its hardware-oriented accelerating using FPGA-based reconfigurable computing is analyzed.

Ключевые слова: Множественное распознавание строк, аппаратное ускорение, ПЛИС.

Введение. Поиск подстроки в строке является одной из распространенных задач в области информационных технологий. Несмотря на простоту постановки, она приводит к разнообразным, часто нетривиальным решениям и серьезным сложностям при практической реализации. Особенно, когда требуется обработка огромных объемов информации в реальном масштабе времени.

Другим усложняющим фактором часто выступает необходимость одновременного поиска множества строк – до сотен тысяч – во входном потоке данных. Таким образом, возникает сложная техническая проблема множественного распознавания строк (англ. – multi-pattern string matching) [1]. Ее суть заключается в быстром одновременном поиске образцов текстовых строк (паттернов) из заданного набора, причем отдельные фрагменты образцов могут в значительной степени дублировать друг друга. Для достижения максимальной эффективности необходимо учитывать информационную избыточность, присущую, в общем случае, как набору распознаваемых подстрок, так и входным данным.

Задача одновременного поиска множества строк в больших массивах данных встречается в различных информационных приложениях. К ним можно отнести:

- анализ текстов, интеллектуальный поиск данных (data mining);
- распознавание цепочек атомов и их комбинаций в молекулярной биологии, в частности, для анализа ДНК;
- биллинговые системы контроля контента, фильтрация потоков IP-телефонии;
- измерение скоростных характеристик и оперативный мониторинг сетевого трафика, а также манипуляция сетевым трафиком по XML-ключам;
- оперативный просмотр журналов регистрации (лог-файлов) и многие другие.

Еще одной областью, в которой часто приходится иметь дело с поиском подстроки в строке, является информационная безопасность. Например, в системах обнаружения вторжений / противодействия вредоносному программному обеспечению, работа которых основана на распознавании сигнатур известных видов атак или объектов, требуется с высокой скоростью одновременно распознавать тысячи образцов текстовых строк (паттернов) в интенсивном потоке данных.

Постоянное увеличение объемов и глубины обработки данных (в случае информационной безопасности – возрастание требований к системам защиты, увеличение числа и сложности компьютерных атак) приводят к тому, что программная реализация подобных систем становится все более проблематичной, усугубляясь достигнутым недавно в микроэлектронике технологическим пределом роста тактовой частоты. В этой связи представляют интерес цифровые устройства на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), позволяющие обеспе-

чить быстродействие, близкое к аппаратному, и обладающие при этом высокой гибкостью и универсальностью [2].

Анализ информационных источников свидетельствует о возросшем за последнее десятилетие интересе к вопросам обработки строк аппаратными средствами. Публикуется большое количество англоязычных работ по созданию устройств на базе ПЛИС, ориентированных на ускоренное решение данной задачи, в том числе и для множественного распознавания. Однако, в отечественной литературе публикации по данному направлению, фактически, отсутствуют.

Целью настоящей работы является анализ задачи множественного распознавания строк (МРС) в общей постановке и краткий обзор накопленного в мире опыта применения ПЛИС типа FPGA для ее решения.

Сетевые системы распознавания. Одной из первых областей, где начали использоваться аппаратные решения по распознаванию строк, стало направление, связанное с сетевой обработкой данных, в частности, создание сетевых систем обнаружения вторжений (ССОВ) [3]. Причиной тому явился быстрый рост объемов информации, передаваемой в сетях (трехкратное увеличение каждые два года), а также неуклонно возрастающая потребность в более глубоком анализе сетевых пакетов, так называемом подходе DPI – Deep Packet Inspection.

В связи с большим опытом, накопленным при создании сетевых систем распознавания строк, в настоящем исследовании в качестве базовых примеров без потери общности будем ссылаться на разработки из данной области.

Наиболее распространенные алгоритмы распознавания строк. В настоящее время известно множество алгоритмов распознавания подстроки в строке, таких как алгоритмы Кнута–Морриса–Пратта, Бойера–Мура, Карпа-Рабина и их многочисленные модификации [4]. Однако большинство из них ориентировано на программную (последовательную) реализацию в однопроцессорных системах. Но, что более существенно, данные алгоритмы являются одношаблонными по своей сути, т.е. ориентированными на одновременное распознавание одной подстроки. Последовательное применение таких алгоритмов по очереди для каждого образца из набора эталонов оказывается неэффективным по причинам, указанным ниже.

Параллелизм в задачах распознавания строк. Задачам МРС свойственен внутренний параллелизм, причем, по двум направлениям. Рассмотрим эти направления на примере распознавания сигнатур в ССОВ [5].

Во-первых, несколько сетевых пакетов могут анализироваться одновременно. Но при этом возникает трудноразрешимое противоречие: разделение интенсивного входного потока на большое число блоков, обрабатываемых независимыми вычислительными модулями, приводит к задержкам, пропорциональным коэффициенту распараллеливания, обусловленным большим размером блоков; уменьшение же их размера снижает полезный эффект от распараллеливания из-за вынужденного перекрытия, тем большего, чем длиннее искомые подстроки. К тому же, такой подход отличается сложностью реализации из-за необходимости решения вспомогательных задач управления, диспетчеризации и буферизации [1].

С другой стороны, сравнение может производиться одновременно с несколькими образцами из базы данных сигнатур. В этом случае обнаруживается важная особенность: подстроки в эталонном наборе во многом повторяют друг друга. Причем, данный эффект самоподобия в силу конечности алфавита, возрастает по

мере увеличения размера базы данных сигнатур. Использование данного эффекта позволяет существенно повысить производительность распознающей подсистемы. К сожалению, упомянутые выше одношаблонные алгоритмы в этом смысле оказываются бесполезными. По этой причине появился и активно развивается отдельный класс алгоритмов множественного распознавания.

Алгоритмы множественного распознавания. Классическим решением задачи множественного распознавания считается алгоритм Ахо-Корасик [4], ставший прототипом для многочисленных модификаций и доработок, большинство из которых ориентировано на аппаратную реализацию. Его суть заключается в построении по определенным принципам цифрового автомата, на вход которого в процессе распознавания последовательно, символ за символом, поступает данные. В зависимости от их содержимого автомат переходит в состояния, сигнализирующие о наличии той или иной эталонной строки. Таким образом, набор распознаваемых образцов оказывается аппаратно "вшитым" в структуру распознающего устройства на базе такого цифрового автомата.

В некотором смысле алгоритм Ахо-Корасик можно считать многошаблонной модификацией Кнута-Морриса-Пратта [5]. Аналогично алгоритм Комменца-Вальтера является вариантом множественного распознавания алгоритма Бойера-Мура. Несмотря на известные преимущества, демонстрируемые алгоритмом Бойера-Мура по сравнению с схемой Кнута-Морриса-Пратта, алгоритм Комменца-Вальтера для аппаратной реализации используется намного реже, чем Ахо-Корасик.

Следует отметить, что эти два многошаблонных алгоритма хорошо справляются с параллелизмом второго типа, однако, предоставляют мало возможностей для распараллеливания по входным данным.

Приближенное распознавание. Еще одним наукоемким направлением исследований является проблема приближенного распознавания. В ряде случаев искомые образцы могут содержаться в исходных данных с некоторыми искажениями, отклонениями от эталонных строк. Как следствие, возникает множество сопутствующих задач. В частности, необходимо определиться с такими понятиями как мера близости, расстояние между строками символов.

Для приближенного поиска образца в строке также разработано большое число алгоритмов. Но, как и в случае точного распознавания, подавляющее большинство из них ориентировано на распознавание одиночных образцов. Один из наиболее перспективных средств приближенного однократного распознавания является алгоритм Домёлки-Бейза-Ятса-Гоннета (другие названия: Shift-And, Shift-Or, SHIFT-and-OR, битап-алгоритм).

Для приближенного множественного распознавания применяют алгоритмы Ву-Менбера и Бейза-Ятса-Наварро, которые изначально предлагались для одношаблонного распознавания, но впоследствии были модифицированы для множественного поиска образцов. Оба этих подхода применимы как к операциям подстановки, так и удаления/вставки (т.е. к расстояниям Хэмминга и Левенштейна).

Подходы к реализации алгоритмов множественного распознавания. Как указывалось выше, эффективное решение задачи МРС невозможно получить программным способом. Только аппаратная реализация алгоритма в виде вычислительной структуры (специализированной схемы с жесткой логикой, либо реконфигурируемой – на базе ПЛИС) способна обеспечить приемлемое быстро-

действие в большинстве современных приложений.

Аппаратная реализация в виде цифрового устройства привносит определенную специфику в решение задачи распознавания по сравнению с программной реализацией. Анализ многочисленных источников свидетельствует, что помимо реализации собственно алгоритмов распознавания, таких как Ахо–Корасик и Комменца-Вальтера, при ее решении также широко используются сугубо аппаратные подходы, основанные на различных схемных и структурных принципах. Так, например, вторым по распространенности после алгоритма Ахо–Корасик и его модификаций является аппаратный подход, основанный на непосредственном посимвольном сравнении с использованием параллельных дискретных компараторов.

При аппаратной реализации множественного распознавания строк также широко используются устройства ассоциативной памяти и хэш-функции, причем, чаще всего эти решения применяются совместно с упомянутыми выше подходами в качестве вспомогательных средств. Исключением можно назвать лишь фильтр Блума (на базе хэш-функций), который иногда выступает как основное техническое решение.

Используются для аппаратного решения поставленной задачи также различные способы организации и адресации памяти, подходы, основанные на кластеризации массива эталонных строк и другие приемы. В некоторых исследованиях получить дополнительное ускорение удалось путем объединения нескольких символов в группы, которые обрабатываются как один символ. В других работах, наоборот, отдельные байты сливаются в непрерывный поток битов, в котором выделяются подпоследовательности с числом элементов менее восьми.

Следует отметить, что решению задачи МРС в значительной степени свойственно смешение различных подходов и их модификаций в различных сочетаниях в единой разработке с целью совмещения преимуществ и устранения недостатков каждого из них. С другой стороны, отсутствие какого-либо одного лидирующего направления, которое обладало бы убедительным преимуществом по отношению к остальным решениям или их фиксированным комбинациям, свидетельствует о том, что данная задача все еще находится на стадии исследований.

Заключение. В работе изучена задача множественного распознавания строк в реальном масштабе времени, которая возникает при построении различных информационных систем, в частности, сетевых систем обнаружения вторжений и антивирусных средств. На основе обзора мирового опыта проанализирована специфика ее аппаратной реализации. Выявлены ключевые проблемы и особенности.

1. Jiang W., Prasanna V.K. Scalable Multi-Pipeline Architecture for High Performance Multi-Pattern String Matching // IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS '10), April 2010.
2. Гильгурт С.Я. Реконфигурируемые вычислители. Аналитический обзор // Электронное моделирование. – 2013. – Т.35, № 4. – С. 49–72.
3. Hihurt S. Ya. Application of FPGA-based Reconfigurable Accelerators for Network Security Tasks // Collection of scientific works. Simulation and informational technologies. – PIMEE NAS of Ukraine. – Kyiv, 2014. – Vol. 73. – P. 17–26.
4. Смит Б. Методы и алгоритмы вычислений на строках. Теоретические основы регулярных вычислений / Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2006. – 496 с.
5. Давиденко А.Н, Гильгурт С.Я. Алгоритмы распознавания строк в системах обнаружения вторжений на ПЛИС // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ПІМЕ НАН України. – Київ, 2010. – Вип. 58. – С. 103–109.

В.С. Годлевский В.С., д-р техн. наук,

В.П. Головченко

ГП «ДИСИТ» НАН Украины (Украина, 03164, Киев, ул. Генерала Наумова,
17, тел.(044) 4229622, E-mail: disit2007@gmail.com)

Уравнения объектов магистральных газотранспортных систем для штатных и реверсивных режимов

We present modified equations for the principal components of gas transport systems. These equations allow to conduct calculations of both conventional and reversed modes of the systems.

Ключевые слова: Газотранспортные системы, модели объектов, балансные уравнения.

Введение. В сетевых трубопроводных магистральных газотранспортных системах (ГТС) на практике достаточно часто встречаются реверсивные режимы на многих объектах ГТС как в штатных, так и в аварийных ситуациях. При этом, в аварийных и нештатных ситуациях в реверсивных режимах могут работать многие объекты ГТС. В исключительных случаях в реверсивных режимах могут работать большинство объектов магистральных ГТС, как это было в январе 2009 г., когда практически вся ГТС «Укртрансгаз» работала в аварийном реверсивном режиме. В этом режиме поставщиками газа были подземные хранилища газа Украины, основные из которых расположены во Львовской области, а потоки газа через граничные входные и выходные узлы ГТС «Укртрансгаз» были нулевыми.

Распространенные [1] математические модели для объектов ГТС были разработаны для случая лучевых ГТС, в которых движение газа по этим объектам является однонаправленным. Поэтому задачи расчета и планирования режимов в сложных сетевых ГТС с реверсивными потоками газа диктуют необходимость выполнения модификации нормативных уравнений для импульса, энергии, балансов расходов газа и энергии для многих объектов ГТС.

В докладе приводятся: модифицированные уравнения энергии для линейных участков (ЛУ); баланса энергии для узлов соединения линейных участков, для входных и выходных узлов отключенной компрессорной станции (соединенных обходной перемычкой с открытым краном), для реверсивных перемычек, для входных граничных узлов (узлов поставщиков) и выходных граничных узлов ГТС. В качестве исходных уравнений используются соответствующие уравнения, обозначения и пояснения ряда физических параметров нормативного документа [1] и статьи [2] (в которой приведено модифицированное уравнение для импульса движения газа, справедливое как для штатных, так и для реверсивных стационарных режимов в трубопроводах ЛУ).

Уравнение энергии для ЛУ. При расчетах стационарных режимов простого ЛУ, состоящего из одноточечного трубопровода, в [1] рекомендуется использовать следующее уравнение энергии с зависимостями:

$$T_{cp} = T_{cp} + (T_n - T_{cp}) \frac{1 - e^{-aL}}{aL} - \frac{D_r(P_n^2 - P_k^2)}{2P_{cp}} \left(1 - \frac{1 - e^{-aL}}{aL} \right) \frac{1}{aL}, \quad (1)$$

$$T_k = T_{cp} + (T_n - T_{cp}) e^{-aL} - \frac{D_r(P_n^2 - P_k^2)}{2P_{cp}} \left(1 - \frac{1 - e^{-aL}}{aL} \right), \quad (2)$$

$$a = 62,6D K_{III} (q\Delta C_p 10^6)^{-1}, \quad (3)$$

$$D_r = (0,023 * 10^6 / T_{cp}^2 - 0,035) / C_p, \quad (4)$$

$$C_p = 0,405 + 0,439 \cdot 10^{-3} T_{cp} + 0,046 \cdot 10^6 (P_{cp} - 1) / T_{cp}^3, \quad (5)$$

где T_{cp}, P_{cp} - средняя температура и среднее давление газа по длине ЛУ [1, 2] ($^{\circ}\text{K}$); T_n, T_k, P_n, P_k - температура и давление газа в начале и в конце ЛУ (в качестве «начал» ЛУ в [1] рекомендуется использовать выход компрессорной станции); T_{cp} - температура грунта вдоль ЛУ; q - коммерческий расход газа ($\text{млн.м}^3/\text{сут}$); D - диаметр трубы (мм); L - длина трубы, км ; Δ - относительная плотность газа в нормальных условиях; $K_{ТП}$ - коэффициент теплопередачи ($\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{K})$); q - коммерческий расход газа ($\text{млн.м}^3/\text{сут}$); D_r - параметр Джоуля – Томсона (дресселирования) ($^{\circ}\text{K см}^2/\text{кгс}$), определяемый в смешанной системе формулой [1]; C_p - коэффициент удельной теплоемкости ($\text{калл}/\text{кг } ^{\circ}\text{K}$ [1]).

Уравнение (1) с зависимостями (2) – (3) были разработаны для расчетов лучевых ГТС. В случае сетевых ГТС непосредственное применение (1) - (6) для расчета температур T_n, T_k при изменении направления потока газа в ЛУ приводит к ошибочным и не физическим результатам. Это обусловлено тем, что при реверсивном режиме: значение расхода газа q становится отрицательным (и может быть близким к нулю), что приводит к отрицательным значениям сугубо положительной величины (3); разность $(P_n^2 - P_k^2)$ также становится отрицательной величиной, что приводит к эффекту ложного нагрева газа в трубопроводе; принятая в (1) за начало ЛУ координата при реверсивном режиме становится координатой выхода из ЛУ газа - координатой «конца» ЛУ. (Кроме того, даже при положительных значениях q - расхода газа по ЛУ- уравнение (1) и зависимость (2) имеет недостаток, который заключается в том, что при T_n меньше T_{cp} , второе слагаемое в (1) и (2) становится отрицательной величиной, что противоречит физике.)

Отсюда следует, что в случае сетевых ГТС с реверсивными режимами необходимо для расчетов ввести такие параметры, как температуры входящего в ЛУ и выходящего из ЛУ газа. При этом (1) - (5) следует преобразовать путем учета знака расхода газа q по отношению к узлам подключения ЛУ следующим образом.

Обозначим линейный участок, соединяющий узел i и j , через $ЛУ_{ij}$, а расход газа по этому участку через Q_{ij} . Поскольку направление движения газа по $ЛУ_{ij}$ в стационарном режиме зависит только от разности давлений P_i и P_j в узлах i и j , то

$$\text{sign}[Q_{ij}] = \text{sign}[P_i - P_j]. \quad (6)$$

Учитывая (7), уравнение энергии и зависимости (1) - (6) для $ЛУ_{ij}$ запишем в виде:

$$T_{cpij} = T_{cp} + [f(T_i, T_j, Q_{ij}) - T_{cp}]_+ \frac{1 - e^{-aL}}{aL} - \frac{D_r |P_i^2 - P_j^2|}{2P_{cpij}} \left(1 - \frac{1 - e^{-aL}}{aL} \right) \frac{1}{aL}, \quad (7)$$

$$T_{kij} = T_{cp} + [f(T_i, T_j, Q_{ij}) - T_{cp}]_+ e^{-aL} - \frac{D_r |P_i^2 - P_j^2|}{2P_{cpij}} \left(1 - \frac{1 - e^{-aL}}{aL} \right), \quad (8)$$

$$a = 62,6D K_{ТП} (|Q_{ij}| \Delta C_p 10^6 + \varepsilon)^{-1}, \quad (9)$$

$$D_r = (0,023 \cdot 10^6 / T_{cpij}^2 - 0,035) / C_p, \quad (10)$$

$$C_p = 0,405 + 0,439 \cdot 10^{-3} T_{cpij} + 0,046 \cdot 10^6 (P_{cpij} - 1) / T_{cpij}^3, \quad (11)$$

$$\text{где } f(T_i, T_j, Q_{ij}) = \begin{cases} T_i & \text{при } Q_{ij} \geq 0 \\ T_j & \text{при } Q_{ij} < 0 \end{cases}; \quad [\dots]_+ = \text{функции под скобками, если ее}$$

значение больше нуля, и нулю в противном случае; ε - малая положительная величина, введенная для исключения деления на ноль при $Q_{ij} = 0$.

Как видно, для уравнения (8) и зависимостей (9, 10) отсутствуют указанные выше недостатки, присущие для (1)-(3).

Уравнения для узла соединения нескольких ЛУ. Используя уравнение энергии (8) и зависимости (9) для отдельного ЛУ, приведем уравнения баланса расхода и энергии для узла с номером n соединения нескольких линейных участков. Уравнение баланса расхода газа имеет известный вид:

$$\sum_{j=1}^{m_n} Q_{jn} - \sum_{j=1}^{p_n} Q_{nj} = 0, \quad (13)$$

(здесь Q_{jn} - расход газа, входящего в узел n , Q_{nj} - расход газа, выходящего из узла n). Уравнение баланса энергии запишем в виде:

$$\sum_{j=1}^{m_n} [Q_{jn}]_+ \cdot \varphi(T_{k_{jn}}, Q_{jn}) - T_n \sum_{j=1}^{p_n} [Q_{nj}]_+ = 0, \quad (14)$$

где $[Q_{jn}]_+ = Q_{jn}$, если расход Q_{jn} направлен из узла j в узел n , и $[Q_{jn}]_+ = 0$ в противном случае; $\varphi(T_{k_{jn}}, Q_{jn}) = T_{k_{jn}}$, если расход Q_{jn} направлен из узла j в узел n , при этом $T_{k_{jn}}$ определяется из (9); $[Q_{nj}]_+ = Q_{nj}$, если расход Q_{nj} направлен из узла n в узел j , и $[Q_{nj}]_+ = 0$ в противном случае, T_n - температура газа в узле n (температура газа, выходящего из этого узла).

К сожалению, уравнение (14) имеет негативное свойство, которое состоит в том, что при расчетах реверсивных режимах возможны случаи, когда

$$\sum_{j=1}^{m_n} [Q_{jn}]_+ = 0 \text{ или } \sum_{j=1}^{p_n} [Q_{nj}]_+ \approx 0. \text{ При этом общая система уравнений для всей ГТС}$$

становится вырожденной или плохообусловленной. Для исключения вырожденности уравнения (14) (или уменьшения его степени обусловленности) можно применить способ регуляризации путем введения под вторую сумму в (14) малой положительной величины q . Однако, формальное введение этого параметра регуляризации в (14) является не достаточным мероприятием, поскольку возможны случаи, когда в итерационном процессе решения общей системы уравнений всей ГТС первая сумма в (14) становится равной нулю из-за равных нулю входящих в узел притоков газа по ЛУ. В этом случае температура T_n узла принимает согласно уравнению (14) значение, близкое к $0^\circ K$. С целью исключения таких нефизичных результатов расчетов применим способ регуляризации, которая состоит в вводе второго параметра регуляризации в (14) (условно эквивалентного подключенному в узел поставщика газа с расходом q и температурой, равной температуре грунта T_{zp}). При этом уравнение (14) приобретает вид:

$$\sum_{j=1}^{m_n} [Q_{jn}]_+ \cdot \varphi(T_{k_{jn}}, Q_{jn}) + T_{zp} \cdot q - T_n \left(\sum_{j=1}^{p_n} [Q_{nj}]_+ + q \right) = 0. \quad (15)$$

Как видно из (15), в предельном случае, когда входящие в узел расходы газа по всем ЛУ равны нулю, температура узла принимает физически обоснованное значение, равное температуре грунта.

Уравнения отключенной компрессорной станции (КС). Для случая, когда КС находится в отключенном состоянии, ее схему условно можно представить в виде входного и выходного узлов, к которым подключены входящие и выходящие ЛУ и которые соединены между собой обходной (по отношению к цехам КС) перемычкой. Такая перемычка обычно имеет малую длину и большой диаметр трубопровода, что позволяет принять допущение о равенстве давлений на входе и выходе отключенной КС:

$$P_m = P_r, \quad (16)$$

где m и r - номер входного и выходного узла КС. При этом примем, что расход газа по обходной перемычке является положительным при его движении от узла m к узлу r и отрицательным – в противном случае. Согласно принятым допущениям уравнения баланса расхода газа для входного и выходного узла отключенной КС запишем в виде:

$$\sum_{j=1}^{km} Q_{jm} - \sum_{j=1}^{pm} Q_{mj} - Q_{mr} = 0, \quad \sum_{j=1}^{kr} Q_{jr} - \sum_{j=1}^{kr} Q_{rj} + Q_{mr} = 0,$$

где Q_{mr} - расход газа по обходной перемычке с его знаком. Используя тот же подход, который был применен при получении (15), запишем уравнения баланса энергии для входного узла

$$\sum_{j=1}^{km} [Q_{jm}]_+ \cdot \varphi(T_{kjm}, Q_{jm}) + [Q_{mr}]_- \cdot \varphi_1(T_r, Q_{mr}) + T_{cp} \cdot q - T_m \left(\sum_{j=1}^{pm} [Q_{mj}]_+ + [Q_{mr}]_+ + q \right) = 0,$$

и выходного узла отключенной КС

$$\sum_{j=1}^{kr} [Q_{jr}]_+ \cdot \varphi(T_{kjr}, Q_{jr}) + [Q_{mr}]_+ \cdot \varphi(T_m, Q_{mr}) + T_{cp} \cdot q - T_r \left(\sum_{j=1}^{m_n} [Q_{jr}]_+ + [Q_{mr}]_- + q \right) = 0,$$

где $[Q_{mr}]_- = |Q_{mr}|$, если расход Q_{mr} направлен из узла r в узел m , и $[Q_{mr}]_- = 0$ в противном случае; $[Q_{mr}]_+ = Q_{mr}$, если расход Q_{mr} направлен из узла m в узел r , и $[Q_{mr}]_+ = 0$ в противном случае; $\varphi_1(T_r, Q_{mr}) = T_r$ если расход Q_{mr} - отрицательный (направлен из узла r в узел m);

$\varphi(T_m, Q_{mr}) = T_m$ если расход Q_{mr} - положительный (направлен из узла r в узел m)

Следует отметить, что приведенные уравнения баланса энергии являются причиной плохой обусловленности всей системы уравнений для сетевых ГТС, несмотря на введение параметра регуляризации γ . Дело в том, что значение этого параметра регуляризации γ необходимо выбирать как можно меньшим, поскольку при его увеличении уменьшается точность расчетов режимов ГТС. Поэтому для обеспечения необходимой точности расчетов режимов целесообразно применять увеличенную разрядность выполнения арифметических операций. Для того, чтобы при переходе на увеличенную разрядность не происходил резкое увеличение времени решения всей системы уравнений ГТС методом Ньютона, целесообразно применять специальные методы решения систем линейных алгебраических уравнений с повышенной разрядностью (например [3]).

1. *Общесоюзные нормы технологического проектирования. Магистральные трубопроводы*, Ч. 1. «Газопроводы» ОНТП 51-1-85.—М.: ВНИИГаз, 1985.-193 с.
2. *Годлевский В.С., Головченко В.П. Уравнения стационарных процессов в многониточных линейных участках трубопроводных газотранспортных систем // Электронное моделирование. - 2007.-29, №3. – С.55-59*
3. *Уилкинсон Дж.Х., Райнис С. Справочник алгоритмов на языке Алгол. Линейная алгебра. М., Машиностроение, 1976. 390 с.*

В.С. Годлевский В.С., д-р техн. наук,
В.В. Годлевский, д-р физики
 ГП «ДИСИТ» НАН Украины (Украина, 03164, Киев, ул. Генерала Наумова,
 17, тел.(044) 4229622, E-mail: disit2007@gmail.com)

Об оценках трансформированных погрешностей решений систем линейных алгебраических уравнений

We estimate bounds of the transformed relative solution error norms for systems of linear algebraic equation. Our approach considers the effect of specification uncertainty both for the left-hand side matrix and right-hand side vector of the equation. Our estimates are valid in a wide range of the initial parameter uncertainty values.

Ключевые слова: оценки, погрешности, решения систем уравнений

Задача оценки трансформированных погрешностей решения СЛАУ [1, 2], как известно, является следующей. Требуется оценить характеристику разности решений систем уравнений

$$AY = B, \quad (1)$$

$$(A + \Delta A) Y^* = B + \Delta B, \quad (2)$$

где

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \text{ и } \Delta A = \begin{pmatrix} \Delta a_{11} & \dots & \Delta a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \Delta a_{n1} & \dots & \Delta a_{nn} \end{pmatrix} -$$

- матрицы известных значений коэффициентов a_{jk} и погрешностей Δa_{jk} их задания; $B = (b_1, \dots, b_n)^T$ и $\Delta B = (\Delta b_1, \dots, \Delta b_n)^T$ - векторы значений коэффициентов b_j правой части и погрешностей Δb_j их задания; $Y = (y_1, \dots, y_n)^T$ - вектор искомых зависимых переменных; $Y^* = Y + \Delta Y$, $\Delta Y = (\Delta y_1, \dots, \Delta y_n)^T$ - вектор трансформированных погрешностей решения (1), обусловленных влиянием погрешностей ΔA и ΔB задания значений коэффициентов матрицы A и вектора B .

Известна, например [1] (с.37), априорная оценка нормы вектора трансформированной погрешности $\|\Delta Y\|$ решения (1):

$$\frac{\|\Delta Y\|}{\|Y\|} \leq \frac{\mu(A)}{1 - \mu(A) \cdot \|\Delta A\|/\|A\|} \left(\frac{\|\Delta B\|}{\|B\|} + \frac{\|\Delta A\|}{\|A\|} \right), \quad (3)$$

где в качестве нормы векторов на практике обычно используется кубическая норма и согласованная с ней матричная норма; A^{-1} - обратная матрица для A , $\mu(A) = \|A\| \cdot \|A^{-1}\|$ - число обусловленности матрицы A . Оценка (3) имеет узкую область своего применения из-за условия $\|A^{-1}\| \cdot \|\Delta A\| < 1$ и является грубой из-за влияния сомножителя $1/(1 - \|A^{-1}\| \cdot \|\Delta A\|)$ на величину оценки. Например, если $\mu(A) \approx 50$, то оценку (4) можно применять только при $\|\Delta A\|/\|A\| < 0.02$, то есть только при весьма высокой точности задания значений коэффициентов матрицы A , что далеко не всегда на практике имеет место.

Более широкие области применения по сравнению с оценкой вида (3) имеют известные [2] (с. 29 – 30) оценки типа:

$$\frac{\|\Delta Y\|}{\|Y\|} \leq \mu(A) \frac{\|\Delta B\|}{\|B\|}, \quad (4)$$

$$\frac{\|\Delta Y\|}{\|Y + \Delta Y\|} \leq \mu(A) \frac{\|\Delta A\|}{\|A\|}. \quad (5)$$

(Зависимости вида (3) – (5) будем далее называть условно оценками относительных погрешностей). Оценки (4), (5) не содержат знаменателя $1 - \mu(A)\|\Delta A\| \cdot \|A\|$, поэтому они являются менее грубыми и имеют более широкие области применения по сравнению с (3). Однако, оценки (4), (5) строго можно применять только в случае раздельного анализа влияния погрешностей задания вектора правой части и матрицы при неизвестных, поскольку эти оценки имеют различные смысловые определения. Так, если в (4) норма погрешности $\|\Delta Y\|$ относится к норме точного решения $\|Y\|$, то в (5) – к норме приближенного решения $\|Y + \Delta Y\|$. Поэтому оценки типа (5) будем называть условно апостериорными оценками.

Для случая, когда необходимо одновременно учитывать влияние матрицы ΔA и вектора ΔB , дополнительно к оценкам (4), (5) можно получить обобщенную апостериорную оценку нормы относительной погрешности решения (1) в виде [3]:

$$\frac{\|\Delta Y\|}{\|Y + \Delta Y\|} \leq \mu(A) \cdot \left[\frac{\|\Delta A\|}{\|A\|} + \frac{\|\Delta B\|}{\|B\| - \|\Delta B\|} \left(1 + \frac{\|\Delta A\|}{\|A\|} \right) \right] \quad (6)$$

Оценка (6) является справедливой при условии: $\|B\| > \|\Delta B\|$. При выводе этой оценки используется система для трансформированной погрешности решения (2)

$$A \cdot \Delta Y + \Delta A \cdot (Y + \Delta Y) = \Delta B,$$

(которая получается при вычитании (1) из (2)) и оценка нормы ее решения

$$\|\Delta Y\| \leq \|A^{-1}\| \cdot \left(\|A\| \frac{\|\Delta A\|}{\|A\|} \cdot \|Y + \Delta Y\| + \|B + \Delta B\| \frac{\|\Delta B\|}{\|B + \Delta B\|} \right). \quad (7)$$

При подстановке в (7) неравенства $\|A + \Delta A\| \cdot \|Y + \Delta Y\| \geq \|B + \Delta B\|$, вытекающего из (2), и неравенства $\|B + \Delta B\| \geq \|B\| - \|\Delta B\|$ получаем (6) при условии $\|B\| > \|\Delta B\|$.

Оценку (6) в ряде случаев удобно использовать, приведенной к виду:

$$\frac{\|\Delta Y\|}{\|Y + \Delta Y\|} \leq \mu(A) \cdot \left[\frac{\|\Delta A\|}{\|A\|} + \frac{\|\Delta B\|/\|B\|}{1 - \|\Delta B\|/\|B\|} \left(1 + \frac{\|\Delta A\|}{\|A\|} \right) \right], \quad (8)$$

где нормы всех погрешности исходных данных приведены в относительном виде.

Можно отметить, что условие $\|B\| > \|\Delta B\|$ или $1 > \|\Delta B\|/\|B\|$ на практике выполняется в большинстве случаев, поскольку обычно относительная погрешность $\|\Delta B\|/\|B\| \ll 1$. Поэтому оценки (6), (8) имеют более широкую область применения и являются более точными по сравнению с оценкой (3) (в том числе и с вероятностной оценкой вида [4]), поскольку не содержит множитель $1/(1 - \|A^{-1}\| \cdot \|\Delta A\|)$.

Оценки (3) и (8) имеют свои особенности. Так, в (3) норма вектора

трансформированной погрешности относится к норме вектора решения Y , который находится при равных нулю исходных погрешностей ΔA и ΔB . Поэтому норму $\|Y\|$ в оценке (3) условно можно считать известной величиной, поскольку формально существует доступная возможность сравнительно простого вычисления вектора Y . Следовательно, оценки (3) для трансформированных погрешностей решения (1) можно условно относить к классу апостериорных оценок. При этом в (3) норма погрешности решения относится к детерминированной величине $\|Y\|$ (условно известной), что дает возможность из (3) найти строгую оценку нормы абсолютной трансформированной погрешности $\|\Delta Y\|$. Это является положительным свойством оценки (3). В оценке (8) норма вектора трансформированной погрешности решения (1) относится к норме $\|Y + \Delta Y\|$ вектора решения $Y + \Delta Y$, значение которого в общем случае неизвестным, поскольку для его определения необходимо учитывать неизвестные исходные погрешности ΔA и ΔB . Поэтому оценки типа (8) можно относить к классу априорных оценок. Поскольку в (8) норма погрешности решения относится в общем случае к неизвестной величине $\|Y + \Delta Y\|$, то из (8) нельзя в случае необходимости найти строгую оценку для нормы абсолютной погрешности $\|\Delta Y\|$. Из (8) можно найти только приближенную оценку для $\|\Delta Y\|$, если принять, что $\|Y + \Delta Y\| \approx \|Y\|$. Однако, как было указано выше, оценка (3) имеет, к сожалению, узкую область своего существования и является грубой.

Апостериорную оценку нормы приведенной относительной погрешности типа (5), имеющую широкую область существования и при этом учитывающую погрешности задания свободных членов ΔB и матрицы коэффициентов ΔA , также можно получить. Однако, такая оценка основана на аппроксимации нелинейной функции ΔY относительно ΔA и ΔB

$$\Delta Y = (A + \Delta A)^{-1} \cdot (-\Delta A \cdot Y + \Delta B) \quad (9)$$

линеаризованной зависимостью

$$\Delta Y \approx \Delta_{\mathcal{L}} Y = A^{-1} \cdot (-\Delta A \cdot Y + \Delta B), \quad (10)$$

или полиномом более высокой степени. Для получения этой оценки в следующей из (2.1.9) зависимости для оценки нормы

$$\|\Delta Y\| \approx \|\Delta_{\mathcal{L}} Y\| \leq \|A^{-1}\| \cdot (\|\Delta A\| \cdot \|Y\| + \|\Delta B\|)$$

выполним такие преобразования:

$$\|\Delta_{\mathcal{L}} Y\| \leq \|A^{-1}\| \cdot \left(\|A\| \frac{\|\Delta A\|}{\|A\|} \cdot \|Y\| + \|B\| \frac{\|\Delta B\|}{\|B\|} \right) \leq \|A^{-1}\| \cdot \left(\|A\| \frac{\|\Delta A\|}{\|A\|} \cdot \|Y\| + \|B\| \frac{\|\Delta B\|}{\|B\|} \right). \quad (11)$$

После подстановки в (11) неравенства $\|B\| \leq \|A\| \cdot \|Y\|$ следует простое выражение для апостериорной оценки нормы линейной составляющей приведенной трансформированной погрешности решения (1):

$$\frac{\|\Delta_{\mathcal{L}} Y\|}{\|Y\|} \leq \mu(A) \cdot \left(\frac{\|\Delta A\|}{\|A\|} + \frac{\|\Delta B\|}{\|B\|} \right). \quad (12)$$

Для контроля точности линеаризации нелинейной функции ΔY в (9) линейной зависимостью (10) и допустимости применения (12) в качестве меры трансформированных погрешностей решения (9), можно использовать оценку нормы главного члена погрешности линеаризации (10):

$$\|\Delta_H^* Y\| \leq \|A^{-1} \Delta A \cdot A^{-1} \Delta A\| \cdot \|Y\| + \|A^{-1} \Delta A\| \cdot \|A^{-1}\| \cdot \|\Delta B\|.$$

Отсюда

$$\frac{\|\Delta_H^* Y\|}{\|Y\|} \leq \mu^2(A) \left(\frac{\|\Delta A\|^2}{\|A\|^2} + \frac{\|\Delta A\|}{\|A\|} \cdot \frac{\|\Delta B\|}{\|B\|} \right), \quad (13)$$

При получении (13) используются такие же преобразования, что и при выводе (12).

По соотношениям значений правых частей (12) и (13) можно принимать решение о допустимости применения оценки (12) линейной составляющей в качестве оценки для полной приведенной погрешности $\|\Delta Y\|/\|Y\|$. Относительно большая величина (13) по сравнению с (12) при конкретных значениях норм, фигурирующих в этих оценках, указывает на недостаточную точность аппроксимации нелинейной функции (9) линейной составляющей (10). В этом случае иногда целесообразно воспользоваться возможностью увеличения порядка аппроксимации с целью увеличения ее точности путем совместного учета линейной составляющей (10) и первых слагаемых в нелинейной составляющей, то есть аппроксимирующей суммы:

$$\Delta Y \approx \Delta_{\mathcal{L}} Y + \Delta_H^* Y = \Delta_{\mathcal{LH}} Y, \quad (14)$$

где

$$\Delta_{\mathcal{LH}} Y = -A^{-1} \cdot (\Delta A \cdot Y - \Delta B) + A^{-1} \Delta A \cdot A^{-1} (\Delta A \cdot Y - \Delta B). \quad (15)$$

Из аппроксимирующего полинома (15) для погрешности решения (9) следует более точная априорная оценка для нормы приведенной относительной трансформированной погрешности для

$$\frac{\|\Delta_{\mathcal{LH}} Y\|}{\|Y\|} \leq \mu(A) \cdot \left(\frac{\|\Delta A\|}{\|A\|} + \frac{\|\Delta B\|}{\|B\|} \right) + \mu^2(A) \left(\frac{\|\Delta A\|^2}{\|A\|^2} + \frac{\|\Delta A\|}{\|A\|} \cdot \frac{\|\Delta B\|}{\|B\|} \right). \quad (16)$$

Безусловно, оценку (16) имеет смысл использовать только для контроля и уточнения в некоторых случаях оценки (12).

1. Петров И.Б., Лобанов А.И. Лекции по вычислительной математике. М.: БИНОМ. Лаборатория Базовых Знаний, 2006 г. – 523 с.
2. Вержбицкий В.М. Основы численных методов. М.: Высш. шк., 2002 г. - 840 с.
3. Годлевский В.В., Годлевский В.С. Оценки трансформированных погрешностей решений СЛАУ с плохообусловленными матрицами. Ж. Вычисл. Матем. и матем. физ., 2015, 55, №12, с. 1979-1985.
4. Годлевский В.С. Об оценках законов распределений погрешностей решений систем линейных алгебраических и обыкновенных дифференциальных уравнений. Ж. вычисл. Матем. и матем. физ., 1974, 14, № 5, 1084 – 1092.

Ю.Н. Груц, канд. техн. наук,
Ин-т проблем моделирования в энергетике
им. Г. Е. Пухова НАН Украины
(Украина, 03164, Киев, ул. Генерала Наумова, 15,
тел. 380674237206, e-mail: ygruts@gmail.com)

Принцип построения волюметрической 3D системы на основе комбинированной слоистости.

On the base of idea of a combined parallel-serial layering proposed a principle of construction of the volumetric display systems three-dimensional information, the essence of which lies in the fact that the three-dimensional virtual image is synthesized with the help of a group of layers of two types, namely: parallelism is ensured by a special unit of liquid-crystalline matrices, and a sequence is ensured by system of rotating flat mirrors.

3D, LCD –матрица, вращающиеся зеркала.

Введение. Многие изображения содержат важную пространственную (волюметрическую) информацию. Примеров таких изображений много. Это - и трафик контроля аэропорта; это - и военная тактическая и стратегическая информация; это - и данные магнитно-резонансной томографии; компьютерной медицинской и промышленной томографии; это – и данные УЗИ; это - и данные при геологоразведке и прочее. Значительная часть 3D - информации будет утеряна, или своевременно не будет учтена, если она выводится на традиционные дисплеи. Поэтому во всем мире постоянно ведутся интенсивные исследования по разработке и созданию 3D систем отображения информации различных типов. Обычно принято 3D системы отображения информации разделять на три класса: стереоскопические системы (включая автостереоскопические и наשלменные системы виртуальной реальности); голографические системы; волюметрические системы. Наиболее развитым классом 3D систем, появившимся на мировом рынке в последние годы, являются класс стереоскопических систем. Это обусловлено тем, что фирмам, удалось создать технологию производства быстрых LCD матриц высокого разрешения, состоящих из нескольких слоев. В таких дисплеях используется либо обтюрационный (эклипсный) способ сепарации стереопар, либо поляризационный способ, либо лентикулярный. Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки, но для всего класса стереоскопических систем присущ один принципиально неустранимый недостаток - это дисбаланс между аккомодацией и конвергенцией зрения наблюдателя, рассматривающего 3D изображения на таких устройствах. В связи с этим, постоянно ведутся исследования по разработке волюметрических (объемных) дисплеев и систем. В таких системах само изображение формируется не на одном плоском носителе, а в пространстве; и поэтому не требуется использование каких либо дополнительных устройств (типа очков или шлемов) для наблюдения 3D изображений. Даже беглый обзор патентов и литературных источников показывает, что существует огромный спектр предлагаемых решений в этой области. Например, они могут содержать множество плоскостей, формирующих изображение, которые расположены одна за другой [1,2,3]. В последние годы часто используется принцип подвижных плоскостей, на которые проецируются изображения [4]. При этом движение плоскости может быть возвратно-поступательным, вращательным или колеблющимся [5]. Есть разработки, когда изображение проектируется на вращающиеся криволинейные поверхности,

например, - на поверхность в форме спирали [6].

Существует отдельный класс волнометрических систем, когда трехмерное изображение является виртуальным. Это системы, в которых наблюдатель видит 3D- изображение не на экране монитора, а на его отражение в пространстве. Используются при этом либо оптические системы с вариофокальными линзами [7], либо системы с зеркальными поверхностями. При этом зеркала могут быть различной формы: плоские, сферические, эллиптические, параболические, гиперболические и другие. Зеркальные поверхности также могут иметь различные движения. Есть системы с гибкими зеркалами, кривизна поверхности которых меняется в процессе движения [8].

Постановка задачи. Требуется разработать принцип построения волнометрической системы, обладающей следующими характеристиками:

- a) безочковость – отсутствие любых видов вспомогательных средств для наблюдения 3D изображений (очковых или нашлемных);
- b) многоакурсность – возможность наблюдать без искажений 3D изображения с разных точек из зоны оператора;
- c) динамичность – возможность наблюдения подвижных объектов и сцен;
- d) цветность - возможность отображать цветные 3D изображения;
- e) четкость – разрешающая способность должна быть на уровне возможностей современных мониторов;
- f) многооператорность - возможность одновременной работы нескольких операторов;
- g) независимость – возможность независимой работы нескольких операторов с различными 3D изображениями.

В основу разработки был положен принцип послойного отображения, при котором каждый слой графического 3D изображения располагается на своем глубинном месте. Все слои вместе создают единое трехмерное тело.

Возникает вопрос- каким образом физически получить слои трехмерного изображения, как расположить их в пространстве один за другим так, чтобы каждый слой не мешал остальным слоям; причем так, чтобы удовлетворить требованиям динамики 3D изображения.

Принцип построения слоистых виртуальных 3D изображений.

Изначально был выбран виртуальный способ синтеза волнометрического изображения, за счет отражения в зеркалах. Из рисунка 1 можно понять, как должны располагаться зеркала, экран и наблюдатель, чтобы получить послойный виртуальный объемный образ. Экран расположен под углом 45 градусов к поверхности зеркал. На рисунке изображены 16 зеркал, вид сбоку. Все зеркала параллельны друг другу и находятся на некотором расстоянии друг относительно друга. Наблюдатель находится в точке R_0 , линия его взора по отношению к зеркалам также составляет 45 градусов. Изображение первого слоя (зеленый цвет на рисунке) выводится в верхней части экрана монитора и отражаясь в первом зеркале занимает виртуальное изображение 1(зеленый цвет). Для того, чтобы виртуальное изображение второго слоя (желтый цвет на рисунке) расположилось точно под изображением первого слоя, необходимо, во первых, сдвинуть изображение второго слоя на экране монитора (желтый цвет на рисунке экрана) вниз на определенную величину, а во вторых, расположить второе зеркало ниже первого на определенную величину (зеркало 2). И так далее, до последнего 16-го

слоя (на рисунке - сиреневый цвет). В результате, как видно из рисунка 1, образуется виртуальное 3D изображение, состоящее из 16 слоев (V- изображение).

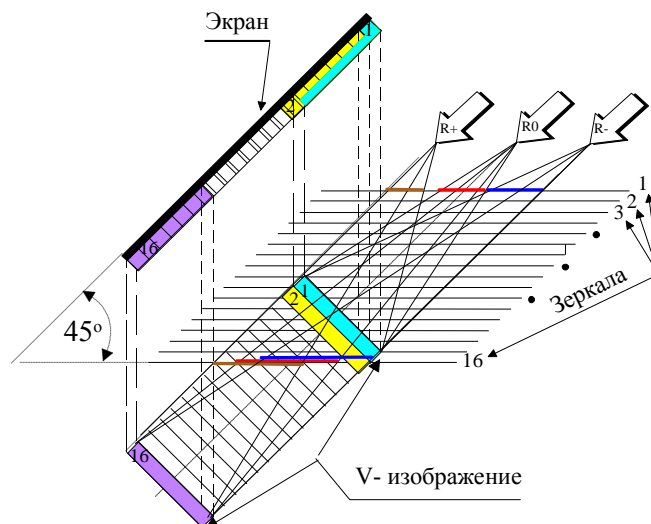


Рис. 1. Принцип получения слоистого 3D изображения.

На рисунке 1 также показаны возможные области смещения наблюдателя (R_- , R_+), при этом смещения V -изображения не происходит. Другими словами, имеется возможность обзора трехмерного изображения с места оператора - это удовлетворение требованию многоакурности.

Принцип комбинированной слоистости. Как видно из рисунка, так могут быть получены, например, 16 цветных слоев, но для практического применения требуется больше слоев. Поэтому было предложено вместо обычного LCD-монитора, применить слоистый монитор, идея построения которого, была предложена в американском патенте [1]. Суть построения такого монитора понятна из рисунка 2.

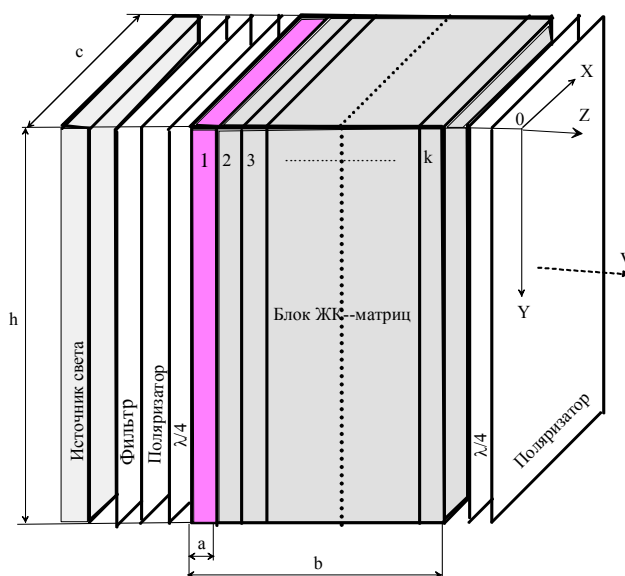


Рис. 2.

Имеется общий источник света с рассеивающим фильтром ; два поляризатора на входе и выходе; и блок ЖК- матриц, состоящий из $k-1$ одинаковых ЖК – панелей. Самая глубинная панель (на рисунке 2 панель №1) имеет цветные свето фильтры, все остальные панели –без светофильтров, они работают на просвет. Естественно возникает вопрос, какой интенсивности будет изображение, прошедшее через весь блок панелей. Потери света при прохождении через один слой ЖК- панели без светового фильтра находятся на уровне 3%. Например, если блок ЖК- панелей состоит из 12 слоев, то интенсивность света с самой дальней панели будет составлять 0,72 от первоначальной, принятой за единицу.

На рисунке 3 , где введены следующие обозначения:

a -толщина одного слоя ЖК-панели, без учета подсветки и поляризаторов;

b – толщина пакета слоев ЖК- панелей;

k - количество ЖК-панелей в пакете;

δ -расстояние между зеркалами;

m - количество зеркал;

V_k - волнометрический кадр (X,Y,Z);

Z - глубинная координата;

h –высота волнометрического кадра, соответствует координате Y ;

τ - величина смещения каждого последующего кадра изображения на ЖК панелях при переходе к очередному зеркалу;

α, σ -углы падения и отражения лучей взгляда наблюдателя на различные по глубине точки A', B' соответственно, приведен чертеж, поясняющий принцип комбинированной слоистости для случая четырех слоев ЖК- панелей и двух зеркал.

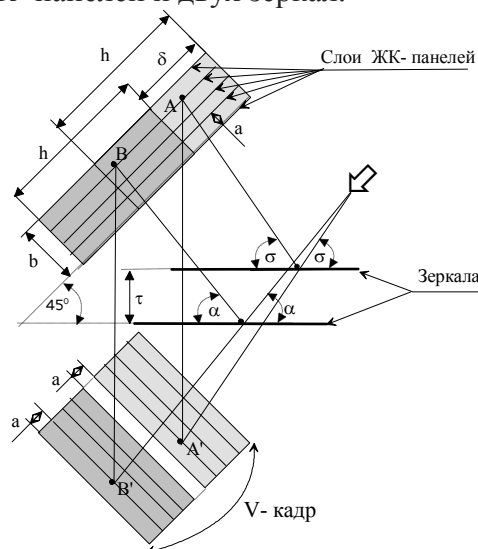


Рис. 3. Принцип комбинированной слоистости.

Как видно из рисунка 3, зазор между двумя виртуальными блоками должен быть равен толщине одного ЖК – слоя .

Для конструирования системы необходимо знать, во-первых, какой зазор должен быть между соседними зеркалами; а во - вторых, на какую величину должен сдвигаться каждый последующий видеокادر на экране монитора по отношению к предыдущему.

Для ответа на эти вопросы запишем некоторые очевидные соотношения:

$$b = ka, \delta = b + a = (k + 1)a, \tau = (b - a)/\sqrt{2}.$$

Глубинная координата Z при этом будет равна: $Z = m(k + 1)a - a$.

Идея построения валюметрической системы комбинированной слоистости заключается в том, чтобы указанные блоки ЖК-панелей отражались в зеркалах, находящихся на различных уровнях. Но как видно из приведенных выше рисунков, одни зеркала закрывают другие. Чтобы этого не происходило - зеркала должны вращаться параллельно друг другу в горизонтальной плоскости.

Синхронизация вращения зеркал должна быть таковой, чтобы когда перед наблюдателем появляется очередное i -е зеркало, на экране монитора в нужном месте экрана должно появляться изображение блока i -го глубинного среза валюметрического кадра.

В поставленных технических требованиях стоит условие обеспечение динамичности валюметрической системы. Это значит, что смена всего валюметрического V -кадра должна выполняться с частотой (12,5-25) гц.

Это накладывает дополнительные условия на выбор ЖК-матриц, способных удовлетворить временным требованиям. В своих исследованиях мы ориентировались на предельное время отклика ЖК-матрицы 2,5 мс.

Расчеты показывают, например, если выбрать систему имеющую 12 зеркал и блок ЖК-матриц, размером 540 x 320мм, состоящую из 12 слоев, из которых только один слой имеет световые фильтры, то, при толщине одного слоя матрицы, равного 2 мм, получим валюметрический объем, размера $X, Y, Z = (292 \times 232 \times 288)$ мм. При этом из 144 виртуальных глубинных слоев каждый двенадцатый - цветной, остальные монохромные. Система допускает 12 независимых посадочных мест операторов. Частота смены полного объемного виртуального кадра 25 гц.

Выводы. Валюметрическая система на основе предложенного принципа комбинированной слоистости удовлетворяет полностью поставленным техническим требованиям, за исключением одного - это цветность. Если использовать ЖК-матрицы с общей подсветкой, то цветных слоев будет столько, сколько зеркал, остальные слои - монохромные. Если ориентироваться на новые матрицы на основе SMD-диодов, то количество цветных слоев может быть увеличено в разы. Для комплексной оценки возможностей предлагаемой системы на основе новых матриц требуются полные данные таких матриц, включая время отклика, прозрачность и разрешение.

1. *Martin S. Leung*. Three-dimensional real-image volumetric display system and Method.- 1998.- Патент US 5,745,197.
2. *Alan Sullivan*. Multi-planar volumetric display system and method of operation using psychological vision cues.- 2002.- Патент US 6,466,185.
3. *Victor Weiss*. Multi-layered, three-dimensional display.- 2004.- Патент US 6,721,023
4. *Rick K. Dorval*. Volumetric three-dimensional display system.- 2003.- Патент US 6,554,430.
5. *Che-Chih Tsao*. Moving screen projection technique for volumetric three dimensional display.- 2001.- Патент US 6,302,542.
6. *Zheng Jason Geng*. Method and apparatus for high resolution three dimensional display.- 2000.- Патент US 6,064,423.
7. *Alan C. Traub*. Three-dimensional display.- 1970.- Патент US 3,493,290.
8. *Thomas P. O'Brien*. Gimballed three-dimensional display system.- 1987.- Патент US 4,539,081

А.А. Кузнецов¹⁾
И.Н. Белозерцев²⁾
А.В. Андрушкевич³⁾ 1)

д.т.н., профессор кафедры безопасности информационных систем и технологий, ХНУ им. В.Н. Каразина (пл. Свободы 4, г. Харьков, Украина, kuznetsov@karazin.ua)

²⁾ студент факультета компьютерных наук, ХНУ им. В.Н. Каразина (пл. Свободы 4, г. Харьков, Украина ivanbelozersevv.jw@gmail.com)

³⁾ аспирантка кафедры безопасности информационных технологий Харьковского национального университета радиоэлектроники (пр. Науки 14, г. Харьков, Украина, alina.samoilova@nure.ua)

НЕЛИНЕЙНЫЕ УЗЛЫ ЗАМЕН БЛОЧНЫХ СИММЕТРИЧНЫХ ШИФРОВ

The paper examines state-of-the-art block ciphers and nonlinear substitution components (S-blocks), which were used in them. Properties and criteria of S-block effectiveness such as balancedness, correlation immunity, propagation criteria, autocorrelation et cetera are analyzed. A comparative research of the effectiveness of nonlinear substitution components of state-of-the-art block ciphers is conducted.

Ключевые слова: нелинейный узел замен, блочный симметричный шифр, критерии эффективности.

Введение. Доктриной информационной безопасности Украины, утвержденной Указом Президента Украины от 08.07.2009 № 514, определены реальные и потенциальные угрозы информационной безопасности Украины, к которым, в частности, отнесен несанкционированный доступ к информационным ресурсам, в том числе, вследствие использования иностранных информационных технологий. Криптографические методы защиты информации являются важной и неотъемлемой частью современной инфраструктуры обеспечения информационной безопасности [1].

Алгоритмы блочного симметричного шифрования (БСШ) используются для обеспечения конфиденциальности и целостности (как дополнительной услуги) информации [1-6]. Их исследование является чрезвычайно важной научной задачей, непосредственно связанной с обеспечением информационной безопасности и направленной на внедрение перспективных криптографических методов защиты информации. Целью данной работы является анализ структуры и основных преобразований современных БСШ, исследование свойств нелинейных узлов замены, которые используются для обеспечения стойкости против известных криптоаналитических атак.

Современные БСШ. В работе рассматриваются симметричные шифры, признанные международным научным сообществом в качестве надежных и вычислительно-эффективных криптоалгоритмов: «Калина» (Украина) [5], «Кузнечик» (Российская Федерация) [3], «BelT» (Республика Беларусь) [4], «AES» (США) [2], «Camellia» (Япония) [2], «CAST» (Канада) [2], «SEED» (Южная Корея) [2].

БСШ «Калина» – национальный стандарт Украины ДСТУ 7624:2014 [5], разработанный АТ «ИИТ» [6]. Алгоритм поддерживает размер блока и длину ключа шифрования 128, 256 и 512 бит (длина ключа равна размеру блока или в два раза превышает его), обеспечивая нормальный, высокий и сверхвысокий уровень стойкости.

БСШ «Кузнечик» – алгоритм шифрования, стандартизированный в России как ГОСТ 34.12-2015 [3]. Длина входного блока – 128 бит, длина ключа – 256 бит. Процесс зашифрования основан на последовательном применении нескольких однотипных раундов, каждый из которых содержит сложение с раундовым ключом, нелинейное и линейное преобразование.

БСШ «BelT» – государственный стандарт симметричного шифрования и контроля целостности Республики Беларусь. Стандартизирован как СТБ 34.101.31-2011 [4] и введен в действие в 2011 году. Это блочный криптоалгоритм с 256-битным ключом и 8 циклами, оперирующий 128-битными словами.

БСШ «AES» – стандартизированный в США криптоалгоритм (FIPS-197). На международном уровне стандартизирован в ISO/IEC 18033-3 [2]. Обработывает 128-битные блоки данных, используя ключи шифрования длиной 128, 192 и 256 бит. В зависимости от длины ключа выполняется 10, 12 или 14 раундов шифрования.

БСШ «Camellia» – алгоритм шифрования с размером блока 128 бит и ключа 128, 192, 256 бит. Один из финалистов европейского конкурса NESSIE (наряду с AES и Shacal-2), разра-

ботка японских компаний Nippon Telegraph and Telephone Corporation и Mitsubishi Electric Corporation. Рекомендован CRYPTREC для промышленного и государственного использования. Стандартизирован на международном уровне в ISO/IEC 18033-3 [2]. Цикловая функция использует нелинейное преобразование, блок линейного рассеивания и байтовую перестановку.

БСШ «CAST» – канадский криптоалгоритм, разработанный Карлайслом Адамсом (Carlisle Adams) и Стаффордом Таваресом (Stafford Tavares). Использует 64-битовый блок и 128-битовый ключ, 16 раундов преобразования. В ISO/IEC 18033-3 [2] стандартизирован алгоритм CAST-128, который использует восемь S-блоков, реализующих отображение 8-ми битных входных векторов в 32-х битные выходные. Четыре S-блока используются в раундовой функции алгоритма, оставшиеся четыре используются в схеме разворачивания ключа.

БСШ «SEED» – симметричный криптоалгоритм, разработанный корейским агентством информационной безопасности (Korean Information Security Agency, KISA) в 1998 году. Также стандартизирован на международном уровне в ISO/IEC 18033-3 [2]. Алгоритм широко используется финансовыми и банковскими структурами, производственными предприятиями и бюджетными учреждениями Южной Кореи, а также в протоколах TLS и S/MIME. Алгоритм представляет собой сеть Фейстеля с 16 раундами, 128-битовыми блоками и 128-битовым ключом.

Проведенный анализ структуры и основных преобразований современных БСШ показал, что нелинейные узлы замен (S-блоки) являются, как правило, подстановками 8 в 8 бит, их непосредственное описание приводится в спецификации соответствующих алгоритмов [2-5]. Исключением является S-блок алгоритма CAST, который представляет собой подстановку 8 в 32 бита [2].

В большинстве известных работ в области анализа и синтеза нелинейных узлов замен используется математический аппарат криптографических булевых функций [7 - 11]. При этом каждый S-блок представляется совокупностью компонентных булевых функций, свойства которых характеризуют эффективность нелинейного узла замен.

В качестве основных критериев и показателей эффективности используют [8 - 11]: сбалансированность и нелинейность компонентных булевых функций; корреляционный иммунитет; критерий распространения; алгебраическая степень; значение функции автокорреляции. Указанные критерии и показатели отражают способность нелинейного узла противостоять атакам определенного типа. Например, нелинейность, критерий распространения и корреляционная иммунность характеризуют способность противостоять корреляционным атакам, алгебраическая степень и автокорреляция – аналитическим атакам, сбалансированность – статистическим и т.д. [8 - 11]. В данной работе исследуется эффективность нелинейных узлов рассмотренных шифров, приводятся результаты оценки различных показателей стойкости как отдельных булевых функций, так и интегральные оценки эффективности соответствующих S-блоков по критерию минимального риска.

Результаты исследований. Для проведения экспериментальных исследований разработан программный вычислительный комплекс, который позволяет рассчитать различные криптографические показатели узлов замены [7]. Полученные результаты экспериментальных исследований сведены в таблицы 1 – 4. Используются следующие обозначения: В – сбалансированность («+» - удовлетворяет, «-» - не удовлетворяет); N – нелинейность; А – автокорреляция; AD – алгебраическая степень; PC – критерий распространения; CI – корреляционная иммунность; fn – функция, соответствующая n-му выходу S-блока; S-box – показатели эффективности S-блока по критерию минимального риска (худший случай среди всех компонентных булевых функций); Linear combinations (LC) – показатели эффективности S-блока по критерию минимального риска (худший случай среди всех линейных комбинаций булевых функций). Для алгоритма «CAST-128» с восемью узлами по 32 функции в каждом (см. таблицу 4) приводятся только интегральные оценки «S-box» и «LC».

Таблица 1. Показатели эффективности подстановок шифра «Калина»

	S ₁ -блок						S ₂ -блок						S ₃ -блок						S ₄ -блок					
	B	N	A	AD	PC	CI	B	N	A	AD	PC	CI	B	N	A	AD	PC	CI	B	N	A	AD	PC	CI
f ₁	+	106	48	7	0	0	+	106	48	7	0	0	+	106	56	7	0	0	+	108	56	7	0	0
f ₂	+	106	64	7	0	0	+	106	64	7	0	0	+	104	64	7	0	0	+	104	56	7	0	0
f ₃	+	106	56	7	0	0	+	106	56	7	0	0	+	106	56	7	0	0	+	108	64	7	0	0
f ₄	+	104	72	7	0	0	+	104	72	7	0	0	+	106	56	7	0	0	+	108	48	7	0	0
f ₅	+	104	56	7	0	0	+	104	56	7	0	0	+	108	48	7	0	0	+	104	64	7	0	0
f ₆	+	106	56	7	0	0	+	106	56	7	0	0	+	104	56	7	0	0	+	108	56	7	0	0
f ₇	+	106	64	7	0	0	+	106	64	7	0	0	+	106	56	7	0	0	+	104	64	7	0	0
f ₈	+	106	64	7	0	0	+	106	64	7	0	0	+	104	56	7	0	0	+	108	48	7	0	0
S-box	+	104	72	7	0	0	+	104	72	7	0	0	+	104	64	7	0	0	+	104	64	7	0	0
LC	+	104	72	7	0	0	+	104	72	7	0	0	+	104	72	7	0	0	+	104	72	7	0	0

Таблица 2. Показатели эффективности подстановок шифров «Кузнечик», «BeIT», «AES», «Camellia»

	S-блок «Кузнечик»						S-блок «BeIT»						S-блок «AES»						S-блок «Camellia»					
	B	N	A	AD	PC	CI	B	N	A	AD	PC	CI	B	N	A	AD	PC	CI	B	N	A	AD	PC	CI
f1	+	104	64	7	0	0	+	106	56	7	0	0	+	112	32	7	0	0	+	112	32	7	0	0
f2	+	106	56	7	0	0	+	106	72	7	0	0	+	112	32	7	0	0	+	112	32	7	0	0
f3	+	116	24	7	0	0	+	106	56	7	0	0	+	112	32	7	0	0	+	112	32	7	0	0
f4	+	104	64	7	0	0	+	104	72	7	0	0	+	112	32	7	0	0	+	112	32	7	0	0
f5	+	110	48	7	0	0	+	108	56	7	0	0	+	112	32	7	0	0	+	112	32	7	0	0
f6	+	106	64	7	0	0	+	106	72	7	0	0	+	112	32	7	0	0	+	112	32	7	0	0
f7	+	102	72	7	0	0	+	108	56	7	0	0	+	112	32	7	0	0	+	112	32	7	0	0
f8	+	104	64	7	0	0	+	108	64	7	0	0	+	112	32	7	0	0	+	112	32	7	0	0
S-box	+	102	72	7	0	0	+	104	72	7	0	0	+	112	32	7	0	0	+	112	32	7	0	0
LC	+	102	80	7	0	0	+	102	72	7	0	0	+	112	32	7	0	0	+	112	32	7	0	0

Таблица 3. Показатели эффективности подстановок шифра «SEED»

S ₁ -блок	B	N	A	AD	PC	CI	S ₂ -блок	B	N	A	AD	PC	CI
f ₁	+	110	40	7	0	0	f ₁	+	112	32	7	0	0
f ₂	-	111	36	8	0	0	f ₂	+	112	32	7	0	0
f ₃	+	112	32	7	0	0	f ₃	+	112	32	7	0	0
f ₄	+	112	40	7	0	0	f ₄	+	112	32	7	0	0
f ₅	+	110	40	7	0	0	f ₅	+	111	36	8	0	0
f ₆	-	111	36	8	0	0	f ₆	-	113	36	8	0	0
f ₇	-	111	36	8	0	0	f ₇	+	112	32	7	0	0
f ₈	+	111	36	8	0	0	f ₈	+	111	36	8	0	0
S-box	-	110	40	7	0	0	S-box	-	111	36	7	0	0
LC	-	109	44	7	0	0	LC	+	111	36	7	0	0

Таблица 4. Показатели эффективности подстановок шифра «CAST-128»

	S ₁ -блок						S ₂ -блок						S ₃ -блок						S ₄ -блок					
	B	N	A	AD	PC	CI	B	N	A	AD	PC	CI	B	N	A	AD	PC	CI	B	N	A	AD	PC	CI
S-box	-	120	0	4	8	0	-	120	0	4	8	0	-	120	0	4	8	0	-	120	0	4	8	0
LC	-	88	112	4	0	0	+	92	96	4	0	0	-	92	96	4	0	0	+	92	112	4	0	0
	S ₅ -блок						S ₆ -блок						S ₇ -блок						S ₈ -блок					
	B	N	A	AD	PC	CI	B	N	A	AD	PC	CI	B	N	A	AD	PC	CI	B	N	A	AD	PC	CI
S-box	-	120	0	4	8	0	-	120	0	4	8	0	-	120	0	4	8	0	-	120	0	4	8	0
LC	+	92	144	4	0	0	+	80	112	4	0	0	+	92	96	4	0	0	+	92	128	4	0	0

Полученные результаты отображают цели, которые ставили перед собой разработчики шифров, относительно концепций формирования S-блоков. Все проанализированные шифры, в общем, показали приемлемый результат по всем частным показателям. Высокие или заниженные значения для некоторых шифров свидетельствуют о стойкости либо же уязвимости шифра к конкретной криптоаналитической атаке. Например, БСШ «CAST-128» имеет превосходные результаты по показателям нелинейности, автокорреляции и критерию распространения, однако имеет низкую алгебраическую степень, а также низкие показатели стойкости для линейных комбинаций булевых функций S-блока. S-блок БСШ «SEED» имеет меньшее значение нелинейности. Таблица подстановки БСШ «AES» имеет высокую алгебраическую степень, хорошие показатели по нелинейности и автокорреляции, однако имеет нулевой критерий распространения. Кроме того, S-блок БСШ «AES» сформирован на основе алгебраической конструкции, что создает предпосылки для возможной реализации алгебраического криптоанализа. БСШ «Camellia» показал одинаковые с «AES» результаты. Остальные проанализированные S-блоки не являются алгебраическими, но при этом теряют в нелинейности и автокорреляции.

Таблицы подстановки шифров, утвержденных в качестве государственных стандартов Украины, Российской Федерации и Белоруссии представляют собой наиболее сбалансированное, компромиссное решение. Среди них лучшими показателями обладает S-блок украинского шифра «Калина», вслед за ним идет белорусский «BelT» и российский «Кузнечик».

Заключение. Полученные результаты не позволяют однозначно определить лучший S-блок, из-за различных концептуальных особенностей в проектировании каждого из них. Однако среди шифров, которые стандартизированы в постсоветских странах, лучшим по показателям эффективности нелинейных узлов замен следует отметить S-блок шифра «Калина». Также стоит обратить внимание на канадский шифр CAST-128, булевы функции в S-блоке которого удовлетворяют критерию распространения степени 8 и обладают нулевой автокорреляцией.

Перспективным направлением дальнейших исследований является анализ свойств нелинейных узлов усложнения поточных криптоалгоритмов, обоснование рекомендаций и предложений по разработке национального стандарта поточного шифрования Украины.

1. Горбенко І.Д., Горбенко Ю.І. Прикладна криптологія. Теорія. Практика. Застосування: Підручник для вищих навч. закладів. – Харків: Вид-во «Форт», 2013. – 880 с.
2. Information technology – Security techniques – Encryption algorithms, Part 3: Block ciphers (ISO/IEC 18033-3), 80 с.
3. ГОСТ Р 34.12-2015. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Блочные шифры. – М.: Стандартинформ, 2015г. – 25с.
4. СТБ 34.101.31-2011 Информационные технологии и безопасность. Защита информации. Криптографические алгоритмы шифрования и контроля целостности. – Минск: Госстандарт, 2011г. – 35с.
5. Інформаційні технології. Криптографічний захист інформації. Алгоритм симетричного блокового перетворення: ДСТУ 7624:2014. – К.: Мінекономрозвитку України, 2015. – 238 с.
6. Розробка нового блокового симетричного шифру: звіт за перший етап НДР «Алгоритм» (проміжний) / АТ «ІТ»; кер. І.Д. Горбенко – Харків, 2014, Том 4. – 304 с.
7. Анализ и сравнительные исследования нелинейных узлов замены современных блочных шифров. / Кузнецов А.А., Белозерцев И.Н., Андрушкевич А.В. // Прикладная радиоэлектроника: научн.-техн. журнал. – 2015. – Том 14. – №4. – с. 343-350.
8. Bart Preneel. Analysis and Design of Cryptographic Hash Functions. [Электронный ресурс] – Режим доступа: homes.esat.kuleuven.be/~preneel/phd_preneel_feb1993.pdf
9. Carlet C. Vectorial Boolean functions for // Cambridge Univ. Press, Cambridge. – 95 p. [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.math.univ-paris13.fr/~carlet/chap-vectorial-fcts-corr.pdf
10. Clark J.A., Jacob J.L., Stepney S. The Design of S-Boxes by Simulated Annealing // New Generation Computing. – 2005. – 23(3). – p.219–231.
11. Carlet C. Boolean functions for cryptography and error correcting codes // Cambridge Univ. Press, Cambridge. – 2007. – 148 p. [Электронный ресурс] – Режим доступа: www1.spms.ntu.edu.sg/~kkhoongm/chap-fcts-Bool.pdf

О. Г. Додонов, д-р техн. наук,
А. І. Кузьмичов, канд. техн. наук,
Інститут проблем реєстрації інформації НАН України
(Україна, 03113, Київ, вул. М. Шпака, 2,
тел. (044) 4542151, e-mail: dodonov@ipri.kiev.ua, akuzmychov@gmail.com)

Моделювання ризиків у проектно-орієнтованому організаційному управлінні засобами стохастичної оптимізації середовища ASP

For risk analysis on project-based organizational management we use the stochastic optimization as class of optimization models that include uncertainty to find robust optimal solutions by three different solution models: simulation optimization, stochastic programming and robust optimization.

Ключові слова: імітаційне та оптимізаційне моделювання, ризик-аналіз, управління проектом

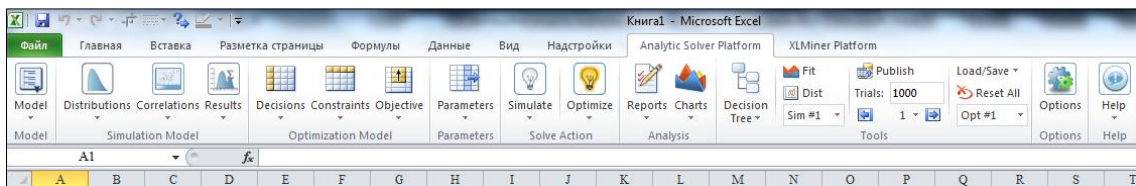
Вступ. Функціонування будь-якого об'єкту, процесу чи системи в умовах невизначеності це стан, де виконання відповідних функцій здійснюється при цілком можливих неочікуваних внутрішніх чи зовнішніх впливах. Невизначеність це потенційний ризик, свідомо ймовірність того, що може трапитися щось непередбачуване із відповідними наслідками. Тож аналіз ризиків – це систематичне дослідження й врахування невизначеностей, з якими стикаються у будь-яких видах комунікацій, що діють у побуті, в управлінській діяльності, у бізнесі, техніці й технологіях, суспільній політиці тощо, із відповідною проблематикою з прийняття рішень. Ризик-аналітики виявляють джерела й визначають властивості невизначеностей щодо того, де, коли й за яких умов вони виникають, аби на етапі кількісного моделювання оцінити вплив відповідних факторів на кінцевий результат й сам результат у відповідній метриці.

Стохастична оптимізація – клас моделей у вигляді комбінації засобів імітаційного моделювання методами Монте-Карло (ІМ), що враховують невизначеність вхідних даних, й програм-оптимізаторів. У складі цього класу моделі *імітаційної оптимізації*, що використовують для пошуку оптимуму метаевристики (типу генетичного алгоритму) із отриманням статистичних/ймовірнісних оцінок шуканих величин як результату, а також засоби оптимізаційного моделювання – *стохастичне програмування* та *робастна оптимізація* – де за даними короткотривалої імітації автоматично здійснюється перехід до відповідної детермінованої моделі, що використовує досконалі засоби лінійного/нелінійного програмування для отримання конкретних значень шуканих величин. Ці три типи моделей розрізняються універсальністю, вимогами на розмір задачі, критеріями оптимізації, властивостями невизначеностей шуканих змінних й обмежень, що впливає на необхідну кількість імітацій, тобто, на тривалість процесу комп'ютерного моделювання.

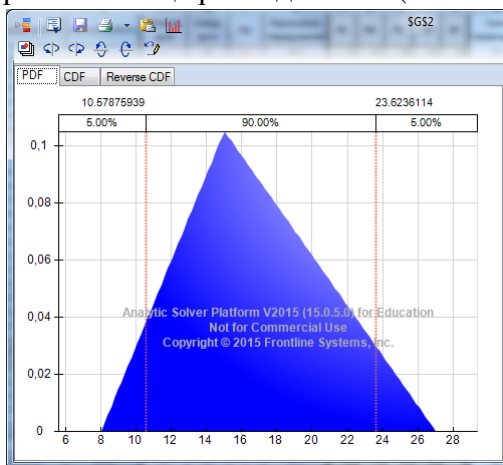
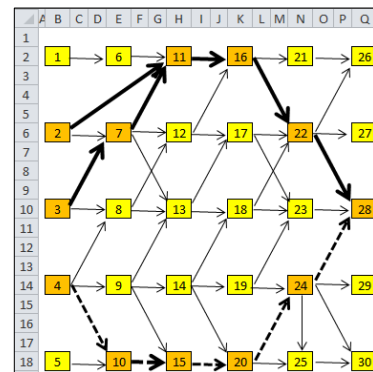
Приклад. Об'єкт ризик-аналізу у наведеному прикладі – проектно-орієнтована організаційна структура та її мережева модель, де параметри проекту (конфігурація, відношення передування, тривалості робіт, ресурсні потреби) мають явну ймовірнісну природу, кінцеві результати – оцінки ризиків щодо відхилень значень основних показників (тривалостей, загальних витрат) проекту при його здійсненні від запланованих – розраховуються за аналітичними технологіями стохастичної оптимізації. Характерні властивості таких структур – управлінські дії для формування й прийняття відповідальних рішень вибирають у т. зв. нештатних ситуаціях, в умовах високого ступеня невизначеності, часових й ресурсних обмежень. Тож

неповторність й унікальність планово-управлінської й організаційної діяльності, що здійснюється у визначених умовах, висувають необхідність застосування досконалого математичного апарату з управління проектами, а для врахування умов невизначеності активно використовуються сучасні аналітичні засоби аналізу ризиків. Світова практика доводить, що найкраще ці засоби представлені у вигляді спеціальних програм-надбудов табличних процесорів, від Excel до Google Sheets, це, зокрема, Oracle Cristal Ball, @Risk та лідер серед них – середовище ASP 2016 (Analytic Solver Platform) від Frontline Systems (далі застосовується її education-версія ASPE).

ASP є комбінацією оптимізаційних (LP/Quadratic, SOCP Barrier, LSGRG Nonlinear, Interval Global, Evolutionary), імітаційних та комбінованих моделей та алгоритмів (PSI Interpreter, Monte Carlo simulation, simulation optimization, stochastic programming, robust optimization), засобів дейтаманінгу (XLMiner Platform):



Постановка задачі. Мережева вузлова модель проекту складається із 100 робіт (P-1 ÷ P100, на рис. фрагмент) та 191 зв'язком між ними із розширеним набором відношень передування: FS, FF, SF, SS й часовим лагом (затримка/випередження, +/-), що дозволяє представити довільну специфіку проекту. За класичною методологією PERT, що застосовується для моделювання проектів в умовах невизначеності, тривалості робіт задані трійками (a_i, m_i, b_i) , де: a_i , m_i , b_i – оптимістична (*min*), «середня» (*most likely*) й песимістична (*max*) тривалості, відповідно, для яких вибрано цілочислове значення трикутної функції розподілу ймовірностей, наприклад, для роботи P-1 це розподіл =INT(PsiTriangular(8;15;27)), рис.



Відшуковуються: часові параметри робіт: РС (ранній старт), РФ (ранній фініш), ПС (пізній старт), ПФ (пізній фініш), ЗР (загальний резерв часу), КШ (приналежність критичному шляху); мінімальна тривалість проекту (довжина критичного шляху); вартісні характеристики, витрати: прямі, непрямі, загальні; оцінки ризиків: для робіт та усього проекту, число ітерацій (trials) у кожному сеансі – не менше 1000.

Результати. Визначено: часові характеристики робіт, критичні роботи, вартісні оцінки, витрати: прямі, непрямі та загальні, по-

будована ресурсна діаграма Гантта (рис. 1). **Оцінки ризиків:** частотний графік (*Frequency*) шуканого значення тривалості проекту представляє розподіл ймовірностей (Рис. 2).

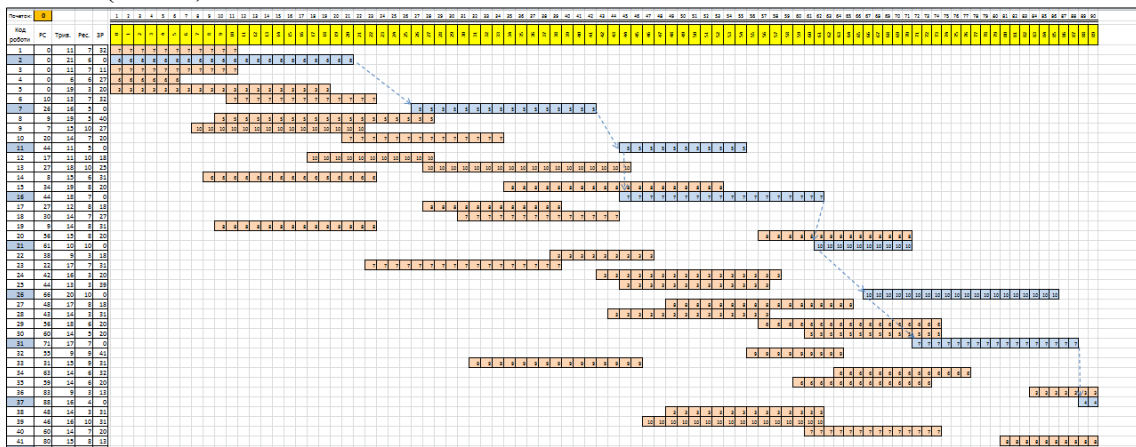


Рис. 1. Діаграма Гантта

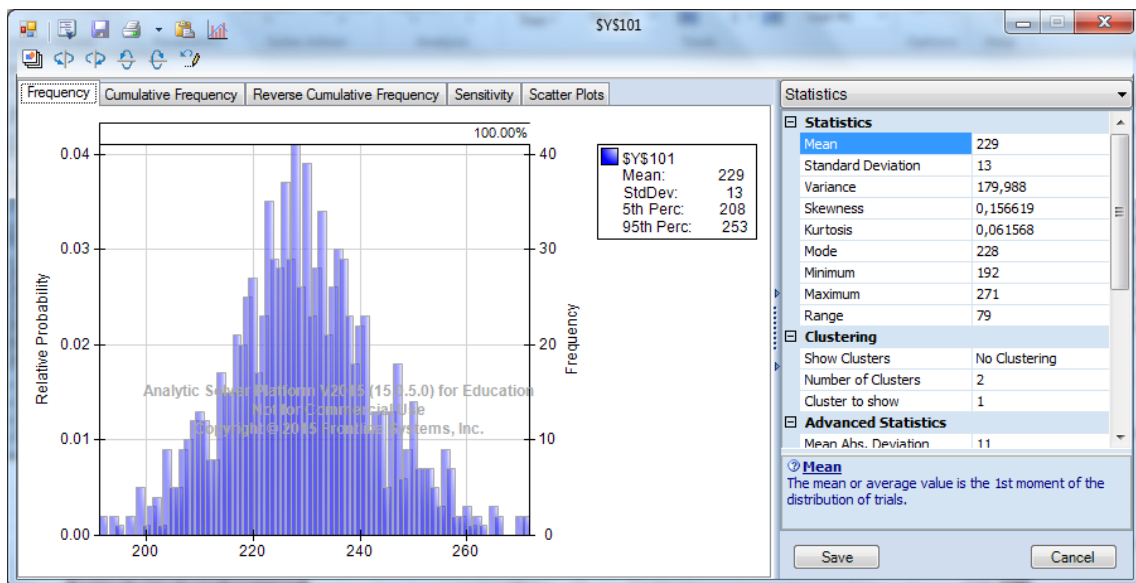
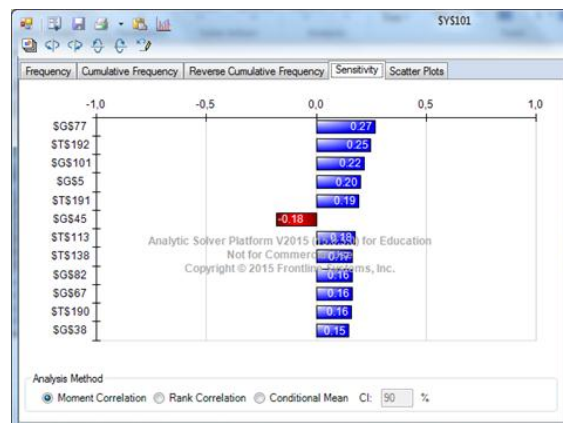
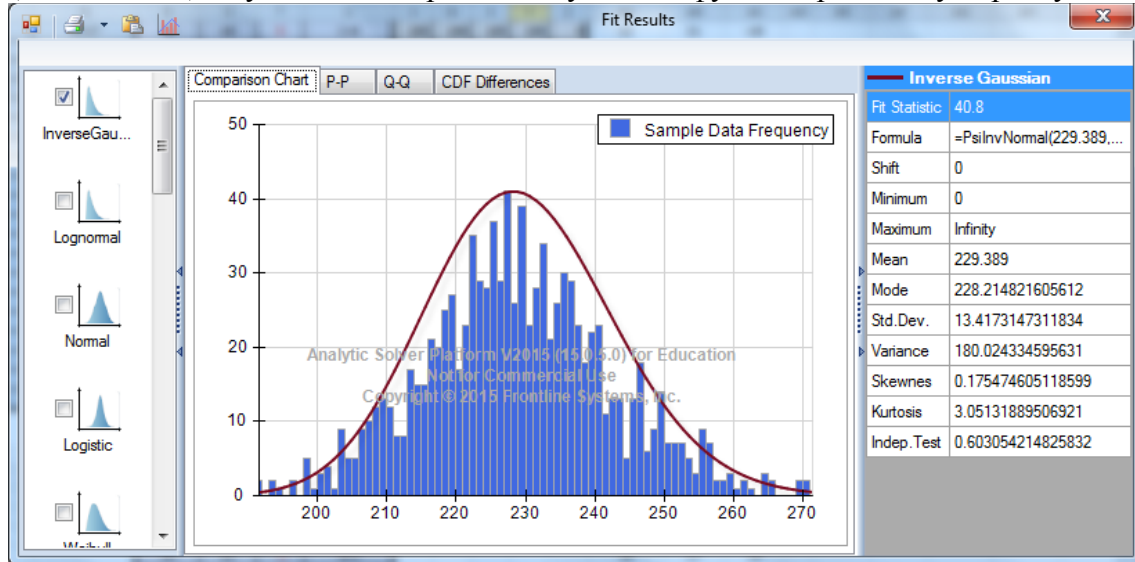


Рис. 2. Частотний графік

Аналіз чутливості (*Sensitivity*) тривалості проекту вказує на ймовірність впливу тривалостей критичних робіт на його значення (із урахуванням знаку), визначено найбільш впливові роботи, це означає, що серед усіх робіт увагу керівництва проекту привертають критичні роботи, а серед них – ті, що суттєво впливають на тривалість проекту, тобто, такі роботи найризикованіші й частіше за інші будуть належати критичному шляху, тож саме вони потребують сталої уваги. Таку оцінку неможливо отримати розв'язанням задачі традиційними методами, рис.



Використаний інструментар дає можливість отриманий частотний графік представити в аналітичній формі шляхом наближення (*Fit Distribution*) за певним критерієм узгодженості. Зокрема, у прикладі тривалість проекту найкраще описується формулою у вигляді Psi-функції нормального розподілу $\text{PsiInvNormal}(229,38;13,41)$, яку можна тепер застосовувати як функцію розподілу користувача:



Висновок. Стохастична оптимізація – найкраще поєднання в єдиному класі інструментальних засобів достоїнств імітаційного та оптимізаційного моделювання. Їх досить успішне використання в процесах ризик-аналізу та прийнятті організаційних рішень в умовах невизначеності зобов'язане досконалим і швидким алгоритмам генерування випадкових чисел із широким набором розподілів ймовірностей та, звичайно, розвиненим оптимізаційним методам середовища ASP. Достоїнством наведеної методології моделювання проектної діяльності є отримання не одного із нескінченності значень тривалості проекту як у методі PERT, а функції розподілу значення цієї тривалості у визначених межах $\min \div \max$ із середнім значенням 229 ч. од.

Література

1. Додонов О. Г. Комп'ютерне моделювання процесів організаційного управління // Вісник НАН України. – 2016. – № 1. – С. 69-77
2. Fu M. Handbook of Simulation Optimization. – Springer, 2015. – 400 p.
3. Додонов А. Г., Кузьмичев А. И. Оперативное реагирование на изменения и принятие решений в нештатных ситуациях: модель расписания проекта по критерию «время-стоимость» // Реестрация, зберігання і оброб. даних. – 2014. – Т. 16, № 2. – С. 122-132
4. Powell S., Baker K. Management Science: The Art of Modeling with Spreadsheets (Compatible with Analytic Solver Platform), 4-ed. – Wiley, 2014. – 539 p.
5. Кузьмичев А. И. Оптимізаційні методи і моделі: Практикум в Excel. – К.: АМУ, 2013. – 438 с.
6. Turner R. The Handbook of Project-Based Management. Leading Strategic Change in Organizations, 3-ed. – McGraw-Hill, 2009. – 473 p.

Н. А. Куликовская¹), асс. каф.

Р. К. Кудерметов²), доцент каф.

¹)Запорожский национальный технический университет
(Украина, 69063, Запорожье, ул. Жуковского, 64,
тел.(061) 7698249, e-mail: natalya.gontar@gmail.com)

²)Запорожский национальный технический университет
(Украина, 69063, Запорожье, ул. Жуковского, 64,
тел.(061) 7698489, e-mail: krk@zntu.edu.ua)

Модель распределенной компьютерной системы с семантическими веб-сервисами

Meta-model ontology and meta-model semantic web-services are proposed by metamodeling distributed computing system. Web services moves to the intellectualized data processing through the introduction of ontologies in the distributed computing system. The conceptual model of distributed computing system are given with the meta-model semantic web-services and analyzing standards describe the service-oriented systems.

Ключевые слова: распределенная компьютерная система, веб-сервисы, семантика

Введение. С бурным ростом накопленной информации становится актуальным вопрос интеллектуализации объектов распределенных компьютерных систем (РКС). Современные РКС чаще всего представляют собой сервис-ориентированные системы (СОС), когда система состоит из автономных программно-аппаратных узлов (сервисов) [1].

В построении СОС, организации взаимодействия удаленных сервисов, внедрения новых технологий в существующие системы и т.п. применяют сервис-ориентированную архитектуру (СОА). СОА обеспечивает масштабируемость и гибкость развивающихся систем и является промежуточным слоем между бизнесом и информационными технологиями (ИТ) [2]. В тоже время, для РКС остается сложным вопрос формализации и автоматизации управления информацией для эффективной передачи данных между сервисами и отделение функциональности сервисов от используемых данных. Так же, РКС имеет ограничения, обусловленные семантической бедностью используемой модели обмена данными, среди которых: сложная и дорогостоящая поддержка для масштабных систем с разнородными данными; хрупкие правила трансформации данных, ограничивающие динамику системы; отсутствие решения проблем качества данных, дублирования данных и пр. [3]

Основная часть. В современном развитии распределенных систем существует необходимость в повышении качества и скорости обработки данных внутри системы. В связи с этим возрастает значение распределенных систем, ориентированных на эффективное управление информацией, как средства решения этой проблемы. Одной из основных задач любой распределенной системы является анализ свойств полученных данных, которые, в силу ряда причин, не могут быть оценены на одном узле РКС. Для ускорения времени обработки информации необходимо: на первом этапе интеллектуализировать управление данными системы, а на втором - собрать данные из распределенных узлов и агрегировать эти данные в общее глобальное представление. Это является сложной задачей из-за часто встречающейся типах задач динамики и разнородности информации, что накладывает очень частые изменения в локальные значения данных, которые

вливают на общие глобальные свойства всей задачи. Создание семантических объектов внутри системы позволяет значительно ускорить скорость обработки данных.

В данной работе предложена концептуальная модель РКС, в которой веб-сервисы представлены с учетом их семантики. Таким образом, формируется новый объект системы – семантический веб-сервис (Semantic Web-Service – SWS, [4]), который описывается его онтологией. В отличие от применения стандартов SAWSDL, OWL-S, WSMO, WSDL, использование онтологий аргументировано тем, что они содержат в себе структурированную информацию о функциональных и нефункциональных характеристиках сервиса, передают гибкость их описанию.

Для работы с онтологиями имеется мощный логический аппарат поиска, объединения и сравнения. Путем внедрения онтологий осуществляется переход к интеллектуализированной обработке данных. Тогда, РКС с семантическими веб-сервисами представляет собой синтез СОС и семантических технологий, который определяет сервис-ориентированное представление программно-технических компонент и описание их формальной семантики.

В табл. 1 приведена архитектура метамоделирования РКС с SWS.

Таблица 1. Архитектура метамоделирования РКС с SWS

Мета уровень	Уровень моделирования
M3	Мета-метамодель / Мета-модель онтологии SWS
M2	Метамодель / Мета-модель SWS
M1	Модель / Модель РКС
M0	Данные / Реальный объект

Мета-модель онтологии SWS приведена на рис. 1, где показаны концепты (Concept), т.е. единицы информации или данных. Каждый концепт имеет свое логическое представление (Logical Definition) и текстовое описание (Textual Definition). В соответствие концепту могут существовать экземпляры (Instance), которые посредством представления конкретных сущностей связывают абстрактные понятия с предметами из реального мира. У каждого свойства (Property) концепта есть различные термы (Term) – это функции интерпретации. Семантические отношения – это представление аксиом онтологии.

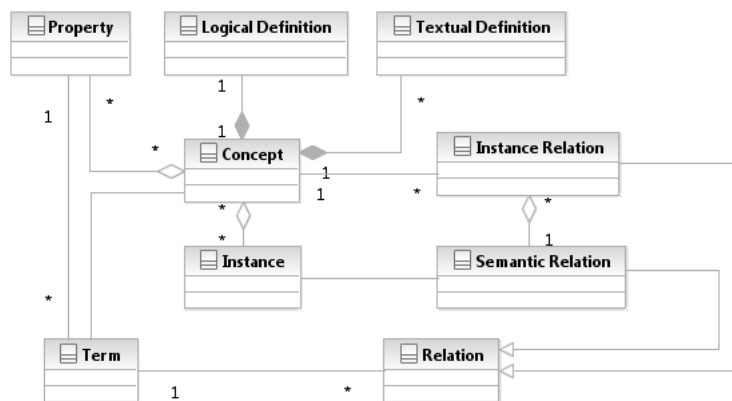


Рис. 1. Мета-метамодель онтологии SWS

Следовательно, мета-моделью SWS является его онтология, которая описывает все характеристики сервиса и его параметры.

На следующем этапе мы представили концептуальную модель РКС с SWS (рис. 2). Понятие основного артефакта системы выделено через класс Element, его подклассами являются такие элементы РКС как сервис (Service), система (System), событие (Event), человек (Human Actor), семантический реестр (Semantic Service). Класс сервис состоит из трех элементов: описание сервиса (Service description), онтология приложения (Application ontology), интерфейс сервиса (Service interface). Семантика веб-сервиса разделена на следующие онтологии: доменная онтология (Domain Ontology), онтология приложения (Application Ontology), онтология задачи (Task Ontology).

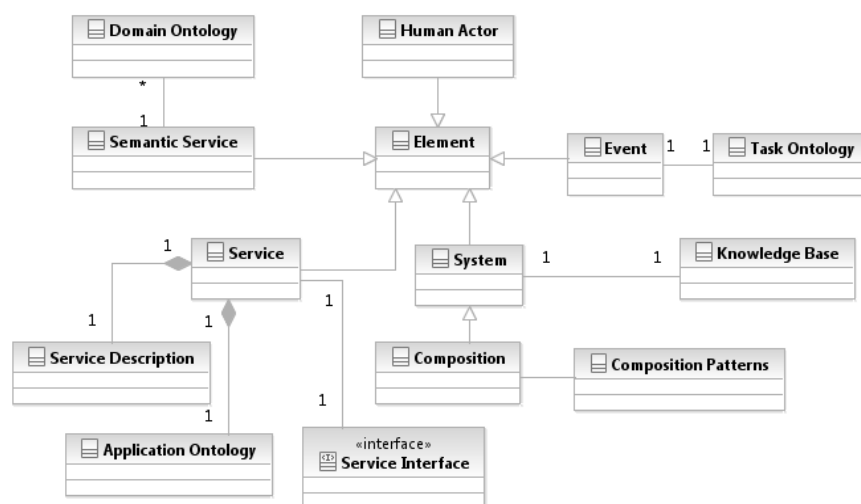


Рис. 2. Концептуальная модель РКС с SWS

Заключение. В связи с увеличением количества информации и необходимостью эффективного ее использования в РКС предложено описывать веб-сервисы с учетом их семантики. Путем метамоделирования структуры РКС с SWS предложены мета-модель онтологии SWS и мета-модель SWS. Через внедрение онтологий в веб-сервисы РКС осуществляется переход к интеллектуализированной обработке данных. Учитывая мета-модель SWS и проанализировав настоящие стандарты описания сервис-ориентированных систем, предложена концептуальная модель РКС с SWS. Концептуальная модель представлена в виде UML-диаграммы и отражает основные артефакты системы, такие как семантический веб-сервис, онтология сервиса, семантический реестр.

1. Pulien E., Taylor H. Understanding enterprise SOA. / E. Pulien, H. Taylor. - Manning Publications Co, 2006. – 242 p.
2. Gontar N. Design systems based on semantic service-oriented architecture // Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach. CA, USA, B&M Publishing. - 2014. - Vol. 5. Technical Sciences. – pp.41- 45.
3. Puder A. Distributed systems architecture: a middleware approach / Arno Puder, Kay Römer, Frank Pilhofer. - Elsevier Inc, 2006. – 320 p.
4. Yu L. Introduction to Semantic Web and Semantic Web services / Liyang Yu. - Taylor & Francis Group, LLC, 2007. – 342 p.

В. В. Кучанський, канд техн. наук,

¹⁾Ін-т електродинаміки НАН України

(Україна, 03680, Київ, пр. Перемоги, 56,
тел.(044) 363-24-01, e-mail: kuvlad@yandex.ru)

Імітаційна модель електропередачі надвисокої напруги для дослідження резонансних перенапруг

The processes of the abnormal no sinusoidal operating condition modes in the extra high voltage are considered. The computer simulation for these processes is proposed. The model was realized in the Matlab/Simulink system and results of simulation were tested on real line.

Ключевые слова: resonance overvoltage, simulation, no sinusoidal mode.

Вступ. Тенденції розвитку сучасних магістральних електричних мереж вказують на зростання ролі ліній електропередачі надвисокої напруги (ЛЕП НВН), як системоутворюючих та міжсистемних. Слід відзначити, що саме дослідження перенапруг для даного класу ліній повинні виконуватись особливо ретельно, зокрема, з врахуванням впливу джерел спотворень. Це пояснюється практичною відсутністю експлуатаційного запасу ізоляції, розрахованого на екстремальні значення параметрів, оскільки такий запас для надвисоких напруг має високу вартість. Таким чином, аналіз можливості виникнення перенапруг в ЛЕП НВН повинен виконуватись не лише для нормальних, але й для аномальних (несиметричних та несинусоїдних) режимів. Через високий рівень небезпеки неочікуваного переходу стану мережі з аномального в аварійний режим, експериментальні дослідження мають обмежене застосування, і тому для дослідження резонансних перенапруг (РП) зазвичай використовують імітаційне моделювання.

Основна частина. Імітаційне моделювання застосовується в тих випадках, коли математична модель занадто складна, щоб її можна було описати за допомогою аналітичних методів, тобто виразити залежності між параметрами за допомогою обмеженої кількості математичних виразів. Імітаційну модель можна використовувати як для одного випробування, так і для заданої серії. Імітаційне моделювання - це метод дослідження, при якому досліджувана система замінюється моделлю електропередачі надвисокої напруги, що з достатньою точністю описує реальну систему і з якою проводяться експерименти з метою отримання інформації про умови виникнення РП. Експериментування з моделлю називають імітацією. В загальному випадку імітація - це усвідомлення суті явища, без експериментів на реальному об'єкті.

Імітаційне моделювання – це окремий випадок математичного моделювання. Існують класи об'єктів, для яких з різних причин не розроблені аналітичні моделі, або не розроблені аналітичні методи реалізації отриманої моделі. У цьому випадку аналітична модель замінюється імітатором або імітаційною моделлю.

В роботі під імітаційним моделюванням називається отримання чисельних результатів задачі аналізу РП на основі об'єднання аналітичних залежностей, чисельних методів та алгоритмів розвитку процесів в електропередачах НВН.

Через вказані вище причини була розроблена імітаційна модель електропередачі НВН для реалізації в середовищі MATLAB/Simulink [1] (рис. 1).

В даній моделі вважається, що в електропередачі встановлено три групи шунтувальних реакторів, оскільки з практики відомо, що гармонічні перенапруги виникають при довжинах ліній, які потребують для компенсації зарядної потужності саме таку кількість груп шунтувальних реакторів [2,3].

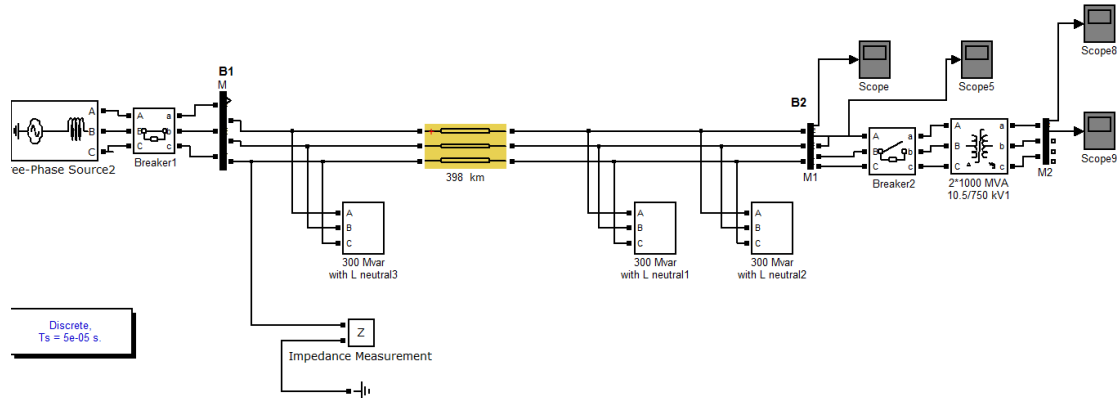


Рис. 1 Імітаційна модель електропередачі для дослідження гармонічних перенапруг

Полюси вимикачів в моделі розглядаються окремо для кожної з фаз: кожний полюс моделюється ідеальним вимикачем. Це дає можливість незалежно змінювати моменти замикання кожного з полюсів під час моделювання. Повітряна лінія моделюється дільницею з розподіленими параметрами, які визначаються довжиною лінії. Електроенергетична система задається трифазним джерелом напруги з певними величинами напруги та індуктивності.

Специфіка розвитку даного виду перенапруг полягає у тому, що вмикання лінії відбувається не на три фази групи однофазних автотрансформаторів, а на дві. Такий режим в мережі надвисокої напруги є допустимим з точки зору несиметрії напруги, оскільки значення струмів по зворотній та нульовій послідовності не перевищують гранично допустимі. Слід зазначити, що неповнофазність режиму лінії та кількість комутованих фаз груп автотрансформаторів у даному випадку не є головним чинником та першоджерелом виникнення РП на парних гармоніках. Вирішальний фактор – це холостий хід автотрансформатора.

Наведена схема імітаційної моделі відрізняється зокрема тим, що вона більш детально імітує електричну частину станцій, ніж загальноприйняте моделювання еквівалентним трифазним джерелом живлення. Якщо ЛЕП об'єднує станцію і енергосистему, то станція моделюється за допомогою спеціально розробленого блока, а система – еквівалентною мережею. У випадку якщо ЛЕП НВН об'єднує дві енергосистеми, еквівалентні мережі характеризуються потужністю короткого замикання при базовому значенні напруги.

На рис. 2 наведені результати моделювання процесів на лінії Хмельницька АЕС – Жешув (Польща), які відбуваються при включенні ненавантаженого автотрансформатора. Форма кривих напруги залишається спотвореною впродовж багатьох періодів (рис. 2). Таким чином, аномальні перенапруги на другій гармоніці досягають суттєвих величин і можуть бути тривалими (порядку декількох секунд), що призведе до пошкодження ізоляції устаткування. Саме тому всебічне дослідження і вивчення перенапруг на другій гармоніці є важливим науково-технічним завданням. Як видно з (рис. 2) кратність перенапруг може

перевищувати 1,5 з тривалістю дії 0,5–0,6 с. Результати моделювання адекватно відображають процеси при комутації порівняно з натурними експериментами з [3].

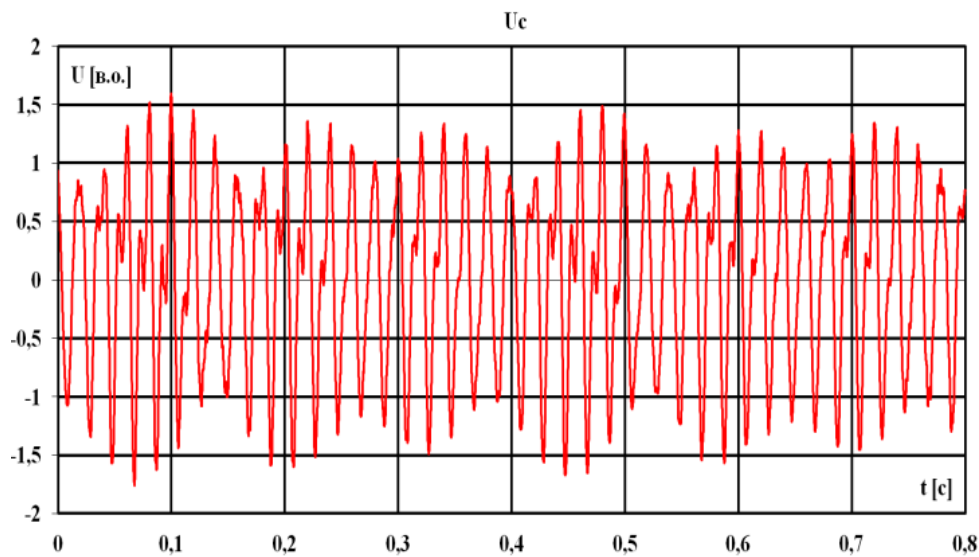


Рис. 2. Результати імітаційного моделювання перенапруг на другій гармоніці

Як вище відзначено, можливості натурних досліджень перенапруг шляхом прямих вимірювань обмежені, а їх результати, хоча й дуже важливі, відображають минулий досвід, через те, що такі вимірювання можуть бути виконані тільки на вже побудованих діючих лініях електропередачі. Саме тому пріоритетним напрямком є виконання розрахунків, що прогнозують характеристики перенапруг завдяки імітаційному моделюванню аномальних режимів.

Широке впровадження електронно-обчислювальних машин в практику проектування та експлуатації ЛЕП НВН, дало можливість реалізації методів розрахунку перехідних процесів з урахуванням багатьох параметрів, що характеризують умови виникнення перенапруг. Також завдяки технічному прогресу в обчислювальній техніці стало можливим створення імітаційних моделей, а також виконання серійних розрахунків на ЛЕП НВН.

Висновки. Дослідження в сучасних умовах аномальних режимів доцільно виконувати за допомогою імітаційного моделювання в середовищі MATLAB/Simulink. З цією метою автором була розроблена імітаційна модель, що буде корисною як в проектуванні для оцінки можливості появи резонансних перенапруг при побудові нових або модернізації існуючих ЛЕП, так і при виборі безпечних режимів в процесі їх експлуатації.

1. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в Matlab, SimPowerSystems и Simulink / И.В. Черных. – Спб.: ДМК Пресс, 2008. – 288 с.
2. Кузнецов В.Г. Дослідження впливу транспозиції лінії електропередачі надвисокої напруги на аномальні перенапруги / В.Г. Кузнецов, Ю.І. Тугай, В.В. Кучанський // Технічна Електродинаміка. – 2013. – №6. – С. 51–56.
3. Пусковые и системные испытания электропередачи 750 кВ Хмельницкая АЭС – Жешув: Отчет о НИР / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т электроэнергетики; рук. Хоециан К.В.; исполн.: К.В. Хоециан, А.Г. Карякина, А.М. Печенкина, В.Г. Козлова. – 1985. – 92 с. – Дог. 4-527/95.

Д. В. Ландэ, д-р техн. наук,
В. А. Додонов,

Т.В. Коваленко

Ин-т проблем регистрации информации НАН Украины
(Украина, 03113, Киев, ул. Шпака, 2,
тел. (044) 456 83 89, e-mail: dwlande@gmail.com)

Информационные операции в компьютерных сетях: моделирование, выявление, анализ

The models of information dissemination allowing to recognition of information operations are considered. The architecture of system of identification of information operations in network media, methodology of analytical research which is based on the use of tools of the analysis and visualization of information streams and network structures is presented.

Ключевые слова: информационные операции, поддержка принятия решений, информационное пространство, контент-мониторинг.

Введение. Информационная операция является компонентой информационной войны, содержание которой направлено на реализацию предварительно спланированных психологических воздействий на враждебную, дружескую или нейтральную аудиторию путем информационного влияния на установки и поведение с целью достижения заранее определенных преимуществ [1]. Поле боя современных информационных операций распространяется на глобальные компьютерные сети, где формируются многочисленные информационные потоки. В результате анализа поведения тематических информационных потоков, были выявлены типичные, базовые профили их поведения [2], например, когда после быстрого информационного всплеска подготовки следует плавный спад (публикации о стихийных бедствиях), или, напротив, предполагается длительная информационная подготовка, после чего идет резкий спад (публикации об планируемых заранее мероприятиях). Существуют тематические потоки, характеризующиеся симметричной кривой динамики, как узкие, кратковременные, так и растянутые во времени.

Модель распространения информации. Для создания мультиагентной модели распространения информации, прежде всего, необходимо сформировать близкое к реальности виртуальное информационное пространство, населенное виртуальными агентами, с которыми ассоциируются отдельные документы. Предполагается, что отдельные агенты могут:

- 1) самозарождаться;
- 2) порождать новых агентов;
- 3) «умирать» – исчезать из пространства агентов;
- 4) получать ссылки от других агентов.

Агент обладает «потенциалом», зависящим от его возраста, авторитетности (ссылок на него) и плодовитости (количества порожденных им агентов).

Варьирование четырьмя параметрами управления позволили смоделировать профили поведения информационных сюжетов. В результате проведенных исследований была реализована программа эволюции пространства агентов, исследована эволюция мультиагентной системы, найдены аналогии с реальными тематическими информационными потоками. Были выявлены статистические закономерности, относящиеся к жизненному циклу отдельных сообщений,

распределение которых, соответствует распределению Вейбулла. Данные моделирования были проверены путем исследования реальной сети микроблогов Twitter [3]. Совпадение результатов моделирования и параметров распределения реальной сети позволяют говорить о закономерности, присущей реальным сетям, а также об адекватности модели.

Фазы информационной операции. Предполагается, что системное нарушение типовой динамики некоторых информационных сюжетов в открытом информационном пространстве может свидетельствовать об информационных операциях [4]. При этом следует ориентироваться на этапы информационных атак (рис. 1), и при этом уже по первым трем можно с большой вероятностью предсказать будущие события [5].

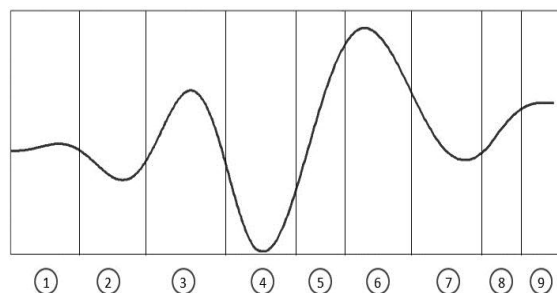


Рис. 1 – Обобщенная диаграмма, соответствующая всем этапам жизненного цикла информационных операций: 1 – фон; 2 – затишье; 3 – «артподготовка»; 4 – затишье; 5 – атака/триггер роста; 6 – пик завышенных ожиданий; 7 – утрата иллюзий; 8 – общественное осознание; 9 – продуктивность/фон

Приведенные зависимости могут быть использованы в качестве шаблонов для выявления информационных операций. Достоинством этого метода, является простота его реализации, а главный недостаток заключается в том, что с их помощью информационную операцию можно надежно распознать лишь на ее финальной стадии. Как расширение данной мультиагентной модели распространения информации можно рассматривать модель, в которой учитывается структура формируемой сети [6]. В рамках этой модели каждый агент – источник информации, а связи в сети агентов – факты перепечатки или «пересказа». В основе модели лежит предположение, что при проведении информационных операций наиболее рейтинговые источники перепечатывают информацию у наименее рейтинговых, или образуются кластеры низкорейтинговых источников, перепечатывающих одну и ту же новость. В рамках формализации этой модели выбирается несколько десятков параметров топологии сетей распространения информации, которые сравниваются с некоторыми эталонными значениями. К достоинствам модели следует отнести ее формальную строгость и соответствие активно развивающемуся направлению Complex Networks, а к недостаткам – малую корреляцию с содержательной стороной информационных операций, а также вычислительную сложность.

Система выявления информационных операций. В качестве основных задач такого класса систем рассмотрим:

- построение сценариев противодействия деструктивным информационным воздействиям на основе онтологии понятий предметной области объекта атаки;

- контент-мониторинг информационного пространства на основе знаний экспертов, заложенных в такую онтологию;
- выявление трендов и аномалий в тематических информационных потоках;
- выявление внешних информационных воздействий;
- прогнозирование развития ситуаций;
- выработка сценариев возможных информационных противодействий.

Для решения приведенных выше задач, предполагается, что система информационной поддержки должна состоять из трех основных подсистем, а именно: подсистемы создания онтологии понятий предметной области, подсистемы мониторинга информационного пространства, подсистемы аналитической обработки.

Пример. Ниже приведены результаты экспресс-анализа тематического информационного потока, соответствующего объекту – Национальной академии наук Украины, с учетом рисков, которым она подвергалась во второй половине 2015 года. В результате анализа средствами системы контент-мониторинга InfoStream был сформулирован запрос за период с 01.07.2015 по 31.12.2015, в результате обработки которого был получен тематический информационный поток объемом 1932 документа из украинского сегмента веб-пространства. Для выявления информационных операций доступными аналитическими средствами анализировалась динамика публикаций по целевой тематике (рис. 2).

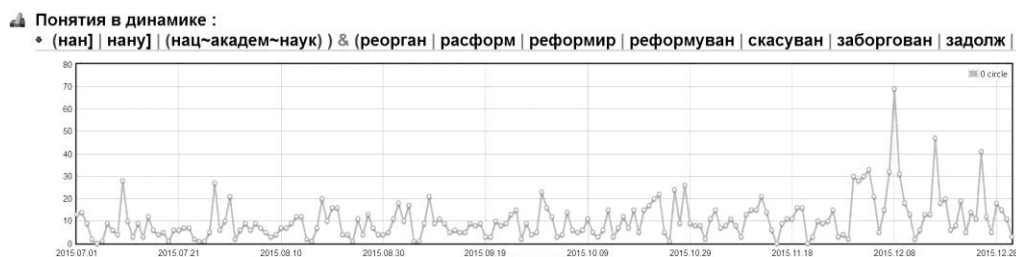


Рис. 2. Динамика тематического информационного потока

Для выявления степени «близости» фрагментов исследуемого временного ряда диаграмме информационной операции в различных масштабах предлагается использовать «вейвлет-анализ», который в настоящее время нашел применение как в естественных науках, так и в социологии [8]. Вейвлет-коэффициенты показывают, насколько поведение процесса в данной точке аналогично вейвлету в данном масштабе. На вейвлет-скейлограмме (рис. 3) видны все характерные особенности исходного ряда: масштаб и интенсивность периодических изменений, направление и значение трендов, наличие, расположение и продолжительность локальных особенностей. В работе [9] показано, что вейвлеты «мексиканская шляпа» и Морле наиболее точно отражает динамику информационных операций. После определения критических точек с помощью системы контент-мониторинга выполняется построение основных сюжетных цепочек из сообщений, соответствующих запросу за выбранные даты. Таким образом определяются основные события за указанные даты:

- **Национальную академию наук хотят пустить по ветру... (Vector News) 2015.12.03**
- **Під Радою мітингують молоді вчені (Левый берег) 2015.12.08**
- **Український уряд руйнує українську науку (2000.ua) 2015.12.08**

- **"У науки - связаны руки": возле АП митингуют сотрудники НАН Украины (УНИАН) 2015.12.16**

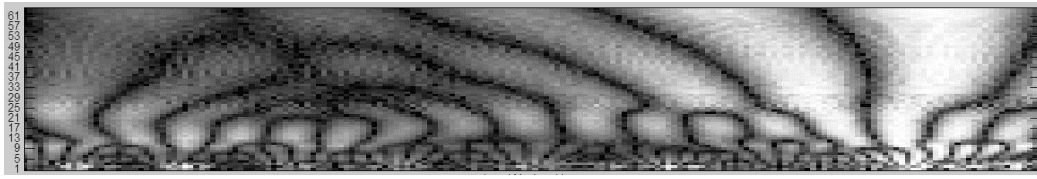


Рис.3. Вейвлет спектограмма (вейвлет Морле) рассматриваемого информационного потока

Проведенный анализ, в частности, показывает, что в отношении НАН Украины ведется целенаправленная информационная операция, противодействие которой широко отражается в информационном пространстве страны.

Заключение. В работе в качестве методологической основы детектирования информационных операций предложено исследование динамики информационных потоков.

Предложена архитектура системы выявления и анализа информационных операций, базирующаяся на онтолого-управляемом подходе.

Предложенная методика позволяет решить сформулированную задачу, ее можно использовать в качестве основы для проведения аналитической и прогнозной деятельности на основе исследования контента современных компьютерных сетей. В дальнейшем на основе полученных результатов планируется разработка моделирующего комплекса.

1. *Information operations roadmap.* – DoD US. – Washington, D.C.: GPO, 2003.
2. *Додонов А.Г., Ландэ Д.В.* Методика аналитического исследования динамики событий на основе мониторинга веб-ресурсов сети Интернет // Информационные технологии и безопасность: основы обеспечения информационной безопасности: Материалы международной научной конференции ИТБ-2014. – К.: ИПРИ НАН Украины, 2014. – С. 3-17.
3. *Ландэ Д.В., Грайворонская А.Н., Березин Б.А.* Мультиагентная модель распространения информации в социальной сети // Реєстрація, зберігання і обробка даних, 2016. - Т. 18. - N 1. - С. 23-30.
4. *Горбулін В.П., Додонов О.Г., Ландэ Д.В.* Інформаційні операції та безпека суспільства: Загрози, протидія, моделювання: монографія. – К.: Інтертехнологія, 2009. – 164 с.
5. *Додонов А.Г., Ландэ Д.В.* Мультиагентная модель поведения тематических информационных потоков // Материалы VI Всероссийской мультиконференции по проблемам управления (30 сентября – 5 октября 2013 г.) – Т. 4. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2013. – С. 102-107.
6. *Потемкин А.В.* Выявление информационных операций в средствах массовой информации сети Интернет: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.10 / Потемкин Алексей Владимирович; [Место защиты: Брянский государственный технический университет]. – Брянск, 2015. – 144 с.
7. *Шульц В.Л., Кульба В.В., Шелков А.Б., Чернов И.В.* Сценарный анализ эффективности управления информационной поддержкой государственной политики России в Арктике. // Национальная безопасность / nota bene. – 2011. – № 6. – С. 104-137.
8. *Давыдов А.А.* Системная социология. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 192 с.
9. *Додонов А.Г., Ландэ Д.В., Бойченко А.В.* Сценарный подход при исследовании динамики информационных потоков в сети Интернет // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2015): материалы V междунар. науч.-техн. конф. (Минск 19-21 февраля 2015 года) / - Минск: БГУИР, 2015. - С. 225-230.

А.В.Латышев, канд.техн.наук

(Украина, 03115, Киев, ул.Ф.Пушиной,8, кв. 237,

тел. 452-86-10, E-mail Al.V.Latyshev@gmail.com)

О моделировании механизмов сознания

The model of thinking is proposed that includes the conscious and unconscious thinking, as well as the mechanism of consciousness and the one of reflection.

Ключевые слова: моделирование, осознание, мышление

Введение. В настоящее время понятие сознания не имеет общепризнанного определения, а тем более неизвестен механизм его работы. Тем не менее, работы по раскрытию механизмов сознания и созданию мыслящих машин, идут с нарастающей интенсивностью, поскольку интеллектуальные устройства и технологии во многом определяют развитие современного общества. Очевидно, что моделирование процессов сознания, возможно только при понимании как мыслит человек. И это понимание является первоочередной задачей, сложность которой трудно переоценить.

Постановка задачи. Необходимо сформировать основные принципы функционирования механизмов сознания с целью их моделирования. Обычно принимается, что результатом деятельности сознания является осознание субъектом своего бытия и событий внешнего мира. Поэтому анализ феномена сознания как объекта моделирования во многом сводится к исследованию механизмов осознания.

Субъективный мир человека. Вся психическая жизнь субъекта сосредоточена в его внутреннем (субъективном) мире, который формируется врожденными психическими функциями и опытом, приобретенным в течение всей его жизни. Поэтому любые процессы анализа и моделирования психики неразрывно связаны с устройством субъективного мира человека.

В структуре внутреннего мира можно выделить когнитивную (знаки, символы и понятия) и чувственную (ощущения, образы, эмоции и телесные реакции) составляющие. Чувственная составляющая присуща, в той или иной мере, всем живым существам, имеющим нервную систему. Когнитивной составляющей обладает только человек. Чувственная составляющая связана с конкретным биологическим организмом и взаимодействует с внешним миром «здесь и сейчас». Знаково-понятийная система устанавливает причинно - следственные связи между объектами внешнего мира, что позволяет строить абстрактную картину мира, охватывающую как прошлое, настоящее так и возможное будущее. При этом появляется принципиальная возможность прогноза развития событий и выбора наиболее успешного поведения в предполагаемой ситуации. Выделим свойства, которыми должен обладать субъективный мир человека и которые участвуют в формировании процесса осознания субъектом своего существования.

1. Историчность. Субъективный мир человека хронологически содержит всю историю его жизни. Возможность построить такую модель дает знаковая система, основной частью которой является речь. Знаки, символы и понятия образуют когнитивную составляющую внутреннего мира субъекта.

2. Обратимость. Это свойство обеспечивает возврат мысли к прошлым или возможным будущим состояниям внутреннего мира человека с позиции «сегодняшнего дня». Это свойство дает возможность мысли «блуждать» по внутреннему миру человека. Свойство

обратимости позволяет субъекту анализировать прошлое, строить прогнозы и гипотезы, используя свой опыт и знания.

3. Развитие. Развитие субъективного мира индивида может происходить под влиянием, как внешних факторов, так и внутренних (саморазвитие). Каждый акт восприятия и мышления приводит к расширению субъективного мира человека. Данное свойство обеспечивает формирование индивидуального опыта субъекта.

4. Чувственность. Активация любой точки субъективного мира должна вызывать ощущения, образы, эмоции и телесные реакции конкретного биологического организма, носителя абстрактной картины собственной жизни. В процессе текущего мышления чувственная составляющая субъективного мира соотносит абстрактную картину мира с биологическим организмом, составляя целостное восприятие субъектом своего существования.

Свойства историчности, обратимости и развития реализуются когнитивной составляющей мышления, которая, видимо, может быть принципиально реализована компьютерными программами. У человека свойство чувственности реализуется совместной работой когнитивной системы и телесных функций (сенсорной и мышечной систем, желез внутренней секреции). Моделирование чувственной составляющей субъективного мира человека относится, видимо, к задачам, решение которых, хотя бы концептуально, ещё следует найти. Принципиальную сложность исследования и моделирования сознания представляет психофизическая проблема перехода физических объективных процессов, воспринимаемых сенсорной системой, в субъективные качества внутреннего мира человека, которые являются основой возникновения образов. В настоящее время сложно ответить на вопрос, какая необходима глубина чувственной составляющей, обеспечивающая совместно с когнитивной составляющей понимание индивидом того, что он является участником событий как биологический организм. В любом случае мозг должен получать информацию и совершать какие-то действия, в частности, для получения той же информации, например, сканированием объекта глазами или осязанием. Видимо, сенсорная и моторная системы при моделировании работы мозга должны быть отображены в модели. Оценочная функция эмоций носит, в основном, интегральный характер, оказывая воздействие на все психологические функции и, в том числе, на процесс мышления. Что так же должно найти место в модели субъективного мира индивида.

Осознание. Основой феномена осознания являются понимание события субъектом и понимание субъектом того, что это понимает он. Относительно зрительного восприятия формулировка осознания принимает вид: осознание – это понимание того, Что я вижу и понимание того, что это вижу Я. Очевидно, что одним из объектов понимания может быть сам субъект. Тогда формулировка осознания самого себя будет иметь вид – я понимаю, что это Я (объект) и понимаю, что это понимаю Я (субъект).

В процессе осознания участвует субъект как носитель понимания, обладающий кроме психики еще и телом, которое выделяет индивида из окружающей среды. Все психические функции, в том числе сознание, включают в себя процесс взаимодействия психики с телом - информационное, энергетическое и биохимическое взаимодействие является условием их функционирования. И, главное, тело источник ощущений,

связывающих субъекта с внешним миром и самим собой. Концептуально механизм осознания сформулируем следующим образом.

В процессе осознания субъектом внешнего мира и самого себя формируется понятие Я, которое в настоящее время не имеет общепринятого определения. В качестве рабочей принята следующая гипотеза. Не существует отдельно выделенного нейронного образования, продуцирующего психическое Я. Я – это весь субъективный мир человека, в котором наряду с образами внешнего мира находится образ (модель) тела субъекта. Психическое Я - это мои ощущения, которые дает мое тело, и мое понимание того, что это мои ощущения, что определяется моей субъективной моделью мира. Алгоритм формирования Я представляется механизмом осознания. Концептуально механизм осознания сформулируем следующим образом.

Осознание - есть взаимодействие в актуальный момент времени когнитивной составляющей мышления, которая дает понимание результатов мышления в контексте модели мира субъекта, и чувственной составляющей, которая соотносит абстрактную картину мира с биологическим организмом, носителем этой картины мира.

Мышление. Мозг предназначен для обработки информации, представленной в виде последовательностей электрических импульсов и действия соответствующих нейромедиаторов. Но при этом человек должен действовать в реальном внешнем мире, поэтому, например, формируемые сценарии поведения (гипотезы, прогнозы) должны создаваться и оцениваться в терминах внешнего мира, точнее, в терминах субъективного мира индивида, отображающего внешний мир. Основой осознаваемого мышления является знаково-символьная система, которая совместно с понятиями образует когнитивную составляющую субъективного мира человека. Процессы осознаваемого мышления формируются по законам внешнего мира в рамках знаний субъекта.

Неосознаваемое мышление происходит в субъективном мире человека на основе врожденных и сформированных в процессе жизнедеятельности алгоритмов, доведенных до автоматизмов. Неосознаваемые психические процессы (неосознаваемая составляющая мышления) во многом являются самостоятельными процессами, которые взаимодействуют с осознаваемым мышлением.

Из сказанного следует, что осознаваемое мышление происходит в терминах внешнего мира и должен существовать механизм преобразования нейронных моделей субъективного мира, информации, хранящейся в памяти, в объекты внешнего мира (речь, предметы, события). Таким механизмом является объективация (репрезентация) результатов мышления внешнему миру. С другой стороны, результат осознаваемого мышления необходимо сохранить в памяти в контексте субъективного мира индивида. Перевод результатов осознаваемого мышления в нейронную систему мозга осуществляется в процессе восприятия. В нейронной системе происходит сложная неосознаваемая обработка, связанная, в частности, с категоризацией и интерпретацией воспринятой информации.

Из изложенного следует, что процесс мышления образует контур мышления, который активирует когнитивную и чувственную составляющие субъективного мира. При этом контур мышления имеет две ветви:

1) ветвь объективации (репрезентации) данных субъективного мира, преобразующей нейронные модели объектов и процессов внешнего мира, представленные в мозге, в предметы внешнего мира (речь, предметы, действия); 2) ветвь восприятия результатов осознаваемого мышления, в процессе которого происходит их категоризация и интерпретация, а так же активация чувственной составляющей (эмоций, образов, ощущений и телесных функций).

Интерпретация - это включение некоторого события (объекта) в модель мира субъекта, путем создания и активации соответствующих связей. В процессе интерпретации образуется волна актуализации связей элементов внутреннего мира друг с другом, поскольку актуализация областей приводит к актуализации их связей (ассоциаций) с другими областями (предметами, событиями и прочим), которые в свою очередь имеют связи с другими областями и т.д. Активированные или образовавшиеся в результате интерпретации связи объективированной области с моделью мира определяют смысл этой области (предмета, события) для субъекта в данный момент.

Мышление человека можно представить как деятельность системы, которая состоит из осознаваемого и неосознаваемого мышления, и связывающего их рефлексивного механизма. Рефлексивный механизм включает в себя процесс объективации, который переводит данные неосознаваемого мышления в осознаваемое мышление, а так же процесс восприятия, который переводит результаты деятельности осознаваемого мышления в область неосознаваемого мышления. Неосознаваемого мышление «богаче» осознаваемого, так как использует в своей работе, в принципе, весь внутренний мир человека, который является контекстом для всех результатов мышления и восприятия и определяет семантическую (смысловую) составляющую мышления. Процесс осознания происходит неосознанно, а его результаты являются исходным материалом для осознаваемого мышления.

Изложенное дает основание предложить определение сознания, которое, не смотря на множество нерешенных проблем, позволяет концептуально наметить путь его конструктивного исследования и моделирования. **Сознание – это осознаваемое мышление.** Осознаваемое мышление использует осознанные данные для организации процесса мышления, составной частью которого является взаимодействие внешнего мира и субъективного мира человека. Осознаваемое мышление с одной стороны требует осознанных данных, а с другой - участвует в их осознании. Роль осознаваемого мышления в процессе осознания состоит в решении задачи понимания данных. Результаты знаково-символьного мышления окончательные или промежуточные в свою очередь воспринимаются и осмысливаются.

Заключение. Построение моделей мышления сводится к реконструкции механизмов мышления по наблюдаемым результатам их деятельности. Рассмотренные механизмы мышления позволяют наметить пути исследования и моделирования феномена осознания как результата деятельности достаточно конкретной функциональной системы психики человека. Очевидно, что на данном этапе развития науки придется вводить множество упрощений и ограничений, связанных, в частности, с психофизической проблемой, но даже промежуточные результаты, как показывают уже имеющиеся достижения в области моделирования интеллектуальной деятельности человека, имеют огромное значение в развитии современных технологий.

Н. А. Литвинов, бакалавр системной инженерии,
Национальный технический университет Украины «КПИ»
(Украина, 03056, Киев, ул. Борщаговская 126,
тел. (093) 8579727, e-mail: giltanas1994@gmail.com)

Компонент генерации шаблонов и библиотек JNI

This article discusses the problem of creating libraries written in C / C ++ for Java-based usage. Software that simplifies the process of libraries creating was developed. The estimation of these solutions with existing solutions was also made.

Ключевые слова: JNI, Android, Java, C++

Введение. При разработке программ под Android на языке Java возникают проблемы низкой производительности Java кода, обусловленные наличием строгой модели безопасности и издержками технологии "сбор (сущ.) мусора" (garbage collection).

Большинство проблем возможно решить, используя код, написанный на языке C/C++, так называемый нативный код. Использовать C/C++ код позволяет технология, называемая JNI (Java Native Interface)¹⁾, но существуют проблемы с созданием библиотек, которые можно было бы использовать в Java проекте. C/C++ работает в Google Dalvik VM / Android Runtime с более высокой производительностью по причине того, что JVM (Java Virtual Machine) написана на языке C.

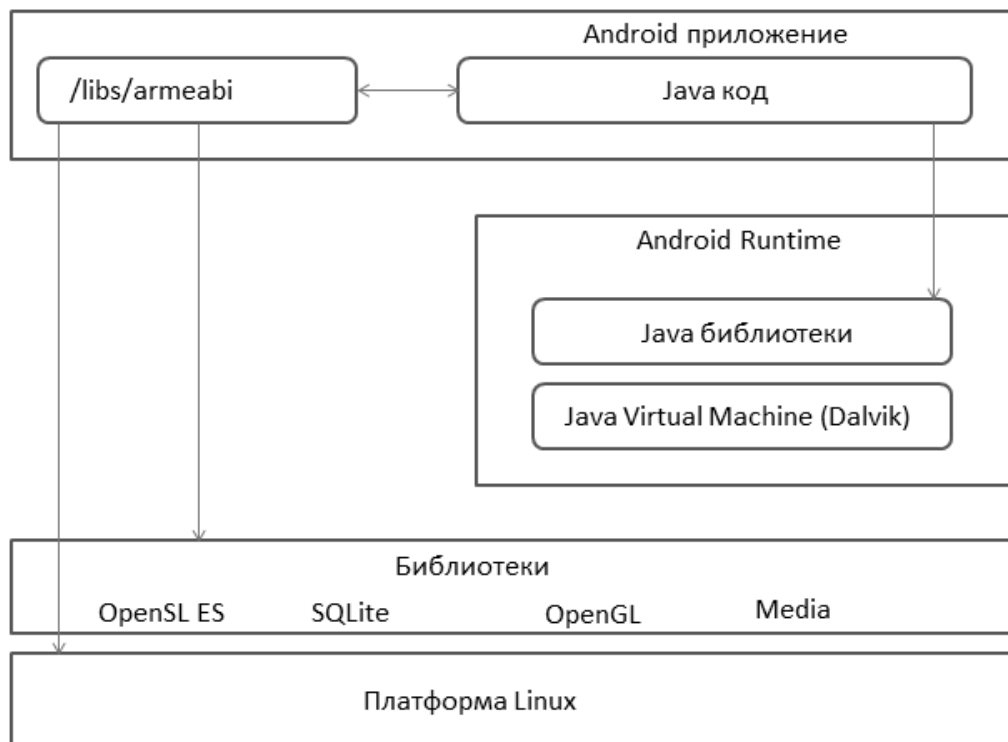


Рис. 1. Структурная схема Android приложения

Можно предположить, что для улучшения параметров быстродействия необходимо разрабатывать Android приложения на языке C/C++, но данная зависимость не является линейной. Рассмотрим далее подробнее указанную

зависимость. Показатели, влияющие на снижение быстродействия Android приложений разработанных на C/C++:

1. Функциональный ряд языка Java больше, что связано с поддержкой ряда API, которые не поддерживаются в C/C++, кроме того на нативном уровне не доступен ряд Android фреймворков.
2. Компиляция библиотек на C/C++ под Android, подразумевает создание библиотеки под каждый тип используемой устройствами архитектуры, что в итоге приводит к увеличению размера приложения в столько раз, сколько архитектур задействовано.

Преимущество кода, написанного на C/C++ – это высокая производительность²⁾. По этой причине Android разработчики используют отдельные библиотеки, написанные на C/C++ для повышения производительности в так называемых “узких местах” приложений (bottleneck). Для реализации описываемого подхода применяется JNI (Java Native Interface) – программный фреймворк, который позволяет Java коду использовать и/или обрабатывать Java объекты нативными приложениями и библиотеками, написанными на C/C++.

Процесс генерации библиотек, разработанных на C/C++ и работающих в Java-проекте, трудоемкий и занимает большой отрезок времени. На первом шаге, необходимо создать Java-класс, в котором будут содержаться сигнатуры нативных методов. Второй шаг заключается в том, что необходимо сгенерировать из текущего Java-класса экземпляр типа .class при помощи программного модуля JDK javac, а после, на следующем шаге - получить файл типа .h (header) из экземпляра типа .class при помощи программного модуля javah. Процедура которая даёт нам header-файл C/C++, сгенерированный автоматическим программным модулем, затратная по времени. Четвёртый шаг: создание файла .c/.cpp, содержащего нативные реализации методов. Пятый шаг: создание файлов конфигураций Android.mk (содержит настройки компилятора, список компилируемых файлов и т.д.) и Application.mk (содержит целевую версию Android и типы архитектуры, под которые будут сгенерированы библиотеки). Последний шаг: запуск модуля NDK ndk-build, генерирующего требуемые библиотеки. Соответственно для сокращения трудозатрат и времени на выполнение данной последовательности разработки, очевидна необходимость в автоматизации данного процесса.

Цель. Автоматизация процесса генерации шаблонов .c/.cpp, .mk файлов и создания библиотек .so под управлением ОС Windows. В этих целях разработана программа предоставляющая возможность выбора параметров .mk файлов и получения шаблонных .c/.cpp файлов вместе с .mk файлами и впоследствии создания библиотек при условии, что в коде, написанном пользователем, отсутствуют ошибки, обнаружимые на этапе компиляции. Возникнуть такие ошибки могут только в пользовательском коде, а именно – в файлах с расширением .c/.cpp и ошибка будет выведена на экран в соответствии с тем, как её предоставит компилятор. При этом, пользователю нет необходимости работать с программно-сгенерированным кодом.

Описание решения. Решение заключается в создании программного обеспечения, автоматизирующего процесс генерации шаблонов и библиотек.

Программа реализована на языке C# с использованием шаблона

проектирования MVVM³⁾.

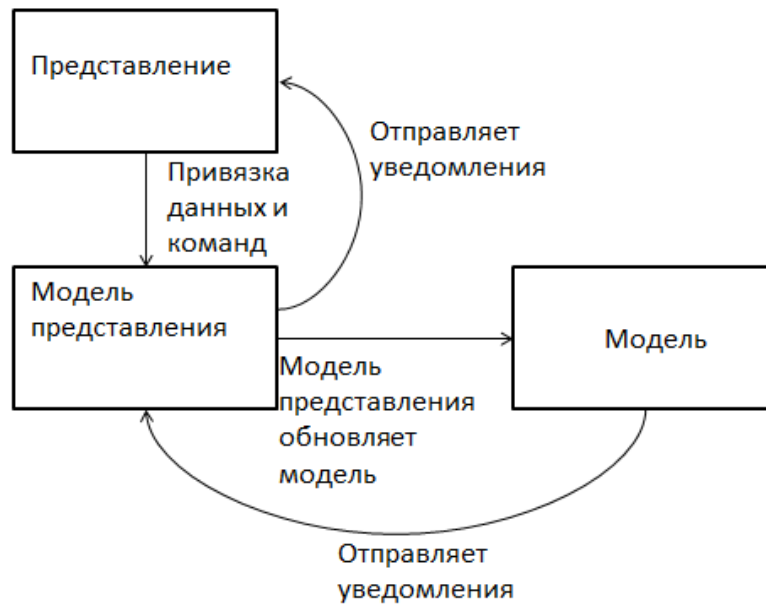


Рис.2. Схема зависимости между тремя составляющими компонентами шаблона

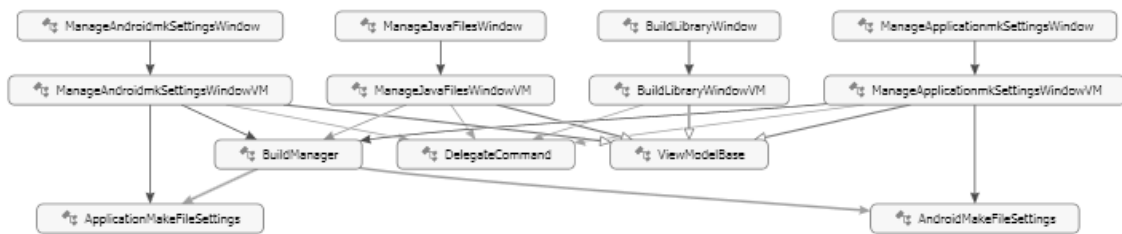


Рис. 3. Схема классов и зависимостей разработанного решения

Основную задачу выполняет класс `BuildManager`. Это utility class⁴⁾, который хранит в себе все настройки и выполняет функции генерации и компиляции требуемых файлов.

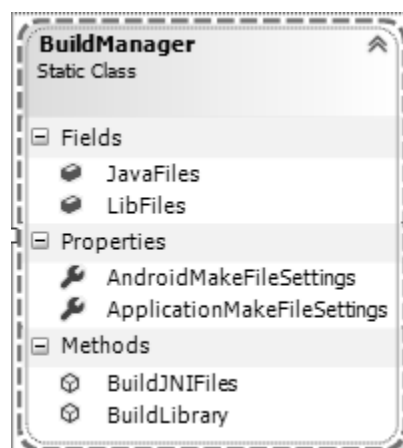


Рис. 4. Класс BuildManager

Поле `JavaFiles` содержит список файлов `.java`. Класс `ManageJavaFilesVM` устанавливает в `BuildManager` список файлов. Поле `LibFiles` содержит список файлов, нужных для компиляции библиотеки. Поля `AndoridMakeFileSettings` и `ApplicationMakeFileSettings` содержат в себе настройки, введенные или выбранные пользователем.

Метод `BuildJNIFiles` создает все необходимые файлы: header-файлы, шаблонные `.c/.cpp` и `make` файлы. Header-файлы создаются при помощи вызова функций командной строки. После завершения метод возвращает переменную типа `bool`, сигнализирующую о возникновении ошибки при создании header-файлов.

Метод `BuildLibrary` помещает все файлы, находящиеся в списке `LibFiles` в одну папку и выполняет команду командной строки `ndk-build`, которая компилирует библиотеку. Также возвращает значение типа `bool`, сигнализирующую о том, возникли ли ошибки при создании библиотеки и выводит пользователю всю информацию о процессе генерации и компиляции.

Оценка. На этапе анализа эффективности разработанного программного решения была рассмотрена существующая сторонняя библиотека `JNIGen`⁵, которая позволяет писать `C/C++` код прямо в `Java`-файлах. Недостаток этого решения заключается в необходимости подключения и настройки этой библиотеки для каждого проекта отдельно, в то время, как внешние `.so` библиотеки достаточно подключить к проекту один раз при его создании.

Заключение. В результате, разработанное программное обеспечение соответствует сформулированным требованиям и решает поставленную проблему, а именно:

1. Автоматизирует процесс создания шаблонов `.c/.cpp`, `.mk` файлов и создания библиотек `.so` под управлением ОС `Windows`.
2. Предоставляет возможность выбора параметров и генерации `.mk` файлов.
3. Обнаруживает и оповещает об ошибках в коде `.c/.cpp` файлов в процессе компиляции.
4. Сокращает трудозатраты и время на выполнение последовательности разработки.

1. JNI Tips [Электронный ресурс] // Режим доступа:

<http://developer.android.com/training/articles/perf-jni.html>

2. Java и C++: тест на быстродействие [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.osp.ru/jw/13032097/>

3. The MVVM Pattern [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh848246.aspx>

4. Utility Class [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ee437010.aspx>

5. JNIGen [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://github.com/libgdx/libgdx/wiki/jnigen>

В.В.Максимова¹⁾, и.о. младшего научного сотрудника, тел.88155579745, e-mail: maximova@iner.ksc.ru;

С.И.Мазухина¹⁾, канд. хим. наук, заведующая лабораторией математического моделирования и экологической информатики, тел. 88155579745, e-mail: mazukhina@iner.ksc.ru;

Т.А.Черепанова¹⁾, и.о. младшего научного сотрудника, тел.88155579745, e-mail: cherepanova@iner.ksc.ru;

Т.Т.Горбачева¹⁾, канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник, тел. 8 8155579252, e-mail: gorbacheva@iner.ksc.ru;

¹⁾ Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН (РФ, 184209, Мурманская обл., г. Апатиты, Академгородок, 14а)

Применение физико-химического моделирования в экологических исследованиях

The review presents examples of models of systems water-rock interaction and anthropogenic pollution for objects of the Murmansk region with the use of physicochemical modeling of processes (Selector software package, Chudnenko, 2010)

Ключевые слова: Термодинамическое моделирование, ПК «Селектор», поверхностные и подземные воды, морские воды, антропогенное загрязнение.

Введение

Быстрое развитие теории моделирования физико-химических систем привело к появлению значительного количества современных программных комплексов, позволяющих проводить расчет равновесия в различных системах. Среди наиболее распространенных в России можно упомянуть «Селектор» (И.К. Карпов, К.В. Чудненко и др.), GIBBS (Ю. В. Шваров), Chemical WorkBench и другие. Программный комплекс (ПК) «Селектор», рассматриваемый в данной работе, дает возможность проводить расчет физико-химического равновесия в закрытых и открытых по Д.С. Коржинскому мультисистемах с одновременным привнесом и выносом вещества на каждом элементарном этапе необратимого процесса, с учетом различных ограничений на объем и состав систем и мультисистем, с учетом кинетики и динамики взаимодействия «вода-порода». ПК находит широкое применение для моделирования сложных природных процессов [1]. Модель реального процесса формируется как совокупность автономных химически взаимодействующих систем-резервуаров по координатам времени и пространства. Вся совокупность рассматривается как единый физико-химический объект - мегасистема, которая находится в динамическом равновесии, она стабильна, пока существуют потоки вещества и энергии. Резервуары мегасистемы могут иметь различные температуры и давления и характеризуются полным или частичным равновесием. Массоперенос осуществляется в виде потоков подвижных фаз с различной скоростью переноса. Внутри резервуаров возможны образование и поглощение фаз и компонентов, а также изменение ТР-условий, обусловленных смешением, охлаждением, нагреванием или саморазогревом.

Моделирование формирования поверхностных и подземных вод в системе «вода-порода». Методами физико-химического моделирования была проведена оценка влияния пород на формирование поверхностных и подземных вод Хибинского щелочного массива [2]. Проблема использования вод Хибинского массива для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения связана с их некондиционностью по содержанию Al и значениям рН. В 1991 – 1998 гг. сотрудниками Мурманской геологоразведочной экспедиции

был выполнен комплекс работ по исследованию химического состава подземных вод в долинах приозерных низменностей озер Малый и Большой Вудъявр [3]. Исследования не позволили установить закономерность изменения химического состава подземных вод при условии изменения водоотбора и установить причину природного некондиционного качества подземных вод по Al и pH. Целью работы было выяснение природы взаимодействия поверхностных и подземных вод Хибинского массива в рамках единой системы «вода-порода-атмосфера». Помимо моделирования было проведено определение изотопного состава вод ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$) для атмосферных осадков, поверхностных и подземных вод [2, 4].

Объектами нашего исследования выступили реки, берущие начало в верховьях Хибинского массива (поверхностные воды), и подземные воды из скважин, расположенных в долинах рек; водозабор «Центральный». Первым этапом была исследовать взаимодействия поверхностных вод (рек) с породами, формирующими Хибинский массив в зависимости от степени взаимодействия породы с водой. Исследовалась эволюция подземных вод с применением резервуарной динамики. Предполагалось, что сформированные поверхностные воды, опускаясь на глубину, реагируют с породой, что позволяет проследить процесс формирования и изменения вод. Взаимодействие системы «вода-углерод-минералы» исследовалось в рамках системы Al-B-Br-Ar-He-Ne-C-Ca-Cl-F-K-Mg-Mn-N-Na-P-S-Si-Sr-Cu-Zn-H-O-e (e- электрон) [5, 6]. Физико-химическая модель представляла собой проточный реактор, состоящий из 4-х резервуаров.

Анализ полученных результатов показал, что степень взаимодействия и температура оказывают основной вклад в изменение окислительно-восстановительных условий, которые способствуют содообразованию и связанным с этим резким всплеском концентраций HCO_3^- и алюминия.

Поскольку воды, распространенные в коренных породах и четвертичных отложениях, образуют взаимосвязанные водоносные горизонты [7], усиленная эксплуатация водоносных скважин может и чаще всего приводит к “подсосу” некондиционных вод из глубин, что также подтвердилось исследованием изотопного состава вод. Во избежание подобных результатов необходимо предусмотреть закачивание кислородсодержащие воды в скважины, предназначенные для питьевого водоснабжения (аэрация воды) [5]. Анализ результатов моделирования и изотопного определения вод показал, что некоторые подземные воды являются профильтрованными поверхностными водами. Близость концентраций основных катионов и анионов (Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^-) с водами озера Б. Вудъявр, р. Юкспорйок высокие концентрации NO_3^- свидетельствуют о влиянии антропогенно-измененных поверхностных вод на химический состав вод указанных скважин.

Моделирование нефтяного загрязнения морских вод. Для территорий Крайнего Севера, имеющих хорошо развитую транспортную инфраструктуру, в частности Мурманской области, долгое время остается актуальной проблема загрязнения морских и прибрежных вод углеводородами. Не смотря на значительный объем накопленных данных по преобразованию углеводородов в природных средах, недостаточно подробно представлена количественная сторона описания этого сложного процесса в природных условиях. Методы физико-химического моделирования в данном случае позволяют получить детальное представление о преобразовании углеводородов в при достаточно ограниченных

начальных данных.

С помощью ПК «Селектор» нами были рассмотрены варианты взаимодействия нефтяных углеводородов с природными водами, в частности с водами Кольского (Баренцево море) и Кандалакшского (Белое море) заливов [8]. Расчеты взаимодействия морских вод с нефтью показали, что наряду с процессами испарения и метанизации, описанных в литературе, идет образование и накопление в растворе карбоновых кислот. Детально рассмотрено существование нефти в состоянии метастабильного равновесия с водным раствором и изменение водородного и окислительно-восстановительного потенциалов на всем протяжении процесса. Выявлены особенности образования металлоорганических комплексов (в основном солей уксусной кислоты) и выпадения из раствора органических соединений в состоянии метастабильного равновесия в зависимости от температуры раствора. Рассмотрен процесс формирования и компонентный состав углекисло-метано-сероводородной атмосферы, возникающей в результате полного разложения углеводородов [9, 10].

Объектами выступили пресные вода (реки Нива, Лувеньга, Умба, впадающие в Кандалакшский залив Белого моря), зоны смешения морских вод с речными. Оценка современного гидрохимического состава пресных вод р. Нива не показала существенного изменения в сторону восстановления природного фона после снижения техногенной нагрузки (вследствие снижения уровня аэротехногенных выбросов близлежащих промышленных предприятий с 1998 г.) [11]. Отмечено повышение доли миграционно-активных форм Fe после снижения техногенной нагрузки, что может являться причиной вторичного загрязнения устьевых зон р. Нива и повышения нагрузки на морские экосистемы.

Моделирование смешения пресных вод реки Нива с морскими водами позволило рассмотреть формы соединений в растворе для солоноватых вод, особенности и распределение содержания металлов. При смешении речных вод различной природы с морскими водами происходит формирование геохимического барьера, на котором происходит смена форм нахождения химических элементов в растворе. Наибольшее влияние на смену форм миграции микроэлементов оказывают геохимический барьер по pH и увеличение солёности [8, 10]. Применение методов химической термодинамики позволяет проводить идентификацию форм нахождения металлов в растворе без увеличения объема аналитических исследований.

Моделирование смешения вод Кандалакшского залива и реки Нива в устье во время прилива показывает значительное влияние приливно-отливных явлений на короткопериодную изменчивость гидрохимических параметров. На сезонную изменчивость гидрохимического состава более значимым фактором является гидрохимия речного стока. Во всех представленных случаях, результаты моделирования сопоставимы с результатами мониторинга природных вод [11].

Также разработанная модель была применена для для оценки подобных процессов на гидрологических объектах Дальнего Востока, для которых имеется достаточно надежный набор данных по составу вод и гидрогеохимическим параметрам. Анализ результатов моделирования подтвердил закономерности, установленные на объектах Мурманской области. Вместе с тем были выявлены и некоторые различия в условиях образования органокомплексов, которые формируются в морских водах дальневосточных морей [12]. Расхождения не повлияли на основной вывод о том, что изменение окислительно-

восстановительных условий в морских водах при одинаковых соотношениях «вода-нефть» происходит при меньших, чем в речных водах, концентрациях нефти.

Заключение

Программный комплекс «Селектор» сочетает в себе высокоэффективный вычислительный модуль с рядом специализированных согласованных и постоянно пополняемых баз термодинамических данных, что позволяет быстро переходить к формированию моделей без предварительной работы по сбору и согласованию термодинамических свойств веществ. При изучении сложных природных процессов именно применение компьютерного моделирования позволяет вывести на новый, недоступный ранее, уровень исследования процессов взаимодействия и превращения вещества в природных системах. Применение компьютерного моделирования позволяет снять ряд «узких мест» проведения аналитических процедур, таких как изменение параметров состояния при проведении лабораторных анализов, затруднения в аналитическом определении лабильных форм соединений элементов.

1. Чудненко К.В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. – 287 с.
2. Гудков А. В., Мазухина С.И., Иванов С. В. Геохимическая оценка подземных вод Хибинского массива горных пород//Труды IV Всероссийской научной конференции с международным участием, Москва, ИВП РАН, 2015, С.360-362
3. Отчет о результатах разведки подземных вод для водоснабжения г.Кировска Мурманской области за 1991-1998 гг. (с подсчетом запасов по состоянию на 01.01.1999г.)/отв. исполн. Н.А. Максимова//Фонды Комитета природных ресурсов по Мурманской области.-Мурманск,1999.- №5270.
4. Svetlana Mazukhina, Vladimir Masloboev, Konstantin Chudnenko, Victoria Maksimova, Natalia Belkina. Physical-chemical factors affecting the low quality of natural water in the Khibiny massif/ Geophysical Research Abstracts, Vol. 16, EGU2014-1321, 2014 EGU General Assembly 2014
5. Калинин В.Т., Мазухина С.И., Максимова В.В., Маслобоев В.А., Чудненко К.В. Физико-химические факторы некондиционности химического состава природных вод Хибинского массива //ДАН.- 2014. -т. 458. № 5. -С. 551-554.
6. Мазухина С.И. Формирование поверхностных и подземных вод Хибинского горного массива.-Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН. 2012. -173 с.
7. Хибинский щелочной массив.-Л.: Недра, 1972.- 176 с.
8. Калинин В.Т., Мазухина С.И., Маслобоев В.А., Чудненко К.В., Максимова В.В. Особенности взаимодействия “нефть-вода” в морских и пресных водах//ДАН. 2013, т. 449, № 5, С. 535-538
9. Максимова В.В., Мазухина С.И., Маслобоев В.А. Особенности протекания процесса деградации нефтяных углеводородов в водах Кандалакшского залива по результатам физико-химического моделирования// «Вестник МГТУ», т. 17, № 2, 2014. С. 369-373
10. Svetlana Mazukhina, Vladimir Masloboev, Konstantin Chudnenko, Vadim Khaitov, Victoria Maksimova and Natalia Belkina Exploring the chemical composition of water in the Kandalaksha Bay/ Geophysical Research Abstracts Vol. 16, EGU2014-3578-1, 2014 EGU General Assembly 2014
11. Черепанова Т.А., Максимова В.В., Горбачева Т.Т. Изменение гидрохимического состава и форм миграции элементов в р. Нива после снижения техногенной нагрузки// Вестник МГТУ, том 18, № 2, 2015. С. 356-363
12. Мазухина С.И., Маслобоев В.А., Чудненко К.В., Максимова В.В. Результаты моделирования взаимодействия "вода – нефть" в морских и речных системах Дальнего Востока// Вестник МГТУ, том 18, № 2, 2015 г. С. 322-327

Т.Т.Горбачева¹⁾, канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник, тел. 8 8155579252, e-mail: gorbacheva@iner.ksc.ru;
С.И.Мазухина¹⁾, канд. хим. наук, заведующая лабораторией математического моделирования и экологической информатики, тел. 88155579745, e-mail: mazukhina@iner.ksc.ru;
Т.А.Черепанова¹⁾, и.о. младшего научного сотрудника, тел.88155579745, e-mail: cherepanova@iner.ksc.ru
В.В.Максимова¹⁾, и.о. младшего научного сотрудника, тел.88155579745, e-mail: maximova@iner.ksc.ru

¹⁾ Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН (РФ, 184209, Мурманская обл., г. Апатиты, Академгородок, 14а)

Физико-химическое моделирование состава вод наземных экосистем Мурманской области РФ

A review of sampling experience, analytical determination as such as preparation of input-output parameters in physical-chemical modeling concerning to water objects in terrestrial ecosystems is presented.

Ключевые слова: Физико-химическое моделирование, ПК «Селектор», наземные экосистемы

Введение.

Одними из основных объектов исследований Института проблем промышленной экологии Севера (ИППЭС) КНЦ РАН являются наземные экосистемы. На территории Мурманской области - одного из наиболее индустриально развитых регионов РФ институтом сформирована сеть мониторинговых площадок. В рамках утвержденной Программы исследований ведется регулярный отбор и химический анализ водных проб (снеговых, дождевых и почвенных вод). Аналитическое определение валового содержания элементов-загрязнителей в водной среде признается недостаточным и порою необъективным при изучении их миграционной способности и биологической активности. Известно, что указанные свойства элементов определяются не столько общим (валовым) содержанием, сколько соотношением существующих форм нахождения в исследуемой среде [1]. В работе [2] приведен подробный обзор химических методов разделения таких форм. Показано, что, несмотря на разнообразие схем, они имеют ограничения, обусловленные трансформацией состава вод при транспортировке, консервации и хранении водных проб, а также недостаточной чувствительностью и ограниченной избирательностью самих методов определения. Данные о составе водных проб, полученные стандартными аналитическими методами, дополняются нами результатами физико-химического моделирования (ФХМ). Для этого применяется программный комплекс (ПК) «Селектор», разработанный под руководством профессора И.К.Карпова (Институт геохимии им. Виноградова СО РАН, г. Иркутск), версии 2007 г. [3]. ПК снабжен системой встроенных баз термодинамических данных и модулем формирования моделей различной сложности. Используемый алгоритм [4] позволяет производить расчеты сложных химических равновесий в изобарно-изотермических, изохорических и адиабатических условиях. Моделирование проводится для мультисистем, где одновременно могут присутствовать водный раствор электролита, газовая смесь, жидкие и твердые углеводороды, минералы в виде твердых растворов и однокомпонентных фаз, расплавы и плазма. **Цель данной работы** - обобщение опыта пробоотбора, аналитического определения и подготовки входных и выходных параметров модели при ФХМ состава водных

объектов наземных экосистем.

Объекты исследования и отбор водных проб.

На мониторинговых площадках ИППЭС установлены стационарные приемники дождевых вод и лизиметрические установки для отбора почвенных вод. Отбор снеговых кернов ведется в период максимального снегонакопления (ежегодно в апреле) снегоотборником на всю глубину снегового покрова. Снеговой керн помещается в полиэтиленовый пакет и транспортируется в химическую лабораторию, где доводится до состояния водной фазы при температуре лабораторного помещения. Отбор дождевых и почвенных вод проводится с помощью стационарно установленного оборудования – осадкоприемников и гравитационных лизиметров соответственно. Частота пробоотбора – каждые 4 недели в течение вегетационного периода (с июня по октябрь).

Методы химического анализа.

Для определения химического состава водных проб на всех объектах применяются одни и те же аналитические методы. pH вод определяется потенциометрическим методом без предварительной фильтрации, затем каждая проба фильтруется через бумажный фильтр «синяя лента» (диаметр пор 1-2.5 мкм). Анализ фильтрата проводится методами атомно-эмиссионной (K, Na) и атомно-абсорбционной (Ca, Mg, Zn, Mn, Cu, Ni, Al, Fe) спектрометрии, общего P, P фосфатов, Si и NH_4^+ - методом фотоколориметрии, общего углерода - бихроматным методом; анионный состав вод, включающий NO_3^- , SO_4^{2-} и Cl^- - методом ионообменной хроматографии. Качество проводимых анализов водных проб подтверждено авторами работы в 2005, 2009 и 2010 гг в рамках интеркалибровочных испытаний по Международной программе ICP-forests.

Входные параметры для процедуры ФХМ.

В качестве входных параметров используются аналитические данные, выраженные в мг/л по каждому из определяемых катионов и анионов основного состава вод. Для предварительного выбора результатов анализа для ФХМ применяется балансовый метод, согласно которому разница между суммой катионов (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ и H^+) и суммой анионов минеральных кислот (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-), выраженных в нормальных концентрациях, принимается за концентрацию анионов органических кислот. Наличие в пробе органической матрицы значительно усложняет процесс моделирования из-за ее сложного многокомпонентного состава. В этом случае возникает необходимость включения в модель термодинамических параметров широкого ряда органических соединений, концентрационные характеристики которых не определяются нами в ходе рутинных анализов. В связи с указанным обстоятельством выбор результатов анализа для моделирования осуществляется главным образом для проб с эквивалентным отношением суммы катионов и суммы анионов минеральных кислот, выраженных в нормальных концентрациях.

Процедура ФХМ

ФХМ объектов наземных экосистем ведется в рамках системы *Al-B-Br-Ar-He-Ne-C-Ca-Cl-F-K-Mg-Mn-N-Na-P-S-Si-Sr-Cu-Zn-H-O-e*, где e- электрон. Данная система отработана нами в исследованиях, проведенных на объектах водных

экосистем (подземных и поверхностных водах) [5,6]. В работах [6,7] показано построение термодинамических моделей как расчет равновесного состояния системы. В этом случае при моделировании фиксируется (задается) содержание только элементов катионной части раствора (Na, K, Ca, Mg, Fe) и некоторых элементов анионной части (P, Cl, N, S, Si), концентрации которых соответствуют аналитическим. Содержание других элементов в составе анионной части раствора, а именно C, H и O определяется в процессе расчета термодинамической модели. Максимально возможное соответствие аналитически определенных и расчетных равновесных значений рН достигается варьированием содержания CO₂ и O₂ как входных параметров модели. Таким образом, достигается не только полное соответствие расчетных и аналитических значений химических параметров природных вод, но и оценивается реальная степень насыщения природной воды газовыми компонентами атмосферного воздуха.

Выходные параметры ФХМ.

Выходными параметрами модели являются концентрационные характеристики каждой отдельной формы нахождения элемента, выраженные в мг/л. Для верификации результатов ФХМ и сопоставления полученных результатов проводится пересчет по каждому параметру в долевые отношения (% содержание). Расчет производится на основе молекулярной массы каждой отдельной формы и валового содержания элемента. Валидация результатов основывается на том положении, что суммарное содержание всех определяемых форм элемента должно соответствовать 100 %.

Обзор основных результатов по опубликованным авторами работам

Опыт моделирования в режиме неопределенности обобщен в наших работах [6,8,9]. Ретроспективный анализ изменения форм миграции элементов-загрязнителей после снижения аэротехногенной нагрузки со стороны крупнейшего в области медно-никелевого комбината проведен в работах [10,11]. Показано, что снижение аэротехногенной нагрузки существенно влияет на формы миграции тяжелых металлов и Al с талыми водами, вызывая уменьшение доли простых катионных форм, признающихся наиболее токсичными для биоты. Сходная тенденция отмечена при повышении минерализации талых снеговых вод в результате применения мелиорантов для рекультивации нарушенных территорий. Прогнозные оценки влияния изменения климата на миграционную активность алюминия при проведении рекультивационных работ на техногенных пустошах приведены в работе [11]. Результаты ФХМ свидетельствуют о том, что низкие температуры при раннем наступлении весны способствуют повышению доли наиболее токсичных мономерных форм Al и возможному пагубному влиянию на ростовые процессы в искусственном фитоценозе. В других наших работах [9, 12] впервые сделана попытка провести расширенное изучение химического состава атмосферных выпадений на акваторию Белого моря в виде дождя с добавлением термодинамических параметров низкомолекулярных алифатических кислот (муравьиной и уксусной). Результаты ФХМ позволили сделать предположение о нахождении состава атмосферных выпадений в метастабильном состоянии при слабом комплексообразовании металлов. ПК «Селектор» открыл широкие возможности для изучения процессов миграции элементов с переменной валентностью в почвенных условиях [13]. В частности,

нами проведена реконструкция истинных значений Eh (окислительно-восстановительного потенциала) почвенных вод, что проблематично проводить *in situ* из-за изменений условий аэрации проб.

Заключение.

Подтверждена актуальность использования ПК «Селектор» при ретроспективных и прогнозных оценках для различных объектов наземных экосистем, междисциплинарные исследования имеют перспективу успешного продолжения.

1. *Линник П.Н., Набиванец Б.И.* Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 271с.
2. *Линник Р.П., Линник П.Н., Запорожец О.А.* Методы исследования сосуществующих форм металлов в природных водах (обзор) // Методы и объекты химического анализа. – 2006. – № 1. – С. 4–26.
3. *Чудненко К.В.* Теория и программное обеспечение метода минимизации термодинамических потенциалов для решения геохимических задач. – Автореферат диссертации на соискание степени доктора геолого-минералогических наук. Иркутск, 2007.
4. *Чудненко К.В.* Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. – 287 с.
5. *Мазухина С.И., Маслобоев В.А., Чудненко К.В., Бычинский В.А., Сандимиров С.С.* Исследование состояния оз. Большой Вудъявр после экологической катастрофы 1930-х годов методами физико-химического моделирования // Химия в интересах устойчивого развития. – 2009. – №17. – С.51–59.
6. *Мазухина С.И.* Формирование поверхностных и подземных вод Хибинского горного массива. Апатиты. Изд-во КНЦ РАН, 2012. – 173 с.
7. *Крайнов С.Р., Шваров Ю.В., Гричук Д.В., Добровольский Е.В., Соломин Г.А, Борисов М.В., Рыженко Б.Н., Матвеева Л.И., Лялько В.И., Швец В.М.* Методы геохимического моделирования и прогнозирования в гидрогеологии. – М.: Недра, 1988. – 254 с.
8. *Мазухина С.И., Маслобоев, В.А.* Физико-химическое моделирование геосистем в условиях неопределенности входной информации // Формирование основ современной стратегии природопользования в Евро-Арктическом регионе. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2005. – С.383–395.
9. *Горбачева Т.Т., Мазухина С.И.* Физико-химическое моделирование состава органического вещества атмосферных выпадений на островной части Белого моря // Метеорология и гидрология. – 2014. – № 2. – С. 69–78.
10. *Горбачева Т.Т., Мазухина С.И., Иванов С.В., Черепанова Т.А.* Элементный состав талых вод в зоне влияния медно-никелевого комбината и реконструкция форм нахождения элементов методом физико-химического моделирования // Химия в интересах устойчивого развития. – 2015. – №23. – С.339–345.
11. *Gorbacheva T.T., Mazukhina S.I., Ivanov S.V. and Cherepanova T.A.* Al speciation in meltwater on reclamation plots near a Cu-Ni-smelter (modelling at different temperatures) // Proceedings of the 1st Pan-Eurasian Experiment (PEEX) Conference and the 5th PEEX Meeting. – Helsinki, 2015. – P. 159–164.
12. *Черепанова Т.А., Горбачева Т.Т., Мазухина С.И.* Формы нахождения железа в атмосферных выпадениях на территорию Кандалакшского залива // Арктическое морское природопользование в XXI веке – современный баланс научных традиций и инноваций. – Мурманск, 2015. – С. 239–241.
13. *Черепанова Т.А., Мазухина С.И., Горбачева Т.Т.* Формы миграции элементов с переменной валентностью в водах приморских почв // Роль почв в биосфере и жизни человека: Матер. докл. межд. науч. конф., посвященной 100-летию со дня рождения академика Г.В. Добровольского (в рамках Международного года почв). Москва, 2015. – С. 132–134.

УДК 518: 517.948

Ю. Л. Меньшиков, к. техн. наук
Днепропетровский национальный университет
(Украина, 49050, Днепропетровск, проспект Гагарина, 72,
тел.(056) 760 94 61, E-mail: Menshikov2003@list.ru)

Лучшее для прогноза адекватное математическое описание динамических систем

In work the problem of synthesis of an adequate mathematical description of dynamic systems, which is the best for the purpose of predicting the behavior of these systems. In general, this problem is reduced to solve a number of integral equations of the first kind of Volterra (ill-posed problems) into which the change of the mathematical models parameters were taken into account.

Ключевые слова: математическое описание, адекватность, интегральные уравнения, прогнозирование.

Введение. Практическое значение результатов математического моделирования поведения динамических систем зависит от степени совпадения результатов математического моделирования выбранного математического описания реального процесса с экспериментальными данными [1]. Если совпадение результатов математического моделирования с экспериментом плохое, то дальнейшее использование этих результатов является проблематичным. Важным понятием в этой связи является адекватность построенного математического описания изучаемому физическому процессу [1].

Будем изучать проблемы связанные с синтезом адекватного математического описания и его дальнейшего использования на примере динамической системы, движение которой описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

Пусть физический процесс характеризуется в общем случае некоторым количеством переменных (переменных состояния) x_1, x_2, \dots, x_k , зависящих от бесконечного числа исходных параметров процесса $z_1, z_2, \dots, z_n, \dots$. Выбор характеристик физического процесса x_1, x_2, \dots, x_k определяются конечными целями исследований.

Будем полагать, что переменные x_1, x_2, \dots, x_k удовлетворяют некоторой системе нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\dot{x} = F(x, z), \quad (1)$$

где $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_k(t))^T$ есть вектор-функция переменных состояния ($(\cdot)^T$ – знак транспонирования), $z(t) = (z_1(t), z_2(t), \dots, z_l(t), \dots)^T$ – вектор-функция внешних воздействий. Под внешними воздействиями (нагрузками) будем понимать функции $z_1(t), z_2(t), \dots, z_l(t), \dots$, которые изменяются независимо от субъективных факторов или свойств и поведения исходной математической модели (1). На практике существенное влияние на физический процесс оказывает лишь конечное количество внешних воздействий, а остальными влияниями

можно пренебречь.

Зафиксируем решение $x^0(t, x_1^0, x_2^0, \dots, x_k^0)$ системы (1), удовлетворяющее начальным условиям: $x_1(t_0) = x_1^0, x_2(t_0) = x_2^0, \dots, x_k(t_0) = x_k^0$. В некоторой малой окрестности этого решения отклонения $\tilde{x}(t, \tilde{x}_1^0, \tilde{x}_2^0, \dots, \tilde{x}_k^0)$ от фиксированного решения $x^0(t, x_1^0, x_2^0, \dots, x_k^0)$ будут удовлетворять линейной системе обыкновенных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами:

$$\dot{\tilde{x}} = A\tilde{x} + B\tilde{z}, \quad (2)$$

где $\tilde{x}(t) = (\tilde{x}_1(t), \tilde{x}_2(t), \dots, \tilde{x}_k(t))^T$ есть вектор-функция переменных состояния, $\tilde{z}(t) = (\tilde{z}_1(t), \tilde{z}_2(t), \dots, \tilde{z}_n(t))^T$ – вектор-функция внешних воздействий, A, B – матрицы с постоянными коэффициентами соответствующей размерности.

Условия построения линейного математического описания физического процесса накладывают ограничения на исследуемые физические процессы с помощью такого описания.

Пусть $z^1 = (z_1^1, z_2^1, \dots, z_n^1)^T$ есть некоторая вектор функция внешних воздействий. Если при подстановке этой функции в (2) получаем вектор функцию характеристик $x^1(t) = (x_1^1(t), x_2^1(t), \dots, x_k^1(t))^T$, которая отличается от измерения $\tilde{x}(t) = (\tilde{x}_1(t), \tilde{x}_2(t), \dots, \tilde{x}_k(t))^T$ на величину δ , которая не превосходит ошибки измерения характеристик $\tilde{x}(t) = (\tilde{x}_1(t), \tilde{x}_2(t), \dots, \tilde{x}_k(t))^T$, тогда математическое описание (уравнение (2) и вектор функция $z^1 = (z_1^1, z_2^1, \dots, z_n^1)^T$) будем называть *адекватным линейным математическим описанием* динамического процесса (*АЛМО*).

Постановка задачи. Рассмотрим вопросы использования *АЛМО* при построении прогноза поведения динамической системы. Предположим, что *АЛМО* физического процесса построено с использованием некоторого алгоритма. Однако использовать это описание для изучения динамической системы в новых неизвестных условиях нельзя, так как полученное адекватное математическое описание локально.

Если исходные параметры физического процесса мало изменяются в новых условиях, то в силу свойства инерции физического процесса эти малые изменения дают малые изменения конечных (исследуемых) характеристик физического процесса. И, следовательно, результаты эксперимента в новых условиях будут близко к результатам предыдущего эксперимента, с использованием которого было ранее получено *АЛМО*. В силу этого результаты математического моделирования в новых условиях с использованием полученного ранее *АЛМО* не представляют интереса.

В такой ситуации желательно в определение адекватного математического описания внести дополнительное требование, чтобы параметры полученного адекватного математического описания были устойчивыми к малым изменениям исходных данных. Тогда близость результатов математического моделирования с использованием *АЛМО* с будущими экспериментами при малых изменениях исходных данных (эксперимента и параметров математической модели процесса) будет гарантирована.

В настоящее время существует два основных подхода к проблеме построения адекватного математического описания [1,2]:

- по математической модели с выбранной априори структурой и неточными параметрами определяется модель внешнего воздействия, которая в совокупности с математической моделью процесса обеспечивают условие адекватности (совпадение с экспериментом);

- по некоторой заданной априори модели внешнего воздействия подбирается математическая модель процесса, которая в совокупности с моделью внешнего воздействия обеспечивают совпадение с экспериментом.

Если проводить математическое моделирование при малых изменениях параметров *АЛМО*, то результаты математического моделирования будут мало отличаться от предыдущих результатов и, следовательно, от результатов эксперимента. В этом случае практическая полезность результатов моделирования также будет незначительная.

Алгоритм синтеза лучшего для прогноза адекватного математического описания. Предлагается следующий алгоритм синтеза адекватных математических описаний для целей прогноза поведения динамических систем: для заданных экспериментальных измерений синтезируется устойчивое адекватное математическое описание для каждого варианта возможного изменения параметров математической модели динамической системы в будущем, затем находится максимальная величину отклонения для каждого варианта от эксперимента для исходной математической модели и затем среди допустимых математических моделей находится лучшее.

Такой алгоритм совпадает с алгоритмом получения адекватного математического описания для класса операторов [1]. Однако в этом случае разброс параметров оператора будет определяться не разбросом параметров математической модели за счет неточности математической модели, а заранее заданном изменением этих параметров, который возможен или желательный в будущем.

Ранее было показано, что задача синтеза адекватного устойчивого математического описания сводится к решению нескольких интегральных уравнений первого рода [1,3]:

$$A_p z = u_{\delta,p}, \quad (3)$$

где A_p есть линейный оператор $A_p : Z \rightarrow U$, $z \in Z$, $u_{\delta,p} \in U$, $u_{\delta,p}$ – исходные данные, Z, U , – функциональные пространства. Будем предполагать, что оператор A_p непрерывно зависит от вектора параметров p математической модели движения динамической системы $p = (p_1, p_2, p_3, \dots, p_n)^T \in D \subset R^n$. В подавляющем большинстве практических задач оператор A_p является вполне непрерывным [3].

Будем полагать, что в будущем вектор параметров p может принимать несколько фиксированных значений $p_k \in D \subset R^n$, которым соответствуют операторы $A_{p_k} \in \{A_p\} = K_A$.

Правая часть в уравнении (3) (элемент u_{δ,p_k}) задана с известной погрешностью:

$$\|u_T - u_{\delta, p_k}\| \leq \delta,$$

где u_T есть точная вектор-функция исходных данных, $\delta - \text{const}$, $\delta > 0$.

Обозначим через Q_{δ, p_k} множество возможных решений уравнения (3) при фиксированном операторе A_{p_k} :

$$Q_{\delta, p_k} = \{z : \|A_{p_k} z - u_{\delta, p_k}\|_U \leq \delta\}.$$

Множество Q_{δ, p_k} для любого p_k и любого δ является неограниченным в Z (некорректная задача) [3]. Однако, любая функция z из множества Q_{δ, p_k} является «хорошей» моделью внешнего воздействия, так как функция $A_{p_k} z$ совпадает с u_{δ, p_k} с точностью измерения. Таким образом, оператор A_{p_k} и любая функция из множества Q_{δ, p_k} будут давать пару, которая обеспечит адекватность результатов математического моделирования с точностью δ . Модель, которая дает адекватное устойчивое математическое описание физического процесса, может быть получена как решение следующей экстремальной задачи:

$$\Omega[z_{\delta, p_k}] = \inf_{z \in Q_{\delta, p_k}} \Omega[z], \quad (4)$$

где $\Omega[z]$ есть стабилизирующий функционал [3].

С формальной точки зрения задача может быть сведена к решению следующей экстремальной задаче [1,3]:

$$\|A_{p^b} z_{\delta, p^b} - u_{\delta, p^b}\| = \min_{p \in D} \max_{a_k \in D} \|A_p z_{\delta, a_k} - u_{\delta, p}\|_U, \quad (5)$$

где z_{δ, a_k} есть решение экстремальной задачи (4) с $p_k = a_k$, $a_k \in D$, $p^b \in D$.

Оператор A_{p^b} и внешнее воздействие z_{δ, p^b} дают адекватную математическую модель лучшую для прогноза. Пример расчета конкретного лучшего адекватного математического описания представлен в [3].

Заключение. В работе предложен алгоритм синтеза адекватных математических описаний физических процессов, которые являются лучшими для целей прогноза поведения динамических систем.

1. *Меньшиков Ю.Л.*, Метод обеспечения адекватности динамических моделей // Электронное моделирование, –Киев, –Украина, –Т.36, –№ 3, –2014, – С.31-40.
2. *Степанко В.С.*, Метод критической дисперсии как аналитический аппарат теории индуктивного моделирования // Проблемы управления и информатики, –Киев, –Украина, –2, –2008, –С.27-32.
3. *Menshikov Yu.L.*, Synthesis of Adequate Mathematical Description as Solution of Special Inverse Problems // European Journal of Mathematical Sciences, –v. 2, –n. 3, –2013, –P.256-271.

В. І. Ночвай¹⁾, канд. техн. наук,

В. В. Циганок²⁾, д-р техн. наук,

¹⁾Ін-т проблем моделювання в енергетиці

ім. Г. Є. Пухова НАН України

(Україна, 03164, Київ, вул. Генерала Наумова, 15,

тел. (044) 4249168, e-mail: nochvai@gmail.com)

²⁾Ін-т проблем реєстрації інформації НАН України

(Україна, 03113, Київ, вул. М. Шпака, 2,

тел. (044) 454 2137, e-mail: tsyganok@ipri.kiev.ua)

Модель прийняття рішень з розподілу ресурсів між проектами в соціоекологічній системі

Decision making model on the distribution of resources between projects in sociological system is proposed. As a model project in this problem are asked to select a simple piecewise continuous or another function. Among the known evolutionary methods proposed modification choose to use genetic algorithm.

Ключові слова: соціоекологічна система, підтримка прийняття рішень, розподіл ресурсів.

Вступ. Прийняття рішень в складних слабо структурованих системах є актуальною науковою проблемою, що потребує побудови моделей на різних етапах: вибір та узгодження цілей; підбір критеріїв та їх динамічне представлення; прогнозування поведінки системи та аналіз наслідків цілеспрямованих дій.

Великий інтерес з точки зору практичних застосувань представляють соціоекологічні системи [1]. Під час розробки регіональних стратегій, планів та програм постає непроста задача оптимального розподілу значно обмежених в умовах економічної кризи ресурсів $R_{1,2,3,4}$ (1-фінансових, 2-людських, 3-природних, 4-економічних) для забезпечення економічного розвитку. При цьому важливо не допустити скорочення соціального забезпечення та погіршення екологічного стану – забезпечити раціональне природокористування, крім того, врахувати інтереси основних зацікавлених сторін в регіоні. Отже, розглядаємо комплексну задачу досягнення цілей соціоекологічної системи у вигляді соціоекологічної програми (T), та цільових програм: екологічної T^E , економічної T^E та соціальної T^C : $T = \{T^E, T^E, T^C\}$.

Реалізацію програм (заходів) відносно окремих задач будемо представляти у вигляді проектів $P = \{P_i\}$, $i = (\overline{1, n}) \in T$, які належать до регіональних цільових програм. Для кожного проекту P_i , що відповідає окремій цілі (або підцілі) програми, задається функція залежності $S_i = f(R_i)$ ступеня його виконання S_i від величини фінансування R_i та алгоритм підрахунку ступеня досягнення головної цілі програми, якій відповідає вектор \bar{S} ступенів виконання проектів: $E(\bar{S})$.

Максимальна величина фінансування обмежена кількістю наявних в регіоні на певний моменту часу (t) вільних ресурсів, які залучаються за рахунок використання коштів: $R_i(t) = p_2 R_2^{\max} + p_3 R_3^{\max} + p_4 R_4^{\max}$, де p – вартість відповідного ресурсу.

Метою центру, що розподіляє ресурс по проектах та програмах, в таких задачах часто вважається максимізація економічної вигоди в системі внаслідок використання наявних ресурсів. Будемо також враховувати можливість отримання додаткових ресурсів для програм і проектів від зацікавлених сторін,

регіональних акторів, якщо окремі проекти відповідають їх цілям (фактично, це внутрішні ресурси акторів R_A).

Якщо виходити з того, що в соціоекологічній системі, відповідно до концепції сталого розвитку, мають бути збалансовані економічна, соціальна і екологічна складова, то метою будемо вважати максимізацію деякого корисного ефекту відносно цих трьох складових. Часто при цьому застосовують критерій «шкода-користь», що відображає максимізацію прибутків і мінімізацію втрат: $(K_{\Pi}+K_E+K_C)-(Ш_{\Pi}+Ш_E+Ш_C)=\max$, де K , $Ш$ – фінансове вираження критеріїв користі та шкоди у, відповідно, природній, економічній та соціальній підсистемах. Практично для цього можна використовувати традиційні економічні оцінки з врахуванням екологічних та соціальних екстернальних ефектів. Проте такий критерій не враховує емерджентні зміни, тенденцію змін таких важливих характеристик складних систем як безпека, цілісність, організованість, тощо, і, тому його застосування обмежується лише локальними проектами.

При використанні системного підходу для комплексних регіональних програм слід застосовувати універсальні системні цілі: збереження, розвиток, безпека, ефективність. Відповідно до цих цілей будемо розглядати множину підпрограм, наприклад екологічних: $T^{\Pi} = \{T^{\Pi}_3, T^{\Pi}_P, T^{\Pi}_B, T^{\Pi}_E\}$. Для кожної з них можна задати набір цільових критеріїв (Π), на досягнення яких спрямований набір проектів, наприклад проектів програми збереження довкілля регіону: $P^{\Pi}_3 = \{P_j\}$, $j = (\overline{1, n_3}) \in T^{\Pi}_3$.

Таким чином, отримаємо задачу оптимального виконання проектів програм, для деякої територіальної системи шляхом розподілу обмежених фінансових, соціальних, економічних, екологічних ресурсів між регіональними агентами підсистем відносно множини індивідуальних і спільних: соціальних, економічних та екологічних цілей. При цьому необхідно враховувати зміну пріоритетів цілей агентів, характер взаємодій з навколишнім середовищем, яке нелінійно реагує на дії агентів: $T=(k_1\Pi_1, k_2\Pi_2, \dots, k_N\Pi_N)$, де K – вектор пріоритетів цільової програми, що визначається органами державного управління у відповідній сфері на основі критеріїв, визначених в системі управління. Слід зауважити, що для агентів системи пріоритети K_A можуть відрізнятися: $K \neq K_A$.

Проте, для цілей, що співпадають з пріоритетами агентів, можна залучити їх власні ресурси на певних етапах фінансування проектів $R = R_{1,2,3,4} + R_A$ і, таким чином, підвищити ефективність використання коштів відносно досягнення цілей

$$\text{проекту } E_i = \frac{S_i}{R_i}.$$

Декомпозиція цілей. Нехай множина цілей $\Pi = \{\pi_i\}$, $i = 0, 1, \dots, N$, що визначає призначення програми, складається з n рівнів, так що досягнення цілі π_i , що належить j -му рівню, ($j = 1, \dots, n$) – є наслідком досягнення цілей $\pi_{i1}, \dots, \pi_{ik}$ ($j+1$)-го рівня, причому, можливі кон'юнктивна та диз'юнктивна залежності. При кон'юнктивній залежності досягнення π_i є результатом досягнення всіх цілей, а при диз'юнктивній – будь-якої з них.

Запишемо математичний вираз для обрахунку ступеня досягнення цілі верхнього рівня через нижні (цільові програми через підпрограми, програми через проекти, проекти через етапи проектів) [2]: $\Pi(T) = \prod_{i=1}^N k_i \Pi(S_i)$, де N – кількість

проектів, чи підсистем (адміністративних одиниць територіального поділу), $k_i \in [0,1]$ – питома вага проекту чи підсистеми, $C = [0,1]$ – деяка ціль вищого системного рівня.

Вибір оператора добутку чи суми залежить від умов задачі: якщо досягнення певного цільового мінімального рівня кожною підсистемою є обов'язковою умовою, то добуток дозволяє врахувати критерій цілісності, втрата якої дає нульовий результат. Отже, добуток застосовується при кон'юнктивній залежності досягнення цілей, а оператор суми – при диз'юнктивній: $C(T) = \sum_{i=1}^N k_i C(S_i)$.

У відповідності з агентним підходом до моделювання, кожен агент характеризується внутрішнім станом, внутрішнім ресурсом і правилами поведінки. Стан динамічно змінюється в результаті взаємодії між агентами та зовнішнім середовищем. Середовище також характеризується деякими параметрами стану і набором факторів, що неоднорідні у просторі. Дії агентів зумовлені як факторами середовища, так і правилами взаємодії, що зумовлюються об'єктивними умовами (закони природи і суспільства) та суб'єктивними домовленостями (закони, правила, етика).

У такій моделі прийняття рішень необхідно періодично уточнювати інформацію про стан системи X , стан ресурсів X^R , стан агентів X^A , стан середовища X^E , корегувати модель прогнозу поведінки $X(t)$, отримувати експертні оцінки про характеристики, щодо яких немає повної інформації, отримувати інформацію від агентів щодо цільових критеріїв (C) (адекватності їх представлення, вагових коефіцієнтів, змін цілей внаслідок системних змін). Отже, маємо багатоетапну задачу розподілу неоднорідних ресурсів. Внаслідок виконання проектів можуть змінюватися стани агентів, ресурсів та середовища. Як наслідок, це може вплинути на хід виконання інших проектів: $S_i = f(S_k), i \neq k$.

Оскільки, ефекти від використання ресурсів окремими агентами впливають і на інших агентів, то вважатимемо їх залежними. Будемо розглядати моделі використання спільних обмежених ресурсів агентами. При виконанні цілеспрямованих дій в системі по використанню ресурсів існує вибір серед способів дій та застосування різних технологій як з боку керуючих органів, так і з боку незалежних агентів системи.

Задача полягає в тому, щоб *знайти* вектор $\overline{R}_x(t)$, при якому $E(\overline{S}_x) \rightarrow \max$, при обмеженні $\sum_{i=1}^n R_i \leq R_T$, де R_T – загальний об'єм фінансування програми на проміжку часу t .

Представлений клас оптимізаційної задачі має надзвичайно велику розмірність. Для розв'язання таких задач потрібно ідентифікувати структуру і параметри соціально-економічних та природних процесів, пов'язаних з виконанням проектів, їх взаємозв'язки та вплив на основних агентів.

Сутність методу розподілу ресурсів. В [3] запропоновано метод розв'язання задачі розподілу ресурсів з подальшою його реалізацією для практичного застосування у складі системи підтримки прийняття рішень (СППР). В якості моделі проекту в даній задачі пропонується вибрати просту кусково-неперервну функцію з можливістю вибору більш складної моделі для більш адекватного відображення поведінки кожного конкретного проекту.

З точки зору практичного застосування методу доцільно перейти від пошуку рішення в неперервній шкалі до пошуку в дискретній області. Для цього пропонується в якості вхідних даних для алгоритму задавати точність розподілу ресурсів, яка фактично являє собою деяку одиницю дискретизації ресурсу.

Характерні особливості задачі спонукають до застосування для її вирішення еволюційних методів, які по суті є варіантами цілеспрямованого випадкового пошуку. Серед відомих еволюційних методів запропоновано вибрати для використання модифікацію генетичного алгоритму (ГА), вперше запропонованого Холландом [4]. ГА – це алгоритм, який дозволяє знайти задовільне рішення до аналітично нерозв'язних або складнорозв'язних проблем шляхом послідовного підбору та комбінування шуканих параметрів з використанням механізмів, що нагадують біологічну еволюцію.

В якості функції пристосованості для даного типу задачі ППР розглядається функція ступеня досягнення головної цілі прикладної проблеми при заданих рівнях виконання проектів [2]. Ця функція реалізована і застосовується в багатьох функціональних режимах СППР, наразі вона не потребує модифікації і може бути використана в якості функції пристосованості ГА.

Цей метод реалізовано у вигляді програмного модуля, протестовано та включено як підсистему розподілу ресурсів до СППР „Солон-3” [5].

Висновки. Комбінація моделюючих та експертних СППР дозволяє подолати принципову складність слабо структурованих задач з критеріями, що важко формалізуються. Це перехід від цільової функції складної системи до функції ступеня досягнення головної цілі прикладної проблеми. Для цього потрібно попередньо розрахувати ступінь виконання кожного проекту при визначеному фінансуванні. Тобто, для проекту, що відповідає елементу вектора рішення, відповідно до моделюючої функції потрібно знайти ступінь його виконання. Параметри функції залежності виконання проекту від фінансування для кожного проекту вводяться користувачем СППР. Передбачається, що ці дані (а саме: кількість ресурсів, що необхідна для повного виконання проекту, мінімально доцільна кількість ресурсів для проекту та ймовірний відсоток виконання проекту при цьому) отримуються користувачем СППР від експертів – осіб-розробників бізнес-планів проектів.

1. Levin S.A. et al.. Social-ecological systems as complex adaptive systems: Modeling and policy implications. *Environment and Development Economics*. – 2013 18(2): 111-132
2. Тоценко В.Г. Об одном подходе к поддержке принятия решений при планировании исследований и развития. Часть 2. Метод целевого динамического оценивания альтернатив / В.Г.Тоценко // Проблемы управления и информатики. – 2001. – №2. – С. 127-139.
3. Циганок В.В. Проблема розподілу ресурсів, як розширення можливостей систем підтримки прийняття рішень / В.В.Циганок // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2010. – т.12.– №2.– С.232-237.
4. Holland J.H. *Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control, and artificial intelligence.* – London: Bradford book edition. – 1994. – 211p.
5. Свідectво про державну реєстрацію авторського права на твір №8669. Міністерство освіти і науки України державний департамент інтелектуальної власності. Комп'ютерна програма "Система підтримки прийняття рішень СОЛОН-3" (СППР СОЛОН-3) / В.Г.Тоценко, П.Т.Качанов, В.В.Циганок // зареєстровано 31.10.2003.

А. Г. Додонов, д-р техн. наук, профессор, зам. директора ИПРИ НАН Украины
В. Г. Путятин, канд. техн. наук, ведущий н.с. отдела № 102,
С. А. Куценко, н.с. отдела № 102,
А.А. Юрасов, зав. отделом № 202,
Ин-т проблем регистрации информации НАН Украины
(Украина, 03113, Киев, ул. Шпака, 2,
тел. (044) 4542163, e-mail: putvlgr@gmail.com)

Управление процессом моделирования при решении функциональных задач на АРМ компьютерной модели СОУ АК

We consider the simulation process management issues in solving functional tasks at workstation computer model in implementing the functions of accounting and control staff performance workstations and components of the computer model, the control of its performance, the formation of the registry of functional tasks.

Ключевые слова: компьютерная модель, авиационный комплекс, моделирующий комплекс, функциональная задача, программный модуль.

Введение. При разработке различных систем организационного управления (СОУ) большую роль играют комплексные имитационно-моделирующие стенды, моделирующие комплексы (МК) - компьютерные модели (КМ) системы и ее функциональных подсистем (ФП). Опыт, накопленный в Институте проблем регистрации информации НАН Украины при разработке и реализации МК СОУ авиационным комплексом (АК), базирующимся на подвижном аэродроме (платформе, авианесущем корабле), доказывает, что КМ дает возможность исследовать реальные процессы, происходящие при управлении авиационным комплексом; изучить свойства и поведение системы в различных условиях; отработать структуру системы, обеспечивающую реализацию полного цикла управления организационными процессами, в том числе: сбор, обработку, обмен информацией, планирование, контроль и поддержку принятия управленческих решений. В работах [1-8] рассмотрены принципы построения, структура МК (КМ) и технология компьютерного моделирования СОУ АК, обеспечивающие возможность создания системы, реализующей эффективное управление АК в реальном масштабе времени.

Основные принципы построения МК СОУ АК. Основными характерными особенностями МК СОУ АК являются его гибкость и масштабируемость, что позволяет формировать функциональную и организационную структуру комплекса в зависимости от поставленных задач. Обеспечивается это модульным принципом построения системы. Согласно этому принципу МК СОУ АК может быть представлен как совокупность функциональных и обеспечивающих подсистем и автоматизированных рабочих мест (АРМ); каждое АРМ - как совокупность модулей реализации функций управления и соответствующих этим функциям задач; каждая функциональная задача – как совокупность независимых функциональных модулей этой задачи (например: ввод информации, анализ и оценка информации; выполнение расчетов, отображение результатов расчетов и др.).

В МК (КМ) СОУ АК реализованы следующие функции управления (группы функциональных задач): информационное обеспечение; планирование; расчеты; контроль; оперативное управление; документирование; визуализация.

Основные принципы, положенные в основу создания МК СОУ АК, позволяют сформировать его конфигурацию под конкретный сценарий, обеспечивающий решение любой задачи управления АК (Рисунок 1). В зависимости от поставленной задачи МК может быть сформирован в полном организационно-функциональном составе (для моделирования всего комплекса задач управления АК) либо в сокращенном составе (для моделирования частных задач). В полном варианте в состав МК входят 55 АРМ специалистов авиационного комплекса, 219 функциональных задач и более 400

функциональных модулей. При этом АРМ требуемой функциональности может быть развернуто на любой рабочей станции МК.

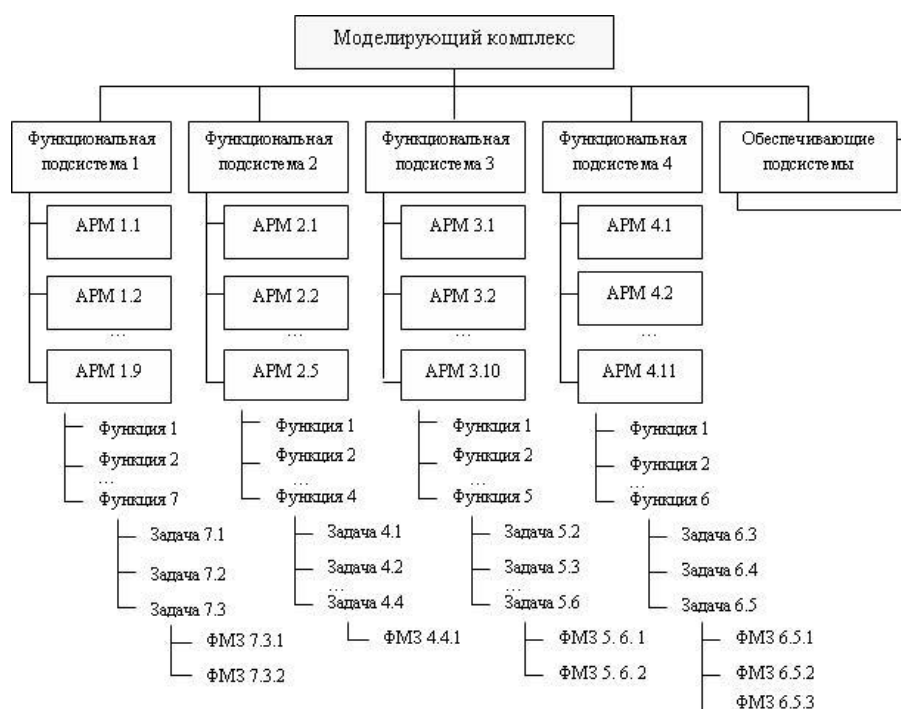


Рис. 1. Пример конфигурации МК СОУ АК для решения поставленной задачи.

Управление моделированием. Одно из важных мест при разработке МК занимают задачи управления процессом моделирования при различных конфигурациях МК, реализуемые в подсистеме администрирования и управления вычислительным процессом. Подсистема администрирования и управления обеспечивает:

- формирование МК в процессе подготовки к моделированию комплексов функциональных задач (КФЗ);
- контроль процесса моделирования;
- протоколирование действий должностных лиц при работе на АРМ в ходе решения КФЗ;
- воспроизведение запротоколированных действий должностных лиц по окончанию моделирования.

Реализованные в подсистеме функции и задачи позволяют отработать на АРМ администратора МК СОУ АК процессы организации локальной вычислительной сети, формирования АРМ должностных лиц требуемой конфигурации для решения разработанных функциональных задач; создать и наполнить базы данных; загрузить тестовые данные для решения разработанных ФЗ; организовать вычислительный процесс и информационное взаимодействие между отдельными элементами МК СОУ АК.

Управление моделированием реализуется на АРМ администратора при решении функциональной задачи «Управление процессом моделирования при решении функциональных задач на АРМ МК СОУ АК». В процессе решения задачи выполняется формирование перечня рабочих станций (РС), входящих в состав программно-технического комплекса (ПТК) МК, контроль работоспособности РС и основных компонент МК при решении комплексов функциональных задач, формирование реестра функциональных задач и задание исходных данных контрольных примеров для их решения. Контроль работоспособности проводится для следующих основных компонент

ПТК МК: сервера приложений; сервера БД; среды взаимодействия; сетевой инфраструктуры; рабочих станций МК СОУ АК.

Задача «Управление процессом моделирования при решении функциональных задач на АРМ МК СОУ АК» обеспечивает выполнение следующих функций:

1. Учет и контроль работоспособности РС и основных компонент МК:
 - ввод в БД исходных данных по учету рабочих станций;
 - контроль работоспособности основных компонент ПТК МК в процессе решения функциональных задач;
 - контроль работоспособности РС при формировании на них АРМ должностных лиц и в процессе решения функциональных задач.
2. Контроль работоспособности ПТК МК средствами протоколирования работы технических и программных средств МК:
 - протоколирование операций, выполняемых на рабочих станциях в процессе решения функциональных задач;
 - протоколирование сбоев на РС во время решения функциональных задач на АРМ должностных лиц;
 - протоколирование сбоев основных компонент ПТК МК, включая системные сообщения об ошибках.
3. Формирование реестра функциональных задач, решаемых на МК:
 - ведение списка функциональных задач, с разбивкой по группам ФЗ;
 - задание взаимосвязи функциональных задач.
4. Ввод в БД МК исходных данных контрольных примеров для решения функциональных задач:
 - задание связи между функциональной задачей и программными модулями (пример реализации функции представлен на Рисунок 2);
 - ввод в БД МК исходных данных контрольных примеров для каждого модуля, реализующего функциональную задачу.

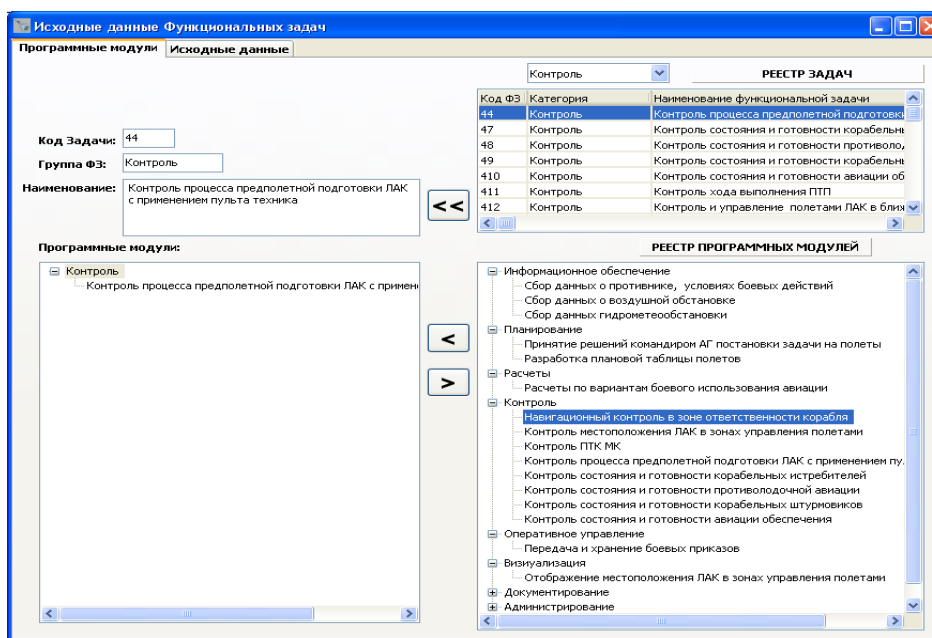


Рис.2. Пример экранной формы реализации функции «Задание программных модулей для ФЗ» на АРМ администратора МК СОУ АК

Заключение. Эффективное решение задачи управления процессом моделирования позволяет сформировать МК, организовать и контролировать его функционирование, обеспечить решение функциональных задач организационного управления авиационным

комплексом на АРМ должностных лиц в соответствии с выбранным сценарием. Протоколирование и дальнейшее воспроизведение процесса моделирования во всех деталях позволяет проанализировать и оценить действующую модель, выявить недостатки и внести необходимые коррективы с целью отработки и совершенствования основных проектных решений по созданию СОУ АК.

1. Додонов А.Г., А.Е. Литвиненко, М.Г. Луцкий. Методы принятия решений в автоматизированной системе управления предполетной подготовкой летательных аппаратов. – К.: НАУ, 2011. – 340 с.
2. Додонов А.Г., Ландэ Д.В., Путятин В.Г., Куценко С.А. Описание системы организационного управления авиационным комплексом // – Реєстрація, зберігання і обробка даних, 2014, Т.16. №1. Київ-2014. – С. 28-43.
3. Додонов А.Г., Путятин В.Г., Куценко С.А., Низиенко Б.И., Юрасов А.А., Додонов Е.А. Компьютерное моделирование системы организационного управления авиационным комплексом // Реєстрація, зберігання і обробка даних, 2014, Т.16. №3. - С.25-44.
4. Бойко Ю.Д. Вопросы формирования и администрирования моделирующих комплексов АСУ // Матеріали щорічної підсумкової конференції ІПРІ НАН України, 24-26 лютого 2011 р. – К.: ІПРІ НАНУ. – 2011. – С.41-42.
5. Додонов Е.А. Описание системы администрирования компьютерного моделирующего комплекса. // Матеріали щорічної підсумкової наукової конференції. ІПРІ НАН України, 24-26 лютого 2010р. - С. 38-40.
6. Додонов А.Г., Путятин В.Г. Компьютерное моделирование системы управления мобильным авиационным комплексом // - Математические машины и системы. – 2014. - №4. - С. 156-170.
7. Додонов А.Г., Путятин В.Г., Куценко С.А., Юрасов А.А. Сценарный подход к моделированию функциональных задач на компьютерном моделирующем комплексе // - Математические машины и системы. – 2015. - №2. - С. 113-129.
8. Додонов А.Г., Ландэ Д.В., Путятин В.Г., Куценко С.А. Построение системы организационного управления авиационным комплексом // - Реєстрація, зберігання і обробка даних, - 2014, - Т.16. - №1. – С. 28-43.

Д. В. Самсоненко, студент,
Національний технічний університет України «КПІ»
Україна, 03056, Київ, пр. Перемоги, 37,
тел. (095) 5930676, e-mail: den7124@gmail.com

Моделювання варки утфелю у вакуум-апаратах

Annotation. Modeling of boiling massecuite in the vacuum apparatus is extremely popular and complex processes. At the stage of boiling massecuite in the vacuum apparatus sugar as final product gets its qualities so highly valued by customers. Considered a method of automated construction of mathematical models massecuite vacuum apparatus in terms of unified modeling language UML (Unified Modeling Language).

Ключові слова: моделювання, автоматизація, утфельний вакуум-апарат, UML діаграми.

Вступ. Моделювання періодичних процесів є однією з основоположних задач автоматизації. В утфельних вакуум-апаратах проблематика моделювання періодичного процесу характеризується високою складністю, проте і високим попитом, адже саме процеси варки утфелю у вакуум-апараті значною мірою впливають на якість та кількість фінального продукту – цукру. Сучасне комп'ютерне моделювання складається в таких етапів: 1) опис системи мовою UML [1, 2]; 2) побудова моделі системи за допомогою пакету Simulink програмного додатку Matlab; 3) аналіз результатів комп'ютерного моделювання.

Розглянемо перший етап моделювання – опис системи мовою UML. Цикл роботи вакуум – апарата можна поділити на такі етапи: перший – готовність апарата; другий – набір вакууму; третій – набір продукту; четвертий – згущення; п'ятий – утворення кристалів; шостий – ріст кристалів; сьомий – розкочка; восьмий – уварювання; дев'ятий – вивантаження утфелю; десятий – пропарка вакуум апарата.

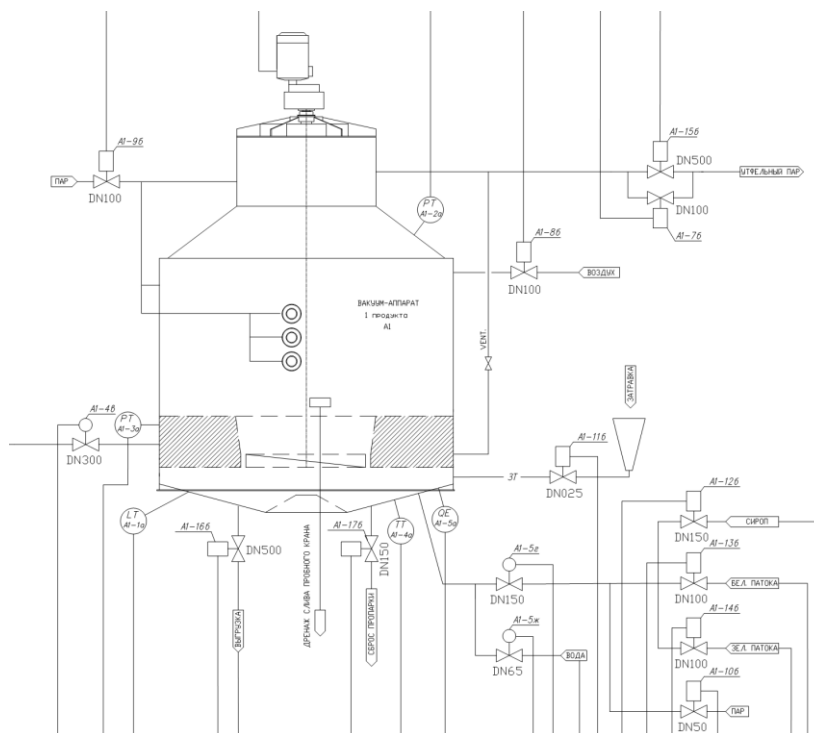


Рис. 1. Технологічна схема вакуум апарата

На рис. 1 наведено технологічну схему вакуум – апарата з відповідними позначками. (DNX00 – діаметр клапана в мм) та лініями: подачі пару (клапан А1-9б); відведення утфельного пару (А1-15б та А1-7б); подачі атмосферного повітря (А1-8б); подачі затравки (А1-11б); подачі сиропу (А1-12б); подачі білої патоки (А1-13б); подачі зеленої патоки (А1-14б); подачі пару (А1-10б та А1-4в); подачі води (А1-5ж); скиду пропарки (А1-17б); вивозки утфелю (А1-16б).

UML – діаграми це універсальний спосіб опису будь-якого об’єкту, основна їх перевага це простота в використанні та в сприйнятті готової моделі. Автоматизований процес можна описати максимально точно за допомогою таких UML–діаграм: класів, в котрій описуються сутності, їх параметри та функції, що характеризують окремі ділянки системи; взаємодії, яка описує послідовності виконання окремих перехідних процесів, що в цілому дає стислу інформацію про функціонування системи в цілому; стану, де описується стани в яких знаходиться система в залежності від встановлених умов переходів між станами; діяльності, що демонструє роботу системи крок за кроком і умови за яких відбувається технічний процес.

Діаграма класів (рис. 2) побудована згідно з параметрами системи керування вакуум–апаратом, з відповідними змінними та функціями.

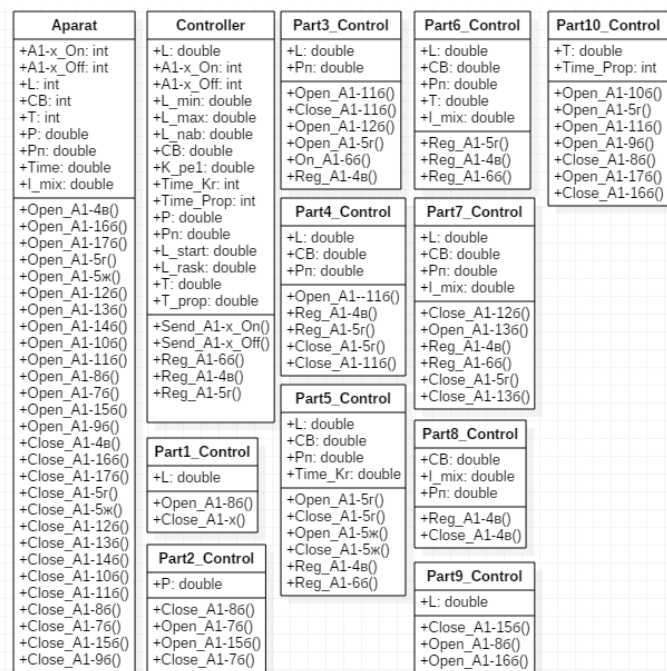


Рис. 2. Діаграма класів

Діаграму можна умовно поділити на дві частини, перша – утфельний вакуум–апарат (УВА) і контролер, друга – стани в яких перебуває УВА в залежності від стадії виробничого процесу[3]. На апараті встановлені датчики, також оператор має можливість вручну відкрити або закрити будь-який клапан. Оскільки система автоматизована то участь оператора зведена до мінімуму. Контролер відслідковує покази датчиків та керує об’єктом за допомогою клапанів А1-4 – А1-15. Для цього потрібно мати значення рівня продукту (L), вмісту сухих

речовин (СВ або похідний від СВ коефіцієнт пересичення), інтервалів часу: час кристалізації (Time_Kr), час пропарювання (Time_Prop), та інші.

Діаграма взаємодії (рис. 3) описує взаємодії об'єктів у часі відповідно до технічного процесу. Першим зображується об'єкт ініціатор, а саме – оператор, який подає сигнал контролеру взяти керування процесом на себе.

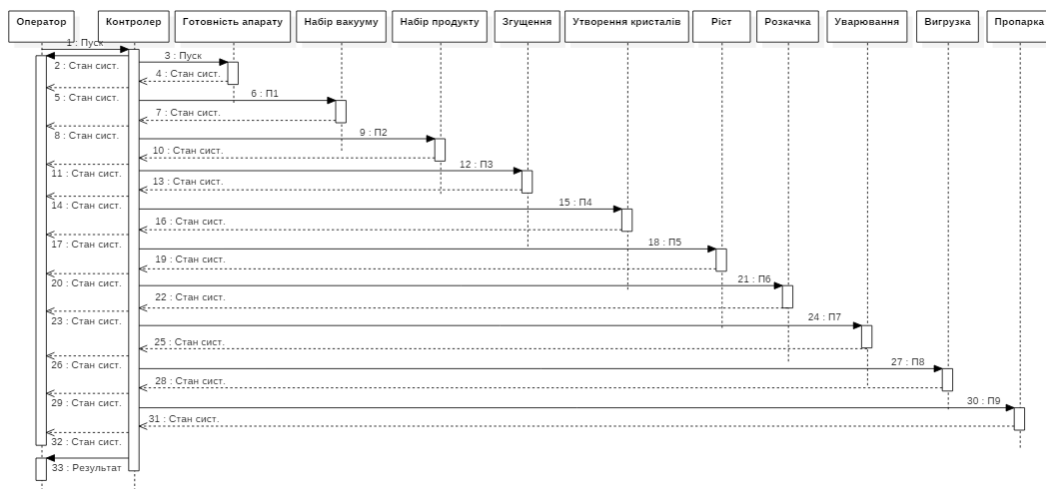


Рис. 3. Діаграма взаємодії

Далі контролер керує процесом та інформує оператора про стан системи. З права від контролера розташовані стадії роботи УВА з якими відбувається взаємодія в певний момент часу. Активні процеси виділяються прямокутниками. Керування відбувається за допомогою повідомлень (суцільна горизонтальна лінія – повідомлення керування, пунктирна – відповідь). Контролер надсилає повідомлення П1-П9 з умовами для виходу із активного процесу який при цьому створюється.

Діаграма стану описує стани в яких знаходиться система в залежності від встановлених умов та переходів між ними. Кожен стан відповідає визначеним в діаграмі класів об'єктам Part1_Control – Part10_Control, тобто станів апарата: Готовність апарата – Пропарка. Перехід між станами супроводжується діями на вході в стан або на виході із стану та виконується згідно умов виходу із одного стану і переходу в інший.



Рис. 4. Діаграма стану

Умови переходів між станами в діаграмі станів, та позначення на повідомленнях в діаграмі взаємодії П1-П10 розшифровуються наступним чином: П1 – якщо А1-8б відкритий та решта А1-х закриті; П2 – якщо достатньо продукту для набору або за

командою оператора; ПЗ – $L \geq L$ набору; П4 – $CB \geq CB$ затратки (вводу кристалів); П5 – $CB = CB$ 2 підкачки та минув Time кристалоутворення; П6 – $L \geq L$ розкачки та $CB \geq CB$ розкачки; П7 – $L \geq L_{max}$; П8 – $CB \geq CB$ готовності або I мішалки $\geq I$ мішалки готовності; П9 – $L \leq 2\%$; П10 – $T \geq T$ пропарки або $Time \geq Time$ пропарки.

Діаграма діяльності призначена для опису змін стану системи в залежності від зовнішнього та внутрішнього впливу, спланованого сценарію роботи. Кожен стан на діаграмі діяльності відповідає виконанню необхідної в даний момент часу дії або послідовності дій, алгоритму функціонування автоматизованої системи. Перехід у наступний стан відбувається тільки по завершенню всіх команд поточного стану та виконанню умови переходу, які записуються біля стрілок. Так, на рис. 5 клапан сиропу A1-12б закритий, тільки після того, як $L \geq L$ розкачки. Ця діаграма досить схожа на алгоритм логічного керування УВА.

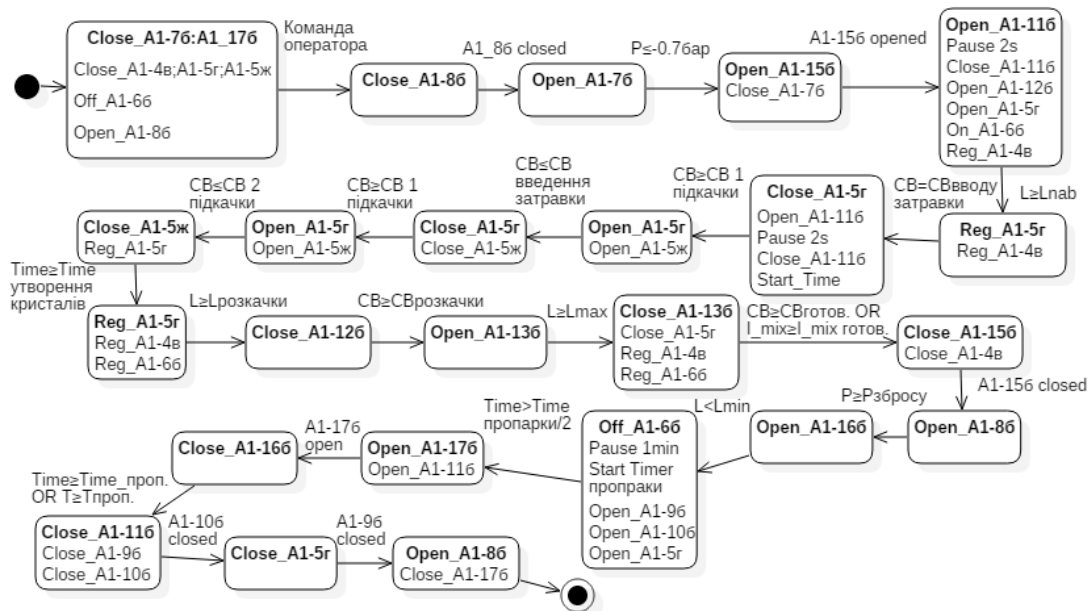


Рис. 5. Діаграма діяльності

Висновок. Побудована математична модель утфельного вакуум-апарата періодичної дії в термінах мови UML, а саме побудовані відповідні діаграми: класів, взаємодії, стану та діяльності. Результати роботи дають можливість наочно ознайомитися з послідовностями перехідних процесів в системі та проаналізувати алгоритм роботи УВА. Згідно з результатами роботи, можна проаналізувати перехідні процеси, мінімізувати їх тривалість та провести два наступних етапи математичного моделювання.

1. *І. М. Дудзяний*, Об'єктно-орієнтоване моделювання програмних систем; Навчальний посібник. – Львів; Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. – 108 с.
2. *М. С. Глущенко, В. Г. Трегуб*, Моделювання періодичних процесів в утфельних вакуум-апаратах; Харчова промисловість №4, 2005
3. *Ю. Л. Гунько, О. М. Окуневич*; Технологічний процес уварювання у вакуум-апаратах цукрового виробництва як об'єкт управління; Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ». Луцьк, 2012. Випуск №39

В. М. Седенков

Белорусский государственный университет
(Беларусь, 220030, Минск, пр. Независимости, 4,
тел. +375 17 2723344, e-mail: v.sedenkov@gmail.com)

Домен-независимое проектирование: теория, технология, система

In search of a valid theoretical support for design practice, design community focuses today on a costly compilation of comprehensive design theory from the multitude of partial ones. The paper presents an alternative strategy consisted in development of a single theory – design technologies generator. This theory explains current design technology, generates a quested one and supports its adequacy in time. In focus is a unit: theory, computer urged design technology (CUD) generated by the theory, and design system that implements CUD.

Ключевые слова: теория процессов, мета процесс проектирования, мета задача, дипроцессор

Введение. Практике проектирования все сложнее обходиться без строгой теории. Во-первых, прогресс, отражаемый триадой ‘скорость, стоимость, качество’ проектирования, тормозят все еще нерешенные задачи – сложность процесса проектирования (*ПРП*), его автоматизация и непрерывная визуализация, структурный синтез, справиться с которыми без помощи теории нереально. Во-вторых, теория – мать технологии проектирования; а сегодняшняя интуитивно формировавшаяся, ориентированная на человека и опирающаяся на принципы анализа технология уже не отвечает требованиям времени. В-третьих, без теории нереально построить эффективную и рентабельную систему или виртуальную студию проектирования (сегодня их чаще всего подменяет инструментарий проектирования, бесчисленный по номенклатуре и нетехнологичный в использовании).

Поскольку основу практики составляет пара ‘*технология & методология*’ проектирования и методология приходит лишь в имеющуюся технологию, для наших целей не будет натяжкой понимать под практикой проектирования его технологию, а под *ПРП* – автономный модуль процесса разработки изделий.

Теории и квазитеории проектирования появляются в мире регулярно. Последние годы интерес к ним переживает подъем. Но в своем большинстве они неполны, привязаны к домену (предметной области) и воспроизводят вариант уже имеющейся человеко-ориентированной технологии. Практика остается равнодушной к разнообразию теорий, несмотря на прессинг академии, его предлагающей. Последняя из озвученных стратегий формирования теоретической поддержки проектирования [1] – развитие базы частичных теорий проектирования с последующей компиляцией на их основе фундаментальной теории.

В данной работе предлагается альтернативная стратегия, описывающая создание единой, строгой, полной и домен-независимой теории. Эта теория порождает синтез-ориентированную и паритетную по отношению к формальному (компьютер, *С*) и неформальному (конструктор, *Н*) процессорам технологию проектирования. Однако в строгом смысле это не теория проектирования.

Теория. Цель искомой теории – перманентная поддержка практики проектирования в состоянии, отвечающем требованиям времени. Концепция теории – генератор технологий проектирования. Следовательно, текущая технология тоже продукт этой теории, и последняя уже должна виртуально

существовать. Тогда проблема создания теории переходит в плоскость ее экспликации. Сделать это можно двумя путями: 1) найти релевантную теорию в других дисциплинах и приспособить ее для объяснения текущей технологии и, возможно, порождения актуальной; 2) воссоздать по текущей технологии породившую ее, но пока имплицитную теорию, чтобы затем сменой ее парадигмы генерировать адекватную для данного времени технологию.

В первом случае пересечение множеств конструкторов привлекаемой теории и реальной технологии проектирования получается слишком бедным. Его расширение компромиссными конструкторами порождает язык квази-проектирования, который деформирует исходную теорию и мало что меняет в имеющейся технологии. Опыт прохождения этого пути демонстрирует С-К теория проектирования [2]. Второй случай требует создания формального аппарата, способного реализовать между восстанавливаемой теорией и имеющейся технологией связь типа 'прообраз \leftrightarrow образ'. Опишем поиск такой теории.

По Линдону [3] формальная теория – это набор аксиом, правил вывода и язык. Проектирование – прикладная дисциплина. Всякая прикладная теория возникает как средство поиска решения нетривиальной прикладной задачи. Теорию решения какой задачи восстановим в случае проектирования, уточняет следующая аксиома.

Аксиома 1. Формирование ПРП и проекта изделия завершаются одновременно.

В силу этой аксиомы и алгоритмической неразрешимости задачи проектирования (ЗП) с актом проектирования может быть ассоциирована только задача синтеза физического ПРП в реальном времени или *мета задача проектирования (мЗП)*.

Надо заметить, что именно эту задачу реализуют и практика, и имеющиеся теории проектирования. Последние предлагают синтез ПРП пошаговой имплицитной интерпретацией той или иной модели процесса. Исполняет роль интерпретатора только *Н*, обратной связью в синтезе выступает уровень завершенности (*УЗ*) проекта искомого изделия – это попутный результат синтеза ПРП. Формальное представление постановки мЗП (рис. 1) связывает решение этой задачи (сторона теории) с технологией реализации решения, т.е. технологией проектирования. Переходя к описанию формального аппарата теории, средствами которого будут представлены и задача, и технология, напомним, что важно различать *поиск решения* задачи (процедуры получения ответа) и *реализацию решения*, доставляющую ответ. Это два разных процесса.

Элементы непрерывной теории процессов. Представление сложных процессов иерархиями подпроцессов уходит корнями в анализ и практически бесполезно для их синтеза. Процесс – категория непрерывная и нуждается в непрерывном представлении. Предмет теории [4] – схемы процессов, цель – проектирование процессов (синтез их исполнимого описания), метод – схемотехника процессов.

Элементарный (атомарный) процесс *ПР* представим его *схемой*: $ПР=(П, Д)$, где *Д* – процедура целедостижения, *П* – реализующий *Д* процессор. *Уровни неопределенности (УН)* схемы процесса: *УН2* – процесс представлен только именем и заявленным результатом (*условный* процесс); *УН1* – *П* и *Д* имеют виртуальное определение (*виртуальный* процесс); *УН0* – *П* и *Д* определены логически, т.е. *Д* имеет исполнимое описание, и существует *П*, способный реализовать *Д* (*логический* процесс).

На множестве схем процессов зададим два отношения: отношение *приведения* (*p*-отношение) и отношение *определения* (*d*-отношение). Первое отношение

связывает PP_1 и PP_2 , если результат PP_2 служит входом процесса PP_1 : $PP_2 \xrightarrow{p} PP_1$. Связь процессов по второму отношению ($PP_2 \xrightarrow{d} PP_1$) указывает на то, что PP_2 определяет PP_1 , т.е. осуществляет для него поиск D или P . Пара отношений позволяет выстраивать непрерывные структуры из процессов.

Редукция $УН2 \rightarrow УН1 \rightarrow УН0$ – двухтактное *определение* процесса. Алгоритм такого определения использует оба вышеназванных отношения. *Проектом* элементарного процесса назовем логический PP , для которого заданы конкретные входы: для P – исходные ‘данные’, для D – управляющие данные.

Если некоторой структуре из элементарных процессов присвоить имя и задать семантику, – это будет имя *неэлементарного* процесса. Неэлементарные процессы имеют те же уровни неопределенности, что и элементарные. Часто, однако, приходится синтезировать неэлементарные процессы не сборкой из элементарных, а двухтактным распознаванием условного неэлементарного процесса. На такте виртуального определения условный процесс аппроксимируется структурой по отношению приведения из элементарных и неэлементарных процессов и циклически освобождается от неэлементарных процессов сведением их к виртуальным элементарным. Такт логического определения неэлементарного процесса возможен только через физическое воспроизведение всех элементарных процессов представляющей его структуры.

Первый пример неэлементарного процесса – формальное представление задачи или *схема задачи*: $ПП \xrightarrow{d} PP \xleftarrow{d} ПД$, где $ПП$ – поиск процессора, а $ПД$ – поиск процедуры для PP . Неэлементарным является также процесс проектирования; его определение до статуса логического (проекта) возможно только через синтез физический. Эту, и единственную, задачу – физического синтеза $ППП$ – реализуют и практика, и теории проектирования. Важен, однако, уровень систематизации синтеза. Среди трех базовых – метод проб и ошибок, интерпретация модели, реализация проекта объекта – систематическим может быть только третий.

Технология. Для синтеза $ППП$ требуется отдельный процесс, названный *мета процессом* проектирования ($мППП$). Схема $мЗП$ в линейной записи представлена на рис. 1, где O^P – выход $мППП$.

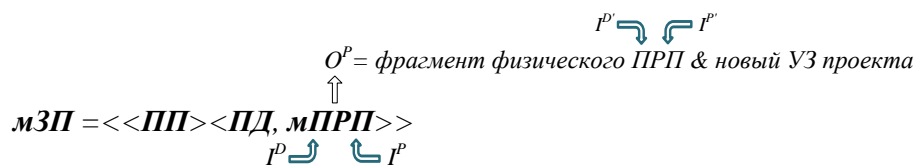


Рис 1. Схема единой мета задачи проектирования

Ключевыми маркерами любой технологии проектирования являются входы синтезирующего $мППП$ (I^P – представление $ППП$, I^D – концепция развития проекта изделия) и синтезируемого $ППП$ ($I^{P'}$ – текущее состояние проекта, $I^{D'}$ – управляющие данные для процедуры получения нового состояния проекта) – назовем их *реперами* технологии. Значения реперов вычисляются в ходе двухтактного определения $мППП$. Схема мета задачи, дополненная логическими значениями реперов, представит конкретную *постановку* этой задачи.

Имея текущую технологию проектирования с логическими значениями реперов – $I^P = \text{модель } ППП$ и $I^D = \text{диахронная}$ (‘историческая’) *структура проекта изделия*, восстанавливаем (второй такт алгоритма определения $мППП$) ядро

искомой теории (ее текущей парадигмы) – решение *мЗП*: $D=процедура интерпретации модели ПРП$; $P=дипроцессор типа H^C$ (H – головной, а C – процессор по вызову, ассистент). Свойство такого решения – несистематический синтез *ПРП* (имплицитная и неоднозначная интерпретация конструктором неоднозначной модели процесса). Свойства порождаемой таким решением технологии: чужда компьютеру (концепция развития проекта, представления его состояний, стадии *ПРП* и т.д. – H -ориентированы), опирается на принципы анализа и плохо приспособлена для синтеза, автоматизацию проектирования подменяет его компьютеризация, проектирование ‘с нуля’ нереально – требуется прототип или аналог изделия, сложность *ПРП* приближается к критической.

Новое решение *мЗП* означает переход к новой парадигме восстановленной теории. Его виртуальный вариант: $D=процедура реализации проекта ПРП$, $P=дипроцессор типа C^H$; логический вариант: $D=итерации синтеза кванта ПРП$, $P=C^H$. Логические значения реперов порождаемой технологии проектирования: $I^P=проект кванта ПРП$, $I^D=платформа$ (или унифицированная диахронная структура) проектов; $I^{P'}=представление VЗ$; проекта изделия, $I^{P'}=представление VЗ_{i+1}$ проекта среды функционирования изделия ($i=1,2, \dots$). Название новой P -паритетной технологии проектирования – CUD (Computer Urged Design) или регулярный синтез физического *ПРП*, управляемый компьютером. Попутные результаты синтеза – проект изделия, проект среды его функционирования и апостериорный проект самого *ПРП* (полезен для ситуаций перепроектирования).

Система проектирования. Ее составят два модуля: домен-независимая машина проектирования (*МП*) и система управления домен-ориентированной базой знаний (*СУБЗ*). *МП* воспроизводит *мПРП*, который осуществляет непрерывный поквантовый синтез физического *ПРП*, доставляющего, в свою очередь, проект изделия. *СУБЗ* связывает систему проектирования с предметной областью; меняя базу проектных знаний, ее можно настраивать на различные домены и классы проектируемых изделий. Настройки *МП* обеспечивают ее адаптационные возможности в пространстве ‘адекватность, сложность, качество’ проекта.

Заключение. Особенность описанного подхода – замена разработки теории для практики проектирования идентификацией и активацией уже (виртуально) существующей. Это обусловило отказ от сегодняшнего полуинтуитивного понятийного базиса проектирования, формирование ядра точного языка и новой технологии проектирования. Верификацией теории стала разработка CUD технологии, а верификацией технологии – построение рабочего макета *МП*. Следующим шагом должна стать разработка домен-независимой системы, реализующей CUD технологию.

1. Eckert C. and Stacey M. Constraints and conditions: drivers for design processes. In: Chakrabarti A. and Blessing L. (eds), An anthology of theories and models of design: philosophy, approaches and empirical explorations, Switzerland: Springer, 2013, pp. 393-414.
2. Hatchuel A. and Weil B. C-K design theory: an advanced formulation // Research in Engineering Design. – 2009. – Vol. 19, No. 4. – pp. 181-192.
3. Линдон Р. Заметки по логике. – М.: Мир, 1968. – 128 с.
4. Sedenkov V. Continuous Process Theory: Fundamentals and Applications. In: Heisig P., Clarkson P., Vajna S. (eds) International Conference on Modeling and Management Engineering Processes – MMEP 2010, Cambridge: University of Cambridge, 2010, pp. 113-124.

А. С. Соколенко¹⁾, бакалавр, системная инженерия
¹⁾Национальный технический университет Украины «КПИ»
(Украина, 03056, Киев, пр. Победы, 37,
тел. (097) 4052830, e-mail: alex.sklnk@gmail.com)

Проблемы реализации системы персонального GPS мониторинга

The aim of research is to classify the problems of errors occurrence during implementation of geolocation software, which requires high precision positioning. Also produced the comparative analysis of the receiver initialization process.

Ключевые слова: GPS, мониторинг, система спутниковой навигации.

Введение. Спутниковая навигационная система – система космического базирования, которая позволяет в глобальных масштабах определять текущие местоположения подвижных объектов и их скорость, а как же осуществлять точную координацию времени.

Спутниковую навигационную систему можно рассматривать как высокотехнологичную информационную систему, состоящую из пяти основных сегментов (Рис. 1).

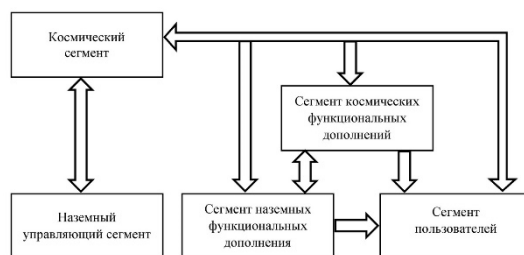


Рис. 1. Организация спутниковой навигационной системы

Наземный управляющий сегмент включает в себя центр управления космическим сегментом, станции контроля за навигационными спутниками. Управляющий сегмент решает задачи определения, прогнозирования и уточнения параметров движения навигационных спутников. Космический сегмент представляет собой систему навигационных спутников, вращающихся по эллиптическим орбитам вокруг Земли. Сегмент пользователей состоит из пользовательских приемников. Сегменты наземных и космических функциональных дополнений представляют собой аппаратно-программные комплексы предназначенные для обеспечения точности навигационных определений, целостности, непрерывности, доступности и эксплуатационной готовности системы¹⁾.

GPS (англ. Global Positioning System – система глобального позиционирования) – спутниковая система навигации, которая обеспечивает измерение расстояния, времени и определяющая местоположение во всемирной системе координат WGS 84. Функциональное назначение такой системы: определять местоположение и скорость объектов в любом месте Земли (исключая приполярные области)²⁾.

GPS-приёмник – радиоприёмное устройство для определения географических координат текущего местоположения. Все спутники передают данные на приемник посредством радиосигнала, транслирующегося на две частоты. Одна из них – гражданская и имеет индекс L1 (1575.42 МГц), вторая же используется военными

и геодезистами и маркируется как L2 (1227.60 МГц).

Цель исследования. Задачей исследования является классификация проблем возникновения погрешностей при реализации геолокационного программного обеспечения, в котором необходима высокая точность определения местоположения.

Основными источниками ошибок, влияющими на точность навигационных вычислений в GPS-системе, являются:

1. Ионосферные задержки сигнала. Задержки распространения сигналов приводят к ошибкам порядка 20-30 м днем и 3-6 м ночью.
2. Тропосферные задержки сигнала. Величина погрешности напрямую зависит от метеопараметров (давления, температуры, влажности), а также от высоты спутника над горизонтом. Компенсация тропосферных задержек производится путем расчета математической модели этого слоя атмосферы. Значения погрешностей этого вида не превышают 30 м.
3. Эфемеридная погрешность. Ошибки обусловлены расхождением между фактическим положением спутника и его расчетным положением. Значение погрешности обычно не больше 3 м.
4. Погрешность ухода шкалы времени спутника вызвана расхождением шкал времени различных спутников. Устраняется с помощью наземных станций слежения.
5. Погрешность определения расстояния до спутника. Ошибка не коррелирована с другими видами погрешностей. Ее величина не превышает 10 м.
6. Неточное определение времени. Приводит к возникновению систематической ошибки определения координат около 0.6 м. Устраняется при помощи установки сервера точного времени на приемнике.
7. Ошибки вычисления орбит. Появляются вследствие неточностей прогноза и расчета эфемерид спутников, выполняемых в аппаратуре приемника. Погрешность приводит к ошибке измерения координат около 0.6 м.
8. Инструментальная ошибка приемника. Обусловлена наличием шумов в электронном тракте приемника. Отношение сигнал/шум приемника определяет точность процедуры сравнения, принятого от спутника и опорного сигналов, т.е. погрешность вычисления псевдодальности. Приводит к возникновению координатной ошибки порядка 1.2 м.
9. Многолучевой прием. Появляется в результате вторичных отражений сигнала спутника от крупных препятствий, расположенных в непосредственной близости от приемника. Возникает явление интерференции, и измеренное расстояние оказывается больше действительного. Наилучшим способом борьбы считается рациональное размещение антенны приемника относительно препятствий.
10. Геометрическое расположение спутников. При вычислении суммарной ошибки необходимо учесть взаимное положение приемника и спутников. Для этого вводится специальный коэффициент геометрического снижения точности GDOP (Geometric Dilution Of Precision), на который необходимо умножить все перечисленные выше ошибки, чтобы получить результирующую ошибку. Она обратно пропорциональна объему фигуры, которая будет образована, если провести единичные векторы от приемника к спутникам. Большое значение GDOP говорит о неудачном расположении спутника и большой величине ошибки⁴).

Все ошибки влияют на скорость старта приемника. Существует три типа стартов (процесс инициализации приемника): «Холодный старт» – альманах и

эфемериды неизвестны, в современных устройствах занимает несколько минут, «теплый старт» – альманах известен, а эфемериды нет, длится менее минуты и «горячий старт» – известны и альманах, и эфемериды, занимает несколько секунд. На Рис. 2А визуализированы замеры времени, которое затрачивается на инициализацию приемника, произведенные при помощи встроенного GPS-модуля в Samsung Galaxy S4.

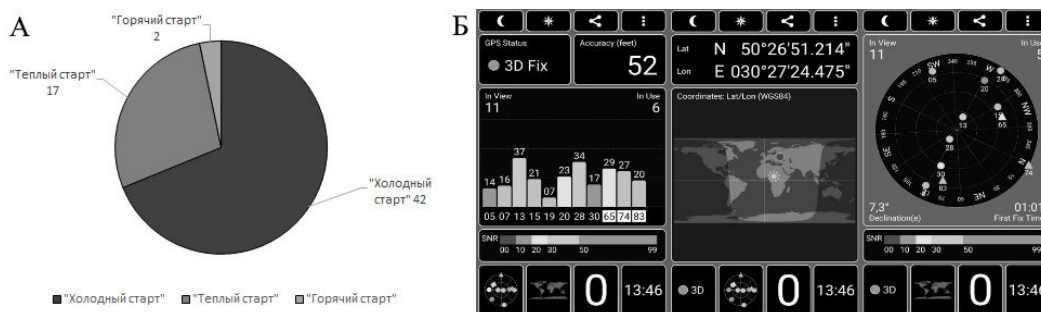


Рис. 2. Визуализация данных, получаемых приемником

Основной принцип использования системы заключается в определении местоположения путём измерения моментов времени приёма синхронизированного сигнала от навигационных спутников антенной потребителя. Для определения трёхмерных координат GPS-приёмнику нужно иметь четыре уравнения: «расстояние равно произведению скорости света на разность моментов приёма сигнала потребителем и момента его синхронного излучения от спутников»:

$$|x - a_j| = c(t_j - \tau) \quad (1)$$

Здесь: a_j – местоположение j -го спутника, t_j – момент времени приёма сигнала от j -го спутника по часам потребителя, τ – неизвестный момент времени синхронного излучения сигнала всеми спутниками по часам потребителя, c – скорость света, x – неизвестное трёхмерное положение потребителя.

Для точного определения местоположения необходимо получить данные с четырех спутников. Допустим, известна величина расстояния от одного спутника до приемника. Визуализируя окружность вокруг спутника, видно положение приемника на поверхности сферы (Рис. 3А).

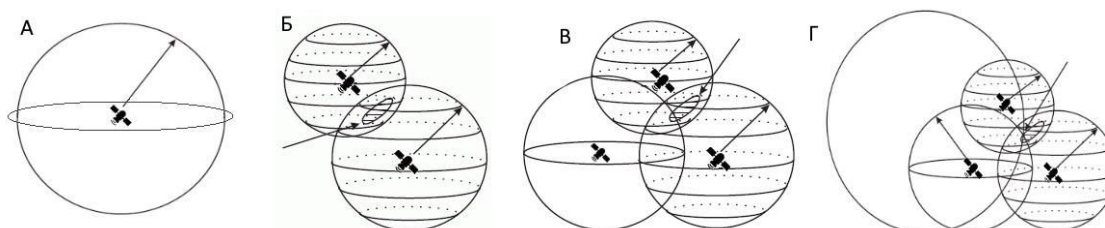


Рис. 3. Визуализация накладывания данных с спутников

Накладывая данные ещё одного спутника образовывается геолина на пересечении двух сфер, в которой находится приемник (Рис. 3Б).

Таким образом, сузился сектор поиска до пересечения двух окружностей. Следующей итерацией накладывается информация с третьего космического аппарата. Третье измерение дает две точки, в одной из которых находится

приемник (Рис. 3В).

Заключительным этапом является наложение четвёртого измерения поверх остальных. На рисунке 4Г отображена точка координат, полученная при пересечении четырёх сфер.

В практической реализации Android приложения «GPS Test» (Chartcross Limited)³⁾ (Рис. 2Б) визуализированы данные о количестве видимых и используемых спутников и их положение в небе, уровне сигнала – отношение мощности полезного сигнала к мощности шума и текущие координаты приемника. В реальных условиях для уменьшения коэффициента геометрического снижения точности необходимо, как минимум, 5 спутников.

Помимо орбитальных спутников, в состав системы GPS входят наземные станции слежения, которые принимают навигационные сигналы со всех спутников, затем посылают данные на главную управляющую станцию, где производится анализ и обработка полученной информации. На ее основе проводятся необходимые корректировки в орбитах спутников и их встроенных часах один раз в 24 часа для каждого спутника. При помощи дополнительной модуляции несущей частоты со скоростью всего в 50 бит/сек передаются так называемые навигационные сообщения, которые содержат точные координаты орбиты спутника («эфемериды»), точное системное время и данные альманаха – эфемериды остальных спутников системы. Эти данные разбиты на 25 фрагментов по 1500 бит, поэтому полное навигационное сообщение передаётся 12 минут 30 секунд.

Заключение. Рассмотрены и классифицированы проблемы реализации системы мониторинга и возможные пути их решения. Результатом проведенного исследования является разделение задач, которые планируются реализовать техническим и программным способом для системы спутникового позиционирования повышенной точности, а также выделен класс задач, которые решаются только при помощи вторичных организационных мероприятий. Мероприятия такого типа планируются с помощью дополнительных инструкций, которые необходимо выполнить пользователю системы в строго определенном случае.

Подводя итоги, главным шагом по увеличению точности для планируемой к разработке системы будет уменьшение времени инициализация приемника путём программной имплементации фоновое обновления альманаха⁵⁾.

1. Общая характеристика спутниковых радионавигационных систем [Электронный ресурс]//Режим доступа: <http://www.techsectors.ru/tesepts-68-1.html>
2. GPS [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/GPS>
3. GPS Test [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chartcross.gpstest>
4. DOP [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/DOP>
5. GPS Updater [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.bars.qagps>

С. В. Сушко, аспирант,
А. А. Чемерис, канд. техн. наук,
Ин-т проблем моделирования в энергетике
им. Г. Е. Пухова НАН Украины
(Украина, 03164, Киев, ул. Генерала Наумова, 15,
тел.(044) 4241063, e-mail: iq2001@ukr.net; a.a.chemeris@gmail.com)

Исследование эффективности выполнения программ, оптимизированных на основе полиэдральной модели

Software optimization is demanded in all fields of the computing technology. Researches revealed that comparably small parts of the code has the biggest influence on the optimization factor. These parts are nested loops and single loops. Polyhedral model is one of the most efficient mathematical models that allows to represent arbitrary nested loop as some abstract description. Polyhedral model is obtained from source code and then can be altered by using different approaches and finally reverted to the new optimized source code.

Ключевые слова: оптимизация циклов, полиэдральная модель.

Введение. Оптимизация программного обеспечения является актуальной задачей. Оптимизированное программное обеспечение выполняется быстрее, а также, в большинстве случаев, потребляет меньше энергии для выполнения алгоритма. Кроме того, некоторые вычислительные платформы реального времени должны жестко укладываться во временные рамки, заданные спецификой задачи. В таких случаях оптимизация программного обеспечения имеет первоочередное значение. Пользовательское программное обеспечение мобильных вычислительных систем, как правило, не имеет жесткой временной привязки, однако в таких системах очень остро стоит проблема энергопотребления. Мобильные вычислительные системы с оптимизированным программным обеспечением могут обладать либо более длительным временем автономной работы либо иметь более компактный корпус. Обе эти возможности повышают привлекательность готового устройства для потребителя. Серверные и настольные вычислительные системы также выигрывают от оптимизации программного обеспечения. Снижается стоимость эксплуатации, особенно это заметно в серверных системах, где снижается не только энергопотребление самими вычислительными устройствами, но и энергопотребление системы кондиционирования. Подходы к оптимизации кода могут значительно отличаться на различных аппаратных комплексах и поэтому ручная оптимизация кода сильно зависит от квалификации разработчика.

Теоретическое обоснование подходов оптимизации. Ручная оптимизация является кропотливым и длительным процессом. Строго говоря, невозможно утверждать, что достаточно большое приложение оптимизировано на 100%. Всегда будут участки, незначительные относительно всего объема кода, где еще может быть применен какой-то способ оптимизации. Исходя из этого, оптимизация применяется в тех участках кода, где она будет иметь наибольшее влияние на конечный результат. Исследования на реальных задачах показывают, что наиболее часто используемые участки кодов - вычислительные циклы. Основная часть времени выполнения программы тратится именно в них. При этом, чем больше вложенностей циклов, тем, соответственно, чаще выполняется самый внутренний цикл. Таким образом, основные усилия по оптимизации следует приложить именно к циклам и вложенным циклам.

Для решения проблемы оптимизации циклов используются решения на основе

полиэдральной модели или метода многогранника (polyhedral model и polytope method соответственно). Полиэдральная модель является математической основой для оптимизации вложенных циклов в оптимизации программ. Полиэдральная модель обрабатывает каждую итерацию цикла внутри вложенных циклов как точки решетки внутри математических объектов, называемых многогранники, выполняет аффинные преобразования или в некоторых случаях неаффинные преобразования, а затем преобразует измененные многогранники в эквивалентные, но оптимизированные (в зависимости от целевой задачи оптимизации) вложенные циклы, проходя по всем многогранникам.

Полиэдральная модель обеспечивает абстракцию для представления вложенных вычислительных циклов и их зависимостей с использованием точек в многогранниках. Последовательное выполнение и переназначения может повысить производительность за счет распараллеливания, а также повышение локальности. Учитывая последние достижения, полиэдральная модель достигла уровня зрелости в различных аспектах - в частности, в качестве мощного промежуточного представления для выполнения преобразований и генерации кода после преобразований. Автоматическая оптимизация до недавнего времени являлась ключевым недостающим звеном. Совсем недавно появились автоматические средства оптимизации, использующие полиэдральную модель.

Существующие решения по оптимизации циклов. Поскольку оптимизация имеет значительную важность, все компиляторы имеют в своем составе различные модули оптимизации, которые активируются параметрами командной строки. В то же время, появились пакеты программного обеспечения, которые, не выполняя непосредственно компиляции, преобразуют, согласно заложенному в них подходу, входной исходный код в некий выходной оптимизированный исходный код, который потом может быть скомпилирован стандартными средствами. Такой подход позволяет команде разработчиков оптимизатора сконцентрироваться на реализации непосредственно алгоритма оптимизации, а не заниматься повторной разработкой собственно компилятора.

Выбор объекта исследования. На данный момент доступны несколько пакетов программ, предоставляющие функционал, обеспечивающий автоматическое распараллеливание циклов. Некоторые из них предлагаются на платной основе и не раскрывают полностью деталей своей работы, другие же напротив, предоставляются с полностью открытым кодом. Рассматривая существующие пакеты с точки зрения охвата возможных подходов, полноты описания и научной базы, которая лежит в ее основе, объектом исследования был выбран свободно распространяемый пакет программного обеспечения Pluto версии 0.11.4. Данный пакет разработан под руководством доктора философии Uday Bondhugula. Помимо опций, непосредственно влияющих на метод оптимизации, пакет имеет опцию включения распараллеливания через библиотеку OpenMP. Это также может оказывать значительный эффект на общую производительность оптимизированного алгоритма.

С целью проверки эффективности данного пакета оптимизации был выбран набор тестовых программ PolyBench/C 4.1. Он содержит в себе 29 коротких программ на C, каждая из которых содержит некий алгоритм. Алгоритмы представляют собой различные прикладные задачи и тщательно описаны. Кроме

того, каждая программа содержит счетчик времени своего выполнения, которое выводится по окончании расчета. Все указанные особенности удовлетворяют задаче тестирования различных исходных кодов и измерение времени их выполнения. В качестве аппаратной тестовой платформы применялся настольный ПК на базе четырехядерного процессора Intel Core i5-4670K.

Полученные результаты. Тестирование представляет собой ряд последовательных действий. На первом этапе были скомпилированы и запущены на выполнение изначальные исходные коды тестового пакета с целью получения исходного времени выполнения каждого теста. Затем для каждого тестового примера выполнялся запуск пакета оптимизации Pluto с разными опциями. Полученный оптимизированный исходный код так же компилировался и затем замерялось время его выполнения. Полученные данные представлены на таблице ниже.

Таблица 1. Таблица времени выполнения тестовых программ при различных опциях оптимизации

Тестовый пример	Изначальное время выполнения, сек	Время выполнения, опция tile	Относительное ускорение, разы	Время выполнения, опции tile и parallel	Относительное ускорение, разы
correlation	0.008753	0.0017843	4.91	0.000783	11.18
covariance	0.008564	0.001717	4.99	0.00078833	10.86
gemm	0.76054966	0.329479	2.31	0.07844566	9.70
gemver	0.398463	0.0770373	5.17	0.024746	16.10
gesummv	0.02399433	0.0269006	0.89	0.00848733	2.83
symm	0.01122366	0.010687	1.05	0.01094833	1.03
syr2k	0.01596666	0.0113383	1.41	0.00303766	5.26
syrk	0.00434066	0.004365	0.99	0.00152566	2.85
trmm	0.00443133	0.0012926	3.43	0.000253	17.52
2mm	0.013324	0.0068576	1.94	0.00237633	5.61
3mm	0.02028933	0.0124156	1.63	0.00430733	4.71
atax	0.00536833	0.013555	0.40	0.00425466	1.26
bicg	0.011276	0.0136833	0.82	0.00426633	2.64
doitgen	0.49798733	0.0991513	5.02	0.12450433	4.00
mvt	0.061775	0.016357	3.78	0.00545866	11.32
cholesky	0.00828066	0.0065806	1.26	0.00278	2.98
durbin	0.009417	0.009445	1.00	0.00944266	1.00
gramschmidt	0.01520766	0.0085976	1.77	0.00486266	3.13
lu	0.018462	0.0123843	1.49	0.00485233	3.80
ludcmp	0.01769333	0.0177433	1.00	0.017685	1.00
trisolv	0.00939866	0.013316	0.71	0.00525033	1.79
deriche	0.752012	0.5897426	1.28	0.380432	1.98
floyd-warshall	0.081872	0.098839	0.83	0.050493	1.62
nussinov	0.021652	0.0205293	1.05	0.00705866	3.07
fdtd-2d	0.009961	0.0110003	0.91	0.00656833	1.52
heat-3d	0.02050966	0.0098946	2.07	0.00972966	2.11
jacobi-2d	0.014151	0.0145183	0.97	0.00795133	1.78
seidel-2d	0.153087	0.1288443	1.19	0.05476366	2.80

Выводы. Исследование показало, что в большинстве случаев пакет автоматической оптимизации циклов Pluto дает ускорение времени работы тестовых примеров. Полученные результаты в самом лучшем случае в 5.17 раз лучше в однопоточной версии и в 17.52 раза лучше в многопоточной версии. Полученные результаты свидетельствуют о различной эффективности метода оптимизации. К примеру, 6 тестов при однопоточной оптимизации показали худшие результаты, чем до оптимизации. Наиболее медленный однопоточный оптимизированный пример оказался в 2.5 раза медленнее оригинальной версии. Это однозначно указывает на то, что преобразования полиэдральной модели могут в некоторых случаях приводить к значительному замедлению времени выполнения. Еще 2 результата для многопоточной обработки дали ухудшение относительно однопоточной версии. Данный результат свидетельствует о несовершенстве автоматического разделения времени выполнения циклов на потоки. Следует отметить, что при многопоточном запуске ни один из тестовых примеров не показал худшие результаты, чем оригинальная версия. Все вышеуказанное обосновывает как эффективность использования полиэдральной модели, так и возможные ухудшения при ее использовании при некоторых задачах и опциях вызова. Отдельно стоит упомянуть о невозможности работы Pluto для одного из 29 тестовых примеров. Данный пример не вошел в таблицу результатов исследований.

Следует принять во внимание, что Pluto также имеет тонкие настройки оптимизации, которые следует подбирать в каждом конкретном случае и которые не использовались в данном исследовании. Такие большие разбросы результатов по алгоритмам подтверждают различную внутреннюю их структуру и, как следствие, различную способность быть эффективно преобразованными в оптимизированный код.

1. *Uday Bondhugula*. Effective Automatic Parallelization and Locality Optimization Using The Polyhedral model : дис. канд. / Uday Bondhugula. - The Ohio State University, 2010. - 193 с.
2. *C'edric Bastoul*. Code generation in the polyhedral model is easier than you think. In IEEE International Conference on Parallel Architectures and Compilation Techniques, pages 7–16, September 2004.
3. *Uday Bondhugula, M. Baskaran, S. Krishnamoorthy, J. Ramanujam, A. Rountev, and P. Sadayappan*. Automatic Transformations for Communication-Minimized Parallelization and Locality Optimization in the Polyhedral Model. International Conference on Compiler Construction (ETAPS CC), April 2008, Budapest, Hungary.
4. *Pouchet L*. PolyBench/C the Polyhedral Benchmark suite [Электронный ресурс] / Louis-Noël Pouchet – Режим доступа до ресурсу: <http://web.cse.ohio-state.edu/~pouchet/software/polybench/#description>.

В. Т. Чемерис¹⁾, канд. техн. наук,
И. А. Бородий¹⁾.

¹⁾Национальный авиационный университет Украины
(Украина, 03680, Киев, просп. Комарова, 1
тел.(044) 4067840, e-mail: vchemer@gmail.com)

Соблюдение принципов подобия решений при численном моделировании диффузионных процессов

There is considered the application of the similarity principles to the solution of the field diffusion equation. For the two samples of medium with same physical properties but different space and time scales the solutions of the field diffusion equation can be similar and moreover identical at fulfillment of some correlations between the dimensions, time duration of process and boundary conditions for both samples. These correlations are derived in the paper on the base of non-dimension form of diffusion equation consideration. The possibility of similar solution obtaining in non-linear ferromagnetic is shown on the examples of solutions performed with use of program QuickField v.6.10 (prof.).

Ключевые слова: нестационарная диффузия, магнитное поле, условия подобия, одномерный случай, нелинейная среда.

Введение. Большинство популярных пакетов прикладных программ для моделирования физических полей (такие, как Comsol, Maxwell, QuickField, Elcut, FlexPDE-6, FEMM и другие) предлагают пользователю выполнять расчеты в размерных единицах. Это удобно при решении прикладных задач, однако создает некоторые трудности при попытках обобщения полученных результатов. Несмотря на имеющуюся обширную литературу по теории подобия, особенности анализа численных решений заслуживают отдельного обсуждения. Помимо критериев подобия, которые могут быть введены при переходе к уравнениям в безразмерной форме, должны быть приняты во внимание условия подобия, связанные с видом граничных условий. Эти вопросы рассматриваются в данной работе на примере численного анализа процессов диффузии поля.

Уравнение нестационарной диффузии. Для однородных изотропных сред это уравнение имеет вид:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - D_k \Delta u = 0,$$

где u – величина, характеризующая рассматриваемое поле, в зависимости от вида задачи (диффузия массы, тепла или электромагнитного поля), D_k – коэффициент диффузии, соответствующий виду поля. При анализе диффузии массы $u \equiv \rho$ – это плотность вещества, $D_k = D_1$ – коэффициент диффузии частиц вещества; при анализе диффузии тепла $u \equiv T$ – это температура среды, $D_k = D_2 = \lambda/(c \cdot \rho)$ – коэффициент диффузии теплоты, где λ – коэффициент теплопроводности среды, c – изобарная теплоемкость среды, ρ – плотность среды; при анализе диффузии электромагнитного поля $u \equiv B$ – это магнитная индукция, $D_k = D_3 = 1/(\mu \cdot \sigma)$ – коэффициент диффузии поля, здесь μ – магнитная проницаемость среды, σ – коэффициент электропроводности среды.

Условия подобия при диффузии магнитного поля. Далее выбираем для обсуждения уравнение нестационарной диффузии магнитного поля

$$\frac{\partial B}{\partial t} = D \Delta \vec{B}; \quad D = \frac{1}{\mu \sigma}$$

Запишем его дважды в безразмерной форме для двух расчетных моделей, которые имеют различные характерные размеры (X_{1bas} и X_{2bas}) и отличаются длительностью процесса диффузии (t_{1bas} и t_{2bas}):

$$\partial B_1^* / \partial t_1^* = D_1 \frac{t_{1bas}}{X_{1bas}^2} \Delta_1^* B_1^*; \quad \partial B_2^* / \partial t_2^* = D_2 \frac{t_{2bas}}{X_{2bas}^2} \Delta_2^* B_2^*. \quad (1); (2)$$

В уравнениях (1), (2) используются следующие обозначения:

$$t^* = t / t_{bas}; \quad x^* = x / X_{bas}; \quad y^* = y / Y_{bas}; \quad z^* = z / Z_{bas};$$

Δ_1^* , Δ_2^* — операторы Лапласа по безразмерным переменным x^* , y^* , z^* .

Значения магнитной индукции, входящие одновременно в левую и правую часть каждого уравнения, могут быть нормированы с помощью произвольных базисных величин: $B_1^* = B_1 / B_{1bas}$; $B_2^* = B_2 / B_{2bas}$; однако для корректного сопоставления получаемых решений следует принять одинаковые базисные величины: $B_{1bas} = B_{2bas}$. Если в уравнениях (1) и (2) соблюдается равенство нормированных значений коэффициентов диффузии $D_1^* = D_2^*$, которые равны соответственно

$$D_1^* = D_1 \frac{t_{1bas}}{X_{1bas}^2}; \quad D_2^* = D_2 \frac{t_{2bas}}{X_{2bas}^2}, \quad (3)$$

тогда можно говорить о подобии относительного распределения величин поля в этих уравнениях. При совместном выполнении условий

$$D_1^* = D_2^* \quad \text{и} \quad B_{1bas} = B_{2bas} \quad (4)$$

можно говорить о полной идентичности уравнений (1) и (2), ее результатом будет тождественность решений, получаемых для магнитной индукции $B_1^*(x_1^*, y_1^*, z_1^*, t_1^*) = B_2^*(x_2^*, y_2^*, z_2^*, t_2^*)$ при идентичных граничных условиях. В случае нелинейности магнитных свойств ферромагнетика для обеспечения этой тождественности в уравнениях (1) и (2) желательно использовать нормированные зависимости параметров среды от магнитной индукции. При решении задачи в размерных величинах учет нелинейности реализуется путем выбора граничных условий, гарантирующих одинаковый уровень магнитной индукции при выходе решения на установившийся режим, когда процесс диффузии может считаться законченным, и использованием идентичных кривых намагничивания ферромагнитного материала в сопоставляемых расчетных моделях.

При линейных свойствах среды, когда коэффициент диффузии поля является постоянной величиной в каждом из уравнений (1) и (2), условие подобия полей (4) упрощается, если $D_1 = D_2$, и сводится к соотношению между пространственными и временными характеристиками расчетных моделей:

$$\frac{t_{2bas}}{t_{1bas}} = \left(\frac{X_{1bas}}{X_{2bas}} \right)^2 \quad (5)$$

Для демонстрации возможности получения подобия картины поля в программе QuickField (professional version 6.10) был выполнен в квази-одномерном приближении расчет нестационарной диффузии поля в двух разномасштабных моделях, представляющих собой полосу из ферромагнетика, кривая намагничивания которой была задана в виде Табл. 1. Длительность процесса была доведена до наступления стационарного состояния, когда диффузия прекращается. Индикатором наступления стационарного состояния было распределение магнитной индукции по длине образца. Окончание процесса диффузии

Таблица 1. Кривая намагничивания для расчета нелинейной диффузии поля

Индукция B (Тесла)	0	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
Напряженность H (А/м)	0	140	171	211	261	318	397	502	647
Индукция B	1,3	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
Напряженность H	1140	843	1580	2500	4400	7800	13000	22000	34200
									200000

контролировалось по установлению однородного распределения индукции вдоль оси x с отклонениями не более 0,1% от стационарного значения $B_{стаци}$, которое может быть предсказано заранее при одномерной диффузии благодаря простому соотношению между индукцией и векторным магнитным потенциалом:

$B_z = \partial A_y / \partial x$. Используя заданные на границах образца значения потенциала A_{1y} и A_{2y} , это соотношение можно переписать в виде $B_{стаци} = (A_{1y} - A_{2y}) / L$, где L – длина образца, измеренная вдоль оси x . Для двух образцов длиной 0,5 м и 5,0 м были получены распределения индукции вдоль координаты x во времени, которые показаны на рис.1 и рис. 2. Соотношение между параметрами моделей: $X_{1bas} = 0,5$ м, $X_{2bas} = 5,0$ м, $t_{1bas} = 10$ сек, $t_{2bas} = 1000$ сек, т. е. соответствует формуле (5). Граничные условия выбраны следующим образом:

для образца длиной 0,5м задано $A_{1y} - A_{2y} = 0,8$ (Вб/м),

а для образца длиной 5,0м задано $A_{1y} - A_{2y} = 8,0$ (Вб/м).

Благодаря такому соотношению между длительностями процесса и характерными размерами образцов, а также благодаря одинаковым значениям индукции стационарного состояния достигается полное подобие в распределении индукции по длине образцов на равных по относительной величине отрезках длительности процесса в одном и другом образце. Таким образом, при учете нелинейных свойств ферромагнетика к условиям подобия, содержащим размеры образцов и длительности процессов, необходимо добавить условие идентичности уровней магнитной индукции в стационарном состоянии, обеспечиваемое заданием граничных условий: $\Delta A_y / L = \text{const}$.

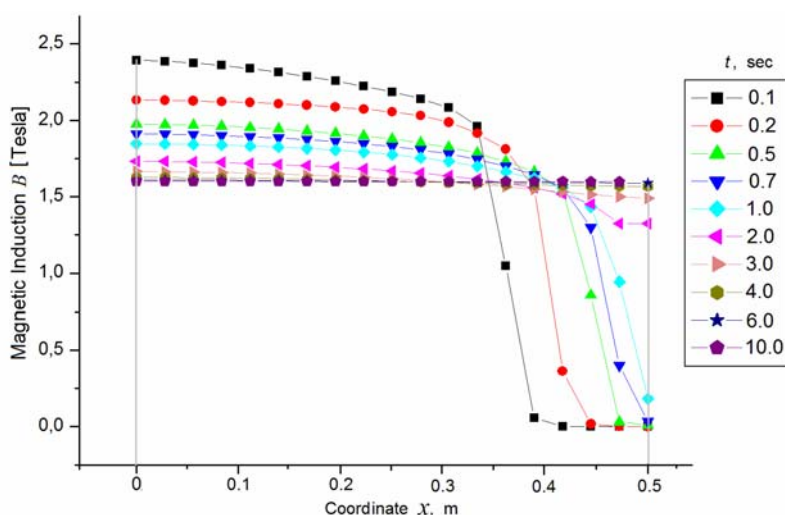


Рис. 1. Распределение магнитной индукции по длине образца длиной 0,5м для различных моментов времени.

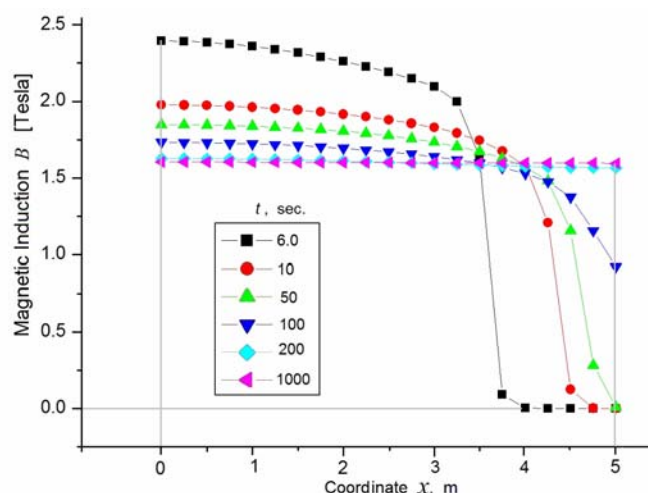


Рис. 2. Распределение магнитной индукции по длине образца длиной 5,0 м для различных моментов времени.

Для обоих образцов процесс диффузии характерен тем, что имеет перемещающийся фронт, впереди которого поле вначале отсутствует, а позади него имеется зона насыщения ферромагнетика, в которой индукция постепенно приближается к установившемуся значению, распределяясь в итоге равномерно по сечению образца.

Заключение. Рассмотренные в статье условия подобия диффузии поля справедливы для одномерных процессов, однако с определенной осмотрительностью могут быть обобщены и для двумерных и трехмерных задач. Такая же осмотрительность потребуется при попытках обобщения процессов в гетерогенных или анизотропных средах на основе принципов подобия. Применение принципов подобия к расчету диффузии в линейных средах не вызывает затруднений. В частности, они применимы к задачам нестационарной диффузии тепла, если принять во внимание, что при формулировке граничных условий для таких задач температура играет ту же роль, что векторный магнитный потенциал в задачах о диффузии магнитного поля, а тепловой поток – ту же роль, что магнитная индукция в рассмотренных выше задачах.

Авторы выражают признательность представительству фирмы Tera Analysis в г. Торонто, Канада, за предоставленную возможность использования профессиональной версии программы QuickField.

1. Райченко А. И. Математическая теория диффузии в приложениях. – Киев: Наукова думка, 1981. – 396 с.
2. Седов Л.И. Методы подобия и размерностей в механике. – М.: Наука, 1966. – 366 с.

Oleksandr Shcherbakov¹⁾, PhD-student,

Kai Polsterer¹⁾, Dr.,

Volodymyr Svjatnyj²⁾, Prof., Dr.,

¹⁾Heidelberg Institute for Theoretical Studies

(Schloss-Wolfsbrunnenweg 35, Heidelberg, 69118, Germany,

e-mail: oleksandr.shcherbakov@h-its.org, kai.polsterer@h-its.org)

²⁾Donetsk National Technical University

(2, Shybankova Square, Krasnoarmiysk, Donetsk region, 85300, Ukraine,

e-mail: vsvjatnyj@gmail.com)

Integration of Distributed Parallel Simulation Environment with Cloud-Infrastructures

This article describes an integration of the subsystems of the distributed parallel simulation environment with cloud infrastructures. A complex support for simulation of the dynamic network object with distributed parameters on Amazon AWS cloud is provided. As well as a tool helping to significantly save running costs for cloud simulations.

Keywords: distributed parallel simulation environment, cloud computing, AWS spot-market, cost optimization

Introduction. Cloud computing market is rapidly growing. Recent studies [1] predict that spending on cloud services will grow by 16.5% in 2016 – up to \$204 billion. The largest increase is expected for cloud services (infrastructure as a service [IaaS]). Cloud in [2] is defined as “a type of parallel and distributed system consisting of a collection of interconnected and virtualized computers that are dynamically provisioned and presented as one or more unified computing resource(s) based on service-level agreements established through negotiation between the service provider and consumers.”

In [2], and then [3] and others cloud computing called a „fifth utility“ (after water, electricity, gas, and telephony), because it is necessary to meet the needs of everyday life and should be available at any time when needed, and be paid for the volume of services used.

The concept of integration of DPSE with cloud-infrastructures. Works [4, 5, 6, 7] describe a distributed parallel simulation environment (DPSE) as a user-friendly system organization of a collaboration of hardware, parallel computing resources, system- and modeling-software, which supports development, implementation and usage of models of complex dynamic systems with distributed and concentrated parameters. DPSE is described as a comprehensive system of hardware and software (system and special). In this aspect a decomposition of DPSE into subsystems was proposed, what on one hand simplifies the development and support of DPSE through a modular approach, on the other hand – preserves the logical and functional integrity of a system being developed.

To determine the aspects of integration of DPSE with cloud infrastructures consider the representation of DPSE on the Software as a Service (SaaS) principle. In this case, the user does not need to own any computing resources. Access to the simulation environment is done through the browser, if necessary specialized applications can be used. Hardware components of such DPSE may include: servers available to the DPSE administrator; HPC-clusters belonging administrator or a particular user, or those to which they have access; cloud resources ordered by administrator or user, or those that can be ordered; user clients (hardware) can be used with limitations. We will later consider the case of “zero

ownership” – when DPSE administrator does not own any hardware resources, but can order the necessary resources by cloud providers.

There are different requirements to the subsystems determining hardware resources necessary for their work. Some subsystems have to be always available – *dialog, databases, IT-support*. Others may work “on demand”. According to the needs in computational power we can distinguish subsystems that require a lot of computing resources (including parallel distributed ones) and those for which the parallelization of work is impractical.

Depending on the type of user access, the type of used hardware resources and the type of available HPC resources, following requirements and restrictions may apply due to network security.

The “interface subsystems” – those that provide network interaction with users and remote resources – are located on a server in the local network. DPSE will be accessed only by local users. There are no restrictions on the usage of local and remote HPC-resources. Usage of cloud resources can have slight restrictions – it is not possible to receive notifications about status changes of the cloud due to local network security policies, such information must be retrieved and/or updated on time intervals. Disadvantages of the configuration: external users can not access DPSE, restrictions on feedback from the cloud (and other external) services. Advantages: making external access impossible reduces the risk of unauthorized access, such system can have no restrictions on access to local HPC-resources.

The “interface subsystems” are located in the demilitarized zone (DMZ) [8, p. 388], with external access available. External and local users will have access to DPSE, usually through a global network. Usage of local HPC-resources is possible for the resources in this (or other neighboring) DMZ only. Access to remote HPC and cloud resources is possible, but it is important to keep in mind that in case of DPSE server being compromised, accounts used to access any resources (including cloud) will also be compromised.

The “interface subsystems” are located on servers of external (including cloud ones) provider. Choosing a placement strategy of the subsystems is guided by the availability of hardware resources, funds and human resources to support – systems with an external access are potentially vulnerable and require constant maintenance and keeping their software up to date.

DPSE subsystems that do not need to be constantly available – equations solver, visualization, etc. – can be started “on demand”, usually on HPC resources. Running all subsystems that do not use parallelization on the same server is possible, but it can cause high server load causing difficulties with access to the DPSE.

Consider a typical scenario of working with DPSE.

1. User being authorized in the system.
2. Selects, load or describes the network desired topology of a network object.
3. Topology being analyzed.
4. Equations describing a given topology being generated in a convenient form for simulation.
5. The analysis of available (to the user) and of necessary parallel simulation resources is being made.
6. Generated equations being adapted to available resources.

7. Prepared simulation model being sent to the queue for running on the HPC.
8. Simulation results being post processed and stored.
9. Results being presented to the user.

For this scenario DPSE needs the following hardware resources for its work: a server for subsystems that provide interaction with the user and other subsystems; resources for other subsystems – HPC-resources for parallel simulation, other available servers.

Consider the following scenario of use: access to DPSE is available to external users, thus DPSE server is located outside the security perimeter and has no access to the local cluster. DPSE can run parallel simulations on HPC resources available to its users or can order computing resources by cloud providers. We consider DPSE integration with cloud services of Amazon. A significant advantage of this provider for scientific simulations is the offer of spot-instances [9] – free resources are sold on the principle of trading. This allows the user to save a lot. Stated that the price of these instances is defined by bets of all users of the service and the number of free instances offered for trades. The disadvantage of this proposal consist in having no guarantees of continuous work of a spot-instance. If the auction price rises above the bet of the user, his instance(s) will be shut down and given to someone else. There is an automatic notification shortly before the shut down but it is not guaranteed.

DPSE subsystems for *dialog*, *databases* and *IT-support* must always be available to users, thus they may run only on standard “on demand” instances. Other DPSE subsystems related to the preparation of simulation models, simulation and processing of results, can be run on spot-instances and other HPC-resources available to the user. Interrupting their work is less critical, in addition their algorithm may provide a mechanism of restoring the interrupted simulation (checkpointing). It is worthwhile to order cloud resources for these subsystems only when users run a simulation and to free them when the simulation is complete.

Prototype of the simulation environment DPSE – cloud-services. Work with cloud resources on more or less complex systems needs automation. First of all placing the bets must be automated for spot-instances when starting the simulation, deleting unused instances after simulation, analysis of prices for spot-instances.

A prototype of DPSE was developed [10]. It runs completely in cloud environments and provides support for the simulation of dynamic network object (DNO) at all stages – from model development to retrieving the results after parallel execution on cloud resources. Amazon AWS Services are used as a cloud provider. Ten subsystems of DPSE, as described in [4, 5, 6, 7], are represented in the various components of the prototype. The subsystems for the *IT-support* and *dialog* run on the EC2 on-demand instance. Amazon RDS service represents both software and hardware parts of the *database* subsystem. Subsystem for *load balancing* as well as a subsystem for *data exchange* are based on the CfnCluster [11] framework. Gnuplot [12] is used as a simple implementation of the *visualization* subsystem. Other DPSE subsystems – for *topological analysis*, for *equations generation*, for *virtual parallel simulation models*, for *parallel equation solvers* – provide at first hand the simulation of DNO. They run on a cloud cluster, running simulation on other HPC clusters is also supported. Software parts of these subsystems are briefly described below.

Currently the DNO model with distributed parameters is implemented and available for all users. A model developer has the possibility to prepare a description of different topologies. This description is provided as a text file in a specific format. A user can select one of the available topologies for simulation and define different model parameters: numerical method, maximum number of parallel processes and so on. Whereat the topology analysis, equations generation and analysis of virtual parallel simulation-models are performed automatically for the model with these parameters.

The numerical solution of the Cauchy problem (for previously generated equations) is provided by GNU Scientific Library (GSL) [13], which is quite popular in the scientific community (over 1000 citation of GSL documentation according to Google Scholar), is cross-platform and has a simple and well structured source code. GSL can be easily extended with the implementation of other numerical methods. Implementation of the block methods is planned for the future [14, 15]. The results of the simulation are visualized by Gnuplot as three-dimensional plots and stored in a git repository. This way of storing and accounting the results is not suitable for models with huge amount of output data, and for long time storage, but it is implemented to demonstrate the work of DPSE and to simplify models debugging. Results of the simulation are stored in a local (DPSE server) repository with mirroring to the external one – GitHub and AWS CodeCommit. The question of optimally storing and managing simulation results is still open.

Besides DNOs other types of models are supported and can be launched, as well as creating and managing standalone cloud clusters. User can specify the desired cluster configuration to be created, and a maximum price for the spot-instances. Because CfnCluster framework instances that are not used are automatically turned off and are turned on again when required, costs and administrative time is saved.

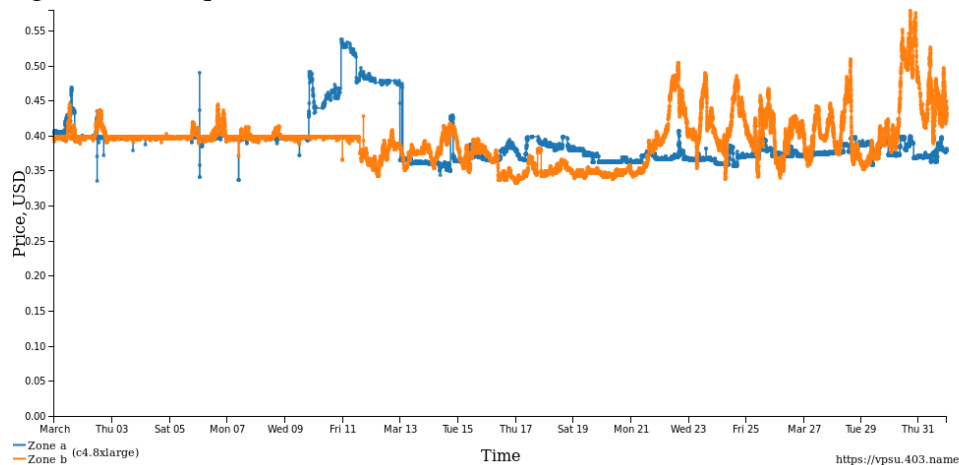


Fig. 1. Spot-price changes for *c4.8xlarge* instance in March 2016, region *Frankfurt*

A variety of additional DPSE features improve the work of simulation model developers and users. The developed prototype has a built-in version control system (git) for the models, supports accounting of experiments on HPC and allows to open terminal sessions directly in a browser. Instant notifications on a mobile phone about the status of cloud cluster and simulations helps to organize simulation workflow and to save time.

A function for monitoring and analysis of spot instance prices allows user to understand the dynamic (fig. 1) of AWS spot prices and helps to choose cheapest spot-instances or to choose a proper bet for certain instance. Fig. 2 shows an example price comparison, instances are sorted by the rising cost of virtual performance (conditionally “price per gigahertz”).

ECU	Instance	vCPU	RAM	Max Price	Min Price	min Avg Price	σ	σ (A)	σ (B)	min Acc Price	min Acc / Core	min Acc / ECU
8.0	<i>c4.large</i>	2	3	0.1500	0.0171	0.0205	0.0061	0.0072	0.0061	15.2365	7.6182	1.9046
16.0	<i>c4.xlarge</i>	4	7	2.9600	0.0419	0.0476	0.0978	0.1216	0.0978	35.3383	8.8346	2.2086
31.0	<i>c4.2xlarge</i>	8	15	0.5510	0.0817	0.1383	0.0807	0.0807	0.0870	102.7768	12.8471	3.3154
62.0	<i>c4.4xlarge</i>	16	30	1.1250	0.1658	0.1794	0.0120	0.1124	0.0120	133.3041	8.3315	2.1501
132.0	<i>c4.8xlarge</i>	36	60	0.5793	0.3334	0.3930	0.0339	0.0339	0.0350	292.0196	8.1117	2.2123

Fig. 2. Prices analysis results for spot instances in March 2016, region *Frankfurt*

Assume we have a model to launch on the cloud cluster with the lowest budget. The model has been executed with test data on different types and different numbers of instances. For simplification we take into account only two types of EC2 spot-instances: *c4.large* and *c4.8xlarge*. *Frankfurt* is chosen as an AWS region. Execution time of this simple benchmark model in minutes is shown in table 1. Having this benchmark done helps to choose a better type of instances with respect to cost/performance for models of this type and to make a better parallelization. Table 2 shows a price comparison for one simulation running on the *onDemand*- and on *spot*-instances. Full utilization is assumed. Average spot prices were computed by the spot-market analysis tool of DPSE (fig. 2).

Table 1. Simulation benchmarking for different types of instances

# of instances	Instance type	Duration (min)	Runs/hour
1	<i>c4.large</i>	14	4.3
2	<i>c4.large</i>	8	7.5
3	<i>c4.large</i>	6	10
4	<i>c4.large</i>	5	12
6	<i>c4.large</i>	5	12
1	<i>c4.8xlarge</i>	1	60

The performance of the simulations on 4 and 6 instances is the same because of relatively slow interconnections of instances done with 1Gbit-Ethernet and intensive data exchange during the simulation of this model.

Table 2. Prices per run for the benchmarked model

# of instances	Instance type	<i>OnDemand</i> price/run	<i>Spot</i> price/run
1	<i>c4.large</i>	0.0312	0.0048
2	<i>c4.large</i>	0.0357	0.0055
3	<i>c4.large</i>	0.0402	0.0062
4	<i>c4.large</i>	0.0447	0.0068
1	<i>c4.8xlarge</i>	0.0356	0.0066

Values for 6 *c4.large* instances are removed as they are redundant and will wrongly increase a calculation of the resulting benefit.

Table 2 lets to compute the benefit from using spot-instances. For running a test model in March 2016 it can be about 650%. Running a benchmark on the instances of different type and choosing the best one lets to benefit by about 140%. Both together can give 910%.

At the moment of writing this article an automation for described benchmarking and further research on cost optimization are under development.

Conclusions. The growing popularity of cloud service providers is caused by their affordability and flexibility. For scientific purposes the possibility to order unused resources with a substantial discount (spot instances), for tasks not requiring real-time simulation, but still having need for powerful (CPU speed, available memory, etc.) resources, seems to be attractive.

A prototype of DPSE providing support for all phases of modeling and simulation of dynamic network objects and other models was developed. Running DPSE entirely on cloud resources allowed to prepare the ground for further experiments on the feasibility of using cloud resources for different classes of simulations.

An example of saving up to 910% of simulation costs for running a certain model in cloud was shown. This was achieved by choosing an optimal type of instance for the presented simulation model and by carefully observing the prices on the spot-market. This benefit will differ for other types of models.

Calculations was made without taking into account the prices for EBS storage, EBS I/Os and data transfer for downloading the results of the simulations. This will be done in future research.

1. Gartner says worldwide public cloud services market is forecast to reach 204 billion in 2016, 01 2016. <http://www.gartner.com/newsroom/id/3188817> (retrieved 29.03.2016).
2. *Rajkumar Buyya, Chee Shin Yeo, Srikumar Venugopal, James Broberg, and Ivona Brandic.* Cloud computing and emerging it platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility. *Future Generation computer systems*, 25(6):599–616, 2009.
3. *Jose Moura and David Hutchison.* Review and analysis of networking challenges in cloud computing. *Journal of Network and Computer Applications*, 60:113 – 129, 2016.
4. *L.P. Feldmann, V.A. Svjatnyj, M. Resch, and M. Zeitz.* Forschungsgebiet: Parallele Simulationstechnik. *Modelling and Computer Graphics - 2009*, 2009.
5. *L.P. Feldmann, V.A. Svjatnyj, M. Resch, and M. Zeitz.* Forschungsgebiet: Parallele Simulationstechnik. In *ASIM 2014 – 22. Symposium Simulationstechnik*, pages 3–7, 2014.
6. *V. Svjatnyj, V. Kushnarenko, O. Shcherbakov, and M. Resch.* Dekomposition der verteilten parallelen simulationsumgebung. *Scientific papers of Donetsk National Technical University. Series "Problems of modeling and design automation"*, 2012.
7. *O. Shcherbakov and V. Svjatnyj.* Decomposition into subsystems and organization of work of distributed parallel simulation environment on the web. *Informatics and Computer Technologies*, 2010.
8. *E. Maiwald.* *Network Security: A Beginner's Guide, Second Edition. Beginner's Guide.* McGraw-Hill Companies, Incorporated, 2003.
9. Amazon. Ec2 spot instances. <https://aws.amazon.com/ec2/spot/>.
10. *Oleksandr Shcherbakov.* Distributed parallel simulation environment. <https://vpsu.403.name/>.
11. AWS. Cfncluster. <https://aws.amazon.com/hpc/cfncluster/>.
12. *Thomas Williams, Colin Kelley, et al.* Gnuplot 4.4: an interactive plotting program. Official gnuplot documentation, <http://sourceforge.net/projects/gnuplot>, 2010.
13. *Brian Gough.* GNU scientific library reference manual. Network Theory Ltd., 2009.
14. *A. Guseva and V. Kushnarenko.* Discrete simulation-model of dynamic network object with distributed parameters based on the block numerical method. *Scientific papers of Donetsk National Technical University. Series "Problems of modeling and design automation"*, 9(179):356, 2011.
15. *V. Kushnarenko.* Simulating a branch of dynamic network object with lumped parameters based on the block numerical methods. *Scientific papers of Donetsk National Technical University. Series "Problems of modeling and design automation"*, (210):66–74, 2013.

В. Г. Ягуп¹⁾, д-р техн. наук,

Е. В. Ягуп²⁾, канд. техн. наук,

¹⁾Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова
(Украина, 61002, Харьков, ул. Маршала Бажанова, 17,
тел.(057) 7313040, e-mail: yagup_walery@mail.ru)

²⁾Украинский государственный университет железнодорожного транспорта
(Украина, 61050, Харьков, пл. Фейербаха, 7,
тел. (057) 34333114, e-mail: kate.yag@rambler.ru)

Моделирование систем электроснабжения как средство для расчета оптимальных режимов трехфазных систем

The article describes the method of determining the parameters of the balun for nonsymmetric-term three-phase power supply system. The method is based on search engine optimization with the built-in MATLAB function optimization algorithm deformable multi-polyhedron. The value of the optimized objective function is calculated using the model, assembled in SimPowerSystem .

Keywords: visual model, optimization, unbalance, reactive power.

Введение. Системы электроснабжения в общем случае представлены трехфазными системами, питающими нагрузку через трехпроводные или четырехпроводные линии электропередачи. При этом оптимальным режимом является такой режим, когда система работает в симметричном режиме при полной компенсации реактивной мощности, потребляемой от источников электрической энергии. Между тем, многие потребители электроэнергии трехфазных систем являются несимметричными и имеют реактивную составляющую в своих нагрузочных токах. К числу таких потребителей относятся многочисленные однофазные нагрузки сельскохозяйственных энергосистем и систем коммунальной сферы [1,2]. Значительную несимметрию вносят такие нагрузки, как дуговые электропечи, а также системы электроснабжения железнодорожного транспорта на переменном токе. Несимметрия нагрузок в трехфазных системах вызывает дополнительные потоки реактивной мощности в электрических системах [3], что в свою очередь приводит к увеличению тепловых потерь в линиях электропередачи и снижению коэффициента полезного действия.

Целью статьи является разработка методологических основ применения компьютерных моделей для нахождения режимов симметрирования и компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения. Наиболее распространенным средством для преодоления негативных явлений, вызванных появлением в системах электроснабжения реактивной мощности, являются включение дополнительных реактивных элементов. Эти элементы образуют симметрирующее устройство (СКУ). Оно обеспечивает симметрирование токов в линиях электропередачи и компенсацию реактивной мощности. При такой настройке, обусловленной выбором параметров СКУ, токи в линиях электропередачи во всех трех фазах выравниваются по амплитуде и совмещаются по фазе с питающими фазными напряжениями. Режим полной компенсации реактивной мощности характеризуется минимальными потерями при передаче электроэнергии и является оптимальным с точки зрения потерь в системе электроснабжения.

В расчетном плане определение параметров СКУ представляет собой нелинейную задачу. Нелинейность полной системы уравнений, описывающих систему электроснабжения с СКУ, обусловлена тем обстоятельством, что токи и напряжения системы входят в уравнения в виде произведений с параметрами СКУ или в виде частных от деления этих же величин. Поэтому в общем случае решение мо-

жет быть получено лишь численными методами. Известные методы [1,2,4] основаны на приближенных вычислениях с помощью таблиц или графических диаграмм и рассматривают упрощенные варианты расчетов. Например, в [4] представлен метод на основе подавления токов обратных симметричных составляющих без учета влияния параметров самих линий электропередачи. Такие допущения могут приводить к появлению существенных погрешностей [5], которые снижают качество симметрирования и компенсации реактивной мощности.

Совершенствование средств вычислительной техники и программного обеспечения позволяет производить расчеты электромагнитных процессов в несимметричных системах электроснабжения с высокой точностью малыми затратами времени. Особую роль в этом плане играют модели электрических систем. Пакеты прикладных программ MATLAB, MathCAD и MS Excel являются наиболее распространенными и приемлемыми для создания моделей систем электроснабжения. Нелинейная задача симметрирования системы электроснабжения в общем случае может быть поставлена как задача поисковой оптимизации [6]. В этом случае должны быть обозначены критерии оптимизации и переменные оптимизации, изменения которых влияют на значения целевой функции. В качестве таковых при решении задачи симметрирования могут выступать, например, разности абсолютных значений токов в линиях электропередачи или напряжений на общих зажимах линии и несимметричной нагрузки. При расчете режима компенсации реактивной мощности сведению к нулю подлежат реактивные мощности, отдаваемые источниками электрической энергии каждой из фаз. При использовании метода симметричных составляющих в симметричном режиме должны отсутствовать составляющие нулевой и обратной последовательностей, которые также могут быть приняты в качестве величин, образующих целевую функцию. В этом случае для полной компенсации реактивной мощности необходимо также минимизировать значение фазного угла составляющей прямой последовательности напряжений или токов. Таким образом, целевая функция может использовать значения разнородных величин, реализуя учет нескольких критериев. Ее рационально формировать как шаровую метрику $N = [\sum (\alpha_i W_i)^2]^{1/2}$, где W_i – величины, образующие целевую функцию, α_i – весовые коэффициенты, нормирующие эти величины.

В случае линейных нагрузок может быть использован пакет MathCAD, и для организации оптимизационного процесса рационально применить поисковое средство, реализуемое парой операторов given-find. При этом модель системы электроснабжения реализуется полной системой уравнений для режима синусоидальных токов и напряжений системы электроснабжения. Уравнения составляются из системы топологических и компонентных уравнения [7], записываемых по методу комплексных амплитуд с использованием комплексных величин. Как показали исследования [8], решение достигается с назначенной точностью при условии задания начальных приближений переменных в области, обеспечивающей сходимость итерационного процесса оптимизации. Имеется возможность достаточно точно определить эти начальные приближения исходя из количественных соотношений, справедливых для симметричного или скомпенсированного режима системы. При наличии в системе электроснабжения нелинейных элементов, в том числе магнитных и полупроводниковых компонентов, необходимо формировать систему уравнений модели в временной области с использованием дифференциальных уравнений или рекуррентных выражений, соответствующих решениям этих уравнений [9]. Такие модели формируются на основе кусочно-линейных аппроксимаций не-

линейных характеристик и метода припасовывания. При их реализации должны учитываться особенности поведения нелинейных элементов и компьютерная модель должна работать с переменным шагом интегрирования и преодолевать свойство жесткости системы из-за возможного разброса параметров, обеспечивающих, например, ключевые свойства полупроводниковых компонентов. Система SimPowerSystem (SPS) предоставляет все необходимые средства и возможности для решения задач симметрирования и компенсации реактивной мощности в трехфазных системах с помощью моделирования и оптимизации как в случае синусоидального, так и в случае несинусоидального режимов питания нагрузок. На рис.1 представлена SPS- модель обобщенной трехфазной системы электроснабжения с несимметричной нагрузкой. Амплитуды питающих напряжений нормированы и приняты равными 100 В. Сопротивления проводов линии электропередачи составляют $(0.1+j\omega 0.001)\text{Ом}$, где ω – круговая частота питающего напряжения. Нагрузки для создания существенной несимметрии в системе по фазам А,В,С составляют величины $(0.7+j\omega 0.005)$, $(1+j\omega 0.01)$ и $(2+j\omega 0.04)$ Ом соответственно. Такая система работает в резко несимметричном режиме со смещением нейтральной точки на величину около 40 В и с большим потреблением реактивной мощности.

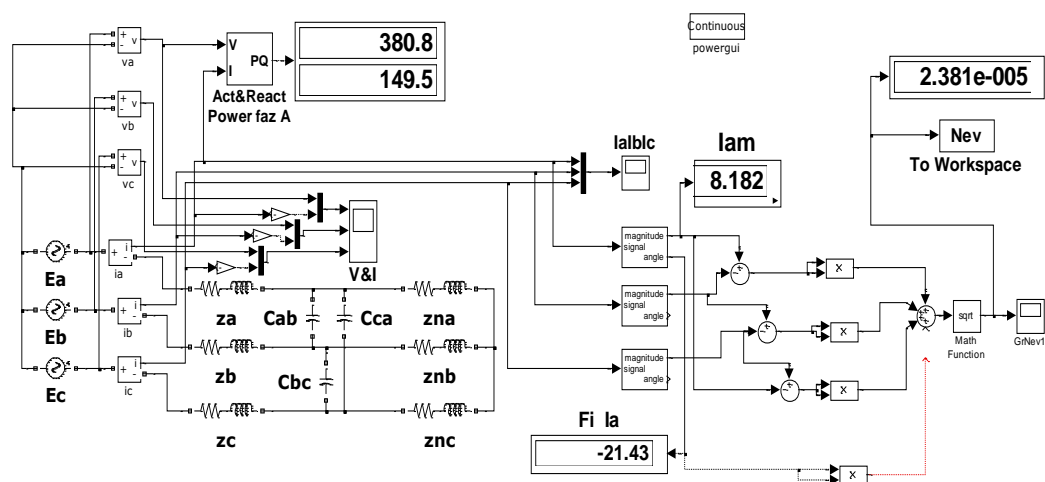


Рис.1. Модель обобщенной трехфазной системы с несимметричной нагрузкой

Здесь сконструирована целевая функция, для которой в модели измеряются амплитудные значения токов в линиях I_A , I_B , I_C , а далее вычисляется значение шаровой нормы разностей амплитудных значений токов в питающих линиях:

$$N = \sqrt{(I_A - I_B)^2 + (I_B - I_C)^2 + (I_C - I_A)^2}. \quad (1)$$

Вычисление целевой функции осуществляется в модели и передается в рабочую область MATLAB посредством прибора To workspace с именем Nev (рис.1). Из рабочей области это значение передается оптимизирующей программе, вызывающей функцию MATLAB `fminsearch()`, реализующей метод деформируемого многогранника. В зависимости от значений начального вектора параметров оптимизации может быть найден любой режим системы, отвечающий требованию уравнивания амплитуд питающих токов. Таким образом, находится не единственный глобальный минимум, а любой локальный, к которому сходится решение. На рис.1 модель представлена в виде, когда закончена поисковая оптимизация от

вектора начальных значений [9, 13,17]. Амплитуды токов во всех трех линиях составляют 8.182 А. Фаза А отдает 380.8 Вт активной мощности и 149.5 Вар реактивной мощности, и эти же значения имеют другие фазы. Присутствие положительной реактивной мощности, свидетельствует о том, что при найденных параметрах компенсация реактивной мощности осуществлена не в полной мере. Об этом же говорит и значение угла сдвига тока относительно напряжения, которое составляет величину -21.43 эл. град. Величины емкостей СКУ представлены вектором решения $x=[529.5539 \ 149.7699 \ 1.925]$ в микрофарадах. Для сравнения с режимом полной компенсации реактивной мощности был найден глобальный минимум с помощью этого же моделирующего комплекса, Для этого в модели на рис.1 к сумматору подведена четвертая связь, которая на рис.1 изображена пунктиром. Теперь целевая функция определится следующим образом:

$$N = \sqrt{(I_A - I_B)^2 + (I_B - I_C)^2 + (I_C - I_A)^2 + (\varphi_A)^2}, \quad (2)$$

Где φ_A -угол сдвига тока питающего источника относительно его напряжения, измеренный виртуальным гармоническим анализатором. Данные полученного режима полной компенсации реактивной мощности следующие: амплитуды токов во всех трех линиях составляют 7.754 А. Фаза А отдает 387.7 Вт активной мощности и 0,0003402 Вар реактивной мощности, и такие же значения характеризуют режимы электроснабжения обеих других фаз. Величины емкостей СКУ составляют $x=[562.0871 \ 182.3055 \ 34.4631]$ в микрофарадах.

Заключение. Изложенная методика применения моделей систем электроснабжения позволяет поставить и решить задачу симметрирования и компенсации реактивной мощности как задачу поисковой оптимизации. Использование современных пакетов компьютерной математики и визуального моделирования позволяет реализовать расчеты с высокой точностью и малыми затратами времени на подготовку расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шидловский А.К. Стабилизация параметров электрической энергии в распределительных сетях./ А.К.Шидловский, В.А.Новский, Н.Н. Капльчанный – К.: Наукова думка, 1989. 312 с.
2. Шидловский А.К. Анализ и синтез фазопреобразовательных цепей./ А.К.Шидловский, И.В.Мостовяк, В.Г.Кузнецов - Киев: Наукова думка, 1979. 299 с.
3. Пухов Г.Е. Теория мощности системы периодических многофазных токов. // Электричество. – 1953. - № 2. – С. 56-61.
4. Веников В.А. Электрические сети / В.А.Веников, А.А.Глазунов, Л.А.Жуков и др. – М.: Высшая школа,1971. 438 с..
5. Ягуп В.Г. К аналитическому определению емкостей симметрирующих конденсаторов / В.Г.Ягуп, Е.В.Ягуп // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика». – 2013. – №2 (15). – С. 293-296..
6. Ягуп В.Г. Определение режима компенсации реактивной мощности в четырехпроводной трехфазной системе электроснабжения с помощью поисковой оптимизации / В.Г.Ягуп, Е.В.Ягуп // Технічна електродинаміка. – 2016. – №1. – С. 60-66
7. Пухов Г.Е. Методы анализа и синтеза квазианалоговых электронных цепей. – Киев: Наукова думка, 1967. – 568 с.
8. Ягуп В.Г. Расчет режима компенсации реактивной мощности в несимметричной системе электроснабжения методом поисковой оптимизации / В.Г.Ягуп, Е.В.Ягуп // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика», – 2011. – вип.11 (186). – С. 449-454
9. Пухов Г.Е. . Приближённые методы математического моделирования, основанные на применении дифференциальных Т-преобразований. Киев: Наукова думка, 1988. – 216 с.

Петренко О.О., аспірант,
Петренко А.І., проф., д.т.н.,
Інститут прикладного системного аналізу НТУУ «КПІ»,
(37, проспект Перемоги, 03056, Київ-56, Україна
e-mail tolja.petrenko@gmail.com)

Моделювання архітектури системи сервісів

Анотація: Традиційна архітектура бізнес-процесів заснована на підтримці незалежними монолітними прикладними додатками, які складно піддаються модернізації та удосконаленню. Сьогодні спостерігається перехід до нового типу архітектури, яка базується на незалежних сервісах та подіях і яка є більш динамічною і припускає багаторазове використання компонентів. У даній роботі розглядається методологія моделювання системи сервісів з сучасною сервісно-орієнтованою архітектурою (SOA і EDA), що базується на спільному використанні онтолого-керованого (Ontology-Driven Development, ODD) і модельно-керованого (Model-Driven Development, MDD) підходів до моделювання архітектури бізнес-процесів. Використання онтології лежить в основі розглянутого семантичного моделювання архітектури систем сервісів.

Ключові слова: Service-oriented Architecture, Semantic Services, Model-Driven Development, Semantic Modelling, Ontologies, Business Model.

Вступ. Світ стає сервісно-домінуючим через зростаючу важливість сервісів в найбільш розвинених економіках світу [1,2]. Сектор сервісів займає домінуюче значення в економічній активності розвинених країнах, забезпечуючи більше 70% від їх валового внутрішнього продукту (ВВП). Однак більшість наших знань було розроблено в період виробничої економіки. Крім того, цей економічний зсув мотивує академічний світ і промисловість на проведення досліджень в галузі науки про сервіси [3-4].

Домінування сервісів в господарській діяльності підприємств в даний час відоме як сервісна економіка. Економіка сервісів можна розглядати як результат розвитку інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), які забезпечують рішення, які не були можливі раніше. У цьому випадку виробництво господарських товарів залишається актуальним, як і раніше, проте значення фокусується на використанні добутоків і вигоди, які забезпечують сервіси. Термін «сервіс» має два основних загально прийнятих значення: (а) економічне, бізнес-орієнтоване значення, як, наприклад, у виразі "сервісний сектор економіки"; (б) ІТ-орієнтоване значення, як у виразах "веб-сервіс" або "сервіс-орієнтована архітектура (SOA)". У першому випадку акцент робиться на взаємодію при обміні і на нематеріальний характеру сервісу, а у другому - на технології програмного забезпечення, яке дозволяє підтримувати сумісність різних програмних агентів. В сучасних системах сервісів для економіки ці два значення зливаються, оскільки впровадження сучасної системи сервісів передбачає також інтеграцію інформаційних систем як підсистем організаційної системи [5].

При моделюванні системи сервісів як бізнесу слід розглядати три аспекти: об'єкти, з якими оперує бізнес; процеси, які він виконує; події, керуючі змінами процесів і об'єктів. Відповідно, можна визначити три типи моделювання: інформаційне, функціональне і подійне. Цей розподіл залежить від застосовуваного підходу, але в будь-якому з них завжди присутні дві дії. Перше - збір інформації та моделювання бізнесу, друге - побудова архітектури майбутньої системи, що є

важливим кроком на шляху до її створення. Всі три типи моделювання об'єднуються в одній процедурі, яка заснована на спільному використанні онтолого-керованого (Ontology-Driven Development, ODD) і модельно-керованого (Model-Driven Development, MDD) підходів до моделювання архітектури бізнес-процесів. В статті розглядаються базові методології, які зливають MDD і ODD підходи, в результаті формуються формалізовані концептуальні моделі, які використовуються як під час виконання процесу, так і під час їх розроблення з можливостями контекстного формування висновків (contextual reasoning) і автоматизованої генерації кодів вихідних програм.

Моделювання бізнес-процесів на базі ODD. В самому загальному випадку під онтологією розуміють формальний і явний опис спільної концептуалізації домену. Таке визначення підкреслює головні відмінні риси онтології: (а) необхідність певної мови для опису онтології; (б) використання абстракцій галузі, які включають в себе відповідні поняття; (с) узгоджену точку зору на представлення основ знань домену. Тобто онтологію слід трактувати як структурну специфікацію деякої предметної галузі, її формалізоване уявлення, яке включає словник (або імена) покажчиків на терміни цієї галузі і логічні вирази, які описують, як вони співвідносяться один з одним. Такий словник підтримує обмін знаннями про деяку предметну галузь і безліч зв'язків, встановлених між термінами в цьому словнику. Семантика підтримує і забезпечує спільне розуміння знання домену, яке може бути передано між людьми та програмним забезпеченням.

Консорціумом W3C (World Wide Web Consortium) розроблені два основних стандарти для представлення онтології, а саме RDF Schema (RDFS) і мова OWL (Web Ontology Language) [6]. Онтології, описані мовою OWL, складається з: (а) класів як наборів окремих осіб, (б) приватних осіб як екземплярів класів (тобто об'єктів домену), і (с) властивостей як бінарних відносин між приватними особами. Можна визначити доменні власності, діапазони потужності та правила логічних висновків (reasoners) в онтології. Крім того, деякі логічні висновки можна використати, щоб вивести додаткові факти про знання, які були явно зазначені в OWL онтології. Такі логічні висновки можна реалізувати на рівні класу, властивості або рівні екземпляру, і приклади логічних висновків включають членство класу, еквівалентність класів, послідовності, класифікацію інформації, отримання додаткових властивостей, використовуючи транзитивність або еквівалентності, і т.д.

В роботі [7] наведена онтологія високого рівня Onto-ServSys для системи сервісів, яка має вигляд семантичної мережі і не залежать від конкретної проблеми чи галузі. Семантична мережа - це граф, що містить вузли (поняття) і ребра (бінарні відношення між поняттями). Поняттями Onto-ServSy виступають системні поняття, бізнес-організаційні концепції і концепції системи сервісів. Наведена онтологія підтримує 3-мірне уявлення про те, що таке є сервіс. З людино-значущої точки зору сервіс є властивістю системи, пов'язаною з ефективністю, етичними і естетичними показниками. З точки зору об'єктивного результату сервіс є ефективними системним фактом або подією, а з точки зору потоку дій сервіс є виходом системи. Сервіс може генерувати людино-значущі результати, які є ефективними, етичними чи естетичними. Сервіс має кілька основних атрибутів, де один з них керованість. Цей

атрибут складається з трьох концепцій, тобто об'єктивної метрики оцінювання, входів і виходів. Входами і виходами можуть бути енергія, матеріали, дані-інформація-знання, або потік подій.

Окрім онтології високого рівня існують галузеві онтології, що описує лексику, пов'язану із загальною галуззю, або бізнес-процеси; онтології задач, які описують загальні задачі або етапи діяльності (наприклад, моніторинг або вимірювання); і онтології додатків, що описують поняття, які залежать від як певного домену, так і конкретного завдання, тому вони часто базуються на обох попередніх онтологіях. Визначимо бізнес-процес, що реалізується додатком, як спосіб організації роботи і ресурсів, який дозволяє досягти мети за допомогою набору заходів, які проводимуться в певному порядку, визначеному потоком завдань. Останній фактично визначає головні властивості процесу: мету процесу (що саме?), діяльність (як?), ресурси (яким чином?) і порядок діяльності (коли?).

На рис.1. наведена онтологія крос-організаційних бізнес-процесів, які описують задачу доглядання і мобільної медичної допомоги літнім людям з хронічними хворобами [8].

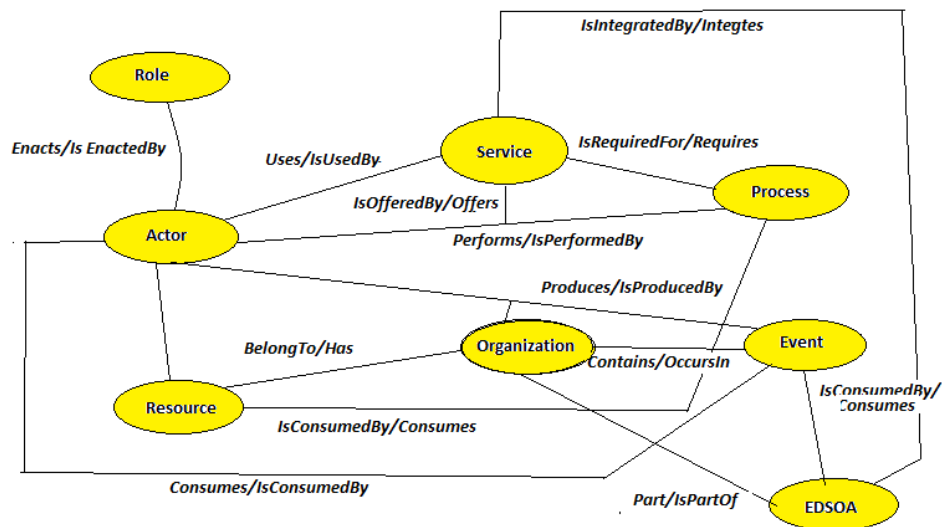


Рис.1. Приклад онтології крос-організаційних бізнес-процесів

В приведеній онтології використано вісім базових понять: роль, актор, сервіс, процес, ресурс, організація, подія і EDSOA. Роль (role) в концепції онтології дозволяє визначати правила акторської поведінки (пацієнта, сімейного лікаря, чергового лікаря медичного закладу чи швидкої допомоги). Актор є організаційним ресурсом, який розігрує роль в виконанні процесу або на більш детальному рівні в виконанні завдання. Поняття онтології використовуються для створення бази даних в EDSOA (Even-Dreven SOA) архітектурі, в яку організації можуть додати інформацію про свої сервіси, ресурси, процеси і події. Система може потім використовувати цю інформацію, щоб дослідити, яка організація має відношення до нової події, і проконтролювати процес надання сервісів. Для організації моніторингу стану

здоров'я пацієнт оснащується бездротовими датчиками, які кріпляться на його тілі і підключені до його смартфона, який використовується як персональна система моніторингу здоров'я (ПСМЗ). Його будинок також оснащується фіксованими датчиками, підключеними бездротово до смартфона, які здатні збирати контексту інформацію, таку як, наприклад, час, місце знаходження пацієнта (через GPS смартфона і вбудованої RFID-мітки), положення пацієнта (стоїть, сидить, лежить, впав), діяльність пацієнта в даний час (ходьба, фізичні вправи, водіння, приймання ліків, спить), з ким пацієнт взаємодіє або хто поруч (особливо, доглядач), параметри середовища (температура, атмосферний тиск). ПСМЗ налагоджується на персональний медичний стан пацієнта; при цьому параметри моніторингу однозначно оптимізуються під пацієнта з допомогою алгоритму машинного навчання, реалізованого в пристрої.

Якщо життєві показники, за якими ведеться моніторинг, наблизяться до небезпечної межі, черговий лікар Сервісного центру здоров'я СЦЗ, з яким пацієнт уклав угоду, повідомляється про це через ПСМЗ і Портал спостереження СЦЗ. Він негайно реагує на тривогу наступним чином:

- дистанційно налаштовує ПСМЗ і датчики пацієнта на максимальну пропускну здатність і на найвищу якість інформації, що знімається з датчиків, щоб перевіритися в попередньому діагнозі причини сигналу тривоги, і перемикає смартфон пацієнта на голосовий зв'язок, щоб на турбувати пацієнта, надаючи йому перші поради (типу зупинитися, сісти, лягти та інші), виходячи з отриманої контекстної інформації про місце розташування пацієнта; активну діяльність пацієнта, історії приймання ліків, знаходження доглядача поруч та інше);

- повідомляє про ситуацію найближчу швидку допомогу, сімейного лікаря і лікарню, куди швидка доставить пацієнта, а також родичів пацієнта (якщо він був один під час кризи хвороби). При цьому під час, коли швидка допомога буде в зворотній дорозі, ПСМЗ пацієнта буде автоматично повторно переконфігурована на безперервну відправку життєво важливих даних в лікарню, куди везуть пацієнта.

Онтології зазвичай підтримують високий рівень взаємодії між користувачами і "розумними" додатками, підтримують механізми логічного висновку в формалізованих моделях і пояснюють причини прийнятих рішень. Онтології повинні прийняти участь в кожному аспекті розроблення додатків для того, щоб впоратися з їх зростаючою складністю, особливо під час виконання (наприклад, для аргументації) і час розробки (наприклад специфікація, документація, автоматичної генерації коду і т.д.). Онтології є семантично багатшими, отже, вони можуть описувати функціональності додатків та інформаційних артефактів, таких як UML (Unified Modeling Language), об'єктно-орієнтовані підходи, схеми і т.д. Тому добре визначена онтологія може бути безпосередньо перетворена в код додатку, в схему баз даних, в абстрактний інтерфейс користувача і т.д., до того ж вона сприяє більш ефективному повторному використанню знань та управління логічними висновками.

Модельовання бізнес-моделі сервісів на базі MDD. Конфігурація та координація сервісів в вибраній архітектурі (сервісно-орієнтованій SOA, подійно-керованій EDA та мультиагентній MAS) [9] і композиція самих сервісів і процесів однаково важливі у сучасній технології обслуговування. Існуючі сервіси можуть бути використані

повторно і скомпоновані, щоб сформувати бізнес-процес або робочий потік (workflow) [10,11].

MDD підхід заснований на збільшенні рівня абстракції, щоб впоратися зі складністю системи сервісів, наслідуючи властивості ODD для розроблення додатків. Необхідність використання абстрактних семантичних описів і звернення до композиції в контексті розроблення сервіс-орієнтованого програмного забезпечення робить MDD (у поєднанні з онтологією) підходящим інструментарієм моделювання систем сервісів. MDD на основі тришарової підходу забезпечує [12-14]:

- **Обчислювальну незалежну модель CIM** (Computing Independent Model), яка описує систему з обчислювальної незалежної точки зору, висвітлюючи структурні аспекти системи. При цьому процесно-орієнтована онтологія описує два типи сутностей домену: об'єкти, які є статичними сутностями, і процеси, які динамічними сутностями, а також три типи відносини між ними: “is a” (підклас відносини), “has part” (компонентні відносини), і “depends” (відношення залежності).

- **Незалежну від платформи модель PIM** (Platform Independent Model), яка може розглядатися як визначення системи з погляду технології нейтральної віртуальної машини або обчислювальної абстракції. Архітектура та процеси є ключовими аспектами в цьому рівні моделювання сервісів. Архітектура впливає на сервіси, їх архітектурні конфігурації і процеси взаємодії. Архітектурні конфігурації визначають процеси взаємодії (віддалений виклик і активації сервісів) між різними сервісами, або компонентами системи програмного забезпечення. Знову ж таки, онтологія використовується для визначення цих аспектів.

- **Модель для конкретної платформи PSM** (Platform Specific Model), що, як правило, охоплює технічні концепції та сервіси, які складають платформу реалізації. Тобто ця модель спрямована на конкретну технологію реалізації системи сервісів. Інтероперабельність сервісів є ключовим завданням платформи веб-сервісів. Два застереження визначають методи, що використовуювані на цьому рівні: абстрактний опис сервісів для підтримати їх відкриття і віддаленого виклику і стандартизований монтаж сервісів і процесів. Платформною веб-сервісів є опис сервісів з абстрактним синтаксисом (Web Services Description Language, WSDL), описи анотацій семантичних сервісів (наприклад, Web Service Modeling Ontology, WSMO), і визначення сервісного процесу (наприклад, WS-BPEL, Business Process Execution Language). Інтероперабельність сервісів є ключовим завданням платформи веб-сервісів. Два застереження визначають методи, що використовуювані на цьому рівні: абстрактний опис сервісів для підтримати їх відкриття і віддаленого виклику і стандартизований монтаж сервісів і процесів.

Будучи за визначенням платформи-нейтральною, типова MDD базується на універсальній мові моделювання UML для платформи незалежного моделювання і однієї з відомих компонентних технологій (EJB, .NET, CORBA). У нашому контексті вибирається платформа на основі веб-сервісів. Можливості пошуку веб-сервісів при зверненні до їх каталогу [15], в якому потенційні користувачі можуть шукати відповідні сервіси, та вибору протоколів для зв'язку сервісів та їх клієнтами - утворюють платформу реалізації як сервіс-орієнтовану архітектуру. Різні типи платформи можуть відрізнятися. Загальна властивість платформи є її сервіс-

орієнтована архітектура, конкретними технологіями реалізації - веб-сервіси і сервісні механізми Apache Axis або Oracle BPEL.

Мова UML 2.0 дозволяє описати концептуальні моделі, в яких відносини між підкласами можуть бути семантично визначені. Побудова аксіом, правил виводу і теорем, однак, підтримується мовами онтології, але не UML. Мова обмеження об'єктів OCL (Object Constraint Language) є розширенням мови UML, яке додає формальні специфікації для UML, але до- і пост-умовна техніка не описує поведінку сервісу і процесу адекватно. Вимоги тут виходять за рамки можливостей UML і OCL. Ці вимоги визначаються на мові визначення онтології метамоделі ODM (Ontology Definition Metamodel). Виявилось, що використання мов онтології насправді навіть більше підходить для контексту сервіс-орієнтованої архітектури, ніж UML/OCL комбінація через зв'язок між опису логіки (основи мов онтології, таких як OWL) і динамічної логіки (модальна логіка, яка дозволяє робити логічні висновки про процеси).

Можливе злиття цих двох підходів може призвести до наступного процесу розробки програмного забезпечення [16]:

- Побудувати незалежні загальну (GO) і домену (DO) онтології, при цьому частина DO перетворюється на обчислювальну незалежну модель (CIM);
- Перетворити модель CIM в незалежну від платформи модель (PIM) згідно правил табл.1;
- Перетворити модель PIM в модель конкретної платформи (PSM) згідно правил табл.2 і артефакт залежних моделей (ADM, наприклад схем бази даних), і визначити методику порівняння і анотації сервісів;
- Перетворити частини онтологій DO і GO в онтологію контексту (CO);
- Застосувати перетворення PSM і ADM в коди додатків і програмних артефактів.

Таблиця 1. Правила перетворення моделей CIM-на-PIM.

Правило	Аспект	Опис
CP0	Шаблон	Для кожного елемента процесу в CIM створити шаблон PIM
CP1	елемент процесу	PIM елемент процесу елемент є елементом процесу CIM
CP2	стани	Створення концепції за замовчуванням для перед- і пост-станів
CP3	синтаксис	Для кожного in- і out-параметрів процесів створити а окремий елемент об'єкту (синтаксису)
CP4	семантика	Створити пре- і пост умови залежно від наявності зовнішньої додаткової інформації у вигляді обмежень
CP5	процес	Якщо вирази для процесу доступні у вигляді обмежень, то вирази створюють складний процес, використовуючи вирази для відносин в WSPO

Таблиця 2. Правила перетворення моделей PIM-на-PSM

Правило	Аспект	Опис
PP1	WSMO	З моделі PIM, базованій на WSPO, відобразити відносини процесів на сервісні концепти WSMO і заповнити властивості <i>messageExchange</i> і <i>Pre / postCond</i> відповідно
PP1.1	WSMO Обмін повідомленням	Відобразити WSPO <i>in-</i> і <i>out-</i> об'єкти в WSMO повідомлення описів обміну описів обміну.
PP1.2	WSMO пре- і пост-умови	Відобразити WSPO <i>pre-</i> і <i>post-</i> умови в WSMO <i>pre-</i> і <i>post-</i> умови.
PP2	WS-BPEL	Відносини композиційного процесу WSPO відобразити в BPEL-процесах
PP2.1	WS-BPEL партнерський процес	Для кожного процесу створіть BPEL партнерський процес (process partners)
PP2.2	WS-BPEL оркестрування	Перетворити вираз для кожного процесу в BPEL-виклику і перенести на сторону сервера клієнтські BPEL-- <i>receive</i> і <i>-reply</i>
PP2.3	WS-BPEL управління процесом	Перетворити процесні комбінатори ';', '+', '!', ' ' на відповідні BPEL комбінатори: <i>sequence</i> , <i>pick</i> , <i>while</i> , and <i>flow</i> (послідовність, вибір, в той час, і потік)

В розглянутій процедурі деяка частина онтології DO перетворюється на PIM і деяка частина перетворюється в онтологію контексту CO, тому що треба забезпечити механізми логічного висновку в додатку, які можуть бути використані додатком зовні.

Описана методика моделювання систем сервісів проілюстрована прикладом розроблення мобільної медичної системи моніторингу стану і допомоги літнім хронічно хворим людям, яка побудована на основі сервісно-орієнтованій подіємокероюваної архітектури EDSOA.

Висновки. Орієнтація світової економіки на індустрію сервісів, поява міждисциплінарної науки про сервіси, поширення сервісних підходів на технічні системи (зокрема, структури програмного забезпечення) понукають економістів, соціологів, математиків, програмістів і законодавців співпрацювати для досягнення дуже важливої мети: аналізу, побудови, управління та розвитку складних систем сервісів. Головне завдання полягає в тому, щоб виявити логіку складних систем сервісів і запровадити спільну методологію їх моделювання та загальні рамки для інновацій сервісів. Рішення цієї задачі потребує фахівців нового типу – сервісних спеціалістів, про яких в Україні майже нічого невідомо [17]. За своїм фахом вони ближче до введеної в 2015 році в Україні спеціальності «Комп'ютерні науки і

інформаційні технології», тому в рамках окремої спеціалізації цієї спеціальності «Системне проектування сервісів» в ПІСА НТУУ «КПІ» в цьому році розпочинається підготовка таких спеціалістів для потреб сервісної економіки України.

1. P. Maglio, C. A. Kieliszewski, J. Spohrer. *Handbook of Service Science (Service Science: Research and Innovations in the Service Economy)*.- // Springer, New York, 2010
2. H Demirkan, J Spohrer, V Krishna. *Service Systems Implementation (Service Science: Research and Innovations in the Service Economy)*.-// Springer, New York, 2011
3. Stauss B., Engelmann K. Kremer A., Luhn A. (Eds.). *Services Science: Fundamentals, Challenges and Future Developments*.- // Springer, Berlin 2007
4. Петренко А.А. Объекты и методы науки о сервисах.-// Системні дослідження і інформаційні технології. - 2015. - № 2. - С. 75-82.
5. Кисельов Г.Д., Петренко О.О. Наука про сервіси, менеджмент та інжиніринг як основа інноваційної діяльності.-// Вісник Університету «Україна», Серія «Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика».-2015.- №2(18).-С.28-36.
6. World Wide Web Consortium. *Web Services Architecture*.- <http://www.w3.org/TR/ws-arch>, 2006. (visited 28/02/2006).
7. Guarino, Manuel Mora, Mahesh Raisinghani, Ovsei Gelman, and Miguel Angel Sicilia. *Onto-ServSys: A Service System Ontology*.- <https://www.econbiz.de/Record/onto-servsys-a-service-system-ontology-mora-manuel/10009127309>.
8. Petrenko A.I. *Mobile health applications to support the diabetic patient and the doctor*.-// Design & Test Symposium (EWDTS), 2014 East-West, Publication Year: 2014 , Page(s): 1 – 6 .
DOI: 10.1109/EWDTS.2014.7027105
9. Петренко О.О. Порівняння типів архітектури систем сервісів.-// Системні дослідження і інформаційні технології. - 2015. - № 4. - С. 48-62.
10. Egon Lüftenegger, Marco Comuzzi, Paul Grefen, Caren Weisleder. *The Service Dominant Business Model: A Service Focused Conceptualization*.- // BETA publicatie, WP 402 (working paper), ISBN, NUR982, Eindhoven, January 2013.- 23 p.
11. A. Osterwalder and I. Pigneur. *Business model generation: a handbook for visionaries, game changers and challengers*. - // Willey, New Jersey, 2010.
- 12.S. Alahmari, D. De Roure, Ed. Zaluska *A Model-Driven Architecture Approach to the Efficient Identification of Services on Service-oriented Enterprise Architecture*. -//At The Second Workshop on Service oriented Enterprise Architecture for Enterprise Engineering in conjunction with the 14th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference, Vitória, Brazil, 2010
- 13.Claus Pahl. *Semantic Model-Driven Architecting of Service-based Software Systems*.- <http://ceur-ws.org/Vol-244/paper3.pdf>
- 14.C. Pahl. *An Ontology for Software Component Matching*. -//International Journal on Software Tools for Technology Transfer, Special Edition on Component-based Systems Engineering, 7 (2006), pp. 1-10.
- 15.Петренко І.А., Петренко О.О. Автоматизовані методи пошуку і відкриття необхідних сервісів.-// Вісник Університету «Україна», Серія «Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика».- 2015.-№1(17).- С. 55-64.
- 16.Czarnecki, K. and S. Helsen. *Feature-Based Survey of Model Transformation Approaches*.-// Ibm Systems Journal 45(3), 2006, pp. 621-645.
- 17.Петренко О.О. Підготовка кадрів для індустрії сервісів.-// Information Technologies in Education.- 2015.-№ 22.-С.158-164.- DOI: 10.14308/ite000528

Виктор Гуреев¹⁾, к.т.н.,
Виктор Самойлов²⁾ д.т.н.,
Ольга Сангинова³⁾, к.т.н.

¹⁾УНП ООО «Инфотех»

(ул. Соломенская, 5, оф. 307, 03037, Киев-37, Украина
Tel.: (044) 2455668, e-mail: viktor.gurieiev@infotec.ua)

²⁾Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова,
Национальная академия наук Украины
(ул. Генерала Наумова, 15, 03164, Киев-164, Украина
Tel.: (044) 4241063, e-mail: ipme@ipme.kiev.ua)

³⁾Национальный технический университет Украины «КПИ»,
(Проспект Победы, 37, 03056, Киев-56, Украина
Tel. (044) 2048573, e-mail sanginova@xtf.kpi.ua)

Принципы разработки единой системы обучения и тренажа (ЕСОТ) персонала объединенной электроэнергетической системы Украины

Аннотация. Рассмотрены некоторые аспекты информационного и программного обеспечения единой иерархической системы обучения и тренажа (ЕСОТ) всего персонала, осуществляющего управление энергетическим оборудованием электроэнергетической системы Украины в реальном времени. Предложены принципы разработки и функционирования ЕСОТ и приведены примеры реализации ее фрагментов.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, информационно-коммуникационные технологии, повышение квалификации, полнофункциональный тренажер

Введение. Энергетика Украины в данный момент является одной из наиболее важных областей экономики, которая сегодня очень нуждается в быстром и эффективном реформировании. Реформированию подлежат не только система управления, модернизация или замена оборудования. В первую очередь это касается системы обучения и тренажа персонала, эксплуатирующего энергетическое оборудование объединенной электроэнергетической системы (ОЭС) Украины.

Постановка задачи. Недостаточная квалификация оперативно-диспетчерского персонала и катастрофическое состояние генерирующего, передающего и распределительного энергетического оборудования, вызванное износом и старением, может привести к возникновению и развитию самых разнообразных системных аварий в ОЭС Украины. Известно [1,-3], что существует устойчивая взаимосвязь между уровнем квалификации оперативно-диспетчерского персонала и количеством аварий или технологических нарушений на энергетических объектах.

В настоящее время в энергетике Украины отсутствует должная техническая политика в области работы с персоналом, необходимая материально-техническая база обучения и тренажа, используются устаревшие инструкции и программы обучения, контроль качества квалификации персонала в целом осуществляется очень субъективно, нет стандартов обучения и тренажа. Назрела, как никогда, острая необходимость полноценной реформы всей системы работы с персоналом отрасли. В данной статье рассматриваются вопросы создания в стране иерархической единой системы обучения и тренажа (ЕСОТ) всего персонала, осуществляющего управление энергетическим оборудованием ОЭС Украины в реальном времени.

Принципы разработки и функционирования единой системы обучения и тренажа персонала ОЭС Украины. ЕСОТ состоит из двух взаимосвязанных подсистем: обучающей подсистемы, предназначенной для реализации смешанной (очно-заочной) формы обучения и тренажерной подсистемы, ориентированной на развитие навыков ликвидации аварий. Обучающая подсистема может быть создана на базе быстро развивающейся технологии электронного обучения (e-learning) MOODLE [4]. Некоторые вопросы рассмотрены и решены в [5]. Инструментальные возможности MOODLE позволяют применять новейшие мировые достижения в области образования и создавать дистанционные курсы самого высокого качества.

В качестве подсистемы тренажа можно предложить полнофункциональный режимный тренажер для диспетчеров энергосистем ПОРТ [6], интегрированный в MOODLE, и позволяющий легко и быстро переключаться между процессами обучения (получение знаний) и практической работой по приобретению и развитию навыков ликвидации аварий с использованием полнофункционального тренажера ПОРТ. В ПОРТ использован метод расчета контурных токов для многоопорного варианта представления конфигурации сети. Рассмотрим кратко суть предложенного метода.

Для сложной электрической сети с n узлами, суммируя токи всех прилегающих ветвей j_i (меняется индекс i), к j -му узлу, можно легко получить следующую формулу для определения тока \dot{I}_j j -го узла (втекающего в узел j) в матричном виде:

$$[\dot{Y}_{ji}] \cdot [\dot{U}_j] = [\dot{I}_j], \quad (1)$$

где $[\dot{Y}_{ji}]$ – матрица проводимостей ветвей сети; $[\dot{U}_j]$ – вектор-столбец напряжений узлов сети; $[\dot{I}_j]$ – вектор-столбец токов узлов сети.

Если известны (заданы) мощности узлов \dot{S}_j , то формулу (1) можно представить в виде баланса мощности узлов

$$\dot{S}_j = -|\dot{U}_j|^2 \cdot \dot{y}_{jj} + \hat{U}_j \cdot \sum_{i=1, i \neq j}^n \dot{U}_i \dot{y}_{ji}, \quad (2)$$

где $|\dot{U}_j|^2$ – квадрат модуля напряжения j -го узла, \dot{y}_{jj} – собственная проводимость j -го

узла ($\dot{y}_{jj} = \sum_{i=1, j \neq i}^n \dot{Y}_{ji}$), \dot{y}_{ji} – взаимная проводимость ветви ji ; \hat{U}_j – напряжение j -го узла,

\dot{U}_i – напряжение i -го узла.

Если представить сложную электрическую сеть в виде связанной совокупности f параллельно работающих энергетических систем, то уравнение (2) в матричной форме можно записать следующим образом:

$$[\dot{Y}_{ji}] \cdot [\dot{U}_j]_{f'} [\hat{U}_j]_f = [\dot{S}_j]_f \quad (3)$$

Учитывая тот факт, что часть узлов (f-1) системы всегда принадлежит f-й системе, каждую f-ю подсистему можно решать относительно напряжений узлов или контурных токов отдельно, используя при этом расчетные значения векторов напряжений прилегающих узлов f-й подсистемы в качестве заданных. Если обозначить вектор-столбец обменных (уравновешивающих) мощностей между смежными энергосистемами f и f-1 как $[\dot{S}_j]_{ff-1}$, то (3) можно переписать в виде:

$$[\dot{Y}_{ji}] \cdot [\dot{U}_j]_{f'} [\hat{U}_j]_f = [\dot{S}_j]_f \pm [\dot{S}_j]_{ff-1} \quad (4)$$

Система уравнений (4) описывает установившийся квазистационарный режим сложной электрической сети с параллельно работающими f энергосистемами и, в зависимости от количества уравнений, может быть решена различными методами.

Открытая архитектура ЕСОТ позволит легко интегрировать любые апробированные на практике готовые обучающие технологии, системы и тренажеры различных разработчиков и производителей подобных систем. Все большее применение в области технического образования находят электронные, включая дистанционные, методы обучения [4]. На этой основе во всем мире [7] быстро развиваются очно-заочные (смешанные) формы обучения, что позволяет легко обеспечить поддержание высокой квалификации персонала, осуществляющего эксплуатацию электроэнергетических систем и энергообъединений.

Основные принципы разработки ЕСОТ можно сформулировать следующим образом. ЕСОТ персонала создается на базе объединения проектируемой глобальной вычислительной среды виртуальных учебно-тренировочных пунктов (УТЦ) и центров (УТП) с реальными существующими отраслевыми учебными заведениями.

Использование новых информационных технологий виртуализации для этой цели позволит размещать такие УТЦ и УТП на любых доступных площадях энергетических предприятий ОЭС Украины, например, на свободных территориях ЭС, МЭС, подстанций, ГЭС, ТЭС, АЭС и др., и уменьшить затраты на строительство новых зданий для этих целей. Вопросы разработки и реализации проекта ЕСОТ можно разделить на отдельные этапы, реализацию которых можно будет легко осуществлять по мере накопления необходимого опыта эксплуатации виртуальных УТЦ и УТП.

Обсуждение и оценка результатов апробации ЕСОТ. Учитывая межотраслевое значение ЕСОТ, к реализации этой работы целесообразно привлечь ведущие учебные заведения и научные центры, имеющие большой опыт в области обучающих и тренажерных систем, включая ИПМЭ, НТУУ «КПИ», ИЭД, НП ООО "Инфотех" и др.

В составе НЭК "Укрэнерго" должен быть создан головной учебно-тренировочный центр (ГУТЦ), который будет координировать работу УТЦ энергосистем и предприятий. ГУТЦ должен обеспечить разработку единых стандартов обучения и тренажа персонала в энергетике Украины, а также контроль их выполнения в УТЦ и

УТП по всем специальностям. УТЦ энергосистем должны формировать общую (единую) техническую политику для обеспечения процессов обучения и тренажа персонала высокого качества. Вся вычислительная сеть УТП должна быть нацелена на формирование и поддержание устойчивых навыков ликвидации условий и развития аварий. Предложенный подход к созданию ЕСОТ обеспечит использование наиболее прогрессивных мировых технологий и знаний в области обучения и тренажа персонала. Некоторые результаты по данной тематике изложены в [5,-7].

Основные первоочередные направления использования ЕСОТ можно сформулировать следующим образом: охрана труда, системы управления АЭС, ТЭС, ГЭС, диспетчерское управление, оперативные переключения в электрических сетях, РЗА и системная автоматика. Тематика обучения и тренажа должна обязательно включать следующие вопросы: диагностика в реальном времени основного силового оборудования, автоматический учет и мониторинг качества параметров электрической энергии, автоматическое и дистанционное управление коммутационными аппаратами, эксплуатируемый набор средств цифровой релейной защиты и автоматики.

Выводы. Назрела актуальная потребность создания современной единой системы обучения и тренажа персонала (ЕСОТ) энергетической отрасли Украины с использованием единых стандартов обучения и тренажа. Предложено на общей учебно-методической основе объединить существующие учебные центры, пункты и учебные комбинаты, функционирующие в отрасли практически автономно, и вновь создаваемые виртуальные УТЦ и УТП. Создание ЕСОТ позволит обеспечить высокое качество повышения квалификации, реальное эффективное планирование обучения и тренажа персонала всей отрасли. Применение предложенных принципов и методов виртуализации в процессе создания ЕСОТ позволит значительно уменьшить затраты на командировочные затраты обучаемых.

1. *Самойлов В.Д., Колесников С.В., Сляров В.Ф.* Пути создания региональной системы обучения и тренажа персонала // Энергетика и электрификация, 3, 1983. – С. 10-13.
2. *Гуреев В.А., Колесников С.В., Сябер Н.А.* Автоматизация противоаварийных тренировок оперативного персонала Минэнерго УССР на базе сети микро ЭВМ // Энергетика и электрификация, 4, 1989. – С.55-56.
3. *Публикации Ассоциации СИГРЭ-Украина* // Украинский национальный комитет Международного совета по большим электроэнергетическим системам IСIГRE: офиц. сайт общественной организации «Ассоциация СИГРЭ-Украина». – Текст. дан. – К., 2014-2015. – Режим доступа: http://sigre.org.ua/ru_co1_publikacii_associacii_sigre-ukraina.html (24.09.2015). – Название с экрана.
4. Модульная объектно-ориентированная динамическая обучающая среда // офиц. сайт Moodle. – Режим доступа: <https://moodle.org/> (24.09.2015). – Название с экрана.
5. *Аветисян Е.В., Гуреев В.А., Сангинова О.В.* Моделирование режимов, обучение и тренаж персонала с использованием виртуальной объединенной энергосистемы (ВОЭС) Ураины // Энергетика и электрификация, 9/14, 2014. – С. 28-35.
6. *Аветисян Е.В., Гуреев В.А., Сангинова О.В.* Розробка та застосування віртуальних ієрархічних структур для моделювання режимів, навчання і тренажу персоналу ОЕС України // Вісник вінницького політехнічного інституту, 1(124), 2016. – с. 101 – 107.
7. *Гуреев В.А., Сангинова О.В.* Інноваційне віртуальне середовище для навчання та тренажу персоналу ОЕС України // IV Наук.-практ. конф. Сучасні методи аналізу усталених режимів електричних мереж та стійкості електроенергетичних систем. Новітні досягнення у проведенні тренажерної підготовки оперативно-диспетчерського персоналу, 22 - 26 лютого 2016 р., с. Славсько, Україна.

В. К. Белик, канд. техн. наук
пенсионер.
(Украина, 03187, г. Киев, ул. Теремковская, д.13, кв.51,
e-mail: BilykVK@gmail.com)

От моделей переменного тока до нанокomпьютера

Известно, что основным элементом для построения электрических моделей системы линейных алгебраических уравнений является многополюсник, представляющий собою $n+1$ - лучевую звезду сопротивлений, соединенных в один узел ε , с n входами и одним выходом. Такой многополюсник описывается уравнением: Обычно моделирование одной строчки системы уравнений осуществляется путем сведения к нулю правой части приведенного уравнения, а именно: сведения к нулю значения потенциала ε с помощью усилителя с большим коэффициентом усиления.

В 1960 году Пухов Г. Е. и Борковский Б. А. предложили альтернативный путь сведения к нулю правой части уравнения, а именно, за счет сведения к нулю второго сомножителя – суммы собственных проводимостей узла ε [1]. Разумеется, это возможно лишь для цепей переменного тока с сопротивлениями, емкостями и индуктивностями. Но, из-за трудностей с миниатюризацией индуктивностей, тогда модели переменного тока были неконкурентоспособными по сравнению с моделями постоянного тока на основе микросхем. А недавно, в 2007, ситуация несколько неожиданно существенно изменилась. Американскими учеными при поиске возможностей дальнейшей миниатюризации элементов автоматики и вычислительной техники обнаружен новый нано-элемент: наноэлектромеханическая система (или структура) – НЭМС, представляющий собою резонансный четырехполюсник, в котором сочетаются электрические элементы - емкости и механический аналог индуктивности - нановибратор. На основе такого электромеханического резонансного четырехполюсника были предложены логические элементы НЕ и И-НЕ и – нанокomпьютер, на который получен американский патент [2,3].

На основании опыта и знаний, приобретенных во время аспирантуры, по исследованию моделей переменного тока, предложенных Пуховым Г. Е. и Борковским Б. А., было предложено альтернативный вариант технического решения для построения двоичного сумматора для нанокomпьютера и новый оригинальный способ двоичного сложения [4]. На способ и сумматор получены в 2014 году патенты Украины.

1. Пухов Г. Е., Борковский Б. А. Матричная модель системы алгебраических уравнений, Авт. свид. №141646, «Бюллетень изобретений», №19, 1961.
2. . A nanomechanical computer—exploring new avenues of computing. Robert H. Blick, Hua Qin, Hyun-Seok Kim and Robert Marsland. New Journal of Physics 9 (2007) 241, 1-9..
3. Nanomechanical computer. Patent US 2008/7,414,437 B1. Robert Blick and Robert Marsland.
4. Белик В.К., Боюн В.П., Климовская А.И., Палагин А.В. Синтез сумматора нанокomпьютера на основе резонансных электромеханических элементов. //УСиМ.- 2014. - №1. – С. 48 -56.

Г.А.Кравцов, кан.техн.наук,
Институт проблем моделирования в энергетике им. Г. Е. Пухова НАН Украины
(Украина, 03164, Киев-164, ул.Генерала Наумова, 15,
email: hryhoriy.kravtsov@gmail.com)

Дуальная мера на классификациях

Annotation: Methods for determination of graphs isomorphism are not applicable to the determination of classifications isomorphism because of ignoring the indivisibility of certain classes of classification. In some time structural similarity does not reflect the semantics of the classification, which is very important in determining the measures differences between the two classifications.

Ключові слова: классификация, полнота, корректность, мера, дуальность.

Постановка задачи. Актуальной задачей семантического поиска [1] является автоматическое нахождение близких по значению семантических единиц (слов). Если представить семантическую единицу как некоторую классификацию, то указанная выше задача сводится к нахождению меры между двумя классификациями. На основании анализа ряда работ, в частности [2-6], будем использовать термины в следующих значениях:

- классификация — ориентированное дерево, отражающее систему мерелогических или таксономических делений (далее - МТД);
- классифицирование — процесс построения классификации;
- определение классовой принадлежности — задача отнесения объекта к некоторому классу построенной ранее классификации с точностью, не ниже заданной;
- классифицированный объект — объект, в отношении которого была выполнена задача определения классовой принадлежности.

Мы утверждаем, что каждая классификация является ориентированным деревом [7], но не каждое ориентированное дерево является классификацией. Например, следующее ориентированное дерево не является классификацией (рис.1):

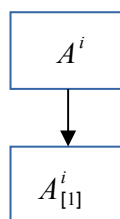


Рис.1. Ориентированное дерево, не являющееся классификацией.

Решение описанной выше задачи кажется нетривиальным, т. к. требуется найти семантическую близость исходя из известной проблемы формы и содержания в философии [8]: «Содержание и форма (репрезентант и репрезентация) должны соответствовать друг другу. При отсутствии теоретической дисциплины содержание уничтожает форму, а форма содержание. Это может привести к вырождению философской системы.»

Однако, чтобы гарантировать корректность нахождения некоторой меры между классификациями, следует потребовать корректности самих классификаций как исходных данных. Принципы корректного и эффективного классифицирования описаны Коротковым [9], несоблюдение которых ведёт к

ряду ошибок при построении классификаций [2], а именно: неполное деление, деление с излишними членами, сбивчивое деление, скачек в делении.

Формализм корректно построенной классификации. Мы утверждаем, что классификация - это ориентированное дерево [7], в узлах которого находятся математические классы, семантически определяющее систему МТД. Наше утверждение базируется на описании математического класса, а так же понятия конгломерата классов, данного в работе [10].

В работе [11] были выделены плоские и пространственные классификации. Следует сказать, что плоская классификация есть планарное ориентированное дерево с семантикой деления. Напомним, что согласно [11] A_I^i означает некоторый класс в плоскости деления классификации i с путём уточнения I , который однозначно определяет путь в графе.

Под корректно построенной плоской классификацией будем понимать такую систему МТД, при которой для двух классов классификации A_I^i и A_Y^i таких, что для относительных расстояний $R(A_I^i, A_I^i \cdot A_Y^i)$ и $R(A_Y^i, A_I^i \cdot A_Y^i)$ [11], таких что $R(A_I^i, A_I^i \cdot A_Y^i) = R(A_Y^i, A_I^i \cdot A_Y^i) = 1$, где выражение $A_I^i \cdot A_Y^i$ обозначает ассоциативную бинарную операцию обобщения классов классификации [11], выполняется следующая система равенств:

$$\begin{cases} \overline{Q}(A_I^i, A_I^i \cdot A_Y^i) = \overline{Q}(A_Y^i, A_I^i \cdot A_Y^i) \\ \overline{Q}(A_I^i, A_Y^i) = 0.5 \end{cases} \quad (1)$$

Система уравнений (1) и требование $R(A_I^i, A_I^i \cdot A_Y^i) = R(A_Y^i, A_I^i \cdot A_Y^i) = 1$ (которое подразумевает, что классы A_I^i и A_Y^i одного и того же ранга $K+1$) следует понимать так: «Если у произвольного класса $A_I^i \cdot A_Y^i$ ранга K существует не менее двух уточняющих классов A_I^i и A_Y^i ранга $K+1$, то мера отличия между классами одной классификации [11] на плоскости деления (измерении) $\overline{Q}(A_I^i, A_Y^i)$ есть величина постоянная, равная 0.5, независимо от выбора A_I^i и A_Y^i , если $I \neq Y$ ».

Следствием из сказанного выше является требование, что у любого класса, являющегося вершиной ориентированного дерева — классификации, должно быть не менее 2 уточняющих классов, ранг которых на единицу больше от ранга произвольно выбранного класса, или не должно быть ни одного. Именно поэтому не каждое произвольное ориентированное дерево является классификацией.

Интуитивно понятно, при делении класса на уточняющие классы можно допустить ошибку $E(A_I^i, A_Y^i) = 0.5 - \overline{O}_o(A_Y^i, A_I^i)$, где $\overline{O}_o(A_Y^i, A_I^i)$ - наблюдаемая мера отличия между классами одной классификации на плоскости деления (измерении), а $I \neq Y$. Случай $I = Y$ является исключением, так как ошибка $E(A_I^i, A_Y^i)$ есть линейная функция от относительного расстояния $R(A_I^i, A_Y^i)$, которое при $I = Y$ равно нулю [11]. Поэтому, мы можем говорить только об ошибке при наблюдении меры между двумя разными классами. В таком случае, определим

ошибку при наблюдения меры отличия между двумя разными классами как разность между теоретической мерой отличия, равной 0.5, и наблюдаемой мерой в виде

$$\begin{cases} \overline{Q}(A_I^i, A_I^i \cdot A_Y^i) = \overline{Q}(A_Y^i, A_I^i \cdot A_Y^i) = 1 \\ E(A_I^i, A_Y^i) = 0.5 - \overline{O}_o(A_Y^i, A_I^i) \end{cases}, \quad (2)$$

где

- $\overline{O}_o(A_Y^i, A_I^i)$ - наблюдаемое значение меры отличия между двумя классами A_I^i и A_Y^i ;
 - $E(A_Y^i, A_I^i)$ - ошибка наблюдения меры отличия, такая что $-0.5 \leq E(A_Y^i, A_I^i) \leq 0.5$, если $I \neq Y$, и $E(A_Y^i, A_I^i) = 0$, если $I = Y$.

Очевидно, что если некоторый класс A^i делится на N классов $A_{[j]}^i$, где $j = \overline{1, N}$, то существует N^2 неуникальных значений $E(A_{[j]}^i, A_{[k]}^i)$, где $k = \overline{1, N}$. Т. к. $\overline{O}_o(A_{[j]}^i, A_{[k]}^i) = \overline{O}_o(A_{[k]}^i, A_{[j]}^i)$ [11], то $E(A_{[j]}^i, A_{[k]}^i) = E(A_{[k]}^i, A_{[j]}^i)$ согласно (2).

Теоретически количество уникальных значений $E(A_{[j]}^i, A_{[k]}^i)$ равно $\frac{N^2 - N}{2}$.

Среднее абсолютное значение ошибки наблюдения меры отличия составит

$$\overline{E}(A^i) = \frac{1}{N^2 - N} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N |E(A_{[j]}^i, A_{[k]}^i)|, \quad (3)$$

где $|E(A_{[j]}^i, A_{[k]}^i)|$ - абсолютное значение ошибки. Очевидно, что если мера отличия $\overline{O}_o(A_Y^i, A_I^i) = 0.5$ для любых двух классов, удовлетворяющих (2) и таких, что $I \neq Y$, то $\overline{E}(A^i) = 0$. По сути, величина (3) представляет собой интегральный показатель согласованности (усреднённую ошибку) деления класса ранга K на классы ранга $K + 1$ и удовлетворяет условию $0 \leq \overline{E}(A^i) \leq 0.5$.

Рассмотрим в качестве примера некоторую плоскую классификацию на рис.2.

На рис.2 заменим обозначения классов на интегральный показатель согласованности деления $\overline{E}(A^i)$ класса ранга K на классы ранга $K + 1$:

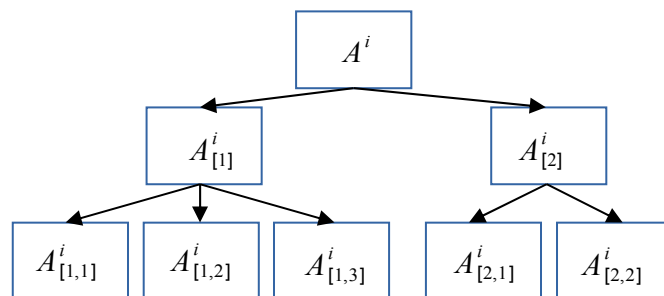


Рис.2. Классификация.

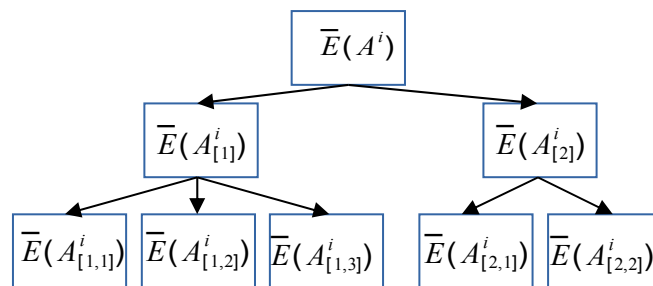


Рис.3. Распределение интегрального показателя согласованности.

Очевидно, что интегральный показатель согласованности деления $\bar{E}(A^i)$ в листьях деревьев равен нулю согласно (3). Количественный показатель согласованности (англ.: consistency) плоской классификации определим как

$$C(A^i) = \sum_I \bar{E}(A^i_I) \left(R(A^i_I, A^i) + 1 \right)^M, \quad (4)$$

где I - множество известных путей уточнения классификации A^i , M - среднее число уточняющих классов в узлах ориентированного дерева, не являющихся листьями (параметр полноты).

На рис.2 заменим обозначения классов с рангом K числами, равными количеству уточняющих классов с рангом $K + 1$:

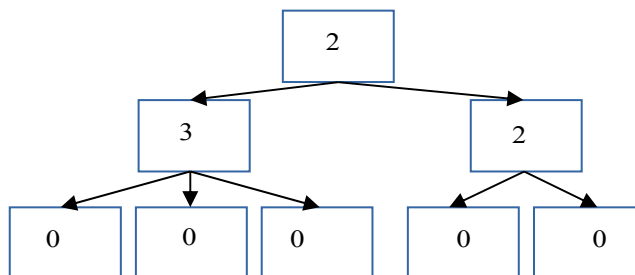


Рис.4. Представление классификации с рис.2 через количество уточняющих классов.

Очевидно, что на рис.4 нулями обозначены листья дерева. Для классификации на рис.4 параметр полноты будет равен

$$M = \frac{2+3+2}{3} = 2.(3). \quad (5)$$

Мы видим, что для полных ориентированных деревьев M есть арность (для полного бинарного ориентированного дерева $M = 2$).

Семантически, (4) есть интегральная оценка внутренней согласованности плоской классификации A^i , которая находит применение при оценке относительной компетентности в обсуждаемом вопросе членов группы при принятии групповых решений [12], где обсуждаемым вопросом является некоторая классификация.

Введём понятие вертикально полной классификации, означающее такую классификацию, представимую ориентированным деревом, у которой классы, представляющие собой листья ориентированного дерева, неделимы.

Горизонтально полной классификацией назовём классификацию, у которой каждый обобщающий класс поделён на уточняющие классы, так, что уточняющие классы покрывают все возможные варианты деления и между двумя различными уточняющими классами мера отличия удовлетворяет условию (1).

Полной корректной классификацией назовём такую классификацию, которая является горизонтально полной и вертикально полной одновременно.

Из определения полной корректной классификации следует, что каждый уточняющий класс, имеющий уточняющие классы, является полной корректной классификацией. Это позволяет определить метод нисходящей декомпозиции: любая полная корректная классификация может быть разложена на составляющие исключительно путём перечисления полных корректных классификаций уточняющих классов.

Рассмотрим классификацию с рис.2, а так же следующие классификации:

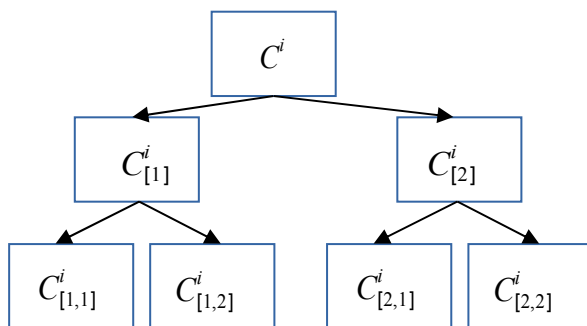


Рис.5. Классификация

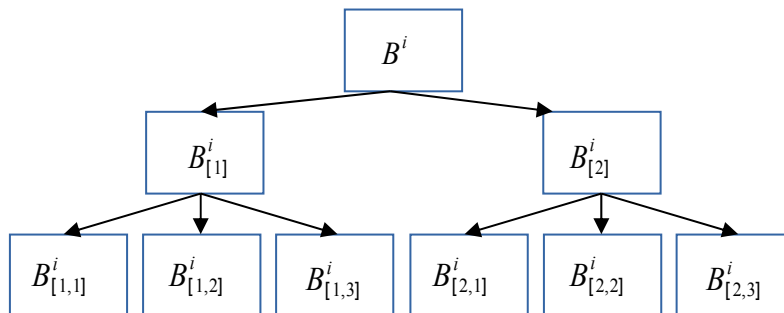


Рис.6. Классификация С

Представим классификацию А в виде декомпозиции. Согласно данному выше определению, получим две полные классификации:

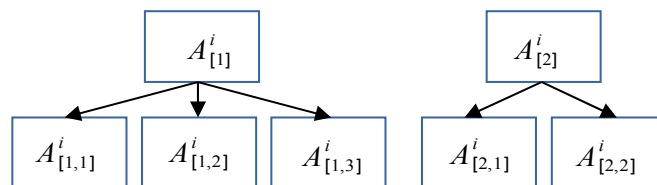


Рис.7. Декомпозиция классификации А

Выполним декомпозицию полных корректных классификаций B и C :

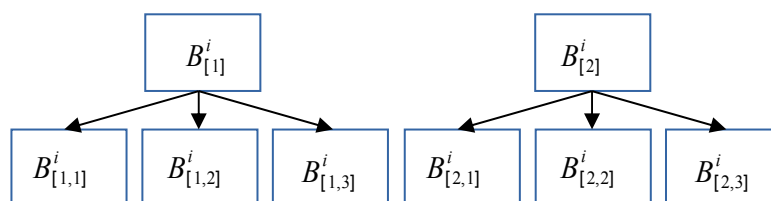


Рис.8. Декомпозиция классификации B

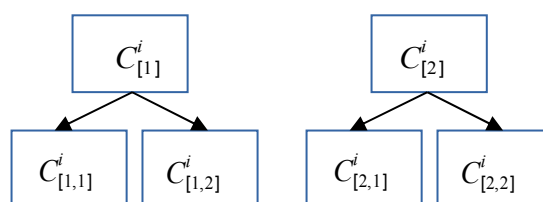


Рис.9. Декомпозиция классификации C

Описанный выше принцип декомпозиции имеет принципиальное значение при определении структурного отличия двух классификаций.

Изоморфность классификаций. Структурную меру отличия определим как изоморфизм классификаций. Напомним, что в теории графов изоморфизмом графов $G = V_G, E_G$ и $H = V_H, E_H$ называется биекция между множествами вершин графов $f : V_G \rightarrow V_H$ такая, что любые две вершины u и v графа G смежны тогда и только тогда, когда вершины $f(u)$ и $f(v)$ смежны в графе H . Здесь графы понимаются неориентированными и не имеющими весов вершин и ребер. В случае, если понятие изоморфизма применяется к ориентированным или взвешенным графам, накладываются дополнительные ограничения на сохранение ориентации дуг и значений весов.

Существует множество работ, посвящённые вопросу изоморфизма графов. Так, например, автор [13] предложил подход, позволяющий производить поиск изоморфных пересечений двух графов за полиномиальное время (не более чем $O(n^4)$), отталкиваясь от одного из двух известных подходов - поиск максимального изоморфного пересечения и минимального количества редактурирований (Minimal Edit Distance, MED). Хотя эти два подхода отличаются друг от друга, согласно результатам, полученным в [14], меры подобия, полученные этими путями, зависят друг от друга линейно. Так «в методах MED вводятся операторы редактурирования графа, такие, как удаление, добавление, замещение вершин и т.д. Существует набор таких операторов, который преобразует один граф в другой. Минимальный из таких наборов определяет меру подобия между графами.

В методах, основанных на поиске максимального изоморфного пересечения, для двух графов производится поиск пар подграфов, принадлежащих этим двум графам, которые являются изоморфными друг другу и определяют изоморфное пересечение. Изоморфное пересечение, имеющее максимальное количество

вершин, определяет меру подобия между графами. Вообще говоря, задача поиска максимального изоморфного пересечения является NP -полной и не решается за полиномиальное время, но на настоящий момент разработано множество методов, позволяющих путём введения некоторых ограничений и дополнительных условий решать данную задачу за полиномиальное время», например [15].

Однако, предложенные в [13, 15] и в аналогичных работах подходы не могут быть использованы для классификаций, т. к. они находят любые два изоморфные подграфа, игнорируя требование неделимости листьев ориентированного дерева классификации.

Код Прюфера [16], позволяющий записать дерево n -го порядка (т. е. с пронумерованными вершинами) последовательностью $n - 2$ его вершин, оказывается бесполезным для кодирования ориентированного дерева, так как не позволяет отразить ориентацию рёбер при произвольном нумеровании вершин. Напомним, что кодирование Прюфера переводит помеченные деревья порядка n в последовательность чисел от 1 до n по алгоритму: пока количество вершин больше двух, выбирается лист v с минимальным номером и в код Прюфера добавляется номер вершины, смежной с v , а вершина v и инцидентное ей ребро удаляются из дерева.

Однако, если положить, что существует некоторый строгий алгоритм нумерации вершин классификации, то код Прюфера может оказаться полезным.

Восходящий ранговый принцип разметки : любая вершина классификации ранга K имеет больший номер разметки, чем любая вершина ранга $K + 1$.

Согласно восходящему ранговому принципу разметки, одним из возможных вариантов разметки классификации, изображённой на рис.2, может быть:

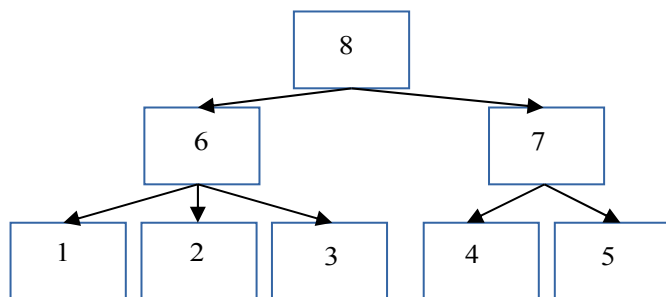


Рис.10. Вариант разметки классификации с рис.2.

Несложно показать, что код Прюфера для ориентированного дерева с рис.5 будет выглядеть как «6,6,6,7,7,8». Можно увидеть, что при восходящем ранговом принципе разметки код Прюфера указывает на корень дерева «8». Более короткая запись может быть представлена как «6³7²8¹», где корень дерева «8».

Мы видим, что у «7» существует два уточняющих класса, а у «6» - три. Но у «8» в коде значится только один уточняющий класс, что не соответствует действительности. Данный факт — следствие из алгоритма формирования кода Прюфера и чтобы ответить на вопрос сколько всего уточняющий классов первого ранга у классификации, достаточно показатель степени при корне увеличить на единицу. Для удобства будем использовать запись «6³7²8²» которую будем называть модифицированным кодом Прюфера.

Рассмотрим следующую классификацию, которая изоморфна классификации с рис.2:

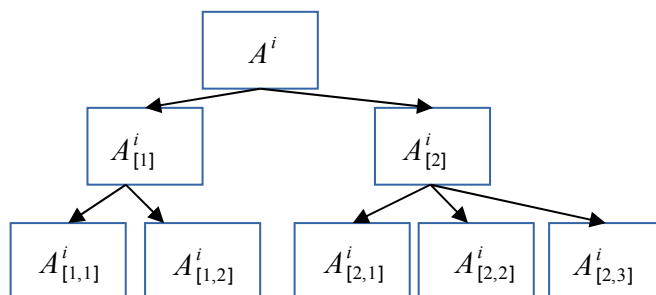


Рис.11. Изоморфная классификация (по отношению к классификации с рис.2)

Представим вариант разметки классификации с рис.11 согласно восходящему принципу:

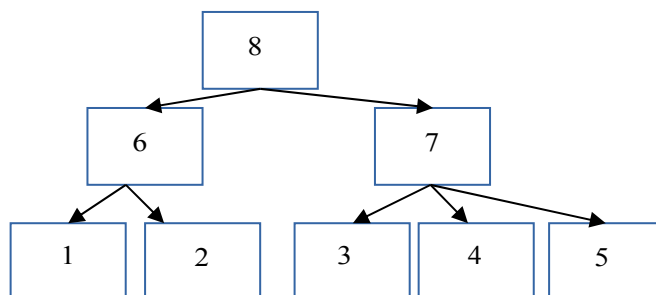


Рис.12. Разметка классификации (рис.11)

Снова выпишем код Прюфера для классификации, изображённой на рис.12 «6,6,7,7,7,8» и представим его в виде модифицированного кода «6²7³8²».

Итак, для двух изоморфных классификаций на рис.2 и рис.10, мы получили модифицированные коды «6³7²8²» и «6²7³8²» соответственно. Очевидно, что решающую роль играет число уточняющих классов классификаций, что может рассматриваться как критический параметр алгоритма нумерации вершин классификации. Из рис.4 видно, что он определяет результат разметки рис.10 согласно следующему принципу.

Восходящий рангово-арный принцип разметки. Любая вершина классификации ранга K имеет больший номер разметки, чем любая вершина ранга $K + 1$, при условии, что для любых двух вершин ранга K , вершина с большим числом уточняющих классов имеет меньший номер разметки и ее уточняющие классы имеют меньшие номера разметки, чем уточняющие классы класса с меньшим числом уточняющих классов.

Очевидно, что восходящая рангово-арная разметка есть вариант восходящая ранговой разметки. Для классификации с рис.2 восходящая рангово-арная разметка показана на рис.12. Выполним рангово-арную разметку для изоморфной классификации с рис.11:

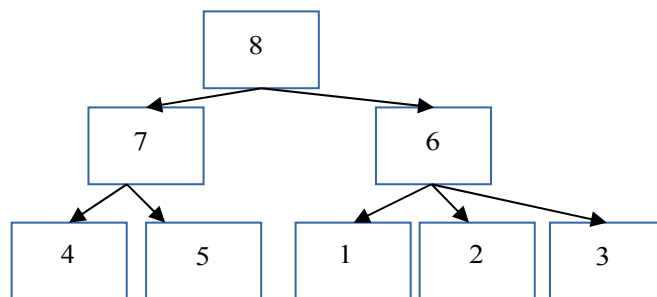


Рис.13. Разметка изоморфной классификации

Выпишем код Прюфера для классификации с разметкой на рис.13 «6,6,6,7,7,8» и представим его в виде модифицированного кода « $6^3 7^2 8^2$ ». Полученный код совпадает с кодом при восходящей рангово-арной разметке изоморфной классификации на рис.2, из чего можно сделать следующее заключение: «Если модифицированный код Прюфера ориентированного дерева, размеченного согласно восходящему рангово-арному принципу, совпадает, то ориентированные деревья изоморфны».

Так как мы ранее положили, что мы не стеснены в выборе принципов разметки, допустим, что следующий принцип имеет место.

Нисходящий ранговый принцип разметки : любая вершина классификации ранга K имеет меньший номер разметки, чем любая вершина ранга $K+1$. Представим вариант разметки классификации с рис.2 согласно нисходящему ранговому принципу.

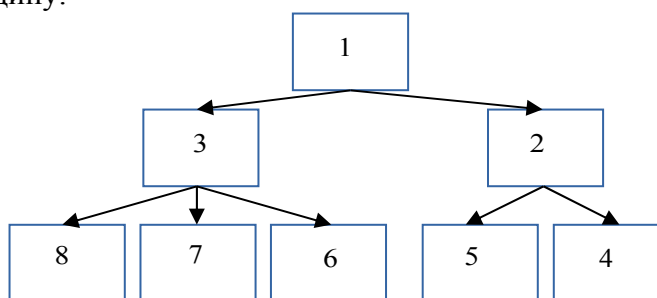


Рис.14. Разметка согласно нисходящему принципу

Выпишем код Прюфера для классификации, согласно разметке рис.14 «2,2,3,3,3,1» и представим его в виде модифицированного кода « $2^2 3^3 1^2$ ». Следует обратить внимание, что «1» - корень ориентированного дерева.

Если по коду « $6^2 7^3 8^2$ » видно, что в классификации 8 классов по «8», которая представляет собой корень, то как понять, что код « $2^2 3^3 1^2$ » так же представляет классификацию из 8 классов? Все очень просто: если к сумме степеней модифицированного кода добавить единицу, то получим количество классов классификации (вершин ориентированного дерева).

Сведём в таблицу 1 некоторые свойства модифицированного кода Прюфера для классификаций на примере классификации с рис.2:

Но, к сожалению, сформулированный нисходящий ранговый принцип разметки не позволяет судить об изоморфности классификаций, поэтому мы уточним его.

Таблица 1. Свойства модифицированного кода Прюфера на примере

Свойство классификации	Значение	Алгоритм получения значения из модифицированного кода Прюфера	
		Восх.: «6 ² 7 ³ 8 ² »	Нисх.: «2 ² 3 ³ 1 ² »
Количество классов	8	Сумма степеней кода, увеличенная на единицу: $2 + 3 + 2 + 1 = 8$	
Количество листьев	5	Равно количеству классов минус количество уникальных оснований в модифицированном коде Прюфера $8 - 3 = 5$	
Максимальный ранг класса в классификации	2	Начинаем с корня, который записан как самое правое число. Ранг корня классификации равен нулю [11]. Степень корня показывает, сколько элементов кода имеет ранг, на единицу больший, чем ранг корня, т.е.1. Таких чисел 2. Последним числом, имеющим ранг 1, есть последнее число в модифицированном коде, а так как в модифицированном коде не отражены уточняющие классы, то максимальный ранг равен 2.	
Параметр полноты M	2.(3) согласно (5)	$\frac{2+3+2}{3} = 2.(3)$	

Нисходящий рангово-арный принцип разметки: любая вершина классификации ранга K имеет меньший номер разметки, чем любая вершина ранга $K+1$, при условии, что для любых двух вершин ранга K , вершина с большим числом уточняющих классов имеет меньший номер разметки и ее уточняющие классы имеют меньшие номера разметки, чем уточняющие классы класса с меньшим числом уточняющих классов.

Представим вариант разметки классификации с рис.2 согласно нисходящему рангово-арному принципу.

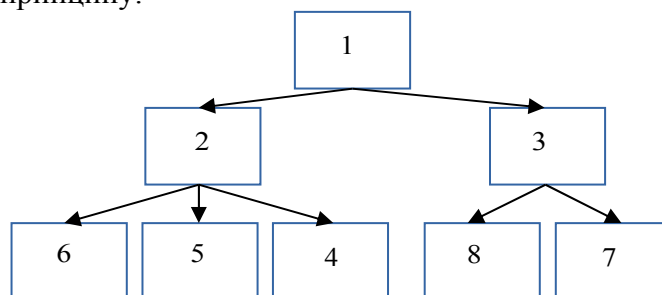


Рис.15. Разметка согласно нисходящему рангово-арному принципу

Выпишем код Прюфера для классификации, согласно разметке рис.15 «3,3,2,2,2,1» и представим его в виде модифицированного кода « $3^2 2^3 1^2$ ».

Итак, для одной и той же классификации с рис.2. получим следующие коды:

Из табл.2 становится очевидным, что порядок следования степеней модифицированного кода Прюфера не зависит от выбора направления рангово-арного принципа разметки (восходящий или нисходящий), т.е. для подтверждения изоморфности двух классификаций достаточно получить степени модифицированного кода Прюфера.

Таблица 2. Сравнение кодов рангово-арных принципов разметки

Изображение классификации	Рангово-арный принцип разметки	
	Восходящий	Нисходящий
Рис.2	« $6^2 7^3 8^2$ »	« $3^2 2^3 1^2$ »

Очевидно, что записи «2,3,2», которую назовём рангово-арным кодом, достаточно, чтобы восстановить структуру классификации. Покажем это для двух подходов разметки:

Таблица 3. Восстановление дерева, закодированного рангово-арных принципами разметки

Шаг восстановления структуры классификации по рангово-арному коду «2,3,2»	Рангово-арный принцип разметки	
	Восходящий	Нисходящий
Восстановление количества классов в классификации	2 + 3 + 2 + 1 = 8	
Восстановление модифицированного кода Прюфера	« $6^2 7^3 8^2$ »	« $3^2 2^3 1^2$ »
Короткая форма кода Прюфера	« $6^2 7^3 8^1$ »	« $3^2 2^3 1^1$ »
Полная форма кода Прюфера	«6,6,7,7,7,8»	«3,3,2,2,2,1»
Графическое представление дерева с разметкой	Рис.12	Рис.15
Исходная классификация (ориентированное дерево)	Рис.2	

Как показано в таб.3, ориентированные деревья, как математическую формализацию классификаций, можно закодировать меньшим количеством символов, чем это определено теоремой Кэли. При использовании рангово-арных принципов разметки, длина кодирующей последовательности равна количеству классов, которые не являются листьями ориентированного дерева.

Применимость нисходящего и восходящего рангово-арных принципов разметки при программировании. Объективно, восходящий рангово-арный принцип разметки с точки зрения практики программирования на язык высокого уровня уступает нисходящему по следующим причинам:

1. При добавлении вершины в классификацию или при удалении вершины из классификации при восходящем рангово-арном принципе придётся переразмечать все оставшиеся вершины, что не придётся делать при нисходящем рангово-арном принципе, т. к. при нисходящем рангово-арном принципе разметка корня дерева никогда не меняется.

2. Структура данных, представляющая дерево, передаётся указателем на корень и рекурсивная разметка, начинающаяся с корня, является приоритетной, что делает использование нисходящего рангово-арного принципа разметки целесообразным.

Рангово-арная структура и проверка корректности рангово-арного кода.

Рангово-арная структура данных — это структура данных, отражающая структуру классификации согласно рангово-арного принципа разметки, где рангу ставится в соответствие упорядоченный согласно нисходящему или восходящему . Например, для кода «2,3,2» описательно алгоритм выглядит следующий образом, учитывая, что код читается справа на лево (т. е. с конца):

1. Выписываем первое значение степени, которое соответствует нулевой арности:

Ранг	Показатели степени	Число классов		
		Ожидаемое	Реальное	Ошибка
0	2	1	1	0

2. Сумма показателей степеней говорит, что следует ожидать два показателя степени, релевантных первому рангу:

Ранг	Показатели степени	Число классов		
		Ожидаемое	Реальное	Ошибка
0	2	1	1	0
1	2, 3	2	2	0

3. Т.к. мы выбрали все показатели степеней из «2,3,2», то построение рангово-арной структуры данных завершено.

Следует обратить внимание, что число ожидаемых классов нулевого ранга всегда равно 1 по определению, т. к. указывает на корень дерева. Каждая последующая строка в колонке ожидаемое число содержит сумму показателей степеней предыдущей строки. На этом факте и базируется подход в проверке корректности рангово-арного кода. Например, рассмотрим код «2,3,3» в виде рангово-арной структуры:

Ранг	Показатели степени	Число классов		
		Ожидаемое	Реальное	Ошибка
0	3	1	1	0
1	2, 3	3	2	1

Не сложно увидеть, что предложенная структура данных позволяет определить является ли некоторая последовательность чисел рангово-арным кодом.

Представим A , B и C в виде кортежа модифицированных кодов Прюфера в комбинации с рангово-арной разметкой:

Таблица 4. Кортежи модифицированных кодов Прюфера

Классификация	Кортеж модифицированных кодов Прюфера, определяющий декомпозицию классификации	Соответствующие изображения
A	$(2,3,2), (3), (2)$	рис.1, рис.4
B	$(3,3,2), (3), (3)$	рис.2, рис.5
C	$(2,2,2), (2), (2)$	рис.3, рис.6

Воспользовавшись идеей меры Жаккара [17], определим структурную меру подобия кортежей как $\bar{I}(X,Z)$ единица минус отношение количества одинаковых кодов в кортежах к сумме количества одинаковых (неуникальных) кодов и количества отличных (уникальных) кодов в кортежах, где X,Z - некоторые полные корректные классификации.

Мера $\bar{I}(X,Z)$ является мало пригодной. Например, для классификаций D и F мера отличия равна $\bar{I}(D,F)=1.0$:

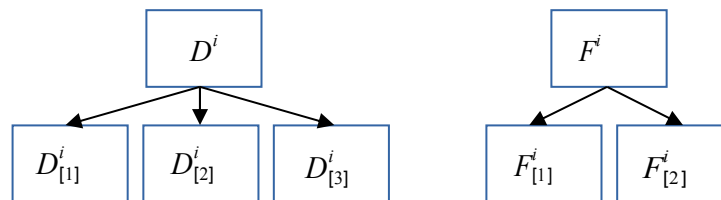


Рис.16. Мера $\bar{I}(D,F)=1.0$ для классификаций D и F .

Казалось бы, $\bar{I}(D,F)=1.0$ для классификаций D и F свидетельствует, что классы, которые делимы на разное число уточняющих классов, являются абсолютно разными классами, а система деления таких классов - разными классификациями. Но если внимательно посмотреть на две классификации, которые могут быть представлены кодами $(2,3,4,3)$ и $(2,3,2)$, то согласно декомпозиции $\bar{I}((2,3,4,3),(2,3,2))=1-\frac{2}{5}=0.6$, что говорит о том, что уточнение неделимых классов классификаций D и F могло бы значительно уменьшить меру отличия двух классификаций.

Понятно, что рассмотренный выше пример является выбранным специально в целях иллюстрации поведения меры структурного отличия. Так же очевидно, что для классификаций, закодированных последовательностями (k,k,\dots,k,m) и (n,n,\dots,n,m) , где $n,k \geq 2$, $k \neq n$ и $k,n,m \in N$, мера структурного отличия $\bar{I}((k,k,\dots,k,m),(n,n,\dots,n,m))=1$.

Таблица 5. Декомпозиция модифицированных кодов Прюфера

Модифицированный код Прюфера	Кортеж модифицированных кодов Прюфера, определяющий декомпозицию классификации
(2,3,4,3)	(2,3,4,3), (2), (3), (4)
(2,3,2)	(2,3,2), (2), (3)

Становится понятным, что определить является ли одна классификация классом другой по кортежу модифицированных кодов Прюфера не представляет сложности. Для этого достаточно выполнить шаги как показано ниже:

Таблица 6. Иллюстрация определения вложения одной классификации в другую

Шаг (представление)	Классификация	
	A (рис.2)	D (рис.16)
Модифицированный код Прюфера	2,3,2	3
Кортеж модифицированных кодов Прюфера, определяющий декомпозицию классификации	(2,3,2), (3), (2)	(3)
Определение кортежа с минимальной длиной	Длина кортежа: 3 (кортеж с максимальной длиной)	Длина кортежа: 1 (кортеж с минимальной длиной)
Самый длинный код кортежа	(2,3,2)	(3)
Содержит ли кортеж с максимальной длиной наиболее длинный код из кортежа с минимальной длиной	Да: (3)	

Следовательно, для того, чтобы утверждать содержит ли одна классификация другую, достаточно ответить на вопрос содержит ли кортеж модифицированных кодов Прюфера с максимальной длиной наиболее длинный код из кортежа с минимальной длиной.

Синонимичность и дуализм меры отличия. Выдвинем следующую гипотезу: если у двух классификаций совпадает структура и все классы, кроме класса нулевого ранга, то классы нулевого ранга этих классификаций семантически есть синонимы. Напомним, что синонимами в биологической таксономии называют два или более названия, относящиеся к одному и тому же биологическому таксону [3].

Проиллюстрируем выдвинутую гипотезу на примерах:

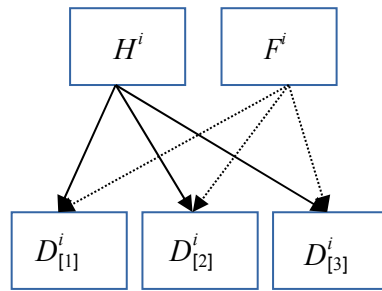


Рис.17. Классификации H и F с одинаковой структурой и одинаковыми неделимыми классами.

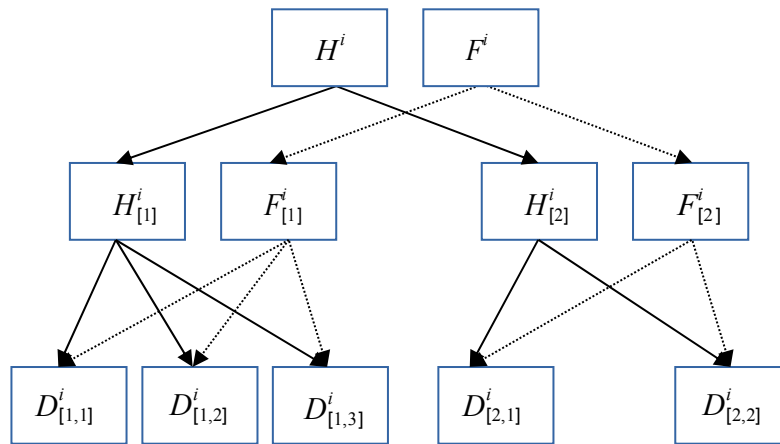


Рис.18. Классификации H и F с одинаковой структурой и одинаковыми неделимыми классами.

Очевидно, что если выдвинутая гипотеза верна для классификаций на рис.17, то по индукции она верна для классификаций на рис.18 и, как следствие, можно допустить следующий вывод: «Две классификации являются синонимичными, если у них одинаковые неделимые классы».

Это позволяет нам ввести ещё одну меру на классификациях — меру несинонимичности, которая эквивалентна множественной мере Жаккара [17] для множеств неделимых классов двух классификаций:

$$\bar{S}(A, B) = 1 - \frac{n(L(A) \cap L(B))}{n(L(A) \cup L(B))},$$

где $\bar{S}(A, B)$ - мера несинонимичности, $n(L(A))$ - мощность множества неделимых классов классификации A , $L(A)$ - множество неделимых классов классификации A , $n(L(B))$ - мощность множества неделимых классов классификации B и $L(B)$ - множество неделимых классов классификации B .

Как было показано выше, для двух классификаций A и B могут быть определены две меры - мера структурного отличия $\bar{I}(A, B)$ и мера несинонимичности $\bar{S}(A, B)$, где мера $\bar{I}(A, B)$ отвечает за форму, а мера $\bar{S}(A, B)$ - за содержание.

Дуальная мера отличия классификаций есть двойка вида:

$$M(A, B) = \bar{I}(A, B), \bar{S}(A, B),$$

отражающая известную проблему формы и содержания в философии [8].

Вывод. Показано, что решение актуальной задачи семантического поиска сводится к нахождению меры отличия между двумя классификациями, которая имеет дуальную природу и предложена как двойка мер структурного отличия и несинонимичности, отражающая известную проблему формы и содержания в философии.

1. *Басипов А.* Семантический поиск: проблемы и технологии / А.А.Басипов, О.В.Демич // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика, № 1/ 2012. - Астрахань, 2012. - с.104-11.
2. *Ильев Ю.В.* Логика / Ю. В. Ильев // ТК «Велби», Изд-во «Перспектив». - Москва, 2008. - 304 с.
3. *Шаталкин А.И.* Таксономия. Основания, принципы и правила / А.И.Шаталкин // Товарищество научных изданий КМК. - Москва, 2012. - 600 с.
4. *Ушаков Д.Н.* Толковый словарь русского языка / Д.Н.Ушаков // Альфа-Принт. - Москва, 2005. - 1216 с.
5. *Вьюгин В.* Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования / В. В. Вьюгин. - Москва, 2013. - 387 с.
6. *Голдблатт Р.* Топосы. Категорный анализ логики / Р. Голдблатт // Мир. - Москва, 1983. - 488 с.
7. *Альфс Берзтисс.* Структуры данных / А.Т. Берзтисс //Статистика. - Москва, 1974. — 408 с.
8. *Карелина Е.В.* Теоретическая строгость как соответствие системы и метода в философии. Монография / Е.В.Карелина // Сибирский федеральный университет. - Красноярск, 2012. - 120 с.
9. *Коротков Э.* Исследование систем управления / Э.М.Коротков // ДеКА. - Москва, 2004. - 336 с.
10. *Adamek J.* Abstract and Concrete Categories. The Joy of Cats. / Juri Adamek, Horst Herrlich, George E.Strecker. Available: <http://katmat.math.uni-bremen.de/acc/acc.pdf>. [Access: February of 2016]
11. *Кравцов Г.* Модель вычислений на классификациях / Г.А.Кравцов // Электронное моделирование, №1, том 38. - Киев, 2016. - с.73-87.
12. *Тоценко В.Г.* Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект / В.Г. Тоценко //Наукова думка. - Киев, 2002. – 382 с.
13. *Агарков А.В.* Метод сравнения двух графов за полиномиальное время / А.В. Агарков // Искусственный интеллект, №4. - Донецк, 2003. - с.172-184.
14. *Bunke H.* On a relation between graph edit distance and maximum common subgraph // Pattern Recognition Letters. – 1997. – Vol. 18. – P. 689-694.
15. *B.T. Messmer and H. Bunke.* Subgraph Isomorphism in Polynomial Time. University of Bern, Institut für Informatik und angewandte Mathematik. - [On-line] Available from: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.43.870&rep=rep1&type=pdf>. [Accessed: March, 2016]
16. *Касьянов В.Н.* Графы в программировании: обработка, визуализация и применение / В.Н.Касьянов, В.А.Евстигнеев // БХВ-Петербург. - Санкт-Петербург, 2003. - 1104 с.
17. *Семкин Б.И.* Аксиоматическое введение мер сходства, различия, совместимости и зависимости для компонентов биоразнообразия / Б.И.Семкин, М.В.Горшков // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление, № 4. - 2008. - с. 31-46.

СОДЕРЖАНИЕ

1.	<i>B. B. Петров, А. А. Крючин</i> Применение оптических сапфировых дисков для хранения стратегически важной информации	7
2.	<i>A.B. Палагин</i> Ontology conception of transdisciplinary scientific research	11
3.	<i>Oliver Sawodny</i> Model-Based Optimization methods for operational strategies and layout optimization at the example of Hybrid Energy Systems	18
4.	<i>Volodymyr Kushnarenko, Jürgen Salk, Christian Mosch, Karsten Siegmund, Matthias Neuer, Stefan Kombrink, Thomas Nau, Stefan Wesner</i> Computational chemistry optimized cluster JUSTUS. Problem oriented approach and architecture.	19
5.	<i>Masha Sosonkina, Gary Lawson, Vaibhav Sundriyal, Yuzhong Shen</i> Energy Modeling for CoMD Offloaded to Intel Xeon Phi	20
6.	<i>V.A. Svyatnyu, M. Resch, O.A. Zolotukhina</i> Blockorientierte Simulationssprache der parallelen Simulationstechnik	28
7.	<i>C. E. Саух</i> Стабилизированный метод ускоренного решения вариационных неравенств большой размерности	37
8.	<i>K.B. Агеев</i> Исследование струйно-вихревых процессов в энерготехнологическом оборудовании методами имитационного и численного CFD-моделирования	49
9.	<i>О. А. Дмитриева</i> О модификации методов типа Биккарта для расширения области устойчивости	53
10.	<i>V. K. Dobrovolsky</i> Microprocessor with Tagged Registers	57
11.	<i>Е.Е. Федоров, Ю.Л. Дикова</i> Мультиагентная система прогноза состояния рудничной атмосферы	61
12.	<i>D. Khlopov, M. Mangold</i> Программное средство для автоматического упрощения моделей дифференциально-алгебраических систем с помощью метода истинного ортогонального разложения	65
13.	<i>В. М. Карпенко</i> Основні теореми енергоінформаційного аналізу динаміки фізичних точок	69
14.	<i>Aleksandr Katkow</i> Additive Algorithm for Lossy Data Compression	73

15. *О.Г.Додонов, О.С.Горбачик, М.Г.Кузнецова* Комп'ютерне моделювання та розробка систем організаційного управління 77
16. *А. Ф. Верлань, К. Н. Ключка, А. А. Сытник, С. Ю. Протасов* О некоторых особенностях применения интегральных уравнений в вопросе анализа динамики электрических цепей 81
17. *М.А. Беляева* Моделирование производственного процесса и анализа объема продаж продукции с использованием современных программных средств 85
18. *Е.С. Дорошенко, К. В. Левченко* Практика применения сверточных нейронных сетей для распознавания эмоций 93
19. *Р. Коляда, К.В. Максименко-Шейко, Т.И. Шейко* R-функции в математическом моделировании физических полей в топливной кассете ТВЭЛов 97
20. *А. Л. Масюк* Реализация стека недавних действий для визуальных средств редактирования моделей данных 101
21. *И. В. Мельник, А. О. Лунтовский* Моделирование процесса охлаждения компьютерных узлов путём решения уравнения теплового баланса 105
22. *Seyedehmelina Meraji* Pre-Eminent Threats and Constraints in Mobile Ad-Hoc Network 109
23. *Г. І. Романишин, Р. І. Романишин* Розробка бази даних ультразвукових матеріалознавчих досліджень на основі реєстрації зворотньо розсіяного сигналу 112
24. *С. Е. Саух, А. В. Борисенко* Особенности представления электрических сетей в моделях конкурентного равновесия на рынке электроэнергии 115
25. *I. Spica* Business environment model in Latvia 123
26. *І.А. Жуков, М.К. Печурін* Моделі розподілу ресурсів в обчислювальному кластері 127
27. *I. V. Zaitseva, M. V. Popova* Economic and mathematical methods of management of labor potential of the region 131

28. *В.О. Артемчук, І.П. Каменева, А.В. Яцишин* Этапы побудови гібридної інтелектуальної системи для задач екологічної безпеки 135
29. *И. З. Ашур* Система 2D рендеринга с использованием интерфейса OpenGL ES 2.0, особенностей и техник VBO/Sprite Batch 139
30. *Р.В. Барсук, А.А. Чернойван* Моделювання системи завантаження палива 143
31. *З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко* Модель прогноза оптовой цены покупки электроэнергии в условиях изменения цен на энергоносители 147
32. *В. Л. Верецагин, Л. А. Верецагин, Т. И. Прилипко* Принципы дидактики Я. А. Коменского и методы аналогий и моделирования в информационных технологиях современной музейной педагогики 151
33. *С.Д. Винничук* Модели и компьютерные средства для оценки эффективности противоаварийной частотной автоматики при возникновении значительных внезапных дефицитов активной мощности в энергосистеме 155
34. *Н.У, Утеулиев, И.Х. Сиддиков, Р.Ж. Алламуратов* Формализация процесса карбонизации кальцинированной соды как объекта управления 159
35. *Ю. Ю. Гаркуша* Защита от стороннего вмешательства в файлы, предназначенные для хранения наборов "ключ-значение" Android – приложений 162
36. *С. Я. Гильгурт* Задача множественного распознавания строк в интенсивном потоке данных и методы ее аппаратного ускорения 166
37. *В.С. Годлевский, В.П. Головченко* Уравнения объектов магистральных газотранспортных систем для штатных и реверсивных режимов 170
38. *В.С. Годлевский В.С., В.В. Годлевский* Об оценках трансформированных погрешностей решений систем линейных алгебраических уравнений 174
39. *Ю.Н. Груц* Принцип построения волнометрической 3D системы на основе комбинированной слоистости 178

40. *А.А. Кузнецов, И.Н. Белозерцев, А.В. Андрушкевич* Нелинейные узлы замен блочных симметричных шифров 183
41. *О. Г. Додонов, А. И. Кузьмичов* Моделювання ризиків у проектно-орієнтованому організаційному управлінні засобами стохастичної оптимізації середовища ASP 187
42. *Н. А. Куликовская, Р. К. Кудерметов* Модель распределенной компьютерной системы с семантическими веб-сервисами 191
43. *В. В. Кучанський* Імітаційна модель електропередачі надвисокої напруги для дослідження резонансних перенапруг 194
44. *Д. В. Ландэ, В. А. Додонов, Т.В. Коваленко* Информационные операции в компьютерных сетях: моделирование, выявление, анализ 197
45. *А.В.Латышев* О моделировании механизмов сознания 201
46. *Н. А. Литвинов* Компонент генерации шаблонов и библиотек JNI 205
47. *В.В.Максимова, С.И.Мазухина, Т.А.Черепанова, Т.Т.Горбачева* Применение физико-химического моделирования в экологических исследованиях 209
48. *Т.Т.Горбачева, С.И.Мазухина, Т.А.Черепанова, В.В.Максимова* Физико-химическое моделирование состава вод наземных экосистем Мурманской области РФ 213
49. *Ю. Л. Меньшиков* Лучшее для прогноза адекватное математическое описание динамических систем 217
50. *В. І. Ночвай, В. В. Циганок* Модель прийняття рішень з розподілу ресурсів між проектами в соціоекологічній системі 221
51. *А. Г. Додонов, В. Г. Пуятин, С. А. Куценко, А.А. Юрасов* Управление процессом моделирования при решении функциональных задач на АРМ компьютерной модели СОУ АК 225
52. *Д. В. Самсоненко* Моделювання варки утфелю у вакуум-апаратах 229
53. *В. М. Седенков* Домен-независимое проектирование: теория, технология, система 233
54. *А. С. Соколенко* Проблемы реализации системы персонального GPS мониторинга 237

55.	<i>С. В. Сушко, А. А. Чемерис</i> Исследование эффективности выполнения программ, оптимизированных на основе полиэдральной модели	241
56.	<i>В. Т. Чемерис, И. А. Бородий</i> Соблюдение принципов подобия решений при численном моделировании диффузионных процессов	245
57.	<i>Oleksandr Shcherbakov, Kai Polsterer, Volodymyr Svjatny</i> Integration of Distributed Parallel Simulation Environment with Cloud-Infrastructures	249
58.	<i>В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп</i> Моделирование систем электроснабжения как средство для расчета оптимальных режимов трехфазных систем	255
59.	<i>Петренко О.О., Петренко А.І.</i> Моделювання архітектури системи сервісів	259
60.	<i>Гуреев В., Самойлов В., Сангинова О.</i> Принципы разработки единой системы обучения и тренажа (ЕСОТ) персонала объединенной электроэнергетической системы Украины	267
61.	<i>Белик В. К.</i> От моделей переменного тока до нанокomпьютера	271
62.	<i>Г.А. Кравцов</i> Дуальная мера на классификациях	272