



Совместный выпуск

Научный журнал

Сентябрь, 2018 г.

№ 3. Том 1. Часть 1

ВЕСТНИК

Восточно-Казахстанского
государственного технического
университета им. Д. Серикбаева

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Институт вычислительных технологий
Сибирского отделения РАН

ИВТ





СибГУТИ

СИБИРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
И ИНФОРМАТИКИ



**Novosibirsk State
Technical University**

H L R I S
High-Performance Computing Center | Stuttgart



N* Новосибирский
государственный
университет
***НАСТОЯЩАЯ НАУКА**



**University of Pristina
Kosovska Mitrovica**



МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании»



25-28 сентября

**Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск,
ул. Серикбаева, 19, 2018 г.**

ВЕСТНИК

**Восточно-Казахстанского государственного
технического университета
им. Д. Серикбаева**

Главный редактор
доктор биологических наук, профессор
Ж.К. Шаймарданов



ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

**Институт вычислительных технологий
Сибирского отделения РАН**

Главный редактор
академик
Ю.И. Шокин



по материалам Международной конференции
«Вычислительные и информационные технологии
в науке, технике и образовании»
(CITech-2018)
25-28 сентября 2018 года

Том I. Часть I

Усть-Каменогорск-Новосибирск, 2018

Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева

Главный редактор: к.ф.-м.н. С. Ж. Рахметуллина

Заместитель главного редактора: к.г.-м.н. О. Д. Гавриленко

Ответственный секретарь: О. Н. Николаенко

Члены редколлегии: Адрышев А. К., д.т.н., проф.; Алексеенко А. Н., д.и.н., проф.; Алонцева Д. Л., к.ф.-м.н., проф.; Баталов Ю. В., д.э.н., проф.; Веригин Ю. А., д.т.н., проф.; Дьячков Б. А., д.г.-м.н., проф.; Дудкин М. В., д.т.н., проф.; Егорина А. В., д.г.н., проф.; Жуманазар С. А., к.э.н., доцент; Ипалаков Т. Т., д.т.н., проф.; Квасов А. И., д.т.н., проф.; Колос Е. А., д.э.н., доцент; Колпакова В. П., д.т.н., доцент; Кульсеитов Ж. О., д.т.н., проф.; Кумыков В. Х., д.т.н., проф.; Малышев Н. П., к.э.н., проф.; Манцуров О. А.; Назбиев Ж. Д., д.ф.н., проф.; Плотников С. В., д.ф.-м.н., проф.; Погребняк А. Д., д.ф.-м.н., проф.; Скаков М. К., д.ф.-м.н., проф.; Сырнев Б. В., д.т.н., проф.; Томилин А. К., д.ф.-м.н., проф.; Турганбаев Е. М., PhD; Тыныбекова С. Д., д.п.н., проф.; Хисамиев Н. Г., д.ф.-м.н., проф.; Чернавин В. Ю., к.т.н., проф.; Шапошник Ю. Н., д.т.н., проф.

Вычислительные технологии

Главный редактор: д.ф.-м.н., академик Ю. И. Шокин

Ответственный секретарь: к.ф.-м.н. А. В. Юрченко

Члены редколлегии: Абдибеков У.С., д.ф.-м.н., чл.-к. НИА РК (Казахстан); Баутин С.П., д.ф.-м.н., проф. (Россия); Бонту П., проф. (Франция); Бычков И.В., д.т.н., академик РАН (Россия); Вонг Р.-Х., проф. (Китай); Голушко С.К., д.ф.-м.н., проф. (Россия); Жайнаков А., д.ф.-м.н., проф., академик НИА РК (Киргизия); Жумагулов Б.Т., д.ф.-м.н., проф., академик НИА РК (Казахстан); Ковеня В.М., д.ф.-м.н., проф. (Россия); Краузе Е., проф. (Германия); Крейнович В., проф. (США); Милошевич Х., д.т.н., проф. (Сербия); Москвичев В.В., д.т.н., проф. (Россия); Панченко В.Я., д.ф.-м.н., академик РАН (Россия); Потатуркин О.И., д.т.н., проф. (Россия); Рознер К., проф. (Германия); Рябко Б.Я., д.т.н., проф. (Россия); Рэш М., проф. (Германия); Смагин С.И., д.ф.-м.н., чл.-к. РАН (Россия); Соифер В.А., д.т.н., чл.-к. РАН (Россия); Стемпковский А.Л., д.т.н., академик РАН (Россия); Тайманов И.А., д.ф.-м.н., академик РАН (Россия); Темирбеков Н.М., д.ф.-м.н., проф., академик НИА РК (Казахстан); Турицын С.К., д.ф.-м.н., проф. (Великобритания); Федорук М.П., д.ф.-м.н., чл.-к. РАН (Россия); Федотов А.М., д.ф.-м.н., чл.-к. РАН (Россия); Хабаши В.Ж., проф. (Канада); Четверушкин Б.Н., д.ф.-м.н., академик РАН (Россия); Чубаров Л.Б., д.ф.-м.н., проф. (Россия); Шайдуров В.В., д.ф.-м.н., чл.-к. РАН (Россия); Шокина Н.Ю., к.ф.-м.н. (Германия); Шрёдер В., проф. (Германия); Юлдашев З.Х., д.ф.-м.н., проф. (Узбекистан)

ISSN 1561-4212
ISSN 1560-7534

© ВКГТУ им. Д. Серикбаева 2018
© ИВТ СО РАН 2018

**Научный комитет
Международной конференции
«Вычислительные и информационные технологии в
науке, технике и образовании 2018»**

Сопредседатель – Юрий Шокин, действительный член РАН, Институт вычислительных технологий СО РАН, Россия

Сопредседатель – Жасулан Шаймарданов, профессор, Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, Казахстан

Сопредседатель – Бакытжан Жумагулов, действительный член НАН РК, Национальная инженерная академия РК, Казахстан

Максат Калимолдаев, действительный член НАН РК, Институт информационных и вычислительных технологий, Казахстан

Галимкаир Мутанов, действительный член НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан

Нурлан Темирбеков, действительный член НИИ РК, Казахстанский инженерно-технологический университет, Казахстан

Аманбек Жайнаков, действительный член НАН КР, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Кыргызстан

Игорь Бычков, член-корреспондент РАН, Институт динамики систем и теории управления СО РАН, Россия

Виктор Сойфер, действительный член РАН, Самарский государственный аэрокосмический университет им. Королева, Россия

Александр Стемповский, член-корреспондент РАН, Институт проблем проектирования в Микроэлектронике РАН, Россия

Градимир Милованович, действительный член SASA, Математический институт SASA, Сербия

Уалихан Абдибеков, член-корреспондент НИИ РК, Н.А. Ясавский международный казахско-турецкий университет, Казахстан

Михаил Федорук, член-корреспондент РАН, Новосибирский государственный университет, Россия

Анатолий Федотов, член-корреспондент РАН, Институт вычислительных технологий СО РАН, Россия

Сергей Кабанихин, член-корреспондент РАН, Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Россия

Владимир Шайдуров, член-корреспондент РАН, Институт вычислительного моделирования СО РАН, Россия

Сергей Смагин, член-корреспондент РАН, Компьютерный центр ДВО РАН, Россия

Игорь Бессмертный, профессор, Университет ИТМО, Россия

Вальдемар Войчик, профессор, Люблинский технический университет, Польша

Самир Рустамов, доцент, Институт систем управления НАНА, Азербайджан

Павел Венгерик, Люблинский технический университет, Польша

Юрий Крак, профессор, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Украина

Януш Партыка, профессор, Люблинский технический университет, Польша

Георг Георг, профессор, Университет Обуда, Венгрия

Бо Эйнарссон, профессор, Университет Линчёпинг, Швеция

Сергей Баутин, профессор, Уральский государственный университет путей сообщения, Россия

Эгон Краузе, профессор, Рейнско-Вестфальский технический университет Ахена, Германия

Сергей Черный, профессор, Институт вычислительных технологий СО РАН, Россия

Пейман Гиви, профессор, Университет Питтсбурга, США

Вагди Жорж Хабаша, профессор, Университет Макгилла, Канада

Андреас Гриеванк, профессор, Берлинский университет имени Гумбольдта, Германия

Маттиас Мейнке, профессор, Рейнско-Вестфальский технический университет Ахена, Германия

Гранислав Милошевич, профессор, Университет Приштины, Сербия

Владимир Москвичев, профессор, Специальное конструкторское бюро «Наука» ИВТ СО РАН, Россия

Вадим Потапов, профессор, Институт вычислительных технологий СО РАН, Россия

Олег Потатуркин, профессор, Институт автоматки и электрометрии СО РАН, Россия

Майкл Реш, профессор, Высокопроизводительный вычислительный центр в Штутгарте, Германия

Карл Рознер, профессор, Технологический университет Дармштадта, Германия

Борис Рябко, профессор, Институт вычислительных технологий СО РАН, Россия

Владимир Садовский, профессор, Институт вычислительного моделирования СО РАН, Россия

Вольфганг Шредер, профессор, Рейнско-Вестфальский технический университет Ахена, Германия

Сергей Турицын, профессор, Университет Астон, Великобритания

Рен-Хун Вонг, профессор, Даляньский технологический университет, Китай

Зиявиддин Юлдашев, профессор, Национальный университет Узбекистана им. Мирзы Улугбека, Узбекистан

Юрий Захаров, профессор, Кемеровский государственный университет, Россия

Дархан Ахмед-Заки, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан

Томас Бониш, Высокопроизводительный вычислительный центр в Штутгарте, Германия

Денис Есипов, Институт вычислительных технологий СО РАН, Россия

Денис Дутых, Университет Савойи, Франция

Нина Шокина, Университет Фрайбурга, Германия

Андрей Юрченко, Институт вычислительных технологий СО РАН, Россия

Олег Жижимов, Институт вычислительных технологий СО РАН, Россия

**Оргкомитет Международной конференции
«Вычислительные и информационные технологии в
науке, технике и образовании 2018»**

Денис Есипов, Институт вычислительных технологий СО РАН, Россия -
секретарь

Алексей Редюк, Институт вычислительных технологий СО РАН, Россия

Сергей Рылов, Институт вычислительных технологий СО РАН, Россия

Олег Сидельников, Институт вычислительных технологий СО РАН, Россия

Олег Гавриленко, ВКГТУ им. Д. Серикбаева, Казахстан

Наталья Денисова, ВКГТУ им. Д. Серикбаева, Казахстан

Назгуль Ердыбаева, ВКГТУ им. Д. Серикбаева, Казахстан

Разработка системы 3D-сканирования для интеллектуальной роботизированной системы плазменной обработки и резки крупногабаритных изделий сложной формы

Д. Л. Алонцева, А. Л. Красавин, А. Т. Кадыролдина, Ә. Т. Құсайын-Мұрат

Восточно-Казахстанский государственный
технический университет им. Д. Серикбаева,
Усть-Каменогорск, Казахстан
dalontseva@mail.ru

Аннотация В статье сделан краткий обзор существующих современных методов 3D-сканирования с целью разработки интеллектуальной роботизированной системы для плазменной обработки и резки крупногабаритных изделий сложной формы. Приведена разработанная авторами схема 3D-сканирования на основе бесконтактных датчиков расстояния, установленных на манипуляторе промышленного робота Kawasaki RS10L (Kawasaki Robotics, Япония) и обоснован выбор типа и технологических параметров датчиков для реализации технологии.

Ключевые слова: Промышленный робот-манипулятор, 3D-сканирование, бесконтактные датчики расстояния, облако точек

Введение

Современные постоянно развивающиеся и совершенствующие инновационные технологии автоматизации технологических процессов предоставляют любому предприятию возможность выйти на абсолютно новый, более высокий уровень развития и конкурентоспособности. Внедрение компьютерных технологий и автоматизации - это самый эффективный и современный путь развития и совершенствования производства.

В настоящее время робототехника является неотъемлемой частью автоматизации технологических процессов. Именно роботы стали образцом качественной промышленной автоматизации во всем мире. Главным достоинством робототехники считают гибкость применения и возможность использования в практически неограниченном количестве процессов [1]. Роботы высоко зарекомендовали себя своими преимуществами: возможностью точной настройки всех операций, их абсолютной точностью и согласованностью во время осуществления производственного процесса. Таким образом, робот является надежным и эффективным инструментом для решения различных производственных задач.

К числу производственных процессов, реализуемых с применением роботов-манипуляторов, относятся технологии плазменной резки и плазменной обработки поверхности, в том числе технологии газотермического плазменного напыления порошковых или проволочных покрытий [2,3]. Технологии плазменной обработки требуют точно выдерживать в течение всего времени обработки ряд технологических параметров: расстояние от сопла плазменной установки до поверхности обрабатываемой заготовки, скорость движения сопла, угол падения плазменной струи на обрабатываемую поверхность [2]. Выход этих параметров за допустимые пределы может привести не только к браку, но и к аварии (возникновению короткого замыкания). В тех случаях, когда программа робота генерируется по заданной геометрической модели обрабатываемой детали или заготовки, отклонения формы реального объекта от этой модели могут привести к нарушению технологических параметров обработки со всеми вытекающими нежелательными последствиями. Эта проблема встает особенно остро в случае работы с крупногабаритными объектами, когда малые относительные погрешности геометрических параметров и позиционирования детали, соответствуют недопустимо большим абсолютным отклонениям расстояний между инструментом, укрепленным на манипуляторе, и поверхностью объекта. Радикальным методом решения этих проблем является предварительное сканирование поверхности объекта.

Сканирование – это анализ исследуемого пространства путем последовательного его просмотра при передвижении мгновенного поля зрения по полю обзора. Одним из наиболее важных применений поверхностной реконструкции является 3D-сканирование – измерение и моделирование формы и других визуальных свойств объекта [4]. Другими словами, 3D-сканирование – это быстрый, полный и точный 3D-захват «как есть» геометрической информации об объекте сканирования по координатам в пространстве (xyz).

Современный промышленный робот-манипулятор позволяет прецизионно точно выставить пространственное положение и ориентацию произвольного инструмента. Если в качестве инструмента использовать датчик расстояния или элемент системы машинного зрения (камеру или проектор), то робот-манипулятор может быть отличной основой для создания системы сканирования поверхностей. В настоящее время 3D-сканеры на основе промышленных роботов применяются в системах контроля качества, в автоматических линиях упаковки, системах сборки, и область их применения с течением времени неуклонно расширяется. Необходимо отметить, что задачи, связанные с построением систем 3D-сканирования на основе роботов-манипуляторов, представляют значительный самостоятельный интерес, как практического, так и теоретического характера, и стимулируемые этими задачами исследования проводятся как исследовательскими подразделениями компаний, специализирующихся на производстве контрольно-измерительных средств и средств автоматизации производства, так и представителями академической среды [5,6,7,8,9,10,11,12].

Мотивацией к оригинальному исследованию по разработке интеллектуальной роботизированной системы для плазменной обработки и резки круп-

ногабаритных изделий сложной формы, в основе которой находится предварительное 3D-сканирование роботом обрабатываемой поверхности, послужил анализ описанной выше научной проблемы, а также анализ практических вызовов, с которыми столкнулась исследовательская группа при применении промышленного робота Kawasaki (Kawasaki Robotics, Япония) для плазменной обработки поверхностей [13,14], а также стремление в целом расширить круг задач, решаемых применением промышленного робота.

Общей целью исследования является разработка интеллектуальной автоматизированной системы управления промышленным роботом-манипулятором с получением путем предварительного сканирования 3D-модели изделия. Генерация программы движения робота в соответствии с полученной 3D-моделью позволит производить автоматическую точную плазменную резку крупногабаритных изделий, а также проводить прецизионную плазменную обработку поверхности изделий сложной формы. Плазменная обработка поверхности включает в себя нанесение покрытий микроплазменным методом и модификацию поверхности с покрытием дополнительным плазменным облучением. Отличительная особенность разрабатываемой интеллектуальной системы – это то, что предварительное 3D-сканирование обрабатываемой поверхности и генерация программного кода осуществляется одним и тем же манипулятором робота.

Целью данной статьи является обзор существующих современных методов 3D-сканирования, разработка оригинальной схемы 3D-сканирования на основе бесконтактных датчиков расстояния, установленных на манипуляторе промышленного робота Kawasaki RS10L (Kawasaki Robotics, Япония) и обоснование выбора технологических параметров бесконтактных датчиков для практической реализации предложенной схемы в технологии роботизированной плазменной обработки и резки крупногабаритных изделий сложной формы.

Детали эксперимента

Экспериментальное исследование проведено в условиях опытно-производственного участка, созданного на базе Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева, оборудованного опытным лабораторно-промышленным комплексом плазменной обработки материалов на основе промышленного робота.

Промышленный робот-манипулятор KawasakiRS10L (KawasakiRobotics, Япония) представляет собой устройство, состоящее из подвижных частей с шестью степенями свободы для перемещения по заранее заданному профилю, управляется посредством программируемого контроллера E40F-A001. На руку робота устанавливается либо устройство воздушно-плазменной резки УПР с источником питания инверторным ДС 120П.33 производства ООО «НПП «ТехноТрон» (Россия) для работ по плазменной резке, либо устройство для микроплазменного нанесения порошковых или проволочных по-

крытий МПН-004 производств института электросварки им. Патона (Украина). Монтаж комплекса произведен ТОО «Innotech», Казахстан.

Основные характеристики робота-манипулятора KawasakiRS-010LA:

- количество степеней подвижности - 6;
- точность позиционирования - 0,06 мм;
- максимальная линейная скорость - 13100 мм/сек;
- зона досягаемости - 1925 мм;
- максимальная досягаемость руки робота (по пятому суставу) 3255 мм;
- грузоподъемность - 10 кг;
- степень защиты робота - IP65/67.

Роботы Kawasaki управляются программной системой, называемой AS. AS - система записана в энергонезависимой памяти контроллера (ОЗУ). Когда управляющее питание включается, AS система стартует и ожидает ввода команд для выполнения. AS - система управляет роботом в соответствии с данными командами и программами. Во время выполнения программы могут использоваться некоторые типы функций такие, как отображение статуса состояния системы, позиционное текущее положение робота, записанные данные во внешних устройствах памяти, написание и редактирование программ [15].

Контроллер E40 представляет собой компактную, с расширенными возможностями и удобную для пользователя систему управления роботом. Поддерживаются все существующие системные шины (Interbus, Profibus, ProfiNet и др.). Контроллеры Kawasaki имеют модульную конфигурацию. Интегрированный PLC может редактироваться с помощью пульта ручного управления или с компьютера. Пользовательские интерфейсы индивидуально исполняются программируются и могут использоваться для упрощенного управления роботом и периферийным оборудованием. Силовое питание привода и запуск программы может быть активирован непосредственно через пульт ручного управления. Параллельно отображаются два информационных экрана (экран позиционной информации и экран состояния сигналов), что облегчает процесс контроля и управления. Используется контурное устройство управления и USB-интерфейс, удаленная диагностика через Ethernet, мощный процессор и быстродействующие компоненты ОЗУ 8 Мб (80000 шагов), что обеспечивает быстрое выполнение программ, процессов загрузки и сохранения информации.

В качестве датчиков расстояния выбраны бинокулярные триангуляционные лазерные датчики, предназначенные для использования в системах автоматизации и бесконтактного измерения различных геометрических параметров, таких как: толщина, прямолинейность, внутренний и внешний диаметры, сканирование профиля изделий сложной формы, определение положения объектов. Обоснование выбора методов сканирования, а также типа и характеристик соответствующих датчиков приводится в следующем разделе данной работы.

В качестве базового программного обеспечения, поддерживающего интерактивный режим взаимодействия оператора с роботом, средством по-

добного взаимодействия предложено использовать систему визуализации, отображающую построенную 3D-модель обрабатываемого объекта с налагаемыми на нее визуальными данными о пространственном положении манипулятора в данный момент времени.

Результаты и обсуждение

Для разработки схемы 3D-сканирования на основе бесконтактных датчиков расстояния, установленных на манипуляторе промышленного робота Kawasaki RS10L (Kawasaki Robotics, Япония) необходимо было прежде всего выбрать подходящий метод сканирования.

На сегодняшний день специалисты выделяют контактный и бесконтактный методы 3D сканирования. Бесконтактные методы подразделяются, в свою очередь, на активные и пассивные методы сканирования [16].

Контактный метод (координатно-измерительные машины, механические щупы и методы, основанные на получении срезов объектов [17]) заключается в обводке объекта при помощи специального механического устройства, которое играет роль сенсора. Такое приспособление называют щупом. Изначально на объект наносят сетку. Щуп производит замер точек, которые образуются в месте пересечения сетки, и выводит их на компьютер. В последующем на основе этих точек выстраивается трёхмерная модель объекта. Сканеры данного метода широко применяются на высокоточных производствах для контроля геометрических размеров выпускаемой продукции. Так же при помощи данных устройств можно произвести «полное» сканирование объекта и получить «облако точек» (набор координат точек поверхности объекта).

В этом методе есть ряд недостатков:

- сканер, используемый контактным методом, не различает текстуры;
- низкая скорость сканирования;
- невозможно (чаще всего) сканировать малые отверстия;
- установки стационарны и массивны, поэтому применение их в 3D съемке ландшафта и объектов невозможно.

Одно из основных преимуществ таких систем – высокая степень контроля самого процесса оцифровки оператором.

Бесконтактный метод сканирования подразумевает использование стереобинокулярных систем, лазерное и рентгеновское сканирование, а также структурированного света. Пассивный бесконтактный метод сканирования заключается в использовании имеющегося окружающего света, который отражается от объекта и анализируется сканером. В процессе сканирования видеокамеры снимают объект при разной освещённости. Пассивный способ сканирования 3D-объектов принято делить еще на две категории методов: методы, основанные на анализе одного изображения и триангуляционные методы. Как отмечено в работе [18], при использовании методов, основанных на анализе одного изображения, наиболее точные результаты достигаются на основе интерактивных подходов, когда в результате анализа контура, за-

тенения, текстуры и освещенности объекта можно получить информацию об его объеме, используя методы проективной геометрии. При использовании триангуляционных методов сравнивается расположение одинаковых точек на соседних кадрах, полученных при съемке камерой, и делается восстановление объекта по набору двумерных входных изображений. При этом необходимым делается точно знать позицию камеры и иметь большое количество близко расположенных кадров для согласования различных изображений.

Во время использования активного бесконтактного метода регистрируются лучи, отражённые от объекта. Лучи излучает сам 3D сканер. Лучи могут быть лазерными, ультразвуковыми, рентгеновскими и направленными световыми. Во время сканирования измеряется расстояние от сканера до точек на объекте. Точки могут наноситься вручную и при помощи специальной подсветки, которая образует сетку на объекте. После сканирования все данные отправляются на компьютер, где формируется 3D модель объекта. К активным способам сканирования 3D-объектов относят измерение временной задержки прохождения света от различных частей объекта, методы структурированного света, фазовые интерференционные, муаровые и голографические методы [18].

По форме, в которой представляются первичные результаты сканирования, методы сканирования разделяются на две группы: 1) точечные методы и 2) профильные методы. В методах первой группы первичные данные представляются набором координат дискретного множества точек поверхности, называемым «облаком точек», в методах второй группы результатом сканирования является набор профилей сканируемой поверхности.

Анализ публикаций [5,6,7,8,9,10,11,12], тематика которых связана с разработкой систем 3D-сканирования на основе роботов – манипуляторов, как и анализ представленных на рынке решений позволяет прийти к выводу, что разработчики таких систем применяют преимущественно методы второй группы [5,7,8,9,10,11]. В системах 3D-сканирования, использующих роботы-манипуляторы, применяются либо лазерные триангуляционные сканеры [7], либо оптические сканеры, реализуемые на основе систем машинного зрения (в частности, системы, использующие технологию структурированного света [5]). В настоящее время ряд производителей оптического измерительного оборудования выпускают 3D-сканеры, специально спроектированные для систем, использующих робот-манипулятор для перемещения сканера в пространстве. Анализ представленных на рынке решений говорит о том, что все они используют для сканирования методы машинного зрения, т.е. включают в свой состав несколько видеокамер и программное обеспечение, позволяющее проводить реконструкцию участка 3D-сцены, расположенного в рабочем поле системы камер. В качестве примера отметим серию оптических 3D-сканеров MetraSCAN 3D, производства фирмы Creafom Inc.

3D лазерное сканирование представляет собой систематический процесс определения координат точек, принадлежащих поверхностям сложнопрофильных физических объектов (в частности, деталей) с целью последующего получения их пространственных математической моделей, которые могут

затем модифицироваться с помощью САД-систем. Сканирование выполняется с шагом, величина которого зависит от необходимой степени проработки рельефа поверхности. Сканируемая поверхность отображается сначала в виде так называемого «облака точек», которое затем накрывается аппроксимирующей поверхностью, воспроизводящей сканируемую поверхность с определенной точностью [19].

Лазерное сканирование характеризуется рядом преимуществ перед другими методами, в частности отсутствием механического контакта со сканируемым объектом, что особенно актуально при выполнении операций измерений объектов, изготовленных из материалов с высокой податливостью. Кроме этого, очень малый размер измеряющей лазерной точки обеспечивает возможность сканирования мелких рельефов. Таким образом, лазерное сканирование является мощным вспомогательным инструментом при 3D моделировании, а также позволяет найти подход к задачам, решение которых другими методами затруднено или просто невозможно. Причина использования лазера вместо любого другого сигнала заключается в следующих его важных преимуществах:

- лазер обеспечивает концентрированный узкий луч с очень низким отклонением, что позволяет измерять расстояния для малых объектов, например, позволяет определять глубину очень узких отверстий, что невозможно при использовании ультразвуковых сигналов или радиопушек;
- лазерный луч является монохроматическим, что упрощает обработку измерений;
- лазерное излучение имеет высокую интенсивность, которая почти не рассеивается, поэтому оно не настолько ослабляется окружающей средой, как интенсивность других сигналов. Это позволяет выполнять измерения больших расстояний.

Как отмечается в работе [20] в лазерных сканерах реализовано 4 наиболее распространенных метода измерения: времяпролетный, триангуляционный, интерферометрический, метод фазового сдвига. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки, поэтому они используются в разных устройствах для разных целей. Основная часть лазерных сканеров работает на принципе триангуляции. Суть триангуляционных 3D-сканеров состоит в том, что высококонтрастная камера ищет лазерный луч на поверхности объекта и измеряет расстояние до него. При этом оптическая ось камеры и лазера разнесены, а расстояние между ними и угол заведомо известны. Таким образом, путем не очень сложных геометрических измерений мы можем достаточно точно измерить расстояние до объекта, быстро получив «облако точек» поверхности. По сравнению со сканерами, измеряющими время отклика луча, класс устройств триангуляционных 3D-сканеров имеет ограничения по дальности сканирования, но при этом сканирует объекты с высокой точностью.

Принцип метода лазерной триангуляции показан на рисунке 1.

Для реализации метода нужен генератор лазерного луча, который создает пучок, который, следовательно, отражается объектом. Отраженный луч

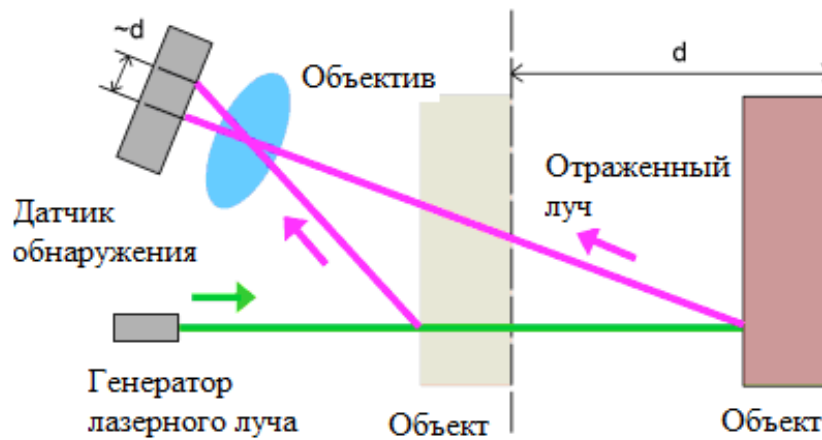


Рисунок 1. Триангуляционный принцип измерения расстояния до объекта с использованием лазерного датчика для получения «облака точек» поверхности (по данным работы [20]).

концентрируется линзой и достигает оптического датчика положения/ Существует отметка, обнаруженная датчиком положения, расположение которой соответствует расстоянию до объекта. Точность измерений при помощи триангуляционных устройств составляет величину порядка десятков микрометров.

Таким образом, на основе анализа современных методов 3D-сканирования и с учетом поставленных в работе задач, был выбран тип бесконтактного датчика расстояния для разработки интеллектуальной роботизированной системы плазменной обработки и резки крупногабаритных изделий сложной формы - бинокулярный триангуляционный лазерный датчик.

Бинокулярные триангуляционные лазерные датчики позволяют с высокой точностью измерять расстояние до контролируемого объекта без механического контакта с ним.

Требуемые параметры датчика:

- назначение -измерение геометрических параметров и расстояний;
- серия датчиков - для работы со сложным рельефом поверхности;
- точность измерения до $\pm 2.5\text{мкм}$;
- диапазоны измерения от 5мм до 1300мм;
- частота обновления данных до 16150Гц;
- аналоговый выход: 0-5мА, 0-10мА, 0-20мА, 4-20мА;
- цифровые интерфейсы: RS232, RS485, USB, Ethernet, CAN;

На базе этих датчиков могут быть построены системы автоматического управления различными процессами (следающие системы управления, правка изделий, прокат листовых материалов и др.) Помимо этого, датчики имеют возможность подключения позиционирующих сигналов от станков с

ЧПУ для реализации 3D-сканирующих систем. Благодаря двум симметрично расположенным относительно лазерного луча сенсорам, бинокулярный датчик способен работать с более глубоким рельефом без потери сигнала.

С целью разработки системы 3D-сканирования на основе бесконтактных датчиков расстояния, установленных на манипуляторе промышленного робота, мы сравнили достоинства и недостатки различных систем сканирования. Резюмируя, можно сказать, что системы машинного зрения требуют намного меньше времени на проведение сканирования, чем системы точечного сканирования, требующие прохода манипулятора по всем точкам сканирования, кроме того, системы точечного сканирования малоприспособны для сканирования объектов, поверхность которых нельзя описать гладкой функцией – например, многогранниками. С другой стороны, системы точечного сканирования при той же точности всегда будут значительно дешевле и проще в наладке и обслуживании, чем соответствующая система машинного зрения. Для любого оптического сканера необходимыми условиями достижения высокой точности измерений является светочувствительная матрица высокого разрешения и качественная оптическая система. Для систем машинного зрения, в дополнение к этому необходимы дорогостоящие аппаратные средства и специализированное программное обеспечение, в то время как датчики расстояния, на которых можно построить достаточно точную систему сканирования, дешевы и просты в использовании.

Таким образом, при разработке системы сканирования существуют различные «за» и «против» выбора методов точечного сканирования или машинного зрения, однако в данной статье мы сфокусировались на описании разработки системы 3D-сканирования в целом и предложили принципиальную схему реализации 3D-сканирования на основе бесконтактных датчиков расстояния, установленных на манипуляторе промышленного робота Kawasaki RS10L (см. рис. 2).

На данной схеме (рис.2) четко представлена взаимосвязь составляющих системы: робота-манипулятора, датчика (3D-сканер), контроллера E40 и ПК.

Предлагаемая нами система сканирования объекта основана на измерении расстояния до поверхности объекта в дискретном множестве точек, образующих сеть с заданными геометрическими параметрами, налагаемую на поверхность исследуемого объекта. 3D - модель сканируемого объекта строится посредством процедур интерполяции по узлам этой сетки. Таким образом, создание системы 3D - сканирования требует построения системы сбора данных, осуществляющей формирование задачи для робота манипулятора, состоящей в последовательном перемещении по точкам проведения сканирования, с выполнением в каждой точке необходимых для сканирования действий, и производящей накопление в памяти результатов измерений в точках сканирования. Поскольку прецизионные датчики расстояния, как правило, имеют ограниченный радиус действия, а некоторые их разновидности требуют ориентации оси датчика в перпендикулярном направлении к подвергаемой сканированию области объекта, нами была предложена разра-

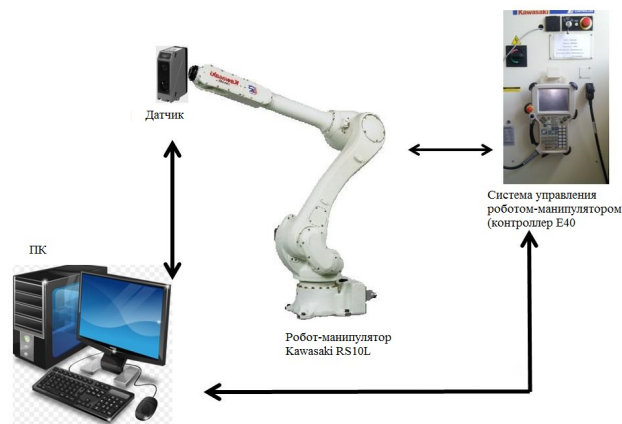


Рисунок 2. Схема системы 3D-сканирования на основе бесконтактных датчиков расстояния, установленных на манипуляторе промышленного робота Kawasaki RS10L.

ботка комплексной системы, состоящей из подсистем «грубого» и «тонкого» сканирования. Таким образом, описываемая полномасштабная система 3D - сканирования состоит из подсистем «грубого» и «специального» сканирования.

Согласно разработанной нами блок-схеме системы сканирования, представленной на рис.3, процесс создания «облака точек» технически осуществляется следующими операциями:

- 1) задается траектория сканирования с указанием точек остановки;
- 2) расстояние до поверхности сканируемого объекта измеряется в точке остановки;
- 3) данные сканирования отправляются на ПК. Протокол передачи данных (логика передачи данных) обеспечивает передачу текущих координат сканирующего датчика вместе с данными сканирования (расстояние до поверхности);
- 4) полученные данные позволяют нам построить облако точек и вычислить 3D-координаты набора точек на поверхности.

При этом система «грубого» сканирования, применяющая датчики положения с широким диапазоном измеряемых расстояний и малочувствительная к ориентации относительно поверхности, используется для выведения датчиков «специального» сканирования в рабочее положение и предотвращения возникновения аварийных ситуаций в ходе процесса сканирования. Таким образом, для реализации системы сканирования необходимо провести разработку аппаратного и программного обеспечения кратко описанной выше системы сбора данных. Разработка системы включает в себя проведение исследовательских работ по отработке алгоритмов вывода датчиков рассто-

яния в рабочее положение и исследование рабочих характеристик системы на тестовых «сценах» с заранее известной геометрией.

Сам процесс создания 3D моделей описывает следующий программный уровень этого решения (см. рис. 3), который включает программное обеспечение ядра. Этот уровень состоит из блока планирования траектории, блока генератора поверхности и блока сохранения файлов.

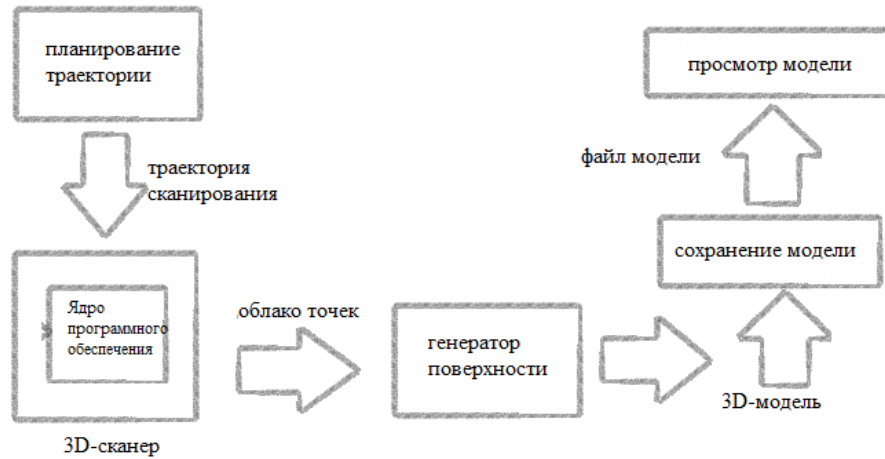


Рисунок 3. Блок-схема системы 3D-сканирования, включающая решения более высокого программного уровня.

Как показано на рис. 3, выходные данные из ядра программного обеспечения представлены в виде облака 3D-точек. Это означает, что неорганизованный набор трехмерных данных создается и отправляется в блок генератора поверхности, где должна генерироваться гладкая затененная поверхность. Таким образом, лазерная сканирующая съемка характеризуется автоматическим методом обнаружения облака точек, а на последующих этапах обработки требуется вмешательство человека.

При грубом сканировании требуется сканировать поверхность объекта с более высокой скоростью, чтобы получить общие данные облаков точек, что позволит повысить эффективность сканирования, не требуя высоких требований к целостности трехмерной информации.

Планируется внедрить автоматическую генерацию программного кода робота-манипулятора с учетом данных 3D-сканирования объекта, который должен быть обработан с помощью датчиков расстояния, установленных на манипуляторе робота. Это позволит резать плазмой заготовки, различающиеся в широком диапазоне геометрических параметров или с отклонениями от заданной формы, а также обрабатывать микроплазмой объекты, геометрические параметры которых определяются с низкой точностью.

Заключение

На основе анализа современных методов 3D-сканирования и параметров имеющегося технологического оборудования, а также с учетом актуальных задач плазменной обработки и резки крупногабаритных изделий сложной формы была разработана принципиальная схема системы 3D-сканирования на основе бесконтактных датчиков расстояния, установленных на манипуляторе промышленного робота Kawasaki RS10L и блок-схема системы 3D-сканирования, включающая решения более высокого программного уровня. В качестве бесконтактного датчика расстояния был выбран бинокулярный триангуляционный лазерный датчик и определены его параметры, необходимые для создания интеллектуальной роботизированной системы плазменной обработки и резки крупногабаритных изделий сложной формы.

Результаты исследования представляют интерес для широкого круга исследователей, разрабатывающих автоматизированные процессы плазменной резки и плазменной обработки поверхностей.

Благодарность

Исследование проведено по проекту № AP 05130525 «Интеллектуальная роботизированная система для плазменной обработки и резки крупногабаритных изделий сложной формы» с грантовым финансированием Комитета науки МОиН Республики Казахстан на 2018-2020 годы.

Список литературы

1. МИРПРОМ, <http://mirprom.ru>
2. Tucker, R.C., Jr. : Introduction to Coating Design and Processing. In: ASM Handbook, Thermal Spray Technology, Vol. 5A, pp. 76-88 (2013)
3. Vardelle, A., Moreau, Ch., Nickolas, J., Themelis, A. : A Perspective on Plasma Spray Technology. In: Plasma Chemistry and Plasma Processing, Vol. 35 (3), pp. 491-509 (2015) DOI:10.1007/s11090-014-9600-y
4. Hoppe, H., DeRose, T., Duchamp, T., McDonald, J., Stuetzle, W. : Surface Reconstruction from Unorganized Points In: Proceedings of the 19th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp. 71-78 (1992)
5. Rodrigues, M., Kormann, M., Schuhler, C., Tomek, P. : Robot Trajectory Planning using OLP and Structured Light 3D Machine Vision. In: G.Bebis et al. (Eds): ISVC 2013, Part II, LNCS 8034, pp. 244-253 (2013)
6. Borangiu, T., Dumitrache A: Robot Trajectory Planning using OLP and Structured Light 3D Machine Vision. Robot Arms with 3D Vision Capabilities. In: Advances in Robot Manipulators, Ernest Hall (Ed.), pp. 503-514 (2010) ISBN: 978-953-307-070-4
7. Brosted, F.J., Santolaria, J., Aguilar, J.J., Guillomia, D. Laser triangulation sensor and six axes anthropomorphic robot manipulator modelling for the measurement of complex geometry products. In: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol.28, pp. 660-671 (2012)
8. Chen, Y. H., Liu, C. Y.: Robust Segmentation of CMM Data Based on NURBS. In: Advanced Manufacturing Technology, vol. 13, pp. 530-534 (1997)

9. Rossi, S., Savino, S.: A Robotic System to Scan and Reproduce Object. In: Hindawi Publishing Corporation Journal of Robotics, vol. 2011, pp. 11 (2011) Article ID 168481, doi:10.1155/2011/168481
10. Sansoni, G., Trebeschi, M., Docchio, F. State of the Art and Applications of 3D Imaging Sensors. In: Industry, Cultural Heritage, Medicine, and Criminal Investigation. Sensors, Vol.9, pp. 568–601 (2009)
11. Canduo, Sh., Sheng, Zhu: A Robotic System for Surface Measurement Via 3D Laser Scanner. In: The 2nd International Conference on Computer Application and System Modeling. Published by Atlantis Press, Paris, France, pp. 1237- 1239 (2012)
12. Shan, J., Toth, Ch.: Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing. CRC Press (2008) ISBN 1420051423.
13. Alontseva, D.L., Krasavin, A.L., Kadyroldina, A.T., Kussaiyn-Murat, A.T., Nurekenov, D. M., Zhanuzakov, Ye.T., Prokhorenkova, N.V.: Development of the Robotic Microplasma Spraying Technology for Applying Biocompatible Coatings in the Manufacture of Medical Products. In: Proceedings of AIS 2017 – 12 th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas, Székesfehérvár, Hungary, pp. 45-48 (2017)
14. Alontseva, D.L., Krasavin A.L., Prokhorenkova N.V., Kolesnikova T.A.: Plasma – Assisted Automated Precision Deposition of Powder Coating Multifunctional Systems. In: Acta Physica Polonica A, Vol. 132, No 2, pp.233-235 (2013) DOI:10.12693/APhysPolA.132.233
15. Kawasaki Robot Controller E Series. AS язык программирования. Руководство по программированию. Kawasaki Heavy Industries, Ltd (2002)
16. MAKE-3D. 3D сканирование: предназначение, методы и применение, <https://make-3d.ru/articles/3d-skanirovanie-prednaznachenie-metody-i-primenenie/>
17. Шапиро, Л. , Стокман, Дж. : Компьютерное зрение. Издательство: Бином. Лаборатория знаний, стр. 752 (2006) ISBN: 5-94774-384-1, 0-13-030796-3
18. Гужов, В.И.: Методы измерения 3D-профиля объектов. Контактные триангуляционные системы и методы структурированного освещения. Учебное пособие. – Новосибирск: издательство НГТУ, стр. 82 (2015) ISBN 978-5-7782-2727-9
19. 3D-сканирование, <http://www.baget1.ru/3d-scanning.php>
20. Chromy, A. 3D Scanning with Proximity Planar Scanner: master's thesis. Brno: Brno University of Technology, Faculty of Electrical Engineering and Communication, Department of Control and Instrumentation, p. 81 (2013) Supervised by doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D.

Разработка программного обеспечения для роботизированного микроплазменного напыления биосовместимых покрытий при производстве медицинских изделий

Д. Л. Алонцева, А. Л. Красавин, Д. М. Нурекепов, Е. Т. Жанузаков

Восточно-Казахстанский государственный
технический университет им. Д. Серикбаева,
Усть-Каменогорск, Казахстан

dalontseva@mail.ru, alexanderkrasavin@mail.ru, dnurekenov@gmail.com, zhan_erzhan@mail.ru

Аннотация В статье анализируется, как ширина перекрытия соседних дорожек напыления влияет на толщину покрытия. Поскольку трудно получить постоянную ширину перекрытия между смежными дорожками для широко используемой генерации траектории напыления на основе параллельных плоскостей, что создает сложности для управления толщиной покрытия в области перекрытия, мы разработали алгоритм формирования траектории распыления для обработки поверхностей сложной формы. Новый алгоритм может гарантировать, что ширины перекрытия всегда одинаковы, точно контролируя расстояние между соответствующими точками в смежных дорожках.

Ключевые слова: планирование пути, микроплазменное напыление, алгоритм генерации пути

Введение

Обучение робота и автоматическое планирование пути являются двумя основными методами, применимыми для реализации роботизированного микроплазменного напыления покрытий. Первый метод является более простым и распространенным, но в то же время для его реализации требуется больше времени и материала. Равномерность покрытия зависит от личного опыта оператора. Использование робота – это гарантия однородности толщины покрытия и высокой точности нанесения покрытия. Метод автоматического планирования пути обеспечивает надлежащую траекторию распыления на основе модели роботизированного распыления, компьютерной модели продукта, условий ограничений и других критериев оптимизации. По сравнению с методом обучения робота, в этом случае быстрее создается путь с более высокой точностью и безопасностью. Использование метода автоматического планирования обеспечивает меньший расход материалов и

высокую точность, что увеличивает уровень автоматизации в процессе производства.

В автоматическом планировании траектории данные о распылении не только включают траекторию распыления, но также содержат направление распылителя в точках следования. В дополнение к тому, чтобы пути соответствовали требованиям процесса распыления, данные гарантируют, что количество путевых точек, расстояние между соседними путевыми точками и другие параметры отвечают требованиям системы распыления. Известны работы ряда исследователей, предложивших различные алгоритмы оптимизации для генерации траектории распыления[1]-[6].

Antonio[1],[2] предложил брать расхождение толщины покрытия в каждой точке в качестве функциональной цели для решения вопроса оптимизации траектории с помощью численных методов после объединения ограничений процесса распыления с учетом пути источника, скорости, движений, угла открытия и других параметров. Zaki[3] описал метод построения трехмерной траектории распыления после получения САД данных с помощью сканирования. Sheng[4] далее выдвинул принципы проектирования трехмерной траекторий распыления и отметил, что ширина области перекрытия между двумя соседними слоями покрытия является ключевым фактором в пути прохождения источника в соответствии с геометрическими характеристиками изделия. Veljko[5] проанализировал кинетические характеристики роботов и взял в качестве цели оптимизации траектории уменьшение расхода и нагрузку на двигатель. Atkar[6] разделил поверхность объекта на ряд регулярных или простых подмножеств плоскости, а затем напылил каждое подмножество с использованием простой программы, тем самым значительно сократив время планирования траектории распыления. Этот метод известен как метод напыления поверхности с разделением напыления в соответствии с кривизной поверхности. Girmas[7] использовал генетический алгоритм и алгоритм муравьиной колонии для решения комбинаторных задач оптимизации траекторий распыления после поверхностного деления, а затем сравнил преимущества и недостатки двух алгоритмов.

Для фактического распыления траектории распыления генерируются с помощью серии параллельных плоскостей, разрезающих покрываемые поверхности. В случае постоянных параметров распыления ширина перекрытия между соседними дорожками распыления различается из-за разницы кривизны поверхности в разных местах. На рисунках 1 и 2 мы показали, что ширина перекрытия между соседними дорожками разная, что вызывает разность толщины покрытия в области перекрытия. Для решения этой проблемы, представим новый алгоритм планирования пути, обеспечивающий постоянную ширину зоны перекрытия. Новый алгоритм обеспечивает лучшие результаты на экструдированных поверхностях, чем алгоритм параллельных плоскостей.

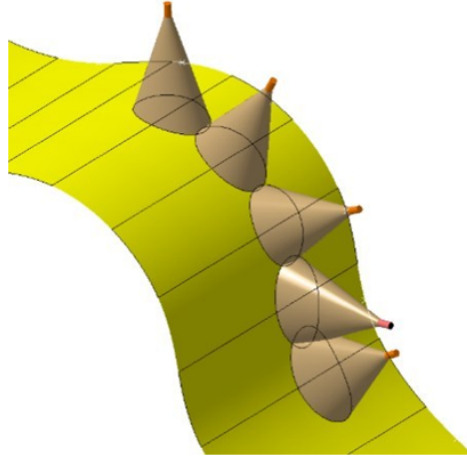


Рисунок 1. Путь напыления сгенерированный методом параллельных плоскостей.

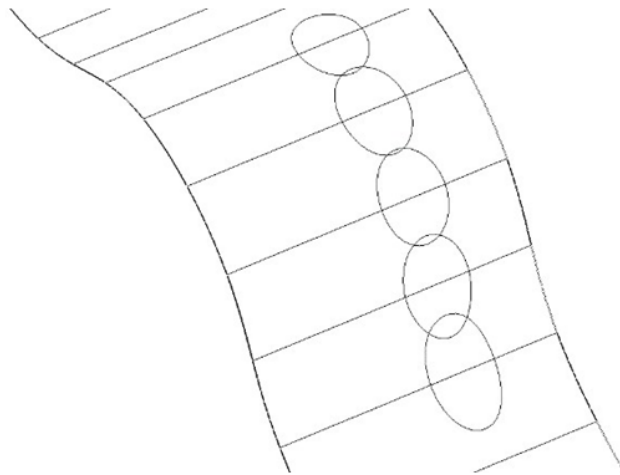


Рисунок 2. Зона перекрытия напыления.

Новый алгоритм генерации пути напыления

На качество покрытия влияет множество факторов, такие как давление напыления, расстояние до поверхности, угол напыления и т.д.

Факторы, определяемые путем напыления, - это расстояние до поверхности и угол распыления. Угол напыления определяется параметрами напыления, которые выбираются в процессе испытаний. Несколько алгоритмов генерации маршрутов оптимизируют угол распыления. Когда остальные параметры фиксированы, качество напыления определяет расстояние до поверхности обработки. Рассмотрим влияние расстояния на рост покрытия.

Модель роботизированного напыления

Покрытие распыляется воздушным потоком, поэтому, контролируя форму струи, можно определить форму области покрытия. Как показано на рисунке 3.5, взятом из работы [8], авторы которой использовали неподвижный источник напыления, частицы прилипают к поверхности заготовки, образуя область эллипса, когда распылитель перпендикулярен поверхности. Задаем большую полуось и малую полуось как a и b . Мы обычно перемещаем источник перпендикулярно к главной оси, чтобы повысить эффективность работы. В результате ширина распыления составляет $2a$. Как показано на рисунке 3.6, форма распределения толщины покрытия овальная, когда источник неподвижен [8].

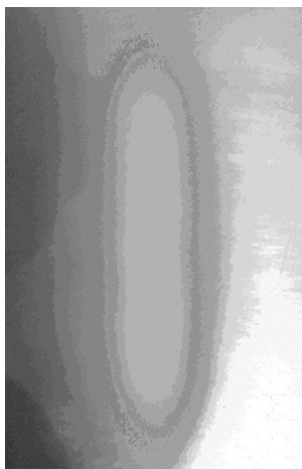


Рисунок 3. Эллиптическая зона, напыленная стационарным источником [8]

То есть покрытие в точке непосредственно под соплом обладает самой толстой частью, а в остальных оно постепенно утончается вдоль оси X или

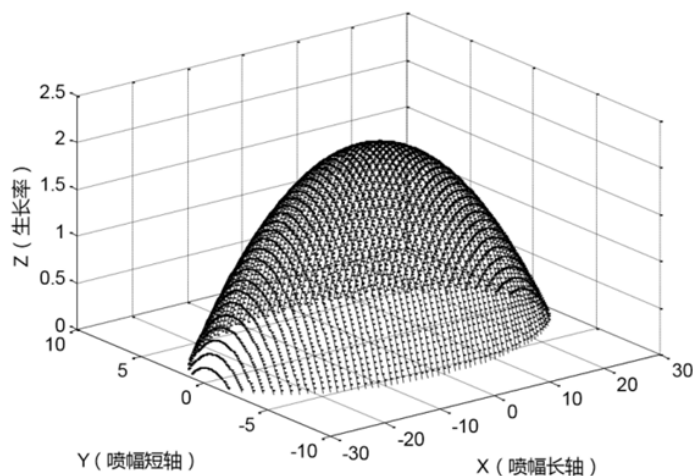


Рисунок 4. Распределение толщины покрытия [8]

оси Y. Определим толщину покрытия в точке (x, y) как t . Тогда толщина t может быть получена как

$$(x, y) = t_{max} \cdot \left[1 - \frac{x^2}{a^2}\right]^{\beta_1-1} \cdot \left[1 - \frac{y^2}{b^2(1 - \frac{x^2}{a^2})}\right]^{\beta_2-1} \quad (1)$$

$$-a \leq x \leq a, -b\sqrt{1 - \left(\frac{x}{a}\right)^2} \leq y \leq b\sqrt{1 - \left(\frac{x}{a}\right)^2}$$

Определим ширину перекрытия между двумя соседними путями распыления как d . Мгновенный темп роста толщины покрытия в точке (x, y) в области перекрытия можно рассматривать приблизительно как $t_c(d, x, y) = t(x, y) + t(d+x-2a, y)$. Таким образом, основным фактором, определяющим толщину покрытия в области перекрытия, является ширина.

Поскольку ширины перекрытий не одинаковы в алгоритме параллельной плоскости, толщина покрытия различна в соответствии с теорией, описанной выше. Для обеспечения постоянной ширины наложения (перекрытия), выдвигается алгоритм генерации пути, основанный на постоянной ширине перекрытия.

Алгоритм генерации пути на основе постоянной ширины перекрытия

Мы разработали алгоритм генерации пути на основе постоянной ширины перекрытия. Рассмотрим в качестве примера для представления алгоритма случай, когда источник перпендикулярен поверхности напыления (рис. 5).

При таком условии алгоритм включает следующие шаги:

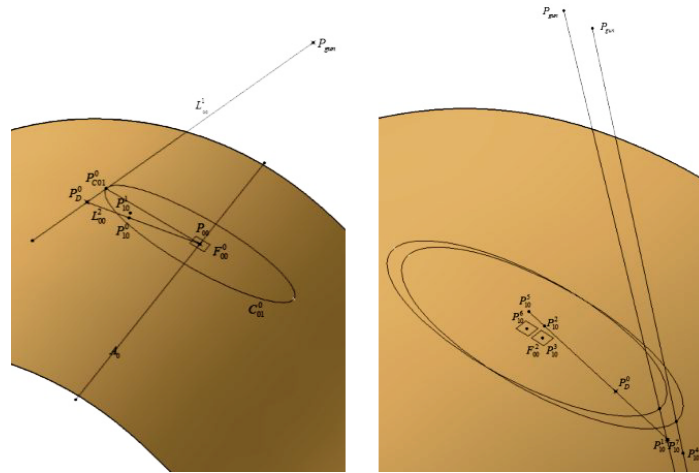


Рисунок 5. Схема, представляющая алгоритм генерации пути, основанный на постоянной ширине перекрытия

1. Как показано на рисунке 5 а) возьмем произвольный путь A_0 в качестве стартового и представим его в виде дискретной последовательности точек. Выберем произвольную точку в качестве начала пути и обозначим ее как P_{00} . Рассчитаем параметры плоскости F_{00}^0 , касающейся поверхности в точке P_{00} .
2. В процессе нанесения покрытия расстояние между головкой распылителя и обрабатываемой поверхностью должно оставаться постоянным. Если мы обозначим вершину конуса распыления как P_g , то вышесказанное можно сформулировать как условие: расстояние между точками P_g и P_{00} должно быть равным заданной константе. С учетом этого примем большую полуось эллипса зоны покрытия в плоскости F_{00}^0 равной a , а малую равной b .
3. Эллипс C_{01}^0 и точка P_g задают конус F_{01}^0 (с вершиной в точке P_g). Кривая пересечения поверхности конуса F_{01}^0 с обрабатываемой поверхностью C_{01}^1 представляет собой границу зоны покрытия. Можно полагать, что мы можем построить область покрытия D_0 , ширина которой определяется размером большой полуоси эллипса, дистанцией напыления и формой поверхности. Согласно определению кривой C_{01}^1 мы можем построить прямую L_{00}^1 , пересекающую поверхность в точке P_D^0 , которую можно рассматривать как точку границы области D_0 , соединяя вершину конуса P_g и конец отрезка большой полуоси эллипса C_{01}^0 .
4. Соединим точки P_{00} и P_D^0 прямой L_2^{00} . Построим точку P_{10}^0 на прямой L_2^{00} , такую, что $|P_{10}^0 P_D^0| = a$. Построим проекцию точки P_{10}^0 на поверхность, и обозначим эту точку как P_{10}^1 .
5. Как показано на рисунке 5 б), продолжим прямую, соединяющую точки P_{10}^1 и P_D^0 до точки P_{10}^2 , положение которой определяется уравнением

- >
- $|P_{10}^1 P_{10}^2| = a$. Рассчитаем параметры плоскости F_{00}^2 , касающейся поверхности в точке P_{10}^3 , являющейся проекцией точки P_{10}^2 на поверхность. Повторяя шаги 2) и 3) (с точкой P_{10}^3 , вместо P_{00}) построим точку P_{10}^4 .
6. Продолжим прямую, соединяющую точки $\xrightarrow{P_{10}^1}$ и $\xrightarrow{P_D^0}$ до точки P_{10}^5 , положение которой определяется уравнением $|P_{10}^2 P_{10}^5| = |P_{10}^4 P_{10}^1|$. Построим проекцию точки P_{10}^5 на поверхность и обозначим эту точку P_{10}^6 . Снова повторяя шаги 2) и 3) алгоритма, но уже для P_{10}^6 вместо P_{00} , построим точку P_{10}^7 .
7. Введем численный критерий Δ для отождествления точек $\xrightarrow{P_{10}^7}$ и P_{10}^1 . Если для заданного значения Δ выполняется неравенство $|P_{10}^7 P_{10}^1| \leq \Delta$, мы считаем P_{10}^6 точкой на втором пути, соответствующей стартовой точке P_{00} на первом пути. Затем мы берем точку P_{01} , следующую за P_{00} на первом пути, и повторяем шаги 1 – 7, получая на втором пути точку P_{11} , соответствующую P_{01} на первом. В том случае, если $|P_{10}^7 P_{10}^1| > \Delta$, мы заменяем P_{10}^6 на P_{10}^3 и повторяем шаги с 6 по 7 до тех пор, пока не будет выполняться условие $|P_{10}^7 P_{10}^1| \leq \Delta$. Обычно оказывается достаточно провести 1-2 цикла для завершения поиска. Таким образом, по заданному первому пути A_0 мы строим второй путь $A_1 = P_{10}, P_{11}, \dots$

Затем мы берем второй путь A_1 в качестве стартового, и повторяя шаги 1 – 7 строим следующий путь A_2 . Процедура построения путей продолжается до полного покрытия поверхности.

Заключение

С учетом актуальных задач плазменной обработки изделий сложной формы (медицинских имплантатов) разработан новый алгоритм планирования траектории робота-манипулятора по 3D модели изделия, подвергаемого микроплазменной обработке. По сравнению с традиционным алгоритмом параллельной плоскости новый алгоритм гарантирует, что ширина перекрытия между двумя соседними путями будет одинаковой с учетом влияния кривизны поверхности.

Список литературы

1. Antonio J K. Optimal Trajectory Planning Problems for spray coating[c].IEEE International Conference on Robotics and Automation, USA:Atlanta, 1993:2570-2577.
2. Ramabhadran R, Antonio J K. Planning Spatial Paths for Automated Spray Coating Applications[C].IEEE International Conference on Robotics and Automation, USA: Minneapolis 1996:1255-1260.
3. Zaki Aziza, Eskander Mona. Spray painting of a general three-dimensional surface[C]. IEEE/RSJ International Conference on Robotics and Automation, USA:San Francisco, 2000:2172-2176

4. Sheng W H, Xi N, Song M, Chen Y. Automated cad-guided robot path planning for spray Painting of compound surfaces[C]. IEEE/RSJ International Conference On Intelligent Robots and Systems, Japan: Tankamutsa, 2000:1918-1923
5. Veljkopotkonjak, Goran S Dordevic, Dordevic, Kostic. Dynamics of anthropomorphic painting robot: Quality analysis and cost reduction[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2000, 32(2):17-38
6. Atkar N Prasad, Choset Howie, Rizzi A Alfred. Towards Optimal Coverage of 2-Dimensional Surfaces Embedded in R3:Choice of Start Curve[C]. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. USA:LasVegas, 2003:3581-3587.
7. Girma S. Tewolde, Weihua Sheng. Robot Path Integration in Manufacturing Processes: Genetic Algorithm Versus Ant Colony Optimization[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A:Systems and Humans, 2008, 38(2):278-287
8. Wang G L, Yi Q, Miao D J, Chen K, Wang L Q. Multivariable coating thickness distribution model for robotic spray painting. Journal of Tsinghua University.

Система передачи аудио сигналов с помощью светодиодной системы освещения

А. Т. Байдилдина¹, А. Е. Бакланов¹, С. В. Григорьева¹, А. К. Дмитриев²,
Е. А. Григорьев³

¹Восточно-Казахстанский государственный технический университет
им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан

²Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия

³Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Томск, Россия
SGrigorieva@inbox.ru

Аннотация В статье представлены результаты исследования работы новой электронной схемы для передачи звуковых сигналов с помощью осветительных светодиодных приборов. Приводится анализ имеющихся схем передачи данных с использованием технологии VLS (Visible Light Communication), которая позволяет источнику света, помимо освещения, передавать информацию с использованием одного и того же светового сигнала. Показаны положительные стороны и недостатки имеющихся схем. Проведен эксперимент по изучению качества передачи звука.

В результате эксперимента была проведена оптимизация электронных схем и сделаны рекомендации по использованию технологии в системах светодиодного освещения административных и жилых зданий. Данное направление является актуальным в связи с перспективой его развития и перехода на новые технологии организации сети передачи данных.

Ключевые слова: технология VLS, аудио сигнал, светодиод, фотопанель

Введение

К настоящему времени предложено и реализовано много схем передачи аудио сигналов с помощью белых светодиодов предназначенных для освещения. Однако при изучении работы различных схем было выявлено, что качество передаваемых сигналов достаточно низкое. Нами рассматриваются две наиболее используемые схемы передачи данных, и предлагается новая схема, имеющая лучшие характеристики как по отношению сигнал-шум, так и по полосе частот и по искажению принимаемого сигнала. Кроме этого показано влияние естественных засветок на канал передачи.

Анализ существующих схем передачи данных с использованием технологии VLC

К настоящему времени предложено и реализовано много схем передачи аудио сигналов с помощью белых светодиодов предназначенных для освещения. Однако при изучении работы различных схем было выявлено, что качество передаваемых сигналов достаточно низкое. Нами рассматриваются две наиболее используемые схемы передачи данных, и предлагается новая схема, имеющая более лучшие характеристики как по отношению сигнал-шум, так и по полосе частот и по искажению принимаемого сигнала. Кроме этого показано влияние естественных засветок на канал передачи.

В литературе [1,2] для демонстрации работы технологии VLC приводится схема для передачи данных, показанная на рисунке 1, а для приема данных показанная на рисунке 2.

На схеме, показанной на рисунке 1, в качестве управления светодиодом использовался усилитель, собранный на трех транзисторах Q1, Q2, Q3, обеспечивающий необходимый ток для LED1. Питание транзисторов было выбрано 7.5 В, позволяющего обеспечить оптимальный режим работы светодиода. Транзисторы были выбраны BC337 (первоначально с транзисторами 2N2222A, 2N4401). Для транзистора BC337 номиналы элементов схемы следующие: $C1=2.2$ мкФ, $R1=4.7$ кОм, $R4=1$ кОм. Светодиод LED1 использовался с номиналом 1 Вт фирмы Nichia (NCSL219B). На вход подавался аудио сигнал с выхода звукового сигнала сотового телефона на наушники.

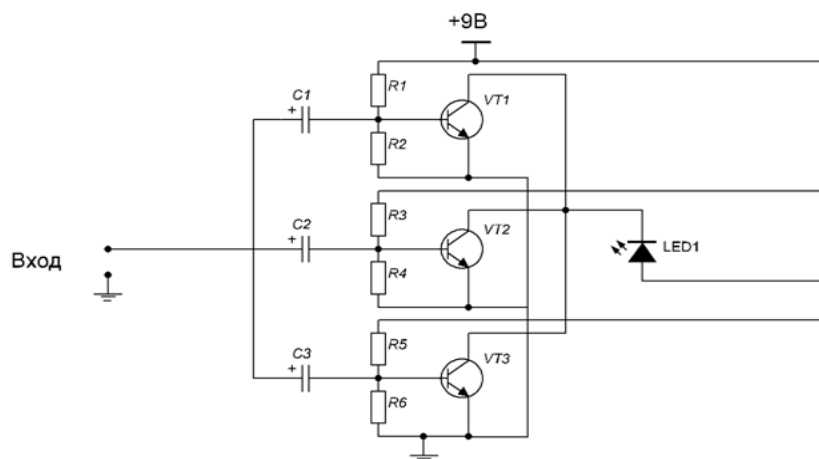


Рисунок 1. Схема для передачи аудио сигнала на основе транзисторов BC337

Принимающий тракт, показанный на рисунке 2, обеспечивает усиление звукового сигнала с помощью распространенной микросхемы LM3861, имеющей достаточно хорошее усиление и надежность работы.

Для нормальной работы приемного канала номиналы элементов схемы следующие: $R1 = 10\text{кОм}$, $C1 = 10\text{мкФ}$, $C2 = 0.1\text{мкФ}$, $C3 = 250\text{мкФ}$, $C4 = 0.05\text{мкФ}$. Для приема оптического сигнала использовался фотодиод ВРW34, имеющий спектральный диапазон от 600...1050 нм. При тестировании ра-

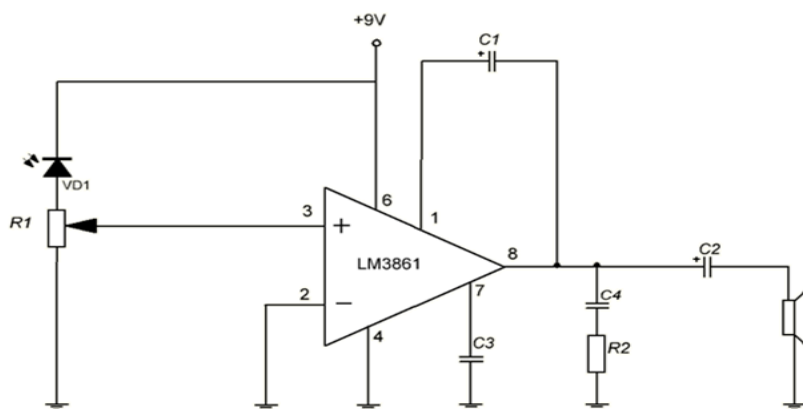


Рисунок 2. Схема для приема аудио сигнала на основе операционного усилителя LM3861

боты данных схем было выявлено, что настройка передающей схемы очень критична к номиналам сопротивлений $R1-R6$, что требует подбора сопротивлений. Также в данной схеме отсутствует регулировка по току светодиода. Это не позволяет обеспечить оптимальный ток через светодиод и изменять мощность излучения светодиода и проводить измерения при разных токах.

Многими авторами [3-6] предлагается использовать в качестве передающего канала схему, показанную на рисунке 3. Где вместо транзисторов используется операционный усилитель LM386.

Такая схема была нами собрана [7] со следующими номиналами элементов: Переменный резистор $VR1 = 10\text{кОм}$, переменный резистор $VR2 = 200\text{Ом}$, переменный резистор $VR3 = 100\text{Ом}$, сопротивления имеют следующие значения $R1 = 10\text{Ом}$, $R2 = 56\text{Ом}$, $R3 = 56\text{Ом}$, конденсаторы имеют значения $C1 = 100\text{мкФ}$, $C2 = C3 = 10\text{мкФ}$ (25В), $C4 = 0,047\text{мкФ}$. Светодиод LED1 использовался с номиналом 1 Вт фирмы Nichia (NCSL219B). Напряжение питания 9В.

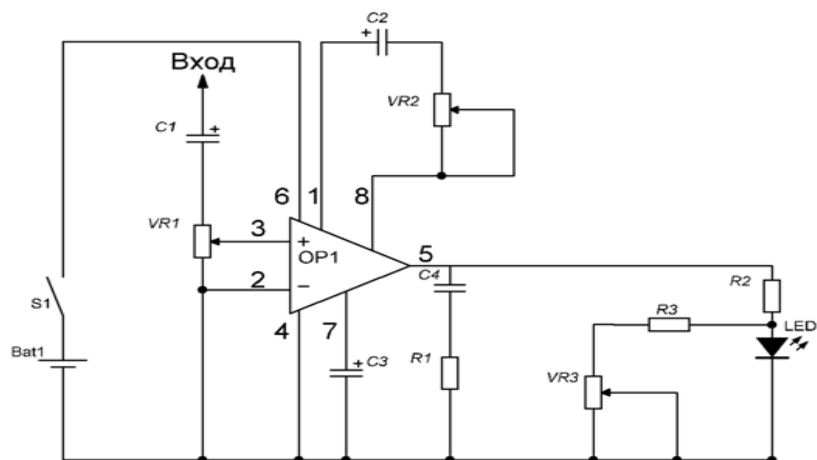


Рисунок 3. Схема для передачи аудио сигнала на основе операционного усилителя LM386

Описание новой схемы передачи звуковых сигналов

Для повышения надежности и качества передачи аудио сигналов нами была разработана и реализована новая схема на основе микросхемы TDA 1010A, состоящая из двух операционных усилителей (рисунок 4).

Данная схема позволяет подавать стерео аудио сигнал на вход. После смешивания двух каналов сигнал поступает на вход усилителя, после чего поступает на светодиод.

Номиналы элементов схемы были следующие: $C11 = C12 = C13 = 1\text{мкФ}$, $C2 = C14 = 1\text{нФ}$, $C3 = C4 = C7 = C8 = C10 = 100\text{мкФ}$, $C9 = 330\text{мкФ}$, $R1 = 330\text{кОм}$, $R2 = 4.7\text{кОм}$, $R4 = 100\text{Ом}$, $R5 = 220\text{кОм}$, $R6 = 5.6\text{кОм}$. Напряжение питания 9В. При увеличении расстояния между фотопанелью и светодиодом напряжение могли увеличивать до 20 В. Светодиод использовался такой же, как и в предыдущих схемах.

Для приема оптического модулированного сигнала нами была использована фотопанель XRYG85, после которой сигнал поступал на усилитель и звуковые колонки (рисунок 5).

На рисунке 6 показан вид печатной платы с элементами, запаянными по схемам (рисунки 4, 5).

Внешний вид всей системы передачи и приема оптического модулированного сигнала показан на рисунке 7. В качестве входного сигнала использовался выход для наушников сотового телефона. В качестве выходного звукового сигнала использовались обычные аудиокolonки.

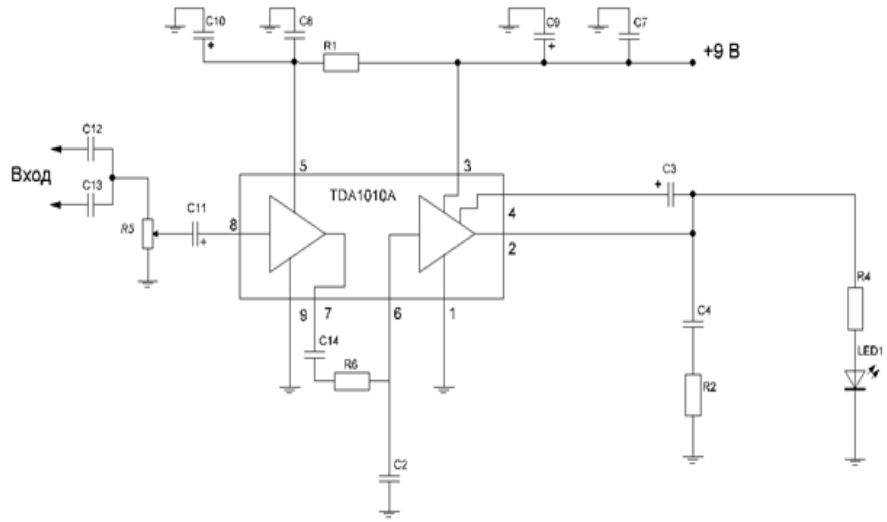


Рисунок 4. Схема для передачи аудио сигнала на основе микросхемы TDA 1010 A

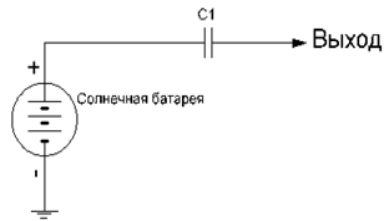


Рисунок 5. Схема для приема модулированного света

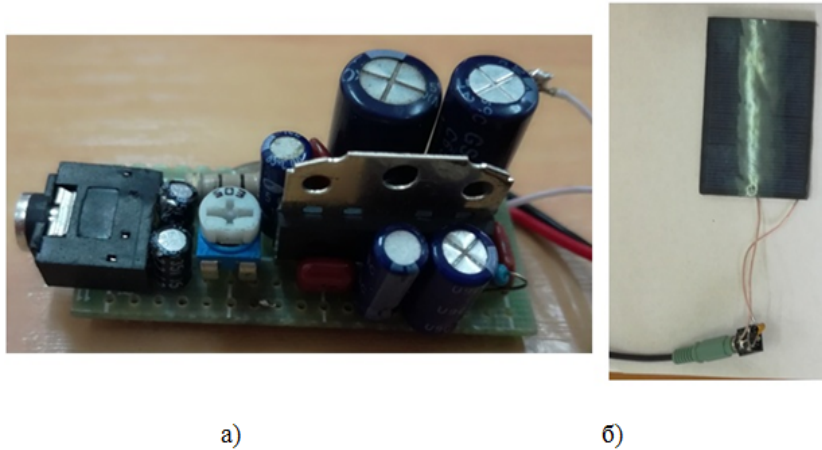


Рисунок 6. Внешний вид передающей схемы (а) и принимающей (б)

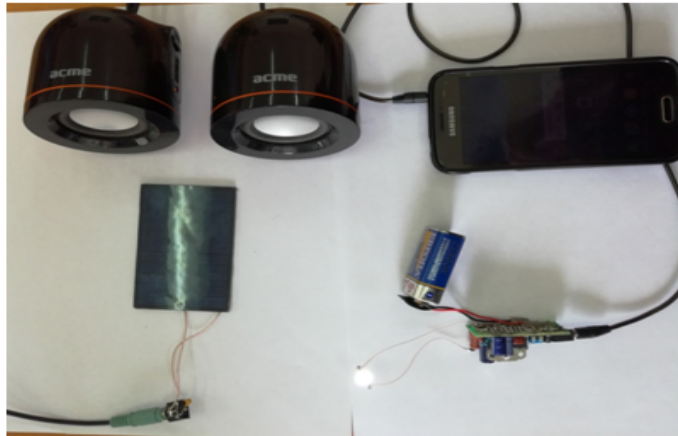


Рисунок 7. Схема для приема модулированного света

Исследование параметров разработанной схемы

В статье сложно описать качество передаваемого звука в связи с этим нами был проведен ряд частотных исследований, а также измерено искажение сигнала и уровень шума. Для этого нами была собрана простая схема, показанная на рисунке 8.

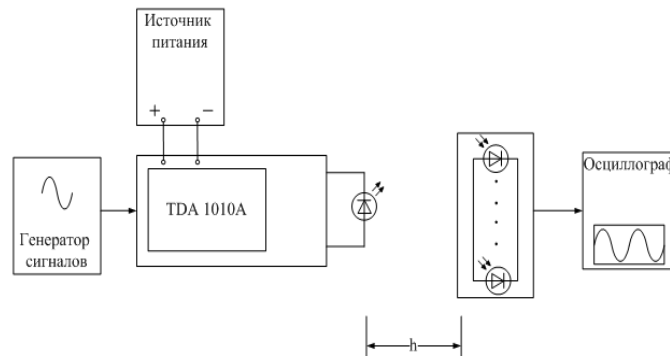


Рисунок 8. Схема измерения параметров приемо-передающей системы

Для изучения параметров работы собранной схемы были проведены исследования частотных характеристик системы передачи аудио сигналов.

Общий внешний вид показан на рисунке 9.

Важным было понять частоты, на которых можно передавать сигналы разработанной и изготовленной схемы передачи данных. Кроме этого необ-



Рисунок 9. Общий внешний вид экспериментального стенда

ходимо было изучить уровень шумов и искажений сигналов. Были проведены измерения на различных частотах. Понятно, что при частотах в районе 5-10 кГц при передаче сигнала на фотопанель искажений не наблюдается (рисунок 10).

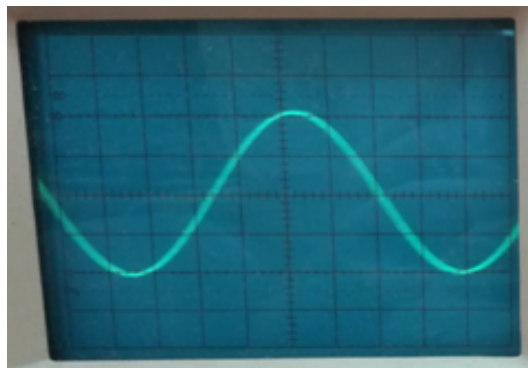


Рисунок 10.

Измерения проводились при близком расстоянии между светодиодом и фотопанелью на уровне 1-2 см. При увеличении расстояния между светодиодом и фотопанелью наблюдается искажение сигнала. Появляется пилообразная форма по неизвестным причинам. Данный сигнал представлен на

рисунке 11. Появление такого сигнала, позволяет об искажении звука при передаче данных в собранной нами схеме.

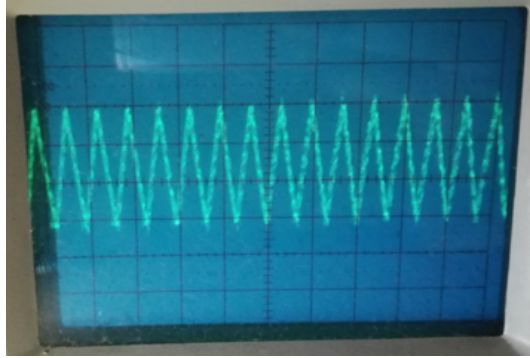


Рисунок 11.

Все проведенные измерения проводились в комнате со слабым освещением без солнечной засветки. Далее при попадании прямых солнечных лучей на фотопанель происходит искажение сигналов, которое говорит о том, что передача качественного звука не возможно. Данный искаженный сигнал показан на рисунке 12.

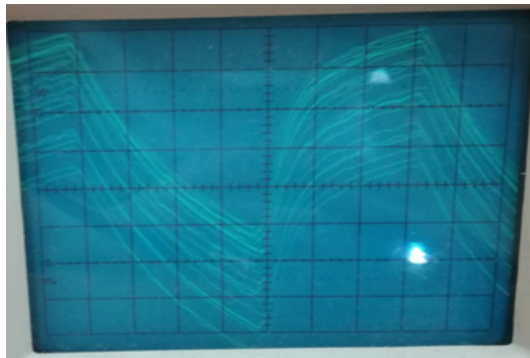


Рисунок 12.

Разработанная схема по надежности не просчитывалась из-за хороших характеристик заводской микросхемы. Однако при эксплуатации в течении двух месяцев никаких сбоев в работе не наблюдалось. Кроме этого для обоснования использования заводских светодиодных осветительных устройств нами было проведено изучение зависимости мощности сигнала от расстоя-

ния. Мы использовали в схеме белый светодиод мощностью 1Вт, причем в режиме не оптимальном 350мА, а при токе порядка 100мА. Это обусловлено возможными искажениями в работе микросхемы TDA1010A. Данные по зависимости интенсивности сигнала от расстояния между светодиодом и фотопанелью приведены на рисунке 13.



Рисунок 13. График зависимости изменения интенсивности сигнала от расстояния

Данная зависимость была проведена на модели, поэтому при нормальной мощности осветительных приборов при мощности лампы 40 Вт скорее всего расстояние увеличится порядка 40 раз, т.е. оптимальным в передаче данных будет высота потолка 2.5 - 3.5 м.

Изготовленное устройство для передачи аудио сигналов позволяет сделать вывод о возможности организации сети Li-Fi.

Вывод

В результате проведенных исследований была разработана схема с использованием светодиодов, позволяющих осуществлять передачу аудио сигналов в затененных помещениях. Это говорит о том, что при использовании стандартных осветительных светодиодных приборов при встроенных в них микроконтроллерах или использовании микросхем типа TDA 1010A возможна качественная передача звуковых сигналов. Это позволяет осуществлять в офисных зданиях или жилых помещениях передачу сигналов экстренных оповещений на звуковых частотах или просто обычную музыку.

Данное направление является актуальным в связи с перспективой его развития и перехода на новые технологии организации сети передачи данных.

Список литературы

1. Светодиодающие диоды в линиях связи, <http://www.club155.ru/samples-ldcomm>
2. Передача звука по ИК, http://amplif.ru/publ/pro_usiliteli/peredacha_zvuka
3. LI-FI Technology Light Feadility , <https://www.slideshare.net/siroddeo>
4. Electronic Circuit Diagram.Laser Communication Transmitter Receiver, <http://circuitdiagram.net>
5. LLaser Communication System, <https://electronicsforu.com/electronics-projects/hardware-diy>
6. Wireless Headphones Using Infrared Rays, <http://slideplayer.com/slide/5891249>
7. Baklanov, A., Zhaparova, A., Titov, D., Gyorok, Gy.: Study of the Effectiveness of Switching-on LED Illumination Devices and the Use of Low Voltage System in Lighting. Acta Polytechnica Hungarical. 5, 71–80 (2015)
8. Baklanov, A., Baklanova, O., Eleusizova, K., Sayun, V., Grigoryev E.:Creation of LED network of data transmission based on Visible Light Communication technology. In: 12th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas (AIS 2017). Hungary (2017)

Низковольтная светодиодная система освещения, интегрированная с солнечным элементом питания и контролем неисправности светодиодов

А. Т. Байдилдина¹, А. Е. Бакланов¹, С. В. Григорьева¹, А. К. Дмитриев²,
В. М. Саюп³

¹Восточно-Казахстанский государственный технический университет
им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан

²Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия

³Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Томск, Россия
SGrigorieva@inbox.ru

Аннотация В статье предложена и реализована принципиально новая светодиодная система внутреннего освещения административных зданий, с контролем неисправности светодиодов. Предложено принципиально новое решение подключения светодиодной системы освещения. Контроль и управление в системе осуществляется с использованием промышленного контроллера. Основным преимуществом данной системы освещения является применение безопасного низковольтного питания (24В) светодиодных светильников и отсутствие преобразователей. Использование низковольтной системы освещения позволяет интегрировать систему с альтернативными источниками энергии, в нашей работе с солнечным элементом питания. Совокупность всех предложенных решений позволит значительно снизить потребление энергии на освещение, а также сократить выбросы парниковых газов.

Ключевые слова: Энергоэффективность, низковольтная система, светодиодное освещение, солнечная панель, преобразователь

В соответствии с Парижским соглашением по климату 2016г. Казахстан обязалась к 2030г. сократить выбросы парниковых газов на 15 % по сравнению с 1990г. [1,2]. Это означает либо осуществлять экономию электроэнергии, либо переходить на альтернативные источники энергии. В то же время современное состояние развития промышленности Казахстана предусматривает увеличение потребления электроэнергии. Решение этих диаметральных задач частично возможно при использовании энергоэффективных светодиодных систем освещения.

В данной работе рассматривается вопрос о создании энергоэффективной низковольтной системы светодиодного освещения с контролем исправности светодиодов, интегрированной с солнечными элементами питания.

В настоящее время во всех странах мира используются системы освещения с питанием высокого напряжения – 220В. В тоже время развитие новых технологий в области альтернативной энергетики и производства высокоэффективных, надёжных светодиодных кристаллов повышенной мощности даёт возможность изменения старого подхода к организации освещения здания. Основным, принципиально новым моментом является совпадение питания светодиодных элементов освещения и альтернативных источников электроэнергии (солнечных батарей) – 24 вольта, что позволяет разработать новую архитектуру систем освещения с возможностью автономной работы. Изменение системы питания позволит значительно уменьшить потребление энергии за счёт использования светодиодных осветительных приборов без преобразователей напряжения, повысить надёжность и долговечность работы системы освещения, а так же значительно повышается безопасность работы с системой освещения.

Постоянный ток с напряжением 24В считается низковольтным и не представляет опасности для жизни человека. Классическая схема включения светодиода в осветительном приборе показана на рисунке 1. Одним из элементов осветительного прибора является источник питания 1 (преобразователь с переменного напряжения в постоянное напряжение). Таким образом, при освещении светодиодным светильником помещения, подключенного к сети с переменным напряжением 220В, происходит потеря энергии при преобразовании напряжения драйвером, так как его КПД не равен 100%.

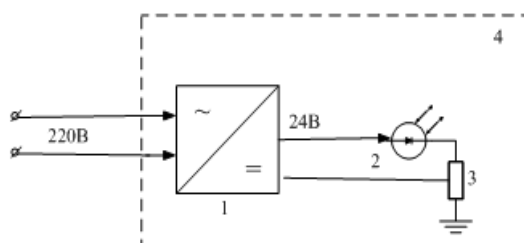


Рисунок 1. Типичная схема осветительных приборов

При широком внедрении альтернативных источников энергии, в частности солнечных батарей или солнечных элементов питания, для использования типовых осветительных приборов обычно необходимо преобразовать полученный от них постоянный ток в переменный 220В.

Обычно, при применении альтернативных источников энергии, используют уже имеющиеся в наличии осветительные приборы, схематично представленные в виде контура 4 на рисунке 1. Для обеспечения переменного

напряжения 220В устанавливается конвертор 24-220В. В этом случае общая схема реализации подключения светодиодных осветительных систем может быть представлена в виде рисунка 2.

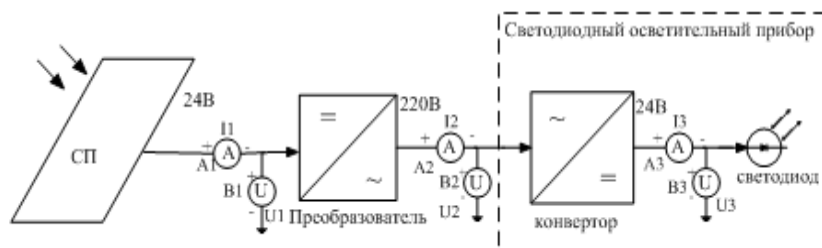


Рисунок 2. Общая схема измерения системы

Несмотря на низкий КПД солнечных батарей, их применение является эффективным, т.к. энергия получена от возобновляемого источника энергии. В рассматриваемой схеме имеется два преобразователя, вносящие потери и утечки в систему освещения. Первый преобразователь осуществляет преобразование постоянного тока, вырабатываемого солнечной батареей 24В, в рабочее напряжение сети 220В переменного тока, а второй конвертор осуществляет преобразование переменного тока в постоянный с 220В до напряжения в 24В.

Применение низковольтной системы освещения позволит сэкономить энергию, теряемую при двойном преобразовании тока [3,4]. Для исследования потерь электроэнергии была собрана конструкция, включающая солнечную панель, преобразователь, конвертор, светодиодный прибор, вольтметр, амперметр (рисунок 2).

Рассчитаем КПД преобразователя и конвертора (преобразователь с переменного напряжения в постоянный). Допустим, что за основу взяли повышающий преобразователь напряжения. В разрыв цепи питания включаем амперметр А1, и параллельно входу питания преобразователя напряжения вольтметр В1, показания которых нужны для расчета потребляемой мощности Р1 устройства и нагрузки вместе от источника питания. К выходу преобразователя напряжения в разрыв питания нагрузки тоже включаем амперметр А2 и вольтметр В2, требующаяся для расчета потребляемой нагрузкой Р2 мощности от преобразователя напряжения. Значения измеренных токов и напряжения, согласно рисунка 2, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Экспериментальные значения токов и напряжения

И1, А	U1, В	Р1, Вт	И1, А	U1, В	Р1, Вт	И1, А	U1, В	Р1, Вт
3.5	24	85	0.35	220	77	2.7	24	64

Расчет КПД производился по общепринятым законам теории электрических цепей. Измерялся ток и напряжение до первого преобразователя, после первого преобразователя, далее после второго преобразователя.

По этим данным рассчитывалась мощность до и после преобразователей, КПД обоих преобразователей и суммарный КПД. Результаты расчетов по полученным экспериментальным значениям приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчетов по экспериментальным данным

P1,Вт	P2,Вт	P3,Вт	$\eta_1, \%$	$\eta_2, \%$	$\eta_3, \%$
80	77	64	90	80	72

Полученные результаты показали неэффективное применение двойного преобразования напряжения, обусловленного потерей энергии на 30%. В то же время, при отсутствии преобразователей, возникает вопрос по стабилизации тока. Так, если нам необходимо запитать светодиодные светильники на этаже административного здания (20 светильников типа «Амстронг») необходимо при напряжении 24В обеспечить ток порядка 20А. При включении светодиодных ламп параллельно, в случае выхода из строя одной лампы, при стабилизации суммарного тока произойдет перераспределение токов по светодиодам – ток на оставшихся в работе лампах вырастет, что приведет к постепенной деградации светодиодов.

Нами предлагается для низковольтной системы питания светодиодного освещения использовать источник со стабилизацией напряжения. В данном случае, при выходе из строя светодиодной лампы также произойдет перераспределение тока по лампам, но при этом ток в лампах уменьшится. Это приведет к уменьшению освещенности на этаже. В процессе исследования работы светодиодных осветительных систем нами были созданы две схемы светодиодного освещения – классическая, с использованием драйверов со стабилизацией тока и схема со стабилизацией напряжения, включающая контроль неисправности светодиодов.

Классическое подключение светодиодных светильников использует преобразователи напряжений. Данная схема, реализованная для этажа учебного корпуса университета [5], приведена на рисунке 3.

В качестве солнечного элемента питания нами были взяты две гибкие солнечные панели производства США, мощностью по 450Вт (полная максимальная мощность двух панелей – 900 Вт). Коридор освещался 20-ю светодиодными светильниками типа «Амстронг» по 32Вт, т.е. суммарная потребляемая мощность составила 640Вт. Аккумуляторы были включены попарно последовательно. Всего в системе освещения использовалось 4 аккумулятора емкостью 650А*час с напряжением 12В. Контроллер, обеспечивающий рабочий режим аккумуляторов и согласование внешней цепи с солнечной панелью был стандартным заводским (PWM контроллер 40А). Преобразователь напряжения 24/220 был взят из стандартного источника бесперебой-

ного питания. При нарушении работы солнечной батареи в схеме предусмотрено переключение на внутреннюю систему энергоснабжения 220В.

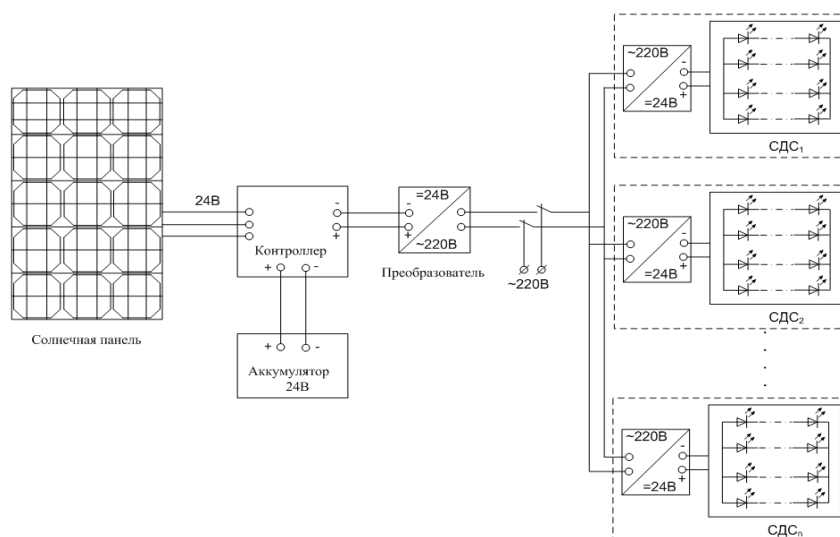


Рисунок 3. Классическая схема светодиодного освещения с использованием драйверов со стабилизацией тока

Для поддержания рабочего режима низковольтной системы освещения нами предлагается осуществлять контроль работы каждого светильника в реальном времени. Для диагностики неисправности используется датчик ASC-712 (5А). При таком контроле схема низковольтной светодиодной системы освещения, интегрированной с солнечными элементами питания, представлена на рисунке 4.

Рассмотрим работу предлагаемой схемы на примере одной лампы.

Светодиодная матрица (светильник типа «Амстронг») состоит из 4 светодиодных лент, каждая из которых включает в себя 8 последовательно соединенных светодиодов. Питание на светодиодную матрицу можно подать от блока питания или от солнечной панели. Поскольку каждая светодиодная лента, расположенная в матрице, рассчитана на 24В, у нас есть возможность использовать в качестве источника питания солнечную панель, что позволяет экономить электроэнергию.

Датчик тока, подключенный к блоку питания, измеряет уровень тока, который потребляет светодиодная матрица. Далее, измеренное значение уровня тока отправляется на контроллер Siemens Simatic S7-1200 (рисунок 5).

После этого, контроллер сравнивает полученные данные с заданным значением (некой константы, установленной для каждой системы индивидуально).

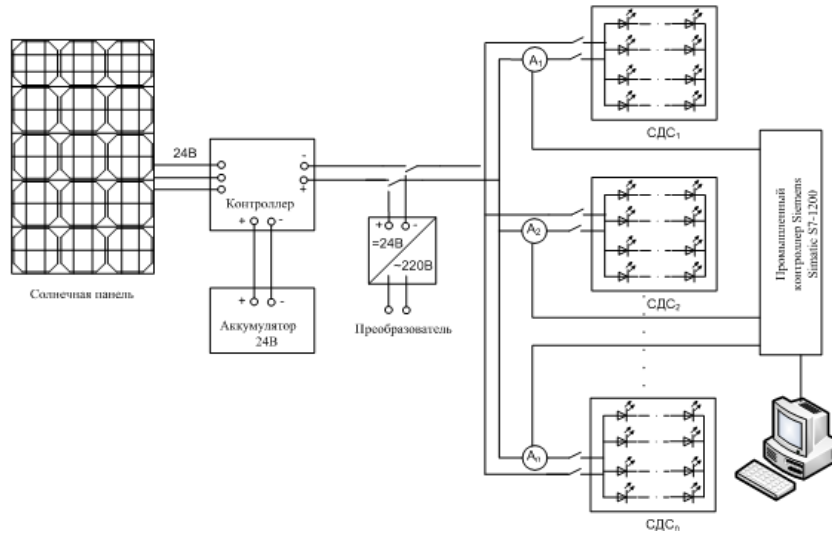


Рисунок 4. Схема со стабилизацией напряжения, включающая контроль неисправности светодиодов



Рисунок 5. Блок промышленного контроллера, управляющего работой системы светодиодного освещения этажа университета

Если полученные данные меньше этого значения, то на персональном компьютере и на цветном сенсорном дисплее контролера отображается информация о выходе из строя количества светодиодных лент в соответствующей матрице (рисунок 6).

В случае, если значение полученной величины будет больше заданного значения, это будет означать, что в системе произошло короткое замыкание и в первую очередь выйдет из строя блок питания, если у него нет защиты от короткого замыкания. Также погаснут все светодиодные матрицы. Кроме того, есть большая вероятность возникновения пожара. Поэтому мы предлагаем установить на светодиодную матрицу твердотельное реле и подключить его к контроллеру. Контроллер будет управлять светодиодной матрицей через реле. Это позволит нам обесточить светодиодную матрицу в случае короткого замыкания и обеспечить безопасность работы системы.

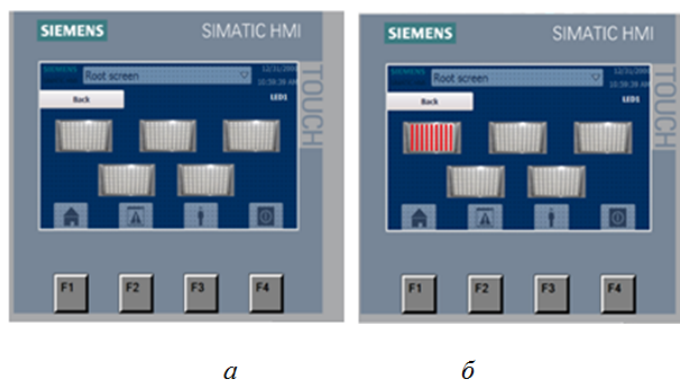


Рисунок 6. Интерфейс контролера: а – все светодиодные лампы работают нормально; б – вышла из строя лампа 1 модуля

Использование низковольтной системы питания позволяет интегрировать в систему освещения солнечные элементы питания. Возможность использования солнечной энергии ещё больше делает систему энергоэффективной, за счёт уменьшения выбросов от ТЭЦ (рисунок 7). Данные были получены экспериментально в результате изучения двух светодиодных систем освещения (рисунки 3, 4).

Гистограмма отображает уровень потребления энергии в 4-х случаях: 1 – с преобразователем из сети 220В; 2 – из сети 220В без преобразователя; 3 – совместно с солнечной панелью с преобразователем; 4 – только солнечная панель 24В. Видно, что на преобразователи уходит около 30% энергии. При этом при использовании солнечных батарей расход энергии идёт только на аварийное освещение и профилактические работы и составляет в среднем приблизительно 50 Вт*час. Если посчитать выработанную солнечными панелями энергию и перевести в эквивалентное количество выброшенного в

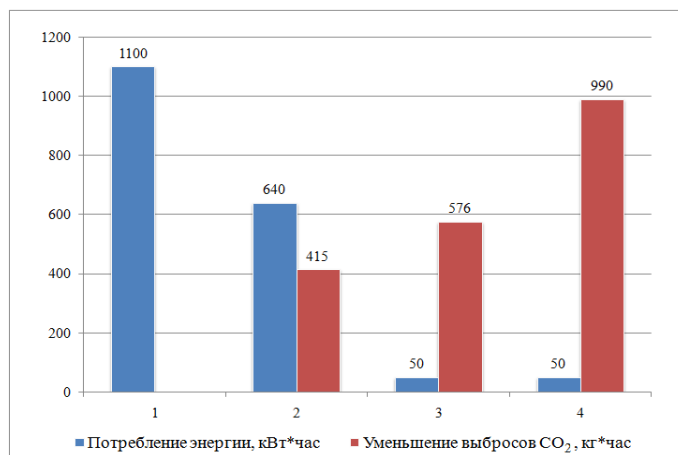


Рисунок 7. Результаты экономии электрической энергии при низковольтной системе освещения

атмосферу электростанцией газа CO_2 [6], то получим уменьшение выбросов на 990г в час. Это означает, что, при освещении коридора в течении года в среднем по 4 часа получим значение уменьшения выбросов порядка одной тонны CO_2 .

В заключении отметим, что предложенная новая система низковольтного питания светодиодным освещением, интегрированная с солнечными источниками энергии является безопасной, более дешёвой (из-за отсутствия преобразователей), более надёжной и энергоэффективной.

Список литературы

1. Парижское соглашение по климату, <http://ratel.kz>
2. Зеленая энергетика Казахстана в 21 веке: мифы, реальность и перспективы, <http://gbpp.org/category/publication>
3. Baklanov, A., Zhaparova, A., Titov, D., Gyrok, Gy.: Study of the Effectiveness of Switching-on LED Illumination Devices and the Use of Low Voltage System in Lighting. Acta Polytechnica Hungarica. 5, 71–80 (2015)
4. Zhaparova, A.T., Baklanov, A.E., Titov, D.N.: Improving the efficiency of led lighting by switching to low-voltage technology. In: International Conference on Industrial Engineering. «Procedia Engineering» (ICIE-2015). Netherlands, pp. 171–177. (2015)
5. Grigoryeva, S., Baklanov, A., Titov, D., Sayun, V., Grigoryev, Ye.: Analysis energy efficiency of automated control system of LED lighting. In: IEEE-Euroasian Conference on Future Energy and International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2017), Astana, Kazakhstan. (2017)
6. Grigoryeva, S., Baklanov, A., Titov, D., Sayun, V., Grigoryev, Ye.: Analysis energy efficiency of automated control system of LED lighting. In: IEEE-Euroasian Conference on Future Energy and International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2017), Astana, Kazakhstan. (2017)

7. Расчет выбросов CO₂ от электростанции, работающей на угле. Институт исследований энергетики и окружающей среды. Энергетика и Безопасность, № 37 (2006), www.ieer.org/ensec/no-37/no37russ/

Создание прототипа системы управления информационными ресурсами*

Ю. Леонова, А. Федотов

Институт вычислительных технологий Сибирского отделения РАН,
Новосибирск, Россия
{Juli,Fedotov}@ict.nsc.ru

Аннотация В данном докладе дается определение научной информационной системы (НИС) с точки зрения научной коммуникации. Определены задача, предметная область, субъекты, объекты, основная функциональность НИС, приводится список основных видов информационных ресурсов. В работе выполнен анализ функциональных требований предъявляемых к таким системам.

Ключевые слова: научные информационные системы, функциональные требования, информационный ресурс, информационная модель

Введение

Особенность развития современного общества характеризуется возрастающим объемом и быстрым устареванием научной информации. Для повышения эффективности научных исследований ученым необходим доступ к информации о результатах исследований, выполняемых в интересующей области. Поэтому любое научное исследование обычно начинается с поиска научной информации об исследованиях в данной области, но поиск необходимой информации в постоянно возрастающем объеме статей, книг, монографий, отчетов, патентов становится все сложнее. Ученым приходится много времени тратить на поиск и обработку информации, позволяющей быстро ознакомиться с результатами других исследований и исключить их дублирование.

Таким образом, в современном научном сообществе большое значение имеют темп и качество научно-информационного обмена. Основой коммуникации в научном сообществе является научная публикация. «Публикация выступает как первичный источник сведений о научном знании, отношениях между учеными, строения и динамике научных объединений и т.п. Для науковеда, философа, логика, методолога, специалиста по информатике, социолога науки той конечной реальностью, из которой исследователь черпает свои представления о науке, выступают публикации. Отличающиеся друг от друга изображения науки в различных исследовательских традициях ...

* Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ (Проект № 18-07-01457).

становятся объектами изучения лишь постольку, поскольку сведения о них имеются в научной публикации» [1]. Главной задачей создания информационной системы поддержки научных исследований является ускорение темпа и повышение качества информационного обмена в научном сообществе.

Работы по унификации данных и систематизации информационных ресурсов являются актуальными для многих профессиональных областей. Информационные системы поддержки научных исследований оперируют с различного рода информацией. Это могут быть публикации, электронные документы, электронные коллекции, онтологические описания, массивы данных, логические описания и др. Эти ресурсы, востребованные разными группами исследователей, могут оказаться недоступными из-за проблем с их поиском и идентификацией. Семантические связи между информационными ресурсами повышают их ценность и предоставляют дополнительные возможности для информационного поиска и идентификации. Сложность использования ресурсов обусловлена проблемами обеспечения актуальности версий ресурсов, а также отсутствие единых механизмов преобразования при разнородности представления и хранения ресурсов (электронные таблицы, базы данных, электронные документы, каталоги, файлы – бинарные, текстовые, XML-разметка и т.п.).

Интеграция информационных ресурсов в единую информационную среду и организация доступа к информационным ресурсам позволяет унифицировать процесс обмена результатами научных исследований и повышает эффективность взаимодействия отдельных групп исследователей.

Актуальной задачей является создание модели информационной системы поддержки научных исследований позволяющей:

- унифицировать процесс обмена результатами научных исследований;
- оперировать с данными и документами, интегрированными в открытое семантическое пространство;
- предоставлять сервисы преобразования разнородных ресурсов, реализующих средства описания, представления, автоматического связывания ресурсов, а также взаимодействие с поисковыми и классификационными механизмами в соответствии с потребностями пользователей.

Модель должна обеспечить следующую функциональность:

- публикация ресурсов, включающая процедуры регистрации, именования, аннотирования и определение формата;
- аналитическая обработка ресурсов;
- доступ к опубликованным ресурсам, включая функции динамического формирования;
- для автоматизированного функционирования необходимы функция мониторинга ресурсов и актуализации их метаописаний, функции уведомления пользователей о появлении новых ресурсов и обновлении существующих, функция диспетчеризации.

Предметная область научной информационной системы

Научная информационная система (НИС) – система, которая автоматизирует процессы научного информационного обмена. В данной статье мы рассматриваем НИС с позиции информационного обмена. В англоязычной литературе существует альтернативное определение данного термина как CRIS (Current Research Information System)[13]. Информационными ресурсами НИС являются научные публикации. Научная публикация формально является основным результатом работы ученого. Публикуя материал, ученый знакомит научную общественность с результатами своих исследований, их анализом и выводами. Но помимо донесения информации о проведенной работе, у публикации в НИС есть еще одна полезная функция – обеспечение поиска публикаций по аналогии, что существенно облегчает поиск научной информации об исследованиях в данной области.

По объему и жанру публикации результатов научных исследований можно разделить на пять основных типов:

1. краткие сообщения, включая тезисы докладов на конференциях, симпозиумах, совещаниях и т.п. ;
2. научные статьи – основная форма полноценного представления результатов научных исследований;
3. монографии – наиболее развернутое изложение результатов исследования какой-либо научной проблемы;
4. публикации на правах рукописей, например, диссертации и их авторефераты;
5. отчеты о научной работе, которые могут быть зарегистрированы во ВНИТИЦ (Всероссийский научно-технический информационный центр).

Наиболее важной из них считается статья, которая может быть опубликована в специализированном периодическом или непериодическом издании. Другие формы научных публикаций либо отличаются большим объемом и поэтому печатаются редко (например, монографии), либо недостаточно информативны, как тезисы докладов на конференции.

Обозначим основные категории пользователей, с которыми взаимодействует НИС:

1. научные работники (ученые, исследователи, аналитики);
2. работники образования и учащиеся (преподаватели, учителя, аспиранты, студенты);
3. управленческий персонал (руководители организаций, отделов, лабораторий, проектов);
4. инвесторы (финансирующие фонды и организации, физические лица);
5. прочие (журналисты, статистики, обозреватели).

Категории пользователей и их потребности определяют основные виды сервисов, которые предоставляют НИС: поиск и распространение научной информации, службы уведомления, архивное хранение информации, аналитические службы.

Требования, предъявляемые к информационным системам поддержки научных исследований

Требования можно разделить на следующие виды:

- пользовательские требования;
- функциональные требования;
- модели и словари данных;
- требования к производительности;
- требования к удобству использования;
- требования к безопасности.

В работе [13] представлен набор наиболее общих функциональных требований к НИС.

1. Сбор информационных ресурсов. Для сбора информации необходимо использовать различные варианты ввода данных:
 - ввод данных пользователями;
 - сбор данных в Internet посредством специальных программных агентов (“пауков”);
 - обмен данными с другими ИС.
2. Релевантность документов. При автоматическом сборе информации в Internet может накапливаться и нерелевантная или малорелевантная информация для данной НИС. Решение проблемы возможно следующими способами.
 - Создание подробных форматов представления метаданных о ресурсах и структурированных справочников для тематической классификации ресурсов. НИС должна вкладывать описания в метаданные на веб-страницы и предоставлять интерактивные средства пользователям для создания метаданных определенного формата при размещении ресурсов.
 - Разделение информационных ресурсов в зависимости от варианта поступления в систему (размещенные экспертами/пользователями и “пауком”, а также указание степени достоверности информации с учетом ее источника.
 - Указание поисковым средствам пространства поиска и классификации информации, а также задание критериев оценки качества введенной информации
 - Использование схем классификации ресурсов согласно потребностям пользователей и классификация ресурсов в соответствии с этими схемами
3. Актуальность, полнота, достоверность происхождения документов. Способы решения проблем актуальности и полноты аналогичны способам решения проблемы охвата ресурсов. Способы определения достоверности происхождения информации следующие:
 - для интерактивного ввода – информация вводится только аутентифицированными пользователями;

- для автоматизированных систем сбора – накладывание ограничений на область действия агента, выполняющего сбор информации;
 - для обмена информацией с другими ИС – задание фильтров на импортируемые информационные ресурсы;
 - для всех способов ввода – должна выполняться проверка и классификация всей введенной информации.
4. Использование интеллектуальных служб обработки запросов пользователя. Службы обработки запросов пользователей должны обеспечивать поиск по атрибутам, полнотекстовый поиск, просмотр ресурсов по категориям, семантический поиск (необязателен).
 5. Извлечение знаний. Использование частичной автоматизации извлечения знаний. В основе подхода лежит представление смысла текста в виде семантической сети, принцип построения которой основывается на использовании частоты совместной встречаемости понятий в тексте. Пользователю сеть представляется в виде тематического дерева (дерево ключевых терминов и связанных с ними понятий), что позволяет выполнять навигацию и существенно облегчает процесс исследования текста и поиска требуемой информации. Данный подход также используется для решения таких задач, как автоматическое реферирование, тематическая классификация и кластеризация текстов, семантический поиск и т.д. Кроме того к НИС, работающие с разными типами информационных ресурсов, предъявляются следующие требования
 6. Поддержка не централизованных архитектур информационных систем. Это требование является необходимым условием для полноты, аутентичности и актуальности информации. Опыт эксплуатации НИС показал сложность создания централизованных научных систем, охватывающих научную информацию в какой-то области науки, или в какой-то стране.
 7. Структурированность информационного пространства. Для поддержки сложных функций поиска и классификации информации помимо хранения полнотекстового описания, необходимо реализовывать поиск по атрибутам, полнотекстовый поиск, просмотр ресурсов по категориям и словарям-классификаторам. При этом выбор классификаторов определяется степенью специализации системы.
 8. Адаптивное представления информации. Для повышения скорости поиска и точности подбора информации пользователем без потери качества поиска НИС должна учитывать запросы пользователей, их компетентность при работе с НИС, ограничения по времени. НИС должна обеспечивать возможность пользователю получать различные уровни абстракции при представлении информации от кратких описаний для максимального быстрого поиска, до очень подробных описаний информационных объектов.
 9. Историчность информации. Спецификой научной информации является ее быстрое устаревание и потеря актуальности. Для многих типов информационных ресурсов важно хранить всю информацию о всех изменениях и иметь возможность восстановить состояние ресурса на любой момент времени. Например, информация об авторах может меняться со

временем при смене персоной фамилии, места работы. Также необходимо учитывать переформирования и переименования организаций, наименования географических объектов также могут меняться. Поэтому необходимо учитывать временной фактор и использовать актуальную информацию для сущностей, связанную с промежутками времени. При распознавании сущностей необходимо обеспечивать выполнение запросов на какой-нибудь момент времени в прошлом, то есть создание среза истинности информации о сущностях на произвольную дату.

10. Архив. Как было отмечено выше, большая часть научной информации быстро устаревает. Но существуют информационные ресурсы, к которым необходимо обеспечивать доступ длительное время. К таковым, например, относятся документы, имеющие длительную юридическую силу, патенты или мультимедийная информация об исторических событиях, которая может быть востребована через любой период времени. Кроме того, научные отчеты институтов, речи ученых могут также иметь огромную историческую ценность, становясь только еще ценнее со временем. Поэтому системы должны поддерживать возможность длительного хранения информационных ресурсов с возможностью восстановления их.

В условиях работы в распределенной среде к НИС предъявляются требования:

- поддержка принятых стандартов метаданных для экспорта и импорта данных;
- поддержка протоколов обмена информации с другими информационными системами;
- поддержка возможности ссылки на внутренние ресурсы как в интерфейсах пользователей, так и на системном уровне.

Основные подсистемы к НИС и подходы к их реализации

Рассмотрим технологию построения прототипа информационной системы поддержки научной деятельности в соответствии с приведенными выше требованиями.

К основным функциям информационных систем относятся функции сбора и регистрации информационных ресурсов, их сохранение, обработка, актуализация, обработка запросов пользователей [14].

Сбор и регистрация информационных ресурсов. Сбор и регистрация информационных ресурсов могут выполняться одновременно или последовательно. Возможны различные варианты создания электронных ресурсов:

- ввод данных в систему вручную, например, путем измерения или наблюдения фактов реального мира;

- полуавтоматический – ввод с носителей информации (тексты на бумажных носителях);
- автоматический – ввод с различных датчиков, обмен данными с другими информационными системами.

В рассматриваемой авторами НИС ввод данных осуществляется полуавтоматическим и автоматическим способами, информационными ресурсами являются бумажные или электронные публикации.

При реализации этих функций возникает необходимо решать задачи очистки, верификации, сжатия данных, преобразования данных из одного формата в другой.

Функционирование среды основывается на использовании протоколов Z39.50 и LDAP. При этом предусмотрены механизмы преобразования данных из предметных схем в абстрактную схему протокола Z39.50. Виртуальная среда состоит реестра объектов и ресурсов, основного сервера Z39.50, нескольких функциональных модулей, а также web-интерфейса с публичным и административным разделами для доступа к различным функциям среды. Для каждого источника устанавливается отдельный сервер Z39.50, который осуществляет преобразование данных из схемы источника в абстрактную схему данных.

Хранение информационных ресурсов. Система должна обеспечивать управление и хранение распределенных данных в базах данных, поддержку различной структуры хранимых данных, их целостности и эффективного доступа к ним. Обработка информационных ресурсов. Обработка информационных ресурсов в информационных системах позволяет представлять пользователям продуцированную информацию, являющейся производной данных ранее введенных в систему и хранящихся в базе данных. Обработка также осуществляется при выполнении некоторых системных функций – при проверке ограничений целостности данных, при поиске в словарях и индексах.

Примером информационных систем без обработки информационных ресурсов являются простые системы текстового поиска, выдающие пользователям документы, удовлетворяющие условиям запроса, без какой-либо трансформации. Примером информационных систем, которых обеспечивают продуцирование производных данных, являются системы, выполняющие автоматическую генерацию рефератов и аннотаций хранимых документов. Одним из возможных вариантов эффективного доступа к информационным ресурсам является классификация документов. Проблема заключается в сложности ориентирования в информационных массивах, что не позволяет получить наиболее актуальную и полную информацию по определенной теме. При использовании тематической классификации для систематизации ресурсов необходимо определить состав логико-семантических категорий (фасетов) и ключевых терминов (понятий), покрывающих избранную достаточно узкую предметную область, интересующую пользователя.

Актуализация информационных ресурсов. Поддержка информационных ресурсов в ИС позволяет моделировать состояние и поведение пред-

метной области. Для поддержки динамической модели ИС необходимо актуализировать информационную модель – своевременно отслеживать в ней изменения состояния предметной области. Для этой цели необходимо актуализировать информационные ресурсы НИС. Актуализация информационных ресурсов осуществляется путем ввода или удаления документов, модификации ссылок, связывающих документы. При изменении структуры предметной области ИС для актуализации информационных ресурсов выполняется изменение схемы базы данных.

Предоставление информационных ресурсов пользователям. Основной целью создания ИС является удовлетворение информационных потребностей пользователей посредством предоставления необходимой им информации на основе хранимых информационных ресурсов. Предоставление ресурсов может осуществляться с помощью pull- и push-технологий:

- Pull-технология – предоставление ресурсов по инициативе пользователя через пользовательские интерфейсы, реализуется в ИС при использовании механизмов поиска и навигации.
- Push-технология – инициатором предоставления является сама система, в соответствии с определенным регламентом и для определенного круга пользователей. Применяется для распространения различного рода информации среди пользователей, стандартное сообщение рассылается по списку рассылки всем зарегистрированным в нем пользователям. В НИС таким образом организуется информирование пользователей о поступлении новых документов.

Помимо перечисленных основных функций ИС, видимых пользователям, существуют дополнительные функции, часть из которых возлагается на персонал ИС и ПО:

- управление распределенными информационными ресурсами, например фрагментация баз данных, тиражирование данных, синхронизация копий;
- защита физической целостности информационных ресурсов и их восстановление при разрушениях;
- обеспечение информационной безопасности в системе;
- управление метаданными;
- администрирование информационными ресурсами;
- обеспечение адаптации системы к изменениям требований к ней и к изменениям в предметной области.

Список литературы

1. *Мирский Э. М.* Массив публикаций и система научной дисциплины. «Системные исследования», 1977 г.
2. *Вигурский К. В.* Что такое электронная библиотека? // Доклад на конференции «Информационные технологии в образовании - 2005». — электронный ресурс <http://rd.feb-web.ru/library.htm> (дата обращения: 28.01.2013)

3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-99. Информационная технология. Процессы жизненного цикла программных средств. ГОССТАНДАРТ РОССИИ. Москва, 1999.
4. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы. Термины и определения.
5. Жижимов О. Л., Мазов Н. А., Федотов А. М. Некоторые заметки об эволюции цифровых репозитариев традиционных библиотек к полнофункциональным электронным библиотекам // Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. Территория новых возможностей. — № 3 (7). — 2010. — С. 55–63.
6. Коголовский М. Р. Метаданные, их свойства, функции, классификация и средства представления // Труды 14-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» — RCDL2012, Переславль-Залесский, Россия, 15-18 октября 2012 г.
7. Лукашевич Н. В. Тезаурусы в задачах информационного поиска / Москва: Издательство МГУ. — 2011. — С. 512. — ISBN 978-5-211-05926-9.
8. Ляпунов А. А. О соотношении понятий материя, энергия и информация // В кн.: Ляпунов А. А. Проблемы теоретической и прикладной кибернетики. — Новосибирск: Наука, 1980. — С. 320–323.
9. Отле П. Библиотека, библиография, документация: Избранные труды пионера информатики / Поль Отле. Пер. с англ. и фр. — Москва: ФАИР-ПРЕСС: Пашков Дом, 2004. — 348, [1] с. — (Специальный издательский проект для библиотек). — Библиогр.: с. 312–327. — Имен. указ.: с. 340–342. — ISBN 5-8183-0624-0.
10. Резниченко В. А., Проскудина Г. Ю., Кудим К. А. Концептуальная модель электронной библиотеки [Электронный текст] / В. А. Резниченко, Г. Ю. Проскудина, К. А. Кудим // Труды XI Всероссийской научной конференции RCDL'2009», Россия, г. Петрозаводск (Карелия), 17–21 сентября 2009 г. — С. 23–31.
11. Советов Б.Я. Информационные технологии : учебник для вузов / Б.Я. Советов, В.В. Цехановский. — М.: Высшая школа, 2005.
12. Федотов А. М. Методологии построения распределенных систем // Вычислительные технологии. 2006, Т. 11, Избранные доклады X Российской конференции «Распределенные информационно-вычислительные ресурсы» (DICR-2005), Новосибирск 6-8 октября 2005 г. С. 3–16.
13. Кулагин М. В., Лопатенко А. С. Научные информационные системы и электронные библиотеки. Потребность в интеграции. // Сб. трудов Третьей Всероссийской конф. по электронным библиотекам. RCDL'2001 Петрозаводск, 11-13 сентября 2001 г., с. 14-19.
14. Лекции по Автоматизированным информационным системам и СУБД. Лекция 2 - функции информационных систем. «Бауманки.НЕТ» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://baumanki.net/lectures/10-informatika-i-programmirovanie/320-lekcii-po-avtomatizirovannym-informacionnym-sistemam-i-subd/4274-2-funkcii-informacionnyh-sistem.html>
15. Федотов А. М., Шокин Ю. И. Электронная библиотека Сибирского отделения РАН // Информационное общество. — 2000. — № 2. — С.22–31.
16. Шокин Ю. И., Федотов А. М., Жижимов О. Л., Гуськов А. Е., Столяров С. В. Электронные библиотеки — путь интеграции информационных ресурсов Сибирского отделения РАН // Вестник КазНУ, специальный выпуск. — г. Алматы, Казахстан, Казахский национальный университет им. аль-Фараби. — 2005. — № 2. — С. 115–127.

17. Шожин Ю. И., Федотов А. М., Жижимов О. Л., Федотова О. А. Эволюция информационных систем: от Web-сайтов до систем управления информационными ресурсами // Вестник НГУ Серия: Информационные технологии. 2015. Том 13, Выпуск № 1. С. 117–134. — ISSN 1818-7900.
18. D3.2b The Digital Library Reference Model // Funded under the Seventh Framework Programme, ICT Programme — “Cultural Heritage and Technology Enhanced Learning” Project Number: 231551. April 2011. (<http://www.dl.org.eu>) — Full Text: http://db4.sbras.ru/elbib/data/show_page.phtml?22+269.
19. DCMI — Dublin Core Metadata Initiative // (<http://www.dublincore.org/>).
20. DSpace [Электронный ресурс]: an open source solution for accessing, managing and preserving scholarly works // dspace.org [web-сайт] / MIT Libraries; HP Labs. — 2007. (<http://www.dspace.org/>).
21. ISO 14721:2012 Reference model for an Open archival information system (RM OAIS) / Recommended Practicle: CCSDS 650.0-M-2 (Magenta Book). June 2012. Available at: <http://public.ccsds.org/publications/archive/650x0m2.pdf>
22. Mooers C.N. «Mooers» law, or why some retrieval systems are used and other are not // American Documentation. - 1960. - Vol.11, N.3.
23. Otlet P. Traite de documentation. // Bruxelles: Ed. Mundaneum, 1934.

Разработка интеллектуальной системы для оптимального энергоэффективного управления подачей воздушно-топливной смеси в паровых котлах

О. Б. Оспанов, Д. Л. Алонцева, А. Л. Красавин

Восточно-Казахстанский государственный
технический университет им. Д. Серикбаева,
Усть-Каменогорск, Казахстан
ospanovolzhas@gmail.com

Аннотация В статье сделан краткий обзор существующих современных методов энергоэффективного управления процессами в тепловых электростанциях (ТЭЦ) с упором на использование современных средств автоматизации и вычислительной техники, позволяющих увеличить КПД парового котлоагрегата. Обоснован выбор интеллектуального контроллера и приведена разработанная авторами схема интеллектуального управления процессом формирования топливно-воздушной смеси в паровой котельной. Предложен эффективный способ разработки ориентированной на управление на практике модели, а также шаги по обеспечению безопасности при использовании новой системы управления на реальной ТЭЦ, чтобы обеспечить безопасное внедрение современных методов контроля и адаптацию методов автоматического управления процессами формирования топливной смеси к реальным условиям работы в действующей паровой котельной.

Ключевые слова: Интеллектуальные автоматизированные системы, энергосберегающий контроль, автоматизированный дизайн САПР, программирование, паровой котел

Введение

В настоящее время во всем мире остро стоит вопрос увеличения цены и уменьшения природных запасов невозобновляемых источников энергии, что вкупе с отрицательным воздействием на окружающую среду, вследствие выбросов в атмосферу продуктов сжигания, привели к тому, что многие научно-исследовательские работы направлены на решение проблем оптимизации и увеличения энергоэффективности использования энергоносителей [1,2,3,4,5,6,7,8,9]. В первую очередь необходимо отметить, что в большинстве котельных, работающих на угле, отсутствуют системы автоматического регулирования концентрации пылевоздушной топливной смеси. Как правило,

установки питателей, регулирующих подачу угольной пыли, подбираются эмпирически и не подлежат автоматическому регулированию, а линии подачи воздуха содержат только один контур автоматического управления, служащий для поддержания постоянного во времени объемного расхода воздуха (при этом величина расхода также подбирается эмпирически) [1,2,3]. Регулировка форсунок периодически выполняется наладчиками вручную, причем, как показывает опыт, квалификация и опыт наладчика оказывает существенное влияние на КПД работы парового котлоагрегата. Вместе с тем известно, что КПД процесса сжигания топливно-воздушной смеси при фиксированных параметрах применяемой топливной пыли (сорта угля, фракционного состава и влажности) в высокой степени зависит от концентрации пылевоздушной смеси. Кроме того, в условиях непрерывной работы котельной, параметры топливной пыли непостоянны во времени, в силу чего постоянные установки системы формирования горючей смеси неспособны поддерживать стабильный КПД в принципе [3]. Анализ попыток применения методов автоматического регулирования процессов формирования топливной смеси в котельных и на металлургических производствах, позволяет сделать вывод, что указанные попытки предпринимались в двух основных направлениях: в одних случаях контролируемым параметром была концентрация пыли, в других - концентрация оксида углерода или кислорода в продуктах сгорания [4,5]. Таким образом, в обоих случаях процесс автоматического регулирования обеспечивал постоянство во времени измеряемого параметра, но не вырабатываемой мощности, причем оптимальная (в среднем) для конкретных условий работы величина параметра подбиралась технологами эмпирически. Очевидно, что в силу непостоянства внешних факторов (химического и фракционного состава угольной пыли, влажности и пр.), подобные методы не могут поддерживать максимально достижимый КПД работы установки в течение сколько-нибудь длительного времени. Кроме того, выбор значения стабилизируемого параметра осуществлялся эвристическими методами, поскольку непрерывный режим работы котельных не позволяет ставить масштабные и продолжительные по времени эксперименты. Следует отметить, что в последнее время проводятся исследования систем управления бойлерами, основанных на отслеживании нескольких параметров системы (мультифакторные системы) [6,7], однако при этом измеряемые величины также не имеют однозначной и устойчивой во времени связи с вырабатываемой мощностью. Таким образом, применявшиеся ранее попытки создания автоматизированных систем формирования топливно-воздушной смеси не позволяли поддерживать режимы, близкие к оптимальным, в течение длительного времени. Тем не менее, практика их применения показывала заметное увеличение КПД установок, снабженных такими системами, в сравнении с установками с регулируемыми вручную параметрами топливно-воздушной смеси [2,4,8]. Последнее обстоятельство позволяет предположить, что предлагаемые методы активного поиска оптимальных параметров топливно-воздушной смеси при фиксированной вы-

рабатываемой тепловой мощности могут существенно увеличить средний КПД паровых котлоагрегатов.

Целью данной работы является обзор современных разработок в области энергоэффективного управления процессами в тепловых электростанциях, на его основе обоснование выбора контроллера для разработки интеллектуальной системы оптимального энергоэффективного управления процессами формирования топливно-воздушной смеси в паровых котельных и разработка схемы регулирования, позволяющей реализовать оптимальный алгоритм управления с использованием современных средств автоматизации и вычислительной техники, чтобы увеличить КПД парового котлоагрегата.

Результаты и обсуждение

Обзор современных разработок в области автоматического энергоэффективного управления процессами в тепловых электростанциях

Электростанции, работающие на ископаемом топливе (ТЭЦ), относятся к группе устройств генерации энергии, которые преобразуют энергию химического вещества, хранящуюся в ископаемом топливе, таком как уголь, газ, нефть, в тепловую энергию, механическую энергию и, наконец, электроэнергию. Согласно ключевой мировой энергетической статистике 2013 года, опубликованной Международным энергетическим агентством (МЭА), в 2011 году годовое производство электроэнергии из всех типов источников было 22 126 ТВт·ч и ТЭЦ предоставили 15 054 ТВт·ч, что составило 68 процентов от общего производства электроэнергии [1]. Хотя быстрое увеличение глобального энергетического кризиса, в сочетании с озабоченностью проблемами окружающей среды привели к широкому продвижению ядерной и возобновляемой энергии в большинстве районов мира, тенденция традиционной выработки электроэнергии с преобладанием ископаемого топлива не изменится в обозримом будущем. По этой причине, разработки по автоматизации и эксплуатации ТЭЦ согласно самым современным подходящим доступным технологиям очень важны и должны быть наиболее эффективным и прямым способом для экономии энергии и снижения загрязнения окружающей среды. Хотя есть много вариантов в конфигурации и проектировании электростанций, основной принцип работы ТЭЦ сохраняется: ископаемое топливо сжигается, образуя пар высокого давления и температуры, который затем расширяется, чтобы вращать турбину, и приводит в действие генератор для производства электроэнергии. Основная задача контроля для ТЭЦ: система должна регулировать выходную мощность для удовлетворения спроса на электроэнергию в совокупности с безопасным поддержанием требуемых значений основных динамических переменных, таких как температура паронагревателя, давление дроссельной заслонки, давление в печи, уровень воды в барабане. Как правило, такая цель достигается посредством использования многоуровневых автоматических регуляторов на основе пропорционально-интегрально – дифференциальных (ПИД) контроллеров. Данный подход оказывается высоконадежны-

ми и обеспечивает удовлетворительную производительность при нормальной работе, поддерживаемой в системе, где характеристики ТЭЦ остаются почти постоянными. Однако за последние несколько десятилетий энергетическая промышленность претерпела некоторые существенные изменения, и первичным устройствам производства электроэнергии ТЭЦ были предъявлены более высокие операционные требования:

1. Спрос на электроэнергию возрастает, при этом на величину циклического изменения сетки нагрузки возобновляемых источников, таких как ветер, солнечная и гидроэнергия, оказывают сильное влияние сезон и погодные условия. Таким образом, ТЭЦ должны участвовать в общей сети производства энергии и реагировать на эти изменения, регулируя нагрузку в широко и быстро изменяющихся широких пределах.

2. Приватизация и децентрализация электроэнергетики изменили производство электроэнергии, создав конкурентную среду для продажи продукта. По этой причине электростанции увеличиваются в размерах и становятся более сложными для достижения высокой эффективности и требуемого масштаба экономики. Кроме того, вышеупомянутые тепловые параметры должны контролироваться более жестко, таким образом, чтобы завод мог работать в оптимальном режиме в любое время. Поэтому проблемы управления в условиях нелинейности параметров в широком диапазоне операций, большой инерционности и изменяющегося во времени поведения, а также сильное взаимодействие среди множества переменных, становятся серьезными вызовами для систем управления процессами ТЭЦ. Следовательно, обычные ПИ/ПИД регуляторы, основанные на контроллерах, уже недостаточны для требуемой производительности, даже если они хорошо настроены при заданном уровне нагрузки. С другой стороны, с помощью современных компьютерных и инструментальных технологий, использования распределенной системы управления, теперь стало возможным внедрение передовых контроллеров. Представим краткий обзор современных стратегий управления, применяемых на ТЭЦ и традиционную систему управления на основе ПИ/ПИД-регулятора.

Согласованное управление котлом и турбиной

Как указывалось ранее, в ТЭЦ, особенно в паровых котельных, протекают сложные, многопараметрические и интерактивные процессы, поэтому требуется хорошо разработанная система управления, чтобы обеспечить правильную работу всего процесса, то есть быстро следовать потребностям загрузки сети и контролировать соответствующие переменные процесса, такие как: давление дроссельной заслонки, температура паронагревателя, давление в печи, уровень воды в барабане (подкритическая установка) и т. д., так, чтобы обеспечить высокую эффективность, долговечность и безопасность. Схемы управления котлотурбинной установкой прошли через несколько десятилетий эволюции и, как правило, для выполнения таких задач конструируются каскады ПИ/ПИД-контроллеров на основе одноканальных управляющих контуров с одним входом.

Современные стратегии управления установками или агрегатами позволяют генерировать спрос на загрузку сетки при сохранении баланса между переменными процесса внутри блока. В основном, они соответствуют выходной мощности водяного пара котла к энергии, требуемой турбогенератором, т.е. всегда соответствуют потребностям нагрузки. Согласованная система автоматического управления представляет собой самый верхний уровень системы управления, который объединяет котлотурбинный генератор в единую сущность, согласовывая медленный отклик котла с более быстрым откликом турбины. Это делается для достижения быстрого и стабильного ответа устройства во время отслеживания изменений и возмущений нагрузки, при этом выходная мощность и давление дроссельной заслонки являются двумя наиболее важными переменными. Внешне, выходная мощность отражает баланс между выработкой электроэнергии электростанцией и потребляемой мощностью сети; внутренне, давление дроссельной заслонки естественно представляет собой баланс между потреблением энергии котла и потребностью в энергии турбины. Доминирующее поведение котлоагрегата регулируется посредством контроля мощности и давления в схеме. Поэтому центральной задачей системы управления является регулирование выходной мощности для удовлетворения потребностей при поддержании давления дроссельной заслонки в допустимых пределах. Системы с различными конфигурациями с одним выходом (децентрализованные), основанные на алгоритмах ПИД-регулирования, в настоящее время представлены двумя возможными режимами для согласованного управления: согласованным режимом управления котлом и согласованным режимом управления турбиной [1,10,11,12,13].

В первом режиме бойлер ожидает действий турбины в соответствии с запрошенной мощностью. Регулирующие клапаны турбины регулируют поток пара в турбину в соответствии со спросом на электроэнергию. Затем регулятор котла отвечает изменениями расхода и давления пара. Основной принцип согласованного режима управления котлом проиллюстрирован на рисунке 1. Преимуществом такого подхода является быстрый ответ на изменения нагрузки, однако, такой быстрый ответ в основном достигается с использованием накопленной тепловой энергии в установке, таким образом, он эффективен только для небольшого изменения требуемой выходной величины. Недостатком согласованного режима управления котлом ВГ является то, что этот подход показывает менее устойчивый контроль давления в дросселе генератора, поскольку котел имеет тенденцию к перерегулированию, потому что требуется некоторое время, чтобы соответствовать изменениям в турбине [12].

В согласованном режиме контроля турбиной, турбина следит за действиями котла в соответствии с запросом генератора. Потребность в мощности используется при контроле сгорания в котле путем регулировки подачи топлива и воздуха в печь, чтобы изменить производство пара. Затем контроль турбины реагирует путем регулировки отверстий дроссельной заслонки, чтобы вывести давление на заданное значение. Преимущество этого

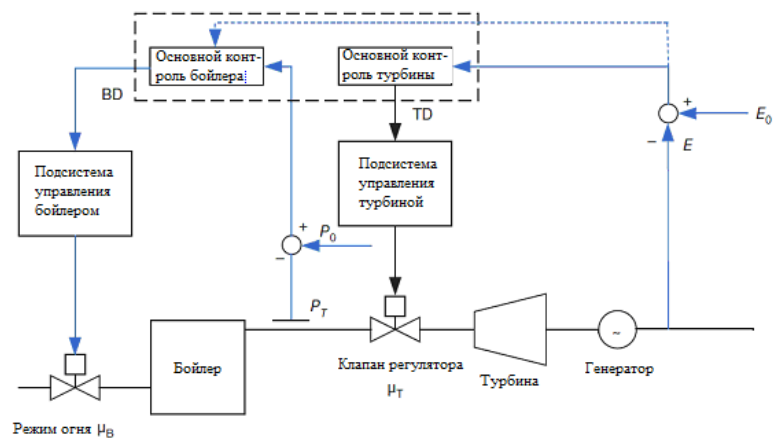


Рисунок 1. Принцип работы режима согласованного управления котлом, где E_0 - заданное значение нагрузки, P_0 - заданное значение давления пара, E - мощность, P_T - выходное давление пара, BD - входное воздействие на котел, TD - воздействие на турбину в соответствии с изменяющимся спросом (рисунок адаптирован из работы [12])

подход - это очень стабильный ответ на изменения нагрузки с минимальными колебаниями давления пара. Главным недостатком является то, что этот подход не использует возможности хранения энергии котлом, таким образом, производя довольно медленный ответ [13]. По этой причине такое управление в основном используется для крупных установок или газовых ТЭЦ, а не угольных. Следует отметить, что для улучшения производительности в обоих режимах (в режимах котла и турбины), потребляемая мощность подается как на систему котла, так и на систему турбины, так что большое инерционное поведение котла можно частично компенсировать в системе котла, и способность турбины быстро реагировать может быть использована в системе турбины. Эта согласованная схема управления в настоящее время широко используется на практике. Однако, системы управления ПИ/ ПИД, которые основаны на каскаде отдельных схем регулирования, не могут полностью учитывать взаимодействие между различными переменными процесса на нелинейной многопоточковой многорежимной электростанции. Поэтому классической системе управления по-прежнему очень сложно достичь удовлетворительных характеристик управления, как в выходной мощности, так и в давлении дроссельной заслонки. По этой причине изучаются различные современные методы моделирования и многовариантные технологии управления, направленные на реализацию реального согласованного управления котлом и турбиной.

Система контроля горения

Миссия системы сжигания заключается в обеспечении достаточной тепловой энергии при гарантии эффективной и безопасной работы котла. Такие требования выполняются путем управления соответствующими переменными, а именно:

1) Расходом топлива для поддержания давления дроссельной заслонки (в согласованном режиме управления котлом) или выходной мощности (в согласованном режиме управления турбиной);

2) Коэффициентом избыточного воздуха или оптимального содержания кислорода в дымовых газах для обеспечения соответствующего воздушного потока;

3) Давлением в печи, чтобы гарантировать безопасность котла.

Регулирование вышеуказанных трех переменных достигается посредством манипуляции с топливными фидерами, демпферами с принудительной тягой и клапанами пара, соответственно, что приводит к трем неделимым субрегуляторам, то есть регулятору топлива, регулятору воздуха и регулятору давления, которые образуют систему контроля горения [14,15].

Задача регулятора топлива – обеспечить достаточное количество топлива для котла, так чтобы генерируемая тепловая энергия точно соответствовала спросу. Каскадная стратегия управления обычно используется в этой системе, который показан в левой части рисунка 2 для котла. потому что расход топлива, особенно для потока угля, трудно измерить, а сигнал изменения скорости подачи угля не может отражать изменение нагрева, в большинстве случаев величина сигнала тепла M используется во внутреннем контуре, чтобы быстро справиться с любыми нарушениями из-за изменения количества топлива, влияющего на значения нагрева. Сигнал количества тепла может оцениваться через уравнение (1)

$$M = D + \frac{C_b dP_b}{dt}. \quad (1)$$

где D - скорость потока пара, отражающая теплопоглощение рабочим веществом, P_b –давление в барабане, представляющее тепло, хранящееся в котле, C_b - коэффициент теплоотдачи котла.

Регулятор воздуха используется для обеспечения эффективности сгорания; конкретнее, обеспечивает подходящее соотношение между количеством топлива и воздуха, подаваемого в печь. Недостаток воздуха предотвратит полное сгорание топлива; избыток воздуха будет поглощать тепло и, следовательно, увеличить тепловые отходы в выхлопных газах. На практике, необходимо определенное количество избыточного воздуха, а не точное поддержание соотношения топливо/воздух по стехиометрическому значению. Поскольку скорость потока топлива уже определена с помощью регулятора топлива, можно использовать контроллер, чтобы поддерживать скорость потока воздуха, соответствующую скорости потока топлива. Однако, учитывая, что теплотворная способность топлива может время от времени меняться, становится трудным поддерживать коэффициент соотношения топливо/воздух. Соответственно, надо измерять содержание кислорода

в дымовом газе, которое может непосредственно отражать условия горения, независимо от изменения топлива.

Классический регулятор воздуха, использующий сигнал содержания кислорода, показан в средней части рисунка 2. Это каскадная система управления. Внутренний замкнутый контур принимает сигнал топлива и сигнал воздуха для достижения основного соотношения топливо/воздух, а внешний замкнутый контур принимает сигнал содержания кислорода и сравнивает его с оптимальным значением содержания кислорода (которое рассчитывается автономно для данной нагрузки) для достижения полного контроля подачи воздуха. Задача регулятора давления заключается в поддержании давления в печи вблизи атмосферного давления; так что можно предотвратить поступление в котел опасных выхлопных газов и холодного воздуха. Обычно давление в печи должно поддерживаться на уровне 20-50 Па ниже атмосферного давления. Такая задача достигается за счет использования системы управления с обратной связью, как показано в правой части рисунка 2.

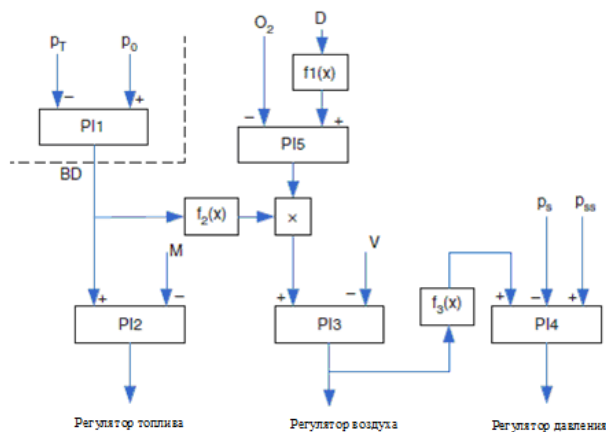


Рисунок 2. Три вспомогательных регулятора системы контроля горения котла, где P_0 : заданное значение давления пара, P_T - выход водяного пара, D : - расход основного пара, O_2 - содержание кислорода в дымовых газах, V - расход воздуха, P_{ss} - заданное значение давления в печи, P_s - давление в печи, BD - потребность котла (рисунок адаптирован из работы [1])

Расширенное ПИ/ПИД - регулирование

Расширенное управление ПИ/ПИД относится к классу методов, которые реализуют самые современные технологии проектирования или настройки на основе обычных контуров управления ПИ/ПИД. Поскольку система управления на основе ПИ /ПИД уже широко принята и используется во всех ТЭЦ, такой метод может непосредственно и эффективно улучшать рабочие

характеристики без изменения первоначальной простой структуры, процедур работы и понятий, которые хорошо понятны инженерам и операторам установки. В последнее время автоматическое регулирование и ПИ/ПИД-регулирование - это два широко применяемых и хорошо изученных метода на электростанциях.

В силу того, что ПИ/ ПИД-регулирование использует линейную модель процесса, возможности такого управления ограничены небольшой рабочей зоной установки. По этой причине в современных разработках предпринимались попытки использовать нелинейные модели. Для преодоления проблем, связанных с нелинейным моделированием и вычислительными требованиями, применялись методы искусственного интеллекта. В работе [16] нелинейная аналитическая модель установки используется в качестве прогнозной модели, а методы искусственного интеллекта используются для расчета оптимальной управляющей последовательности при входных ограничениях. В работе [17] используется модель нейронной сети - авторегрессивная экзогенная модель (NN-ARX) идентифицированная для барабанной котельной установки мощностью 200 МВт, а интеллектуальная автоматическая система управления спроектирована на основе модели. Результаты моделирования показывают, что удовлетворительное управление давлением основного пара и температурой подогрева пара могут быть достигнуты во время циклирования нагрузки и других условий эксплуатации установки. Для улучшения вычислительной производительности нелинейной оптимизации, оптимизация массивов частиц и ее модификации были использованы в работах [18,19,20] для поиска оптимальной управляющей последовательности в нелинейной модели интеллектуального управления на основе нейронных сетей. Преимущества и эффективность этих подходов были четко продемонстрированы на основе моделирования контроля температуры паронагревателя. В работе [21] описана модель с диагональной рекуррентной нейронной сетью с онлайн-обновлением, которая была разработана для ТЭЦ с мощностью 500 и 1000 МВт, а затем нелинейная система интеллектуального автоматического управления была разработана на основе модели.

В работе [22] представлена зависящая от нагрузки экспоненциальная модель ARX (Exp-ARX), которая эффективно описывает нелинейные свойства установки, автономно идентифицируется, а затем используется для создания ограниченного многомерного многоэтапного интеллектуального контроллера. Моделирование управления котельной ТЭЦ мощностью 600 МВт показывает, что благодаря нелинейной модели, фиксирующей динамику установки, можно добиться гораздо более высокой эффективности управления без использования метода онлайн-обновления.

Основываясь на методе линеаризации обратной связи ввода-вывода, интеллектуальная система общего контроля сочетается с контроллером обратной связи нелинейного состояния в работе [23] для решения проблемы управления котлотурбинной установкой мощностью 160 МВт.

В работах [23,24,25] интеллектуальная система общего контроля разрабатываются на основе нейро-нечетких сетей, и в этих работах приведены

и оценены как линейные модели, так и контроллеры. Благодаря симуляционным исследованиям согласованной системы управления котлотурбинной системой и пароперегревателем, управляемой интеллектуальным контроллером, показаны более высокие показатели контроля по сравнению с линейными интеллектуальными системами общего контроля.

Таким образом, проанализировав различные подходы к управлению процессами в ТЭЦ, мы пришли к выводу, что нелинейные системы автоматического управления естественно подходят для управления нелинейными процессами в котельных ТЭЦ; однако есть две основные проблемы, которые сильно ограничивают их применение: (1) очень трудно разработать удовлетворительную нелинейную динамическую модель; и (2) нелинейная оптимизация не обладает надежностью и требует сложных вычислений. Чтобы преодолеть эти проблемы, в последнее время разрабатываются интеллектуальные контроллеры. Такие контроллеры могут быть применены для оптимального управления, где задача динамического контроля, так и другие нелинейные экономические задачи, интегрированы вместе в контроллер.

Обоснование выбора и описание интеллектуального контроллера и схемы системы управления с его использованием

Базируясь на вышеописанных результатах современных исследований, показывающих преимущества энергоэффективного управления при помощи интеллектуальных контроллеров, для разработки интеллектуальной системы для контроля процессов формирования топливно-воздушной смеси в паровых котельных мы выбрали метод с использованием интеллектуального контроллера. На основе анализа процессов в реальной ТЭЦ, мы выбрали в качестве интеллектуального контроллера контроллер типа LandTM [26]. Контроллер LandTM- это система управления сжиганием, которая способна автоматически приводить соотношения топлива/воздух пламени к точке стехиометрии. Контроллер LandTM представляет собой электронное устройство, которое контролирует воздушный поток системы сгорания через стандартный пневматический управляющий клапан с регулируемым давлением, который приводится в действие от выходного тока от контроллера через электропневматический преобразователь. Если номинальный поток установлен на один реагент (либо вручную, либо как часть некоторого другого автоматического контура управления), контроллер должен реагировать через свою выходную цепь и регулирующий клапан, чтобы изменить поток другого реагента до достижения точки стехиометрии, после чего это условие должно поддерживаться постоянно, автоматически выполняя как крупные, так и незначительные корректировки потока (т. е. изменения потока или даже изменения химического состава топлива).

Мы разработали схему подключения контроллера, то есть, схему интеллектуальной системы контроля процессов формирования топливно-воздушной смеси в паровой котельной (рис. 3).

Контроллер LandTM имеет три основные части - клапан управления технологическим процессом с электропневматическим преобразователем и позиционером, главный блок управления, который активирует электронный

механизм и датчик излучения, который установлен в обычном водяном охлаждении корпус пирометра. Последний установлен на печи так, чтобы он был способен получать излучение от пламени. Система управления работает по известному принципу «достижения пика», где предполагается, что величина сигнала, принимаемого детектором, достигнет пика, когда стехиометрическая точка сгорания будет достигнута. В качестве детектора используется детектор излучения, выбранная длина волны обнаружения зависит от типа сжигаемого топлива, при этом выбор длины волны делается так, чтобы максимум достигался почти в нужной точке. Для газового пламени, например, используется инфракрасный датчик и длина волны около 2,0 Дм, тогда как для масла или другого «яркого» пламени обнаружение может быть более уместным в видимой части спектра с длиной волны 0,6 м.

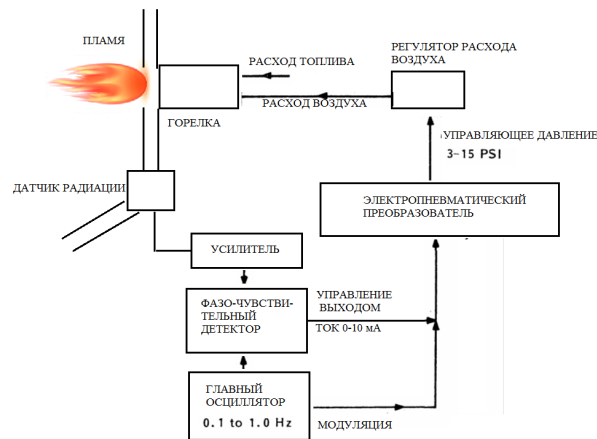


Рисунок 3. Схема интеллектуального управления процессом формирования топливно-воздушной смеси в паровой котельной

Система оценивает соотношение топливо/воздух в горелке, добавляя к постоянному току выходной ток, который управляет положением топливного или воздушного клапана с небольшим колебательным возмущением, которое составляет около 2 процента от значения устойчивого сигнала на частотах от 0,1 до 1 Гц. Происходит передача возмущения по отношению топливо/воздух к горелке, которая обеспечивает необходимую модуляцию в сигнале обнаруженного пламени, чтобы применить принцип управления по «достижению пика».

Сигнал от детектора излучения обрабатывается через усилитель, соединенный с синхронным выпрямителем, который синхронизирован по фазе с наложенным волновым возмущением, а «лучшее» или «худшее» условие может быть получено по разности фаз любого обнаруженного сигнала на

частоте возмущения. Если, например, интенсивность излучения растет, по мере того как воздушный поток увеличивается, можно сделать вывод, что пламя является богатым топливом, т. е. в воздушном потоке улучшено сгорание. Затем выпрямитель настраивает постоянный ток выходного сигнала в направлении, которое обеспечивает больший поток воздуха или меньший расход топлива. Если интенсивность излучения уменьшается в вышеуказанной ситуации, система работает, уменьшая выходные изменения постоянного тока, при этом уменьшается воздушный поток или увеличивается расход топлива. Когда наложенное возмущение достигает стехиометрической точки, можно показать, что основная частота создается детектором излучения, компонент переменного тока не пропускается синхронными выпрямителями. В последнем случае, следовательно, выпрямители не изменяют значение постоянной составляющей управляющего тока. Контроля текущего изменения не будет, если детектор отключен или если его сигналы не показывают никакой корреляции с частотой возмущений. Таким образом, существует три распознаваемые ситуации, которые могут возникать в выпрямителе вывода, и каждое из этих состояний используется для создания обратной связи системы, работающей на выходном токе, который, в свою очередь, влияет на соотношение топливо/воздух через регулирующий клапан. Если регулирующий клапан установлен на воздушной линии, «лучшее» обнаружение приведет к увеличению воздушного потока, «худшее» вызовет соответствующее уменьшение, а «без вывода» оставит поток воздуха без изменений. Таким образом, в «автоматическом» состоянии вся система будет вести себя как цикл обратной связи с устойчивостью, возникающей при стехиометрическом соотношении топливо/воздух.

Фактическое оборудование состоит из четырех электронных модулей и детектора излучения. Топливные и воздушные клапаны, включая модулирующий клапан, не прилагаются, необходимо подобрать и установить подходящий регулирующий клапан топливного потока и электропневматический клапан, которые были совместимы как с требуемым давлением топлива и скоростью потока, так и с электронным модулем контроллера. Было бы предпочтительнее модулировать подачу топлива, а не подачу воздуха, из-за практической проблемы получения подходящей системы модуляции потока для большого диаметра каналов, подающих воздух для горения.

Первоначально будет проведено тестирование разработанной нами системы с использованием программ-симуляторов. Ожидается, что система контроллера сможет обеспечить надежный контроль в определенном диапазоне изменений входных данных процесса при тщательном позиционировании датчика пламени и выборе оптимальной частоты модуляции и амплитуды, чтобы обеспечить правильный отклик системы управления изменениями соотношения топливо/воздух. В дальнейшем предусмотрена адаптация методов автоматического управления процессами формирования топливной смеси к реальным условиям работы в действующей паровой котельной и проведение натурных испытаний работы на базе паровой котельной.

Моделирование является первым и главным шагом в расширенном дизайне контроллера. Как показал обзор литературы, в большинстве исследований, исследователи сосредоточили внимание на разработке алгоритма контроля, но не смогли рассмотреть развитие модели. Во многих работах результаты полагаются на доступность нелинейной аналитической модели. Однако, учитывая сложность реальных процессов в ТЭЦ, сложно разработать точную аналитическую модель без знания термодинамики и проектных спецификаций многих компонентов, что становится основным ограничением для применения передовых методов управления. По этой причине методы идентификации системы с использованием данных по эксплуатации в замкнутом контуре обеспечивают эффективный способ разработки ориентированной на управление на практике модели. В этом случае определяющими являются вопросы о том, как разработать оптимальный входной сигнал для идентификации, отфильтровать данные, выбрать структуру модели, и проверить модель, что будет достаточным для здорового взаимодействия с теорией идентификации и решения всех важных вопросов в практике управления процессами в ТЭЦ. Хотя трудно разработать аналитическую модель, но можно достаточно точно отобразить динамику нелинейных процессов, чтобы разработать интеллектуальный контроллер. Необходимо отметить, что хотя такие контроллеры смогут эффективно решать проблемы управления и улучшать эксплуатационные характеристики, по сравнению с однонаправленными контурами ПИ/ ПИД-регуляторов с одним входом, которые используются в настоящее время, эти усовершенствованные контроллеры будут сложны по структуре параметров настройки и вычислений; поэтому они будут иметь ограничения в надежности. Более того, поскольку контроллер с несколькими переменными будет работать в централизованном блоке управления в большинстве приложений, отказ алгоритма управления приведет к сбою в работе всего предприятия. Это также основные причины, по которым персонал станций неохотно использует современные методы контроля. Помимо тщательной разработки и тестирования контроллера и обучения персонала станции, возможно напрямую обеспечить надежность системы, включив проверенные системы ПИ/ПИД –регуляторов в контрольные структуры. Таким образом, новая система управления может быть отключена в любое время без ущерба для безопасности установки. В этом случае можно было бы изучить механизм безударного переключения между интеллектуальным контроллером и ПИД-регулятором.

Заключение

На основе анализа современных подходов к управлению процессами в ТЭЦ, сделан вывод о том, что нелинейная оптимизация не обладает надежностью и требует сложных вычислений, тогда как интеллектуальные контроллеры могут быть применены для оптимального управления, где задача динамического контроля, так и другие нелинейные экономические задачи, интегрированы вместе в контроллер. Проведено обоснование выбора

и приведено описание интеллектуального контроллера, разработана схема интеллектуальной системы управления процессом формирования топливно-воздушной смеси в паровой котельной, предложено провести тестирования разработанной системы с использованием программ-симуляторов, чтобы оценить стабильность и быстродействие системы. Предложен эффективный способ разработки ориентированной на управление на практике модели, а также шаги по обеспечению безопасности при использовании новой системы управления на реальной ТЭЦ, чтобы обеспечить безопасное внедрение современных методов контроля и адаптацию методов автоматического управления процессами формирования топливной смеси к реальным условиям работы в действующей паровой котельной.

Результаты исследования представляют интерес для широкого круга исследователей, разрабатывающих энергоэффективные автоматические системы управления процессами в ТЭЦ.

Список литературы

1. Wu, X., Shen, J., Li, Y., Lee, Kw. Y.: Steam power plant configuration, design, and control In: WIREs Energy Environ: John Wiley & Sons. Ltd., pp. 27 (2015) doi: 10.1002/wene.161.
2. Kuang, M., Li, Z., Liu, C. and Zhu, Q.: Experimental study on combustion and NOx emissions for a down-fired supercritical boiler with multiple-injection multiple-staging technology without overfire air. In: Applied Energy, Vol. 106, pp. 254-261 (2013)
3. Bentsman, J., Zheng, K., Taft, CW.: Advance boiler/turbine control and its benchmarking in a coal-fired power plant. In: Proceedings of the 14th Annual Joint ISA POWID/EPRI Controls and Instrumentation Conference, Colorado Springs, CO, June (2004)
4. Mallik, A.: State feedback based control of air-fuel-ratio using two wide-band oxygen sensors. IN: Proceedings of 10th Asian Control Conference (ASCC 2015), pp. 1-6 (2015)
5. Conte, G., Cesaretti, M. and Scaradozzi D: Combustion control in domestic boilers using an oxygen sensor. In: Control and Automation, MED '06. 14th Mediterranean Conference, pp. 1-4 (2006)
6. Neuman, P., Sule, B., Zitek, P. and Dlouhy, T.: Non-linear engineering simulator of a coal fired steam boiler applied to fault detection of optimum combustion control. In: IFAC Conference on Fault detection, supervision and safety for technical processes, Budapest, Hungary, pp.905-910 (2000)
7. Tan, W., Marquez, H.J., and Chen, T.: Multivariable Robust Controller Design for a Boiler System. In: IEEE Trans. on Control Systems Technology, Vol.10, No5 Sept., pp. 735-742 (2002)
8. Simani, S., Beghelli, S.: PID controller design application based on boiler process model identification. In: Decision and Control, 46th IEEE Conference, pp. 1064-1069 (2007) DOI: 10.1109/CDC.2007.4434092
9. Najimi, E., Ramezani, MH.: Robust control of speed and temperature in a power plant gas turbine. In: ISA Trans, Vol. 51, pp. 304-308 (2012)
10. Flynn, D.: Thermal Power Plant Simulation and Control. Stevenage. In: UK: IEE Press (2003)

11. Liu, S., Liu, X., Shen, J., Li, Y., Wu, J.: Design of tracking controller for coordinated boiler-turbine control system based on fuzzy Lyapunov functions. In: Proc CSEE, Vol. 33, pp. 96–103 (2013)
12. Babcock & Wilcox. Chapter 41: Controls for fossil fuel-fired steam generating plants. In: Steam: Its Generation and Use. 40th ed. New York: Babcock & Wilcox; 1992.10 (1992)
13. Zhang, S., Taft, CW., Bentsman, J., Hussey, A., Petrus, B.: Simultaneous gains tuning in boiler/turbine PID-based controller clusters using iterative feedback tuning methodology. In: ISA Trans, Vol. 51, pp. 609–621 (2012)
14. Gilman, GF.: Boiler control system engineering. In: ISA, Research Triangle Park, USA (2005)
15. Lindsey, D.: Power-Plant Control and Instrumentation. In: The Control of Boilers and HRSG Systems. Stevenage, UK: IEE Press (2000)
16. Wu, J., Shen, J., Krug, M., Nguang, SK., Li, Y.: GA-based nonlinear predictive switching control for a boiler-turbine system. In: J Contr Theor Applicat, Vol. 10 pp. 100–106 (2012)
17. Prasad, G., Swidenbank, E., Hogg, BW.: A neural net model-based multivariable long-range predictive control strategy applied in thermal power plant control. In: IEEE Trans Energy Conver, Vol.13, pp. 176–182 (1998)
18. Ma, L., Ge, Y., Cao, X.: Superheated steam temperature control based on improved recurrent neural network and simplified PSO algorithm. In: App Mech Mat, pp. 128-129:1065–1069 (2012)
19. Lee, KY., Ma, L., Boo, C., Jung, W., Kim, S.: Intelligent modified predictive optimal control of reheater steam temperature in a large-scale boiler unit. In: 2009 IEEE Power Engineering Society General Meeting, Calgary, Canada (2009)
20. Ma, L., Ge, Y., Lee, KY.: An improved predictive optimal controller with elastic search space for STC of a LSSPU. In: 51th IEEE Conference on Decision and Control, Maui, TX, pp. 7024–7029 (2012)
21. Lee, KY., Van, Sickel JH., Hoffman, JA., Jung, W-H., Kim, S-H.: Controller design for a large-scale ultra super critical once-through boiler power plant. In: IEEE Trans Energy Conver, Vol. 25, pp. 1063–1070 (2010)
22. Peng, H., Ozaki, T., Haggan-Ozaki, V., Toyoda, Y.: A nonlinear exponential ARX model-based multivariable generalized predictive control strategy for thermal power plants. In: IEEE Trans Control Syst Technol, Vol. 10, pp. 256–262 (2002)
23. Liu, X., Guan, P., Chan, CW.: Nonlinear multivariable power plant coordinate control by constrained predictive scheme. In: IEEE Trans Contr Sys Techno, Vol. 18, pp. 1116–1125 (2010)
24. Liu, XJ., Chan, CW.: Neuro-fuzzy generalized predictive control of boiler steam temperature. In: IEEE Trans Energy Conver, Vol. 21, pp. 900–908.55 (2006)
25. Liu, X., Liu, J.: Constrained power plant coordinated predictive control using neurofuzzy model. Acta Automatica Sinica, Vol. 32, pp. 785–790 (2006)
26. Beer, J.M., Jacques, M.T., Teare, J.D.: Individual burner air/fuel ratio control optical adaptive feedback control system. In: MIT Energy Laboratory Report No. 82-001, pp. 79 (1982)

Разработка новых алгоритмов контроля и управления в современных тепловых пунктах

И. К. Сагынганова, А. Е. Бакланов

Восточно-Казахстанский государственный технический университет
им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан
Indira_Sagynganova@mail.ru

Аннотация В данной статье нами предложена технология обработки данных, которая предоставляет возможность формирования показателей эффективности работы отдельных процессоров, реализующих конвейерные планы, системы обработки данных (СОД) и автоматизированные системы управления (АСУ) тепловых пунктов в целом. Реализация этой технологии даст существенный эффект на практике, так как совершенствуется внутренняя технология работы АСУ. Помимо этого описанный подход дает следующие преимущества: увеличение пропускной способности конвейерной системы обработки данных; обеспечение однородности функций конвейерной системы обработки данных, что позволяет снизить требования к АСУ теплового пункта; уменьшение времени и улучшение качества коммуникаций в системе, связывающие и координирующие работу нескольких тепловых пунктов.

Ключевые слова: энергосбережение, тепловой пункт, автоматизированная система управления, система обработки данных, теории массового обслуживания

В настоящее время распределение и регулирование тепловой энергии как внутри, так и снаружи зданий в соответствии с потребностью являются одними из основополагающих подходов энергосбережения как в Казахстане, так и во всех развитых странах. В декабре 2017 года председатель Казахстанской электроэнергетической ассоциации Шаймерден Уразалинов, говоря о проблемах в секторе теплоснабжения отметил следующее [1]:

- имеется высокий моральный и физический износ основного и вспомогательного оборудования на ТЭЦ, в котельных, в тепловых сетях и системах теплоснабжения;
- не решается актуальнейшая задача ликвидации сверхнормативных потерь тепловой энергии;
- имеется нерешенность организационно-финансовых вопросов для проведения реконструкции и модернизации отдельных составляющих систем теплоснабжения;
- действующие системы теплоснабжения в зданиях, присоединенные к централизованному теплоснабжению (ЦТ) городов, как правило,

не имеют автоматики и в незначительном количестве обеспечены приборами учета тепловой энергии и теплоносителя на тепловых пунктах;

- большинство потребителей, присоединенных к СЦТ, не имеет возможности регулировать расход тепла на отопление по своему желанию.

При этом использование современных технологий управления тепловыми пунктами, объединёнными в единую сеть, позволит значительно сэкономить электрическую энергию и более правильно осуществить распределение тепла в жилых и промышленных помещениях

Преимущества наличия в распределенных автоматизированных системах управления (АСУ) механизмов конвейерного выполнения задач следует из теории развития производства и преобразования информации. В работе предлагается методика типизации задач в АСУ теплопункта с конвейерным типом обработки данных, так как одним из этапов организации технологии обработки данных является этап определения типовых задач и типовых последовательностей задач, которые организуются в конвейерный план обработки данных. Очевидно, что при организации однотипных последовательностей задач в конвейерный план повышается эффективность работы распределенных АСУ.

Теоретические и методологические аспекты типизации задач в модульных системах обработки данных (СОД) отражены в работах отечественных и зарубежных авторов, таких как А.Г. Мамиконов [2], В.В. Кульба, С.А. Косаченко [3, 4], А.С. Миронов, Е.Н. Сидоров, А.А. Ашимов [5], Ю.Ю. Кесс, В.М. Ревако, А.В. Товмасын, Б. Дюран, П. Оделл, Х. Берж, О. Оре, В. Столлингс [6]. Модели и методы обработки информации в технических и организационно – технологических системах рассмотрены в работах В.В. Воеводина [7,8], Б.А. Головкина, К.Г. Самофалова, Г.М. Луцкого, А.Б. Барских, Е.Л. Шлимовича, А.П. Шабанова, Д. Филлипса, А. Гарсиа-Диаса, Р.В. Конвея, В.Л. Максвелла, Л.В. Миллера [9]. Конвейерное выполнение типовых задач в распределенных АСУ определяет новый этап в проектировании АСУ, требует модельно алгоритмического обеспечения выполнения задач и адаптации методики типизации задач для СОД конвейерного типа.

Предложенная нами технология обработки данных предоставляет возможность формирования показателей эффективности работы отдельных процессоров, реализующих конвейерные планы, СОД и АСУ теплопунктом в целом. Реализация этой технологии даст существенный эффект на практике, так как совершенствуется внутренняя технология работы АСУ. Помимо этого описанный подход дает следующие преимущества: увеличение пропускной способности конвейерной системы обработки данных; обеспечение однородности функций конвейерной системы обработки данных, что позволяет снизить требования к АСУ теплопункта; уменьшение времени и улучшение качества коммуникаций в системе, связывающие и координирующие работу нескольких теплопунктов.

Рассмотрим модельно-алгоритмические процедуры, позволяющие проследить влияние процесса накопления информации в АСУ на эффективность планирования задач при их конвейерном выполнении. Для класса за-

дач в распределенных АСУ, проблема минимизации ресурсов решается в общем виде с помощью метода оценки достаточной мощности системы обработки данных (СОД).

В основе метода лежит математический аппарат теории массового обслуживания с ожиданием (с очередью). Задача разработки модели, позволяющей получить оценку мощности СОД с накоплением информации, является в настоящее время актуальной. Данная задача относится к проблеме минимизации ресурсов АСУ тепловых пунктов. С использованием в качестве инструмента известного математического аппарата для оценки мощности СОД будем использовать модель оценки влияния процесса накопления информации на эффективность конвейерной обработки данных в АСУ:

$$P(\leq T_{fix}) \geq \frac{1}{Q} \left(P_{const}^{k=1}(0) + P_{const}^{k=2}(1) + P_{\phi\{\tau[V(t)]\}}^{k \geq 3}(j \leq J) \right), \quad (1)$$

где T_{fix} - заданное максимально-допустимое значение времени ожидания требованием обслуживания,

$P(\leq T_{fix})$ - заданное минимально-допустимое значение вероятности превышения T_{fix} ,

Q - максимальное количество требований, обслуживаемых в непрерывном интервале времени (интервале занятости),

$V(t)$ - объём записанной информации. Значение $V(t)$ изменяется со временем,

$\tau[V(t)]$ - длительность одного интервала обслуживания. Является зависимой от объёма $V(t)$ информации величиной и определяется как:

$$\tau[V(t)] = \frac{\tau_{const} + \tau_{var}[V(t)]}{M}, \quad (2)$$

M - количество процессоров в СОД (ядер процессоров),

τ_{const} - постоянная составляющая интервала обслуживания, определяемая в основном временем, затрачиваемым непосредственно на выполнение работ по обслуживанию требования,

$\tau_{var}[V(t)]$ - составляющая интервала обслуживания, которая зависит от объёма информации. Параметр определяется временем, затрачиваемым на выполнение действий с информацией и принятие решений,

k - порядковое место требования в интервале занятости,

j - время ожидания для k -го требования, выраженное в количестве интервалов обслуживания,

$P_{const}^{k=1}(0)$ - вероятность того, что требование, поступившее в СОД, не ожидает обслуживания. В одном интервале занятости таким требованием может быть только первое требование ($k=1$), при этом $P_{const}^{k=1}(0)$ для любого значения Q является постоянной, равной 1,

$P_{const}^{k=2}(1)$ - вероятность того, что длительность ожидания обслуживания второго, по порядку обслуживания в системе, требования ($k=2$), равна одному интервалу обслуживания. В одном интервале занятости $P_{const}^{k=2}(1)$ для любого значения Q является постоянной, равной 1,

$P_{\phi\{\tau[V(t)]\}}^{k \geq 3}$ ($j \leq J$) - вероятность того, что любое требование, начиная с третьего, по порядку обслуживания в интервале занятости, ожидало не более j интервалов обслуживания,

$j=1,2,\dots,J$, J - максимально-допустимое время ожидания, выраженное в количестве интервалов обслуживания. Параметр J соответствует параметру T_{fix} и является зависимым от параметра $\tau[V(t)]$

Модель позволяет получить зависимость между максимальным количеством Q требований, обслуживаемых в СОД в непрерывном интервале времени (интервале занятости), и объёмом $V(t)$ записанной информации при условии соблюдения заданных значений времени T ожидания требованиями обслуживания и вероятности $P(\leq T_{fix})$ его не превышения. Рассмотренная модель позволяет определить зависимость между мощностью СОД и объёмом информации, постепенно накапливаемой и осваиваемой процессорами конвейерного плана обработки данных. Важным применением модели является выбор стратегии для организации процесса обслуживания требований с возможностью количественной оценки различных вариантов при распределении основных задач между процессорами.

Зависимость объёма $V(t)$ информации от времени t определяется в основном исходя из состава предметных сущностей в среде обеспечения деятельности потребителей задач и условий функционирования СОД, предоставляющей такие задачи. Например, на рисунке 1 показана зависимость объёма записанной информации от времени её обновления при организации АСУ теплопункта с конвейерным типом обработки данных.

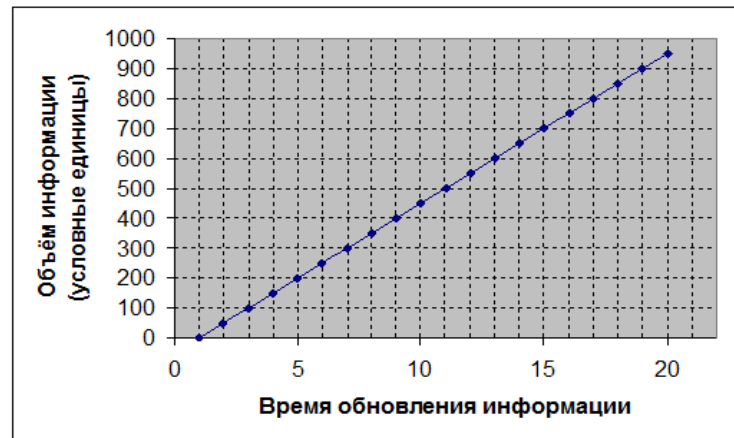


Рисунок 1. Зависимость объёма записанной информации от времени её обновления (мс)

Зависимость переменной составляющей $\tau_{var}[V(t)]$ интервала обслуживания определяется в основном исходя из класса процессоров СОД, орга-

низации обслуживания требований, поступающих от потребителей задач. Например, на рисунке 2 показано изменение переменной $\tau_{var} [V(t)]$ в зависимости от времени обновления информации.

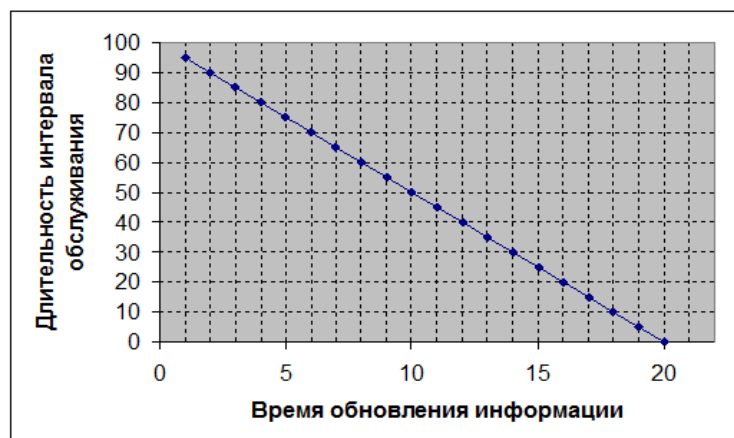


Рисунок 2. Зависимости длительности интервала обслуживания от времени обновления информации (мс)

Используя полученные зависимости, нами было выбрано оптимальное время обновления информации при обработке следующих основных девяти параметров в десяти тепловых пунктах: температура сетевой воды в подающем трубопроводе, температура сетевой воды в обратном трубопроводе, температура циркуляции, расход сетевой воды в подающем трубопроводе, расход сетевой воды в обратном трубопроводе, давление сетевой воды в подающем трубопроводе, давление сетевой воды в обратном трубопроводе, температуры внутри помещения, тепло отпущенное. При использовании четырёх персональных компьютеров с процессором i5 (4x4=16 ядер) с конвейерной обработкой всех параметров 10 тепловых пунктов оптимальное время обновления информации составило 10мс. При этом время получения полной информации уменьшилось приблизительно в 10 раз по сравнению с используемой в настоящее время технологии сбора и обработки информации с тепловых пунктов.

Список литературы

1. Информационно-отраслевой ресурс «Energy media». Шаймерден Уразалинов: Проблемы в секторе теплоснабжения и пути их решения, <http://energy.media/2017/12/19>
2. Мамиконов, А.Г.: Принятие решений и информация. Москва (1983)

3. Мамиконов, А.Г., Кульба, В.В., Цвиркун, А.Д., Косяченко, С.А.: Проектирование подсистем и звеньев АСУ. Москва (1975)
4. Микрин, Е.А., Кульба, В.В., Косяченко, С.А., Павлов, Б.В.: Информационное обеспечение систем организационного управления (теоретические основы). Москва (2011)
5. Новиков, Д.А., Ашимов, А.А., Султанов, Б.Т., Адилев, Ж.М.: Macroeconomic Analysis and Parametric Control of a National Economy. Springer (2013)
6. Столлинс, У.: Структурная организация и архитектура компьютерных систем. Москва (2002)
7. Бахвалов, Н.С., Воеводин, В.В.: Современные проблемы вычислительной математики и математического моделирования. Москва (2005)
8. Воеводин, В.В., Воеводин, Вл.В.: Параллельные вычисления. СПб.: БХВ-Петербург (2002)
9. Конвей, Р.В., Максвелл, В.Л., Миллер Л.В.: Теория расписаний. Москва (2005)

Моделирование автоматической системы управления непрерывным дозированием сыпучих материалов

С. Р. Шакиров, А. Г. Квашнин, А. В. Писарев

Институт вычислительных технологий СО РАН,
Новосибирск, Россия
pisarev@tecon.ru

Аннотация Разработаны математические модели технологического оборудования, используемого для непрерывного дозирования сыпучих материалов. Выполнен синтез автоматической системы управления непрерывным дозированием сыпучих материалов. Представлены результаты её моделирования.

Ключевые слова: непрерывное дозирование сыпучих материалов, транспортное запаздывание, автоматическая система управления, установка переработки органических отходов, математическое моделирование

Введение

В ИВТ СО РАН ведутся работы по автоматизации опытно-промышленного образца установки для переработки органических отходов [1]. Установка производит тепловую энергию и энергоносители (твердые – биоуголь, жидкие – бионефть и газообразные – синтезгаз), например, из биомассы с различными химическими составом, физическими свойствами. Оборудование может перерабатывать «сложные» виды отходов – высоковлажные и высокозольные. Для этого оборудование комплекса переработки органических отходов может комплектоваться блоком каталитической сушки сырья, работа которого основана на применении уникальных отечественных химических катализаторов и распушителей, разработанных специально для таких специфических, массовых и экологически опасных отходов сельскохозяйственного производства, как птичий помет. Перемещение материала между агрегатами, осуществляющими предварительную подготовку отходов к переработке, осуществляется ленточными транспортерами. Дозирование количества материала, подаваемого для предварительной подготовки отходов к переработке, осуществляется изменением частоты вращения дозирующего органа бункера материала (лопастного питателя). Изменение уровня материала в бункере, его физических характеристик, в частности гранулометрического состава, приводит к изменению динамических характеристик системы непрерывного дозирования материала, что требует применения алгоритмов для их идентификации в режиме реального времени. Последующее

перемещение материала осуществляется ленточным питателем. Ленточный питатель обладает транспортным запаздыванием. Скорость перемещения ленты плавно изменяется в зависимости от частоты вращения дозирующего органа лопастного питателя, что требует определения величины транспортного запаздывания в режиме реального времени, т.к. весоизмеритель установлен за ленточным питателем (см. рис. 2). Для обеспечения работоспособности и улучшения качества переходных процессов в системе управления непрерывным дозированием материалов необходима его компенсация [2].

Математическая модель системы непрерывного дозирования сыпучего материала

В качестве дозатора используется лопастной питатель, установленный под бункером с сыпучим материалом. Выдача материала обеспечивается за счет поочередного заполнения и разгрузки отсеков питателя в процессе вращения ротора, регулирование производительности осуществляется путем плавного изменения скорости его вращения, что обеспечивается электроприводом с частотно-регулируемым преобразователем (ЧРП). При осуществлении дозирования передаточная функция по каналу «частота вращения ротора лопастного питателя - расход материала» имеет вид [3]:

$$W_{pit}(s) = \frac{G_1}{\omega_{lp}} = k_{lp} e^{-\tau_{lp}s}, \quad (1)$$

где

- G_1 , кг/с - расход материала;
- ω_{lp} , рад/с - частота вращения лопастного питателя;
- k_{lp} , кг - коэффициент усиления передаточной функции по каналу «частота вращения ротора лопастного питателя - расход материала»;
- τ_{lp} , с - постоянная времени транспортного запаздывания передаточной функции по каналу «частота вращения ротора лопастного питателя - расход материала» (для ленточного транспортера);
- s - оператор Лапласа.

Установившееся значение расхода для лопастного питателя определяется формулой [3]:

$$G_{lp} = K_{lp} [\pi(r_{lp}^2 - r_0^2) - n_{lp}(r_{lp} - r_0)b_{lp}] \frac{\delta_{mat}\gamma_{mat}}{2\pi} \omega_{lp}, \quad (2)$$

где

- G_{lp} , кг/с - расход материала для лопастного питателя;
- r_{lp} , м - радиус лопастного питателя (см. рис. 1);
- r_0 , м - радиус выходного отверстия лопастного питателя (см. рис. 1);
- K_{lp} - коэффициент заполнения лопастного питателя материалом ($K_{lp} = 0,8 \div 1$);

n_{lp} , шт - количество лопастей лопастного питателя;
 δ_{mat} , м - диаметр частиц материала;
 b_{lp} , м - высота лопастного питателя (см. рис. 1);
 γ_{mat} , кг/м³ - насыпная плотность материала;
 ω_{lp} , рад/с - частота вращения лопастного питателя (см. рис. 1).

Экспериментально определено, что $K_{lp} = 0,9$.

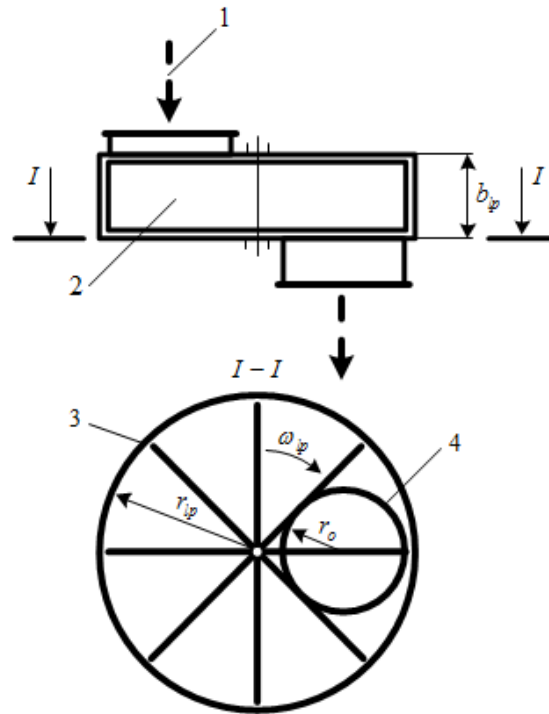


Рисунок 1. Схема лопастного питателя. Здесь: 1 – направление перемещения материала; 2 – корпус; 3 – ротор; 4 – выходное отверстие.

В формуле (1) k_{lp} определяется по формуле:

$$k_{lp} = \frac{G_{lp}^{max}}{\omega_{lp}^{max}}, \quad (3)$$

где

G_{lp}^{max} , кг/с – максимальный расход материала для лопастного питателя;
 ω_{lp}^{max} , рад/с – максимальная частота вращения лопастного питателя.

Заменив в формуле (2) G_{lp} на G_{lp}^{max} и ω_{lp} на ω_{lp}^{max} , подставив в формулу (2) формулу (3) получим:

$$k_{lp} = K_{lp} [\pi(r_{lp}^2 - r_0^2) - n_{lp}(r_{lp} - r_0)b_{lp}] \frac{\delta_{mat}\gamma_{mat}}{2\pi}. \quad (4)$$

Постоянная времени запаздывания для ленточного транспортера τ_{lt} в формуле (1) определяется из соотношения [3]:

$$\tau_{lt} = \frac{L}{v_{lt}}, \quad (5)$$

где

L , м – длина ленточного транспортера от точки подачи до места сброса материала с ленты (см. рис. 2);

v_{lt} , м/с – линейная скорость перемещения ленты транспортера.

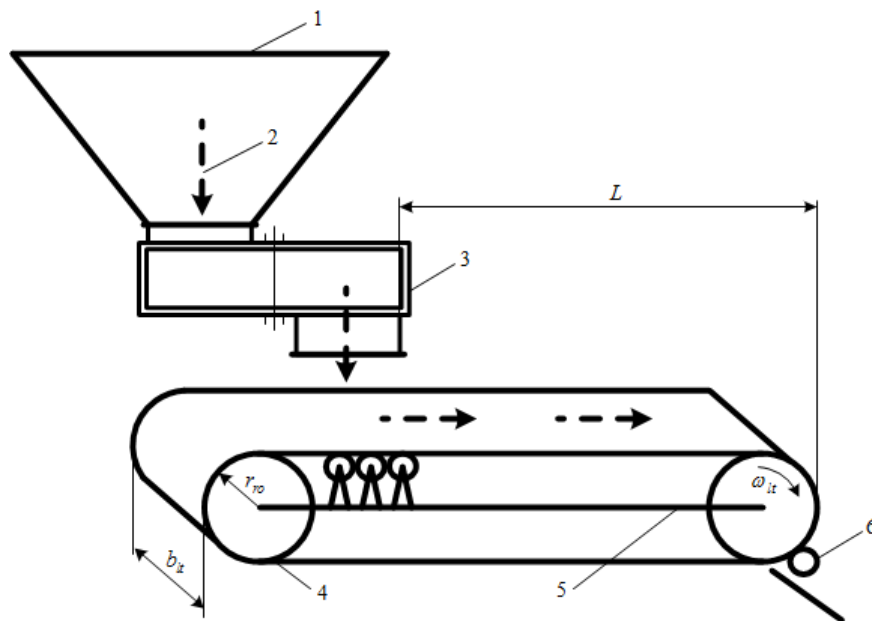


Рисунок 2. Схема дозирования и перемещения сыпучего материала. Здесь: 1 – воронка бункера сыпучего материала; 2 – направление перемещения материала; 3 – лопастной питатель; 4 – опорный ролик ленточного транспортера; 5 – рама ленточного транспортера; 6 – очистительное устройство.

Линейная скорость перемещения ленты v_{lt} определяется по формуле:

$$v_{lt} = \omega_{ro}r_{ro}, \quad (6)$$

где

$\omega_{ro}, 1/c$ – угловая частота вращения роликовых опор ленточного транспортера;
 $r_{ro}, м$ – радиус роликовых опор ленточного транспортера (см. рис.2).

Расход материала для ленточного транспортера определяется по формуле [3]:

$$G_{lt} = b_{lt} h_{mat} \gamma_{mat} v_{lt}, \quad (7)$$

где

$b_{lt}, м$ – ширина ленты транспортера (см. рис.2);
 $h_{mat}, м$ – высота слоя материала на ленте;
 $\gamma_{mat}, кг/м^3$ – насыпная плотность материала.

Т.к. транспортное запаздывание τ_{lt} зависит от скорости вращения электродвигателя, который приводит во вращение ленту транспортера, то выполнен расчет его текущего значения для реализации алгоритма компенсации по формуле (5).

Лента транспортера и ротор лопастного питателя через редукторы приводятся в движение электродвигателями. Электроприводы ленты транспортера и ротора лопастного питателя, обладают некоторой инерционностью. В работе не учитываются люфты в редукторах, муфтах и других элементах электроприводов. На основании этого элементы каждого из электроприводов могут быть представлены звеньями с передаточными функциями [4]:

$$W_m^{lt/lp}(s) = \frac{\omega_{ed}^{lt/lp}}{\omega_{ed}^{CRP}} = \frac{k_m^{lt/lp}}{T_m^{lt/lp} s + 1}, \quad (8)$$

где

$k_m^{lt/lp}, (рад/с)/(рад/с)$ – коэффициент передачи редуктора привода роликовой опоры ленточного транспортера/лопастного питателя;
 $\omega_{ed}^{CRP}, рад/с$ – выход ЧРП электропривода роликовой опоры ленточного транспортера/ротора лопастного питателя;
 $\omega_{ed}^{lt/lp}, рад/с$ – частота вращения ротора электродвигателя механической системы привода роликовой опоры ленточного транспортера/лопастного питателя;
 $T_m^{lt/lp}, с$ – обобщенная постоянная времени элементов механической системы привода роликовой опоры ленточного транспортера/ротора лопастного питателя.

Принимаем $T_m^{lt} = T_m^{lp} = 0,3с$ [4].

ЧРП электропривода ленточного транспортера и лопастного питателя представлен передаточной функцией [4]:

$$W_{CRP}^{lt/lp}(s) = \frac{\omega_{ed}^{CRP}}{\omega_{zad}^{CRP}} = \frac{1}{T_{CRP}^{lt/lp} s + 1}, \quad (9)$$

где

$T_{CRP}^{lt/lp}$, с – постоянная времени ЧРП привода роликовой опоры ленточного транспортера/ротора лопастного питателя;

$\omega_{zad}^{CRP}{}_{lt/lp}$, рад/с – заданная частота вращения ЧРП электропривода роликовой опоры ленточного транспортера/ротора лопастного питателя.

Принимаем типовое значение времени разгона для частотных преобразователей электродвигателей механической системы привода роликовой опоры ленточного транспортера и лопастного питателя: $T_{CRP}^{lt} = T_{CRP}^{lp} = 2с$ [4].

Частота вращения опорного ролика ленточного транспортера и ротора лопастного питателя с учетом возмущения определяется по формуле:

$$\omega_{po}^{lt/lp} = \omega_{ed}^{lt/lp} - \omega_{po}^M{}_{lt/lp},$$

где

$\omega_{po}^M{}_{lt/lp}$, рад/с – возмущения по частоте вращения опорного ролика ленточного транспортера/ротора лопастного питателя, возникающие из-за увеличения момента на валу электродвигателя привода ленточного транспортера (принимается, что проскальзывание ленты транспортера отсутствует)/ротора лопастного питателя.

Коэффициент $k_m^{lt/lp}$ в формуле (8) определяется соотношением:

$$k_m^{lt/lp} = \frac{\omega_{lt/lp}^{max}}{\omega_{ed}^{max}{}_{lt/lp}},$$

где

$\omega_{ed}^{max}{}_{lt/lp}$, рад/с – максимальная частота вращения электродвигателя механической системы привода ленточного транспортера/лопастного питателя;

$\omega_{lt/lp}^{max}$, рад/с – максимальная частота вращения опорного ролика ленточного транспортера/ротора лопастного питателя.

Для редуктора лопастного питателя k_m^{lp} в формуле (8) составляет 0,01, для редуктора ленточного транспортера k_m^{lt} составляет 0,35.

Весоизмеритель считаем аperiodическим звеном второго порядка [4]:

$$W_{ves}(s) = \frac{G'_1}{G_1} = \frac{1}{a_1s^2 + a_2s + 1}, \tag{10}$$

где

$a_1 = 0,09с^2$, $a_2 = 0,6с$ – коэффициенты передаточной функции; они зависят от параметров сглаживающего фильтра в составе конвейерных весов [4];

G_1 , кг/с – расход материала;

G'_1 , кг/с – расход материала, определенный весоизмерителем.

Скорость перемещения ленточного питателя и, соответственно, частота вращения электродвигателя, приводящего его в движение, определяется производительностью лопастного питателя. Следовательно, должно выполняться равенство:

$$G_{lt} = G_{lp}. \quad (11)$$

Заменяв в формуле (3) G_{lp}^{max} на G_{lp} и ω_{lp}^{max} на ω_{lp} получим соотношение:

$$G_{lp} = k_{lp}\omega_{lp}. \quad (12)$$

Выразим из уравнения (7) величину v_{lt} :

$$v_{lt} = \frac{G_{lt}}{b_{lt}h_{mat}\gamma_{mat}}. \quad (13)$$

С учетом равенства (11), подставив уравнение (12) в уравнение (13), получим:

$$v_{lt} = k_{lt}k_{lp}\omega_{lp}. \quad (14)$$

где

$$k_{lt} = \frac{1}{b_{lt}h_{mat}\gamma_{mat}}. \quad (15)$$

С учетом формулы (6) из формулы (14) получим заданную угловую частоту вращения опорных роликов ленточного транспортера:

$$\omega_{ro} = \frac{k_{lt}k_{lp}}{r_{ro}}\omega_{lp}.$$

В уравнения (4) и (13) входит значение насыпной плотности материала γ_{mat} , т.к. она зависит от вида подаваемого материала или их смеси, размера его частиц и неконтролируемо изменяется в процессе работы установки, то происходит и неконтролируемое изменение k_{lp} и k_{lt} . Например, для частиц органического вещества помета насыпная плотность составляет $\gamma_{mat}^{org} = 1500 \text{ кг/м}^3$ [5], а для частиц древесного угля $\gamma_{mat}^{ugol} = 200 \text{ кг/м}^3$ [5]. Экспериментально определено, что диаметр частиц органического вещества помета δ_{mat}^{org} составляет от 0,001м до 0,01м и диаметр частиц древесного угля δ_{mat}^{ugol} составляет от 0,003м до 0,03м.

Высота слоя материала на ленте h_{mat} зависит от производительности лопастного питателя. Высоту слоя материала на ленте h_{mat} измерить с достаточной для дальнейших расчетов точностью проблематично. Поэтому считаем, что изменение h_{mat} происходит неконтролируемо. Экспериментально определено, что h_{mat} изменяется в диапазоне от 0,01м до 0,1м в зависимости от производительности лопастного питателя.

Для вычисления числового значения k_{lp} , определим конструктивные характеристики лопастного питателя [3]:

- радиус лопастного питателя $r_{lp} = 0,5$ м;
- радиус выходного отверстия лопастного питателя $r_0 = 0,2$ м;
- количество лопастей лопастного питателя $n_{lp} = 8$ шт;
- высота лопастного питателя $b_{lp} = 0,5$ м.

Для определения числового значения k_{lt} , определим конструктивные характеристики ленточного транспортера [3]:

- длина ленточного транспортёра от точки подачи до места сброса материала с ленты $L = 30$ м;
- ширина ленты транспортёра $b_{lt} = 0,5$ м ;
- радиус роликовых опор ленточного транспортёра $r_{ro} = 0,1$ м .

Определим диапазон изменения параметров передаточных функций (3) и (15): k_{lp} и k_{lt} соответственно, для частиц органического вещества и древесного угля:

$$68,3 = k_{lp}^{org-min} \leq k_{lp}^{org} \leq k_{lp}^{org-max} = 70,6; \quad (16)$$

$$k_{lt}^{org} = 0,044; \quad (17)$$

$$8,4 = k_{lp}^{ugol-min} \leq k_{lp}^{ugol} \leq k_{lp}^{ugol-max} = 9,3; \quad (18)$$

$$k_{lt}^{ugol} = 0,33. \quad (19)$$

На основании неравенств (16), (18) и равенств (17), (19) определим максимальный диапазон изменения для k_{lp} и k_{lt} :

$$8,4 = k_{lp}^{min} \leq k_{lp} \leq k_{lp}^{max} = 70,6;$$

$$0,044 = k_{lt}^{min} \leq k_{lt} \leq k_{lt}^{max} = 0,33.$$

Следовательно, возникает задача в идентификации текущего значения нестационарных коэффициентов k_{lp} и k_{lt} . Идентификация может быть выполнена любым из известных методов, например, представленных в [6,7].

Синтез контура управления непрерывным дозированием материалов

Передаточная функция контура управления непрерывным дозированием материалов по управляющему воздействию имеет вид [8]:

$$W_{st}(s) = \frac{G_1}{G_1^{zad}} = \frac{W_{or}^{st}(s)}{1 + W_{or}^{st}(s) \cdot W_{os}^{st}(s)}, \quad (20)$$

где

$W_{or}^{st}(s)$ – передаточная функция объекта регулирования контура управления;

$W_{os}^{st}(s)$ – передаточная функция контура обратной связи;
 G_1^{zad} кг/с – заданный расход материала.

Динамические характеристики ЧРП определяют настройки корректирующего устройства в контуре обратной связи регулятора непрерывного дозирования материалов. В контуре обратной связи используется типовой пропорционально-интегральный регулятор (ПИ – регулятор) [9]:

$$W_{os}^{st}(s) = \frac{\omega_{zad}^{CRP}}{\varepsilon} = k_p + \frac{k_i}{s} = \frac{k_p s + k_i}{s}, \quad (21)$$

где

ε , кг/с – рассогласование на входе ПИ – регулятора;
 k_p , с/кг – коэффициент усиления пропорциональной составляющей ПИ – регулятора;
 k_i , с/кг – коэффициент усиления интегральной составляющей ПИ – регулятора.

Рассогласование ε определяется по формуле:

$$\varepsilon = G_1^{zad} - G_1^{vic},$$

где

G_1^{vic} , кг/с – вычисленное значение расхода материала.

Вычисленное значение расхода материала определяется по формуле:

$$G_1^{vic} = G_1' + G_1'',$$

где

G_1'' , кг/с – сигнал с выхода предиктора Смита.

Критерии качества переходного процесса для контура управления непрерывным дозированием материалов задаются степенью устойчивости η и колебательностью μ [10].

$$\eta = 1,84; \quad \mu = 0. \quad (22)$$

Критерии качества переходного процесса (22) определяют расположение корней характеристического полинома (23) на фазовой плоскости [10].

$$D(s) = \lambda^2 + 6,3\lambda + 8,2 = 0, \quad (23)$$

где

λ – корни характеристического полинома, определяющие вид переходного процесса в замкнутом контуре управления непрерывным дозированием сыпучих материалов.

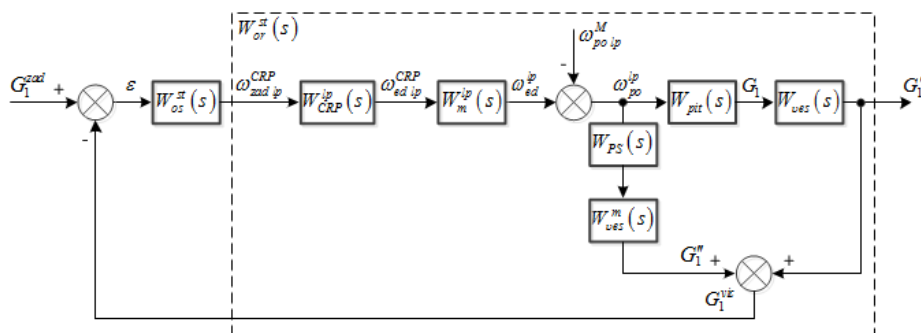


Рисунок 3. Структурная схема контура управления непрерывным дозированием сыпучих материалов. Здесь: $W_{PS}(s)$ – передаточная функция предиктора Смита; $W_{ves}^m(s)$ – передаточная функция модели весоизмерителя (10).

В контуре обратной связи автоматической системы регулирования (АСР) используется предиктор Смита. Реализация предиктора Смита [11] по схеме, изображенной на рис. (3), позволяет исключить его недостатки, описанные в [12].

На вход предиктора Смита подается частота вращения, измеренная тахометром ЧРП, а его выход суммируется со значением G_1' , измеренным весоизмерителем. Возмущения, возникающие со стороны лопастного питателя – изменение момента на валу электродвигателя M_{ed} , приводящего его во вращение, компенсируются внутренним контуром управления ЧРП (контур на рис. 3, 4 не показан). Увеличение момента M_{ed} на валу электродвигателя может приводить к кратковременному отклонению его частоты вращения на величину произведения $k_m^{lp} \omega_{lp}^M$. Передаточная функция предиктора Смита имеет вид [11]:

$$W_{PS}(s) = \frac{G_1''}{\omega_{ro}^{lp}} = k_{lp}(1 - e^{-\tau t s}).$$

Определим по рис. 3 передаточную функцию $W_{or}^{st}(s)$ единой механической системы, изображенной на рис. 2, как объекта регулирования по расходу материала G_1' при $\omega_{lp}^M = 0$ (отсутствии возмущения по частоте вращения лопастного питателя):

$$W_{or}^{st}(s) = W_{CRP}^{lp}(s) \cdot W_m^{lp}(s) [W_{PS}(s) \cdot W_{ves}^m(s) + W_{pit}(s) \cdot W_{ves}(s)],$$

$$W_{or}^{st}(s) = W_{CRP}^{lp}(s) \cdot W_m^{lp}(s) [k_{lp}(1 - e^{-\tau t s}) \cdot W_{ves}^m(s) + (W_{pit}(s) \cdot W_{ves}(s))], \quad (24)$$

Для определения k_p и k_i упростим передаточную функцию (24) в соответствии с принципами, изложенными в [9]: $W_m^{lp}(s) \approx k_m^{lp}$ и $W_{ves}^m(s) = W_{ves}(s) \approx 1$:

$$W_{or}^{st}(s) \approx W_{CRP}^{lp}(s)k_m^{lp} [k_{lp}(1 - e^{-\tau_{it}s}) + W_{pit}(s)]. \quad (25)$$

Допущения (25) приняты с целью упрощения реализации предиктора Смита (рис. 4). В случаях, если известна динамика весоизмерительного устройства, и оно достаточно инерционное (постоянная времени аperiodического звена весоизмерительного устройства составляет секунды или десятки секунд), должна быть реализована схема, изображенная на рис. 3. Эта схема учитывает динамику весоизмерительного устройства, что повышает точность модели объекта регулирования в предикторе Смита.

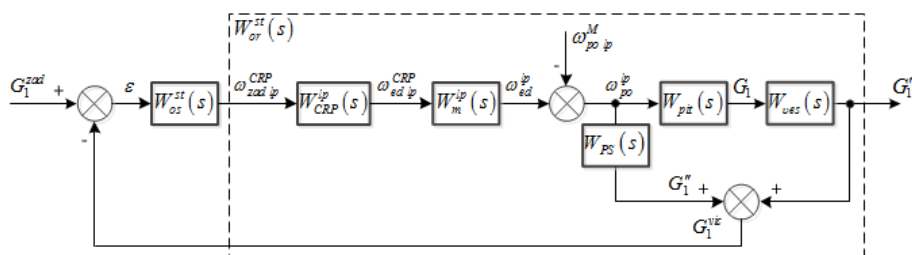


Рисунок 4. Структурная схема контура управления непрерывным дозированием сыпучих материалов с упрощенной моделью объекта регулирования в предикторе Смита.

Из выражения (25), получена передаточная функция объекта регулирования:

$$W_{or}^{st}(s) = k_m^{lp}k_{lp}W_{CRP}^{lp}(s). \quad (26)$$

С учетом (9) передаточная функция (26) примет вид

$$W_{or}^{st}(s) = \frac{k_m^{lp}k_{lp}}{T_{CRP}^{lp}s + 1}. \quad (27)$$

Передаточная функция контура управления непрерывным дозированием материалов по управляющему воздействию (20) с учетом (21), (27) примет вид:

$$W_{st}(s) = \frac{k_m^{lp}k_{lp}s}{T_{CRP}^{lp}s^2 + (k_m^{lp}k_{lp}k_p)s + k_m^{lp}k_{lp}k_i}. \quad (28)$$

Используя характеристическое уравнение передаточной функции контура управления непрерывным дозированием сыпучих материалов (28) и полином (23), определяющий заданное расположение на фазовой плоскости полюсов замкнутого контура системы регулирования, из выражений (29) определим настройки ПИ – регулятора:

$$k_p = \frac{6,3 \cdot T_{CRP}^{lp} - 1}{k_m^{lp} k_{lp}}; \quad k_i = \frac{8,2 \cdot T_{CRP}^{lp}}{k_m^{lp} k_{lp}}. \quad (29)$$

При подстановке числовых значений параметров T_{CRP}^{lp} , k_m^{lp} , $k_{lp}^{min/max}$ в (29) получим: $k_p^{min} = 1,38$, $k_i^{min} = 1,95$ и $k_p^{max} = 0,16$, $k_i^{max} = 0,23$.

Нуль передаточной функции (28) $s = 0$ означает, что реализовано астатическое регулирование [13], т.к. в состав ПИ-регулятора входит интегральная составляющая.

Определено, что вследствие изменения характеристик дозируемого материала коэффициент k_{lp} является нестационарным. Для компенсации изменения значения k_{lp} в уравнениях (29) предлагается (вместо k_{lp}) использовать коэффициент k'_{lp} , определяемый в ходе непрерывной идентификации k_{lp} объекта регулирования (1). В этом случае при изменении k_{lp} по уравнениям (29) будет выполняться пересчет коэффициентов k_p и k_i . В результате этого изменение k_{lp} не будет приводить к изменению показателей переходных процессов в контуре управления непрерывным дозированием материалов (рис. 3, 4), определяемых полиномом (23).

Моделирование работы контура управления непрерывным автоматическим дозированием сыпучих материалов

Выполнено моделирование работы контура управления непрерывным дозированием сыпучих материалов, изображенного на рис. 4, для цифровой формы реализации. Рассмотрено изменение производительности установки дозирования с 0кг/с до 5кг/с. Для структурной схемы, изображенной на рис. 4, рассмотрены случаи, когда транспортное запаздывание τ_t не равно нулю и:

1. предиктор Смита отключен;
2. предиктор Смита включен.

По виду переходного процесса для случая 1, приведенного на рис. 5 (кривая 1), можно видеть, что автоматическая система управления непрерывным дозированием материалов (рис. 4) не работоспособна. При изменении величины заданного расхода материала G_1^{zad} не происходит установления расхода материала равного G_1^{zad} с динамикой, описываемой полиномом (23). Наблюдаются периодические скачкообразные изменения расхода материала. Следовательно, система управления непрерывным дозированием материалов не работоспособна.

Случай 2 является основным рассматриваемым режимом работы контура управления непрерывным дозированием сыпучих материалов (см. рис. 4). По виду переходного процесса для случая 2, приведенного на рис. 5 (кривая 2), можно видеть, что автоматическая система управления непрерывным дозированием материалов (рис. 4) работоспособна. При изменении

величины заданного расхода материала G_1^{zad} происходит установление расхода материала G'_1 равного G_1^{zad} с динамикой, описываемой полиномом (23).

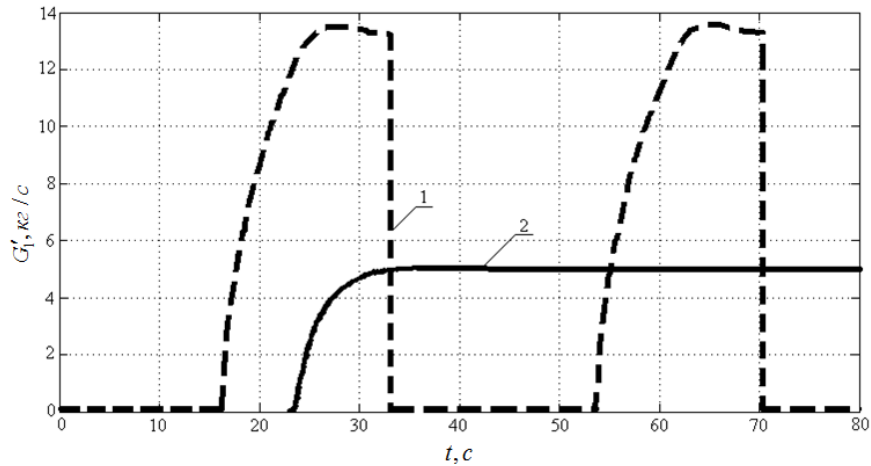


Рисунок 5. Переходный процесс для автоматического контура непрерывным дозированием материалов, изображенного на рис. 4. Здесь: 1 – переходный процесс в автоматическом контуре непрерывным дозированием материалов для случая 1 (сигнал G'_1 , рис.4); 2 – переходный процесс в автоматическом контуре непрерывным дозированием материалов для случая 2 (сигнал G'_1 , рис.4)

Выводы

1. Создана математическая модель единой механической системы, изображенной на рис. 2, как объекта регулирования по расходу материала. Для неё разработаны алгоритмы управления непрерывным дозированием материала. Выполнено моделирование их работы. Показано, что использование типовых алгоритмов для управления механической системой, изображенной на рис. 2 не приводит к установлению G'_1 в соответствии с заданным расходом материала G_1^{zad} (рис. 5), т.е. система управления в этом случае не работоспособна. Доказана работоспособность предложенной схемы контура управления непрерывным дозированием сыпучих материалов (рис. 3, 4).
2. Предложена реализация схемы предиктора Смита, которая обеспечивает работоспособность в системах управления с переменным транспортным запаздыванием. Переменная величина транспортного запаздывания зависит от частоты вращения опорных роликов ленточного транспортера (скорости перемещения ленты транспортера). Но при этом величина транспортного запаздывания может быть вычислена. Частота вращения

опорных роликов ленточного транспортера связана линейной зависимостью с частотой вращения лопастного питателя. Задание по частоте вращения лопастного питателя является выходным сигналом регулятора. Схемы регулирования, приведенные на рис. 3, 4, рассмотрены на примере системы непрерывного дозирования сыпучего материала, но могут быть использованы для подобных типов объектов регулирования, когда транспортное запаздывание объекта регулирования не постоянно и изменяется в зависимости от выходного сигнала регулятора.

Список литературы

1. Вильчек С.Ю., Гаркуша В.В., Квашнин А.Г., Мишнев А.С., Сторожев Ф.Н., Яковлев В.В. Компоненты автоматизированной системы управления процессами переработки биомассы в тепло и энергоносители во вращающемся термохимическом реакторе // Вычислительные технологии, 2013. Т.18. Специальный выпуск: Труды Всероссийской конференции «Индустриальные информационные системы – 2013». – С. 139 – 143.
2. Писарев А.В., Новиков С.И. Использование предиктора Смита в автоматических системах регулирования теплоэнергетических процессов // Энергосистемы, электростанции и их агрегаты: сб. науч. тр. – Вып. 12 / под ред. акад. РАН В.Е. Накорякова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. – С. 169 – 196.
3. Видинеев Ю.Д. Дозаторы непрерывного действия. – М.: Энергия, 1978. – 184 с.
4. Шадрин Г.К., Аринова Н.В. Математическая модель процесса дозирования компонентов силикатной смеси // Вестник ВКГТУ. – 2009. - №3. – С. 96 – 102.
5. Физические величины: Справочник / А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский и др.; Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
6. Куропаткин П.В. Оптимальные и адаптивные системы. – М.: Высш. шк., 1980.–287 с.
7. Громыко В.Д., Санковский Е.А. Самонастраивающиеся системы с моделью. – М.: Энергия, 1974. – 80 с.
8. Востриков А.С. Теория автоматического регулирования: Учеб. пособие для вузов / А.С. Востриков, Г.А. Французова. – М.: Высш. шк., 2004.–365 с.
9. Фрер Ф., Орттенбургер Ф. Введение в электронную технику регулирования. Пер. с нем. М.: Энергия, 1973. – 192 с.
10. Литвинов Н.Д. Метод расположения корней характеристического полинома, обеспечивающий заданные степень устойчивости и колебательность системы // Автоматика и телемеханика. – 1995. – №4. – С. 53 – 61.
11. Денисенко В.В. ПИД – регуляторы: принципы построения и модификации. Часть 2 // Современные технологии автоматизации. – 2007. – №1. – С. 78 – 88.
12. Филимонов А.Б. Спектральный метод построения упределителей для объектов с запаздыванием / А.Б. Филимонов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2006.–№6.–С. 2–9.
13. Кузовков Ю.К. Модальное управление и наблюдающие устройства. М.: Наука, 1976.–184 с.

Телетрафик с фрактальной природой

С. К. Кумаргажанова, Е. М. Федькин

Восточно-Казахстанский государственный
технический университет им. Д. Серикбаева,
Усть-Каменогорск, Казахстан
EFedkin@mail.ru

Аннотация В этой статье приводятся понятия фракталов, представлена экспонента H как наиболее важный параметр для характеристики самоподобия и зависимости от дистанции, которые непосредственно связаны с импульсивностью трафиком. Б.Б.Мандельброт в 1975 году предложил термин фрактал. Множество Мандельброта является фракталом с детализированной структурой вдоль бесконечного ряда шкал. Некоторые авторы заявляют, что самоподобие интернет-трафика связано с размером пакетов, сильно изменяющимся в отдельных сессиях, т.е. IP-трафик является самоподобным. В исследовании пересмотрен этот вопрос и утверждается, что существует мало доказательств того, что сложное описание распределения не имеет никакого влияния на конструкцию алгоритмов и инфраструктуру Интернета. Предлагается включать иерархические модели Маркова, которые объясняют зависимость от дистанции IP-трафика и состояние множественного временного масштаба, участвующие в механизме генерации трафика и транспортных протоколов.

Ключевые слова: Телетрафик, множество Мандельброта, экспонента H , множественный процесс, импульсивность, иерархические модели Маркова, IP-трафик

Введение

Формы классической геометрии - треугольники, круги, шары и т.д. - теряют свои структуры при их увеличении. Например, у человека на поверхности Земли создается впечатление, что Земля плоская. С другой стороны, космонавт на орбите видит Землю круглой. Предположим, что кто-то не был проинформирован, что Земля шарообразная и имеет радиус в сотни километров. Этот наблюдатель воспринимает окружность в виде прямой линии, хотя это не так.

Б.Б.Мандельброт в 1975 году предложил термин фрактал (от латинского *fractus*, означает, перелом, не работает) для описания математических объектов, имеющих структуры с «богатыми» деталями по нескольким шкалам наблюдения. Множество Мандельброта является математическим фракталом с детализированной структурой (то есть, очень нерегулярной) вдоль бесконечного ряда шкал.

Рисунок 1 показывает два экземпляра множества Мандельброта. Легко понять, что, несмотря на различные масштабы, оба экземпляра практически не отличаются.

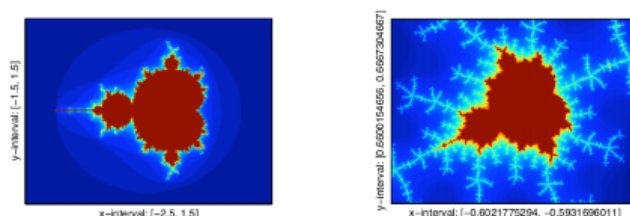


Рисунок 1. Множество Мандельброта.

Множество Мандельброта является определением фрактала как самоподобия. Физические науки могут привести несколько примеров случайных фракталов, в котором самоподобия происходят в статистическом смысле:

- климатологии и гидрологии временных рядов;
- функциональный магнитный резонанс человеческого мозга;
- жидкости турбулентного движения;
- финансовые ряды данных;
- Шведское побережье;
- цветная капуста;
- и др.

Рисунок 2 показывает три фотографии побережья Швеции, сделанные на различных расстояниях. Сверху вниз расстояния в 1,4 км, 500 м и 250 м. Хорошо видно, что та же картина повторяется на всех снимках.

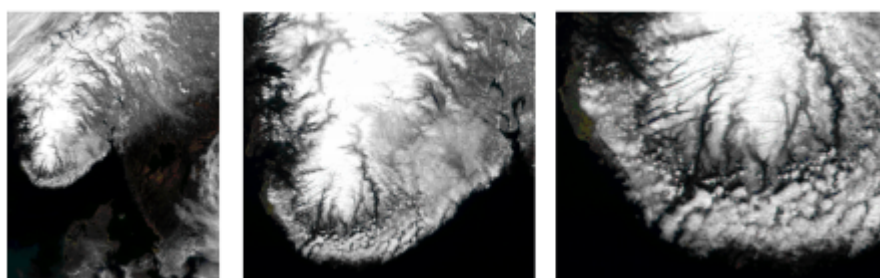


Рисунок 2. Снимки побережья Швеции, сделанные на различных расстояниях (сверху вниз расстояния в 1,4 км, 500 м и 250 м)

На рисунке 3 представлены три экземпляра цветной капусты показанной ее фрактальной природе.



Рисунок 3. Три экземпляра цветной капусты показанной в ее фрактальной природе

Рисунок 4 показывает пять начальных итераций множества Кантора, который является еще одним примером детерминированного фрактала.

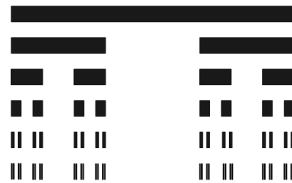


Рисунок 4. Пять начальных итераций множества Кантора

Рисунок 5 показывает Ethernet-трафик, полученный в локальных сетях университета Drexel. Тут есть самоподобие и сильная импульсивность на четырех шкалах агрегации времени: (10мс, 100мс, 1с и 10с). 100мс был получен путем включения 10мс.

На рисунке 6 на левой стороне показан пример реального Ethernet-трафика. На рисунке мы можем наблюдать самоподобие трафика. Центральная колонка показывает трафик, смоделированный по закону Пуассона. В этом случае, агрегация трафика разглаживается и не соответствует тому, что наблюдается на практике в локальной сети. Правая часть показывает моделирование трафика с самоподобием, что воспроизводит поведение трафика, которое наблюдается на практике.

Экспонента H

В силу исторических причин, степень живучести (LRD) временного ряда охарактеризована с помощью параметра Херста H , $0 < H < 1$. Временные

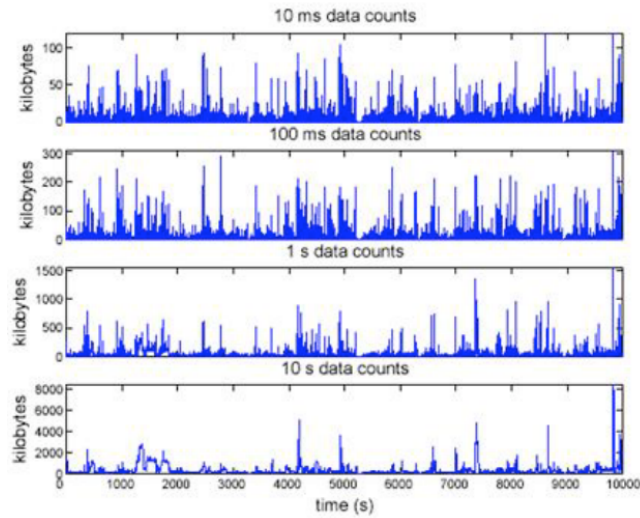


Рисунок 5. Ethernet-трафик, полученный в локальных сетях университета Drexel

ряды являются LRD (самоподобные), когда $1/2 < H < 1$. Они являются SRD (Short Range Dependence) при $0 < H \leq 1/2$. Когда H становится ближе к 1 и больше 1, то увеличивается живучесть ряда. Скажем, что ряд монофрактален, если H не зависит от времени. Скажем, ряд мультифрактален, если H изменяется во времени определенным или случайным образом.

Было показано, что WAN трафик может быть мультифрактальным, с не-Гауссовским маргинальным распределением, в уточненных масштабах времени. С другой стороны, монофрактальный режим наблюдался для трафика в локальной сети. Рисунок 7 показывает реализацию трафика моделью MWM Riedi. Импульсивность временных рядов, изменяемых во времени называется гетероскедастичностью.

Рисунок 8 иллюстрирует процесс долгосрочной памяти ACF. Отличительной особенностью является медленный спад по сравнению с функцией автокорреляции модели AR, который можно скорректировать.

Не прерывная линия является функцией автокорреляции модели AR, которая может быть скорректирована функцией AR программного обеспечения S+FinMetrics в соответствии с AIC критериями. Модель получена для AR (15).

Множество значений трафика может также отобразить ACF с долгосрочной и короткой памятью смешанных характеристик. Такой режим характерен для модели классов ARFIMA. Долгосрочная память характеризуется в частотной области $1/f^\alpha$ сингулярности, $0 < \alpha < 1$ ($\alpha = 2H - 1$) для $f \rightarrow 0$.

Рисунок 9 показывает, что SDF модели класса FD с $D = 0,4$ ($D = H - 1/2$) имеет частотную область, равную $1/f$.

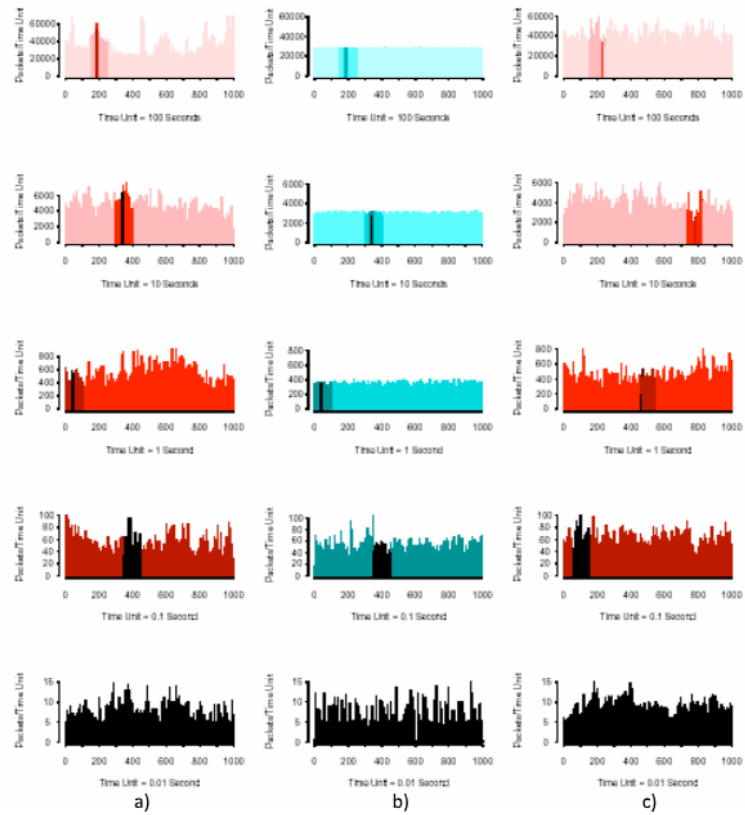


Рисунок 6. а) Реальный Ethernet-трафик, б) трафик, смоделированный по закону Пуассона, с) трафик, смоделированный с самоподобием

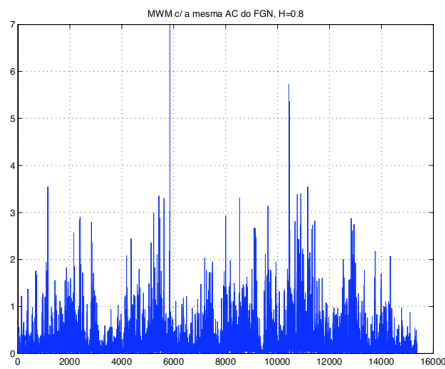


Рисунок 7. Мульти фрактальный трафик, моделируемый с помощью модели MWM

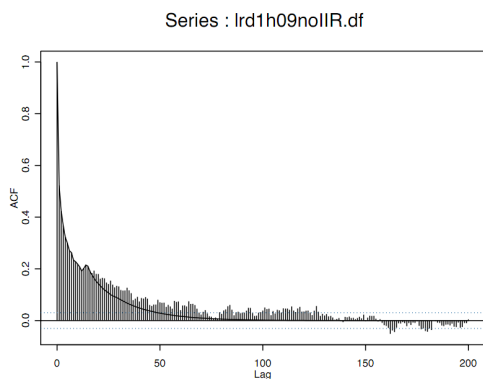


Рисунок 8. ACF LRD ряда с $H=0,9$ и $N=4096$

Выборочная средняя дисперсия

Рассмотрим стационарный случайный процесс $x_t, t \in Z$, со средней μ_x и дисперсией σ_x^2 . Пусть x_1, x_2, \dots, x_N наблюдений будут реализацией x_t . Если случайные величины x_1, x_2, \dots, x_N независимы и некоррелированные, то выборочная средняя \bar{x} дисперсии определяется как

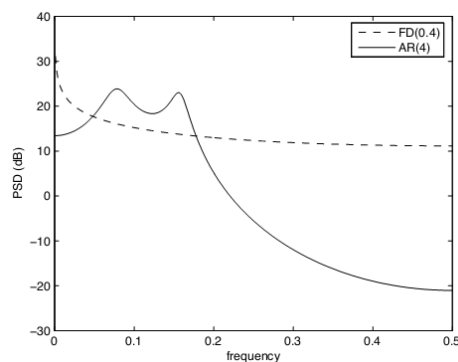


Рисунок 9. SDF одинаковой мощности для моделей AR (4) и FD (0.4)

$$\sigma_x^2 = \frac{\sigma_x^2}{N} \tag{1}$$

Если выборка достаточно велика, то \bar{x} оценка распределения является нормальной. Выражение для доверительного интервала μ , в $(1 - \beta)$ доверительном уровне определяется как

$$\bar{x} - z_{\beta/2} \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}} \leq \bar{x} + z_{\beta/2} \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}} \quad (2)$$

где $z_{\beta/2}$ обозначает квантиль $q_{(1-\beta/2)}$ стандартного нормального распределения.

Квантиль q_α функции распределения F_x это значение, для которого $F_{q_\alpha} = A$. Числовая характеристика распределения вероятностей, например, соответствует $q_{0,5}$. С учетом вероятности $1 - \beta$, мы находим $z_{\beta/2}$, для которых $P\{-z_{\beta/2} < z < z_{\beta/2}\} = 1 - \beta$ ($z_{\beta/2} = 1,96$ при $1 - \beta = 95\%$).

Определение (Большой диапазон зависимости). x_t является большим диапазоном зависимости или длительным процессом памяти, если есть константы α и CP , удовлетворяющие условию $0 < \alpha < 1$ и $CP > 0$, для которых

$$\lim_{f \rightarrow 0} \frac{P_x(f)}{C_p |f|^{-\alpha}} = 1 \quad (3)$$

где $P_x(f)$ обозначает SDF для x_t и f представляет нормализованную частоту ($-1/2 \leq f \leq 1/2$), в единицах период/выборка.

Это асимптотическое определение, так как SDF не указан для частот, далеких от начала. Параметр H и α связаны соотношениями

$$H = \frac{\alpha + 1}{2}, \quad \frac{1}{2} < H < 1 \quad (4)$$

Альтернативное определение может быть дано во временной области. x_t является $1/f$ процессом, если его автокорреляции $R_x(\tau)$ при достаточно больших значениях задержки τ , уменьшается эквивалентно степенной функции:

$$\lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{R_x(\tau)}{C_R \tau^{-(1-\alpha)}} = 1 \quad (5)$$

в котором $CR > 0$.

Особенность данного вида диапазона в том, что выполнено

$$\sum_{\tau=-\infty}^{\infty} R_x(\tau) = \infty \quad (6)$$

для $1/2 < H < 1$, то есть, спад автокорреляции к нулю настолько медленен, что он не определяется. Такое поведение радикально отличается от представленного процессом ARMA, в котором спад автокорреляции является быстрым, то есть, экспоненциальным:

$$|R_x(\tau)| \leq C_\tau^\tau, \quad \tau = 1, 2, \dots \quad (7)$$

где $C > 0$ и $0 < \tau < 1$.

Если x_t является LRD, дисперсия \bar{x} уменьшается с размером выборки N более медленно, чем в традиционном случае (независимые или некоррелированные переменные):

$$\sigma_{\bar{x}}^2 \approx \sigma_x^2 c(\rho_x) N^{\alpha-1} \quad (8)$$

где $c(\rho_x)$ определяется как

$$\lim_{N \rightarrow \infty} N^{-(1+\alpha)} \sum_{i \neq j} p_x(i, j) \quad (9)$$

В этом случае, \bar{x} распределение является асимптотически Гауссовским с $E[\bar{x}] = \mu_x$. Режим LRD x_t делает оценивание параметров, таких как \bar{x} , более трудным, чем для некоррелированных наблюдений. В этом случае применить уравнение для доверительного интервала μ_x по формуле 2 не возможно. На самом деле, для заданного доверительного уровня $(1 - \beta)$, доверительный интервал должен быть «растянут» умножением его на фактор F :

$$F = N^{\alpha/2} \sqrt{c(\rho_x)} \quad (10)$$

Этот F поправочный фактор с увеличением N в пределе стремится к бесконечности.

Множественный процесс

M порядковый множественный процесс x_t , обозначаемый $X_t^{(M)}$ соответствует скользящему среднему M размерными блоками без перекрытия x_t , то есть

$$X_t^{(M)} = \frac{1}{M} \sum_{i=M(i-j)+1}^{M_i} x_t \quad (11)$$

Следующее свойство необходимо для долгосрочной памяти процесса x_t :

$$\lim_{M \rightarrow \infty} \frac{Var X_t^{(M)}}{M^{2H-2}} = c \quad (12)$$

где c является константой.

Агрегация эквивалентна изменению масштаба времени. Она может быть реализована так, что множество процессов будут статистически похожи на оригинал процесса, в том смысле, что конечное число последовательных агрегатов не разрушает импульсивный характер оригинального процесса. Таким образом, (12) предполагает, что долгосрочная (долгая) память и самоподобие - свойства, тесно связанные между собой.

Определение (H -ый процесс). Стохастический процесс $\{y\}_{t \in R}$ является самоподобным с параметром $0 < H < 1$, то есть, это H -ый процесс, если для любого $a > 0$:

$$\{y(t)\}^d = \{a^{-H} y(at)\} \quad (13)$$

в котором d означает равенство между конечными размерами дистрибутивов.

H -ый процесс является LRD, если $1/2 < H < 1$. Броуновское движение (для непрерывного времени), также известное как процесс Винера - это самоподобие с $H = 1/2$ (но это не LRD).

Если процесс $x_t = \Delta y_t$, называемый процессом инкремента y_t или начальным различием, где y_t является стационарным, то в этом случае y_t называется H -ым (H - самоподобие со стационарными приращениями). В этом случае, процесс H -ый y_t - это интегрированный процесс первого порядка, $y_t \sim I(1)$. Если моменты $y(t)$ порядка меньше или равного существующего q , то из (13) мы делаем вывод, что

$$E|y_t|^q = E|y_1|^q |t|^{qH} \quad (14)$$

Таким образом, процесс $y_t \sim I(1)$ не может быть стационарным. Полагая, что $E[y_t] = 0$ и принимая во внимание, что $E(x_t) = E(y_t - y_{t-1}) = 0$, можно показать, что y_t автоковариационен. Получим

$$C_y(t, s) = E[y_t, y_s] = \frac{\sigma_x^2}{2} [t^{2H} + s^{2H} - (t-s)^{2H}] \quad (15)$$

где $\sigma_x^2 = E[(y_t - y_{t-1})^2] = E[y^2(1)]$ является дисперсией x_t процесса.

Рассмотрим версию $y_t, t \in Z$, где y_t процесс H из единичного интервала выборки. Есть много y_t негауссовых процессов H . Однако, значение $H \in (0, 1)$ существует только для одного y_t гауссовского процесса H , называемого дискретным временем дробного броуновского движения (DFBM).

Дробному гауссовскому шуму (FGN), предложенному Мандельбротом и Ван Нессом в 1968 году, соответствует DFBM процесс приращения. FGN является моделью широко применяемой для моделирования LRD трафика. DFBM и FGN модели отличны от параметрических и не используются для прогнозирования будущих значений трафика.

Определение (Строгое самоподобие второго порядка). Рассмотрим дискретное время стационарного процесса $x_t = y_t - y_{t-1}$. x_t является строгим самоподобием второго порядка процесса с параметром $H(1/2 < H < 1)$, если его автоковариационность существует, то из этого следует, что уравнение имеет вид

$$C_x(\tau) = \frac{\sigma_x^2}{2} [|\tau + 1|^{2H} - 2|\tau|^{2H} + |\tau - 1|^{2H}], \quad \tau = \dots, -1, 0, 1, \dots \quad (16)$$

Можно показать, что автоковариационность определяется формулой (16) и удовлетворяет

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{C_x(\tau)}{\sigma_x^2 \tau^{2H-2} H(2H-1)} = 1 \quad (17)$$

то есть, $C_x(\tau)$ имеет гиперболический спад.

Самоподобие второго порядка предполагает LRD, когда $1/2 < H < 1$.

Рассмотрим множество процессов $X_t^{(M)}$ со строгим самоподобием второго порядка процесса x_t , на множестве M . Можно показать, что

$$C_x^{(M)}(\tau) = C_x(\tau), \quad M = 2, 3, \dots \quad (18)$$

Уравнение (18) говорит, что статистика второго порядка исходного процесса остается такой же с изменением масштаба, оправдывая термин «Самоподобия второго порядка».

Определение (Асимптотическое самоподобие второго порядка). Процесс x_t является асимптотическим самоподобием второго порядка процесса с параметром H ($1/2 < H < 1$), если автоковариационность и автоковариационность процесса связаны

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} C_x^{(M)}(\tau) = C_x(\tau) \quad (19)$$

Цыбаров и Георганас показали, что (12) следует из (19). Таким образом, процесс LRD также является асимптотическим самоподобием второго порядка.

Импульсивность

Некоторые явления показывают импульсивное поведение, такие как низкие частоты атмосферных помех, техногенные шумы, подводные акустические шумы, линии передачи переходных процессов, сейсмическая активность, финансовые ряды, трафик компьютерных сетей. В этом контексте, вероятности устойчивых распределений являются одним из основных статистических инструментов моделирования импульсных сигналов. Использование тут оправдано обобщенной центральной предельной теоремой. Эта теорема утверждает, что: если предел сумм независимых одинаково распределенных (IID) сходится к случайной величине, то этот предел может быть только стабильно распределенной случайной величиной.

Определение (Интенсивное распределение). Случайная величина x имеет интенсивное распределение с индексом α , если

$$P(x \geq x) \approx cx^{-\alpha}L(x), \quad x \rightarrow \infty \quad (20)$$

при $c > 0$ и $0 < \alpha < 2$, где $L(x)$ является положительной функцией, которая медленно меняется при больших значениях x , то есть $\lim_{x \rightarrow \infty} L(bx)/L(x) = 1$ для любого положительного b .

В уравнении (20) говорится о том, что в наблюдениях за интенсивным распределением случайных величин может произойти событие со значениями, сильно отличающимися от среднего значения, с не ничтожно малыми вероятностями. Таким образом, этот вид случайной величины обладает высокой изменчивостью.

Простой пример интенсивного распределения является «Pareto I» распределение, определяемое с помощью дополнительной функцией распределения (функции выживания).

$$\bar{F}(x) = P(x \geq x) = \begin{cases} \left(\frac{x}{x_m}\right)^{-\alpha}, & x \geq x_m \\ 1, & x < x_m \end{cases} \quad (21)$$

Рисунки 10 и 11 показывают, соответственно, значение плотности функции «Pare to I» с $x_m = 3$ и вероятность распределения функций «Pare to I» с $x_m = 1$.

Крупное распределение статистических данных порядка p конечно, тогда и только тогда когда $p \leq \alpha$. Именно по этой причине такое распределение имеет бесконечную дисперсию. Средняя бесконечна если $\alpha < 1$. Крупный шлейф распределения также известен как бесконечная дисперсия распределения вероятностей.

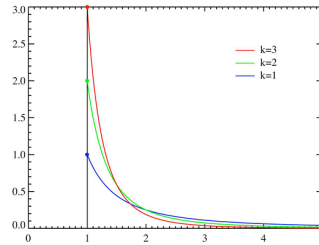


Рисунок 10. Значение плотности функции «Pare to I»

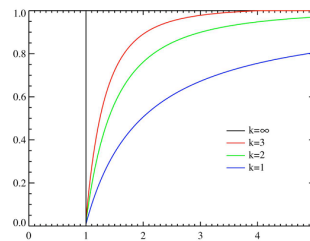


Рисунок 11. Вероятность распределения функций «Pare to I» с $x_m = 1$

Важным членом крупного класса шлейфа распределения является устойчивое распределение, открытое Леви в 1920 году. Устойчивое распределение не имеет аналитического выражения. Оно может быть определено в терминах его характеристической функции:

$$\Phi_x(w) = E[e^{jwx}] = \int_{-\infty}^{\infty} f_x(x) e^{jwx} = \exp\{j\mu w - |\sigma w|^\alpha [1 - j\eta \operatorname{sing}(w)\varphi(w, \alpha)]\}$$
(22)

при (22)

$$\phi(w, \alpha) = \begin{cases} \tan(\alpha\pi/2), & \text{при } \alpha \neq 1 \\ -\frac{2}{\pi} \ln |w| & \text{при } \alpha = 1 \end{cases}$$
(23)

- $\operatorname{sing}(\cdot)$ обозначает знаковую функцию,
- $\alpha (0 < \alpha \leq 2)$ является характеристическим показателем,
- $\mu (\mu \in R)$ является локализацией параметра,
- $\eta (-1 \leq \eta \leq 1)$ параметр асимметрии и
- $\sigma \geq 0$ является параметром дисперсии или масштаба.

Рисунок 12 показывает пример реализации стабильного распределения.

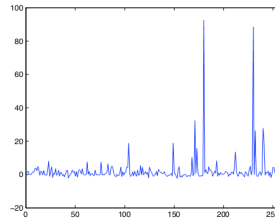


Рисунок 12. $S_\alpha(\sigma, \eta, \mu) = S_{1.2}(1, 1, 0)$ (на 256 примерах).

Рисунок 13 показывает множество примеров симметричных устойчивых распределений вероятностей (слева) и функции плотности (справа).

Рисунок 14 показывает множество примеров асимметричных устойчивых распределений вероятностей (слева) и функции плотности (справа).

Можно показать, что если $x \sim S_\alpha(\sigma, \eta, \mu)$, где $0 < \alpha < 2$, то,

$$\begin{cases} \lim_{\lambda \rightarrow \infty} \frac{P(x > \lambda)}{\lambda^{-\alpha}} = C_\alpha \frac{1+\eta}{2} \sigma^\alpha \\ \lim_{\lambda \rightarrow \infty} \frac{P(x < -\lambda)}{\lambda^{-\alpha}} = C_\alpha \frac{1-\eta}{2} \sigma^\alpha \end{cases}$$
(24)

где

$$C_\alpha = \left(\int_0^\infty x^{-\alpha} \sin x \right)^{-1} = \begin{cases} \frac{1-\alpha}{\Gamma(2-\alpha) \cos(\pi\alpha/2)}, & \alpha \neq 1 \\ 2/\pi, & \alpha = 1 \end{cases}$$
(25)

Таким образом, (24) показывает, что срок существования функции x уменьшается в зависимости от степенной функции при больших значениях λ .

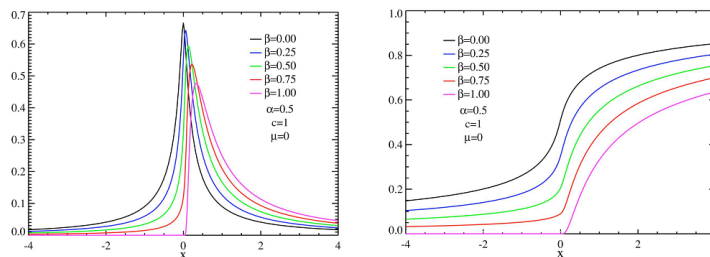


Рисунок 13. Симметричные устойчивые распределения: распределение вероятностей (слева) и функции плотности (справа)

Теорема (Качество устойчивости). Случайная величина x является стабильной, тогда и только тогда когда для любых независимых случайных величин x_1 и x_2 , которые имеют такое же распределение, как x , так и для произвольных постоянных a_1, a_2 , существуют такие постоянные a и b , что

$$a_1x_1 + a_2x_2 \stackrel{d}{=} ax + b \tag{26}$$

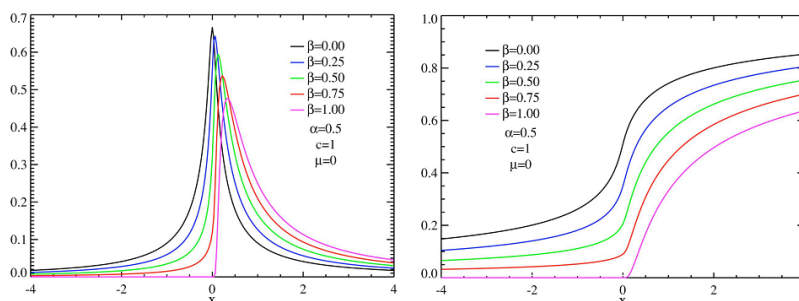


Рисунок 14. Асимметричные устойчивые распределения: распределение вероятностей (слева) и функции плотности (справа)

С помощью характеристической функции устойчивого распределения, можно показать, что если x_1, x_2, \dots, x_n независимы и принадлежат устойчивым распределениям с одинаковым (α, η) , то все линейные комбинации $\sum_{j=1}^N x_j a_j$ устойчивы с теми же параметрами α и η .

Центральные предельная теорема говорит, что нормированная сумма (IID) случайных величин с конечной дисперсией σ^2 и среднее μ сходится к распределению Гаусса. Формально,

$$\frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{N}} \xrightarrow{d} x \sim N(0, 1) \quad \text{для } N \rightarrow \infty \quad (27)$$

Соотношение (27) можно переписать в виде

$$a_N(x_1 + x_2 + \dots + x_N) - b_N \xrightarrow{d} x \sim N(0, 1) \quad \text{для } x \rightarrow \infty \quad (28)$$

в котором $a_N = 1/(\sigma\sqrt{N})$ и $b_N = \sqrt{N}\mu/\sigma$.

Теорема (Обобщенная центральная предельная теорема).

Пусть $\{x_1, x_2, x_3, \dots\}$ - последовательность независимых случайных величин. Существуют константы $a_N > 0$, $b_N \in \mathcal{R}$ и случайная величина x с

$$a_N(x_1 + x_2 + \dots + x_N) - b_N \xrightarrow{d} x$$

тогда и только тогда когда x устойчив при $0 < \alpha \leq 2$.

Определение (Импульсный случайный процесс). Случайный процесс x_t импульсивен, если он имеет крупный шлейф маргинального распределение вероятностей.

Ковариации (или корреляция) не может быть определена в устойчивых случайных пространственных переменных. Помним, что для стабильной случайной величины дисперсия бесконечна. Предложено было два вида измерений:

- Со-изменения;
- Со-дифференциация;

Со-вариации не используется в этой статье.

Со-дифференциация двух совместных $S\alpha S$ случайных величин x_1 и x_2 , $0 < \alpha \leq 2$, задается

$$\gamma_{x_1, x_2} = (\sigma_{x_1})^\alpha + (\sigma_{x_2})^\alpha - (\sigma_{x_1 - x_2})^\alpha \quad (29)$$

в которой σ_x является шкалой параметра $S\alpha S$ x случайной величины. Со-дифференциация симметрична, т. е., $\gamma_{x_1, x_2} = \gamma_{x_2, x_1}$ и сводится к ковариации при $\alpha = 2$. Если x_1 и x_2 независимы, то $\gamma_{x_1, x_2} = 0$.

Определение (Обобщенная Со-дифференциация).

$$I(w_1, w_2; x_1, x_2) = -\ln E[e^{j(w_1 x_1 + w_2 x_2)}] + \ln E[e^{j w_1 x_1}] + \ln E[e^{j w_2 x_2}], \quad (w_1, w_2) \in \mathcal{R}^2 \quad (30)$$

Если x_1 и x_2 независимы, то $I(w_1, w_2; x_1, x_2) = 0$. Для совместных гауссовских случайных величин

$$I(w_1, w_2; x_1, x_2) = -w_1 w_2 C(x_1, x_2)$$

где $C(x_1, x_2)$ ковариация между x_1 и x_2 .

Для стационарных случайных процессов, у нас есть

$$I(w_1, w_2; \tau) = I(w_1, w_2; x_{\tau+t}, x_t)$$

Определение (Долгая память в обобщенном смысле). Пусть $\{x_t\}_{t \in R}$ является стационарным случайным процессом. Мы говорим, что x имеет долгую память в обобщенном смысле, если его обобщенные Со-дифференциации $I(w_1, w_2; \tau)_{\omega_1 = -\omega_2 = 2}$ удовлетворяет

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} I(1; -1; \tau) / \tau^{-\beta} = L(\tau) \quad (31)$$

в которой $L(\tau)$ является медленно меняющейся функцией для $\tau \rightarrow \infty$ и $0 < \beta < 1$.

Для LRD гауссовских процессов, данное выше определение сводится к классическому определению процесса LRD.

Заклучение

Некоторые авторы заявляют, что самоподобие интернет-трафика связано с размером пакетов, сильно изменяющимся в отдельных сессиях (FTP, НТТР и т.д.), которые составляют общий трафик.

В таких материалах утверждают, что IP-трафик является самоподобным, потому что размеры индивидуальных сессий, которые порождает интернет-трафик, сложно описываемы распределением вероятностей.

С другой стороны в недавнем исследовании Гонга и других пересмотрен этот вопрос и утверждается, что существует мало доказательств того, что сложное описание распределения не имеет никакого влияния на конструкцию алгоритмов и инфраструктуру Интернета. Гонг и другие предлагают включать иерархические модели Маркова, которые объясняют LRD IP-трафика и состояние множественного временного масштаба, участвующие в механизме генерации трафика и транспортных протоколов, осуществляющих наблюдение за неизбежным LRD поведением.

Список литературы

1. Столингс В., *Современные компьютерные сети*, В. Столингс. СПб.: Питер, 2005. 783 с.
2. Шелухин О.И., *Фрактальные процессы в телекоммуникациях*, О.И.Шелухин, А.М.Тенякшев, А.В.Осин; под.ред. О.И.Шелухина. М.: Радиотехника, 2003. 480 с.
3. *Реализация трафика беспроводной сети IEEE 802.11b*, [Электронный ресурс] (<http://www.teletraffic.ru/traffic>)
4. Федер Е., *Фракталы / Е. Федер*, . М.: Мир, 1991. 254 с.

Применение GPGPU вычислений для моделирования турбулентных течений несжимаемой жидкости

А. Сентябов, А. Шебелев, А. Гаврилов

Институт Теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск, Россия
Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
Sentyabov_a_v@mail.ru

Аннотация Для реализации GPGPU вычислений использовался программный комплекс SigmaFlow, развиваемый авторами. Для моделирования турбулентных течений были реализованы RANS модели турбулентности, в частности, $k - \omega$ SST. В GPU-версии кода все основные операции по обработке расчётных данных выполнялись на графическом процессоре. Для их реализации использовалась архитектура CUDA. Тестовые расчеты показали соответствие результатов на GPU экспериментальным данным и результатам других расчетов как для ламинарных, так и для турбулентных задач. Из сравнения времени расчета следует, что современные GPU позволяют увеличить производительность расчетов задач вычислительной гидродинамики в 2 – 3 раза по сравнению с современными 6-ядерными CPU. Параллельные вычисления позволяет разделить большие задачи между несколькими GPU и обойти ограничение на объём памяти на одном графическом процессоре. Была проведена верификация реализации параллельных расчетов турбулентных течений на GPU и сравнение производительности расчета. Результаты тестов показывают, что расчет турбулентных течений выполняется на GPU в 3 раза быстрее по сравнению с современным 6-ядерными CPU.

Ключевые слова: CFD, GPU, CUDA, SIMPLE, турбулентность, RANS

Введение

Моделирование физических явлений и технологических процессов требует постоянного роста производительности вычислительных машин. В последнее время производительность графических процессоров возросла настолько, что они стали привлекательны для научного и инженерного моделирования. Как результат, появились технологии неграфических расчетов на графических процессорах – GPGPU (General-Purpose computation on GPUs). Привлекательность графических ускорителей (GPU) с точки зрения вычислительной производительности привела к их широкому применению в суперкомпьютерных системах. Тематика вычислений, выполняемых на GPU,

довольно широка и включает в себя решение задач линейной алгебры [1], молекулярную динамику [2], газовую динамику [3,4] и многое другое. Пиковая производительность GPU быстро растет и многократно превышает таковую у центральных процессоров.

Большинство алгоритмов вычислительной гидродинамики несжимаемой жидкости основано на решении уравнения эллиптического типа для поправки давления неявными методами. Алгоритм содержит следующие основные шаги: дискретизацию уравнений переноса и уравнения на поправку давления, решение систем линейных алгебраических уравнений, коррекцию полей. Реализация на GPU лишь отдельных операций оказывается неэффективной, что приводит к необходимости переписывания алгоритмов всех основных ресурсоемких операций для распараллеливания на ядрах GPU. При этом в памяти GPU требуется хранить все необходимые для расчета данные, поскольку их пересылка между GPU и CPU занимает очень много времени. Учитывая ограниченный объем памяти графических ускорителей, это налагает серьезные ограничения на решаемые на GPU задачи. Эта проблема решается при использовании нескольких GPU, что приводит к появлению ещё одного уровня параллелизма. В то же время, известно, что увеличение количества вычислительных узлов для решения задачи, в конце концов, приводит к насыщению, при котором рост производительности практически не наблюдается. Это происходит из-за роста расходов на обмен информации между вычислительными узлами. При этом, чем больше размер расчетной сетки, тем большее количество узлов можно эффективно задействовать для расчета на ней. В подавляющем большинстве случаев при использовании GPU обмен информацией между вычислительными узлами ограничивается также и скоростью пересылки информации между GPU и CPU по шине PCI-E.

В данной статье рассматривается реализация специальной версии CFD кода, позволяющая использовать GPU. В качестве основы послужил код позволяющий моделировать трехмерные течения несжимаемой жидкости в сложных областях. Целью данной работы была демонстрация возможностей GPU-версии кода и исследование скорости расчетов различных течений на GPU по сравнению с CPU.

Математическая модель

Реализация GPGPU вычислений проводилась на основе программного комплекса SigmaFlow [5]. Рассматривались трёхмерные несжимаемое течения, которые описываются уравнениями Рейнольдса:

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho\mathbf{v})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho\mathbf{v}\mathbf{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\mathbf{T}^m + \mathbf{T}^t), \quad (2)$$

где тензор вязких напряжений:

$$\mathbf{T}^m_{ij} = \mu \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right), \quad (3)$$

а тензор турбулентных напряжений:

$$\mathbf{T}^t_{ij} = \mu_t \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right), \quad (4)$$

где μ_t - турбулентная вязкость. При моделировании ламинарных течений рассчитываются уравнения Навье-Стокса, которые математически отличаются только отсутствием турбулентных напряжений.

Для расчета турбулентной вязкости μ_t используются те или иные модели турбулентности. В частности, в программном коде реализована одна из популярных двухпараметрических RANS моделей $k - \omega$ SST, предложенная Ментером [6]. Это двухзонная модель, комбинирующая модели $k - \omega$ и $k - \epsilon$, переключение между которыми осуществляется в зависимости от расстояния до стенки. Вблизи стенки работает $k - \omega$ модель, а вдали от нее - модель $k - \epsilon$.

Используемый в данной работе численный алгоритм базируется на методе конечного объема для неструктурированной сетки. Для построения разностного аналога дифференциального уравнения второго порядка в методе конечного объема используются сеточные распределения искомого поля и его градиента. Значение градиента поля в центре контрольного объема рассчитывается явным способом по значениям поля в центрах контрольных объемов и на поверхностных гранях, используя метод наименьших квадратов [7].

Одна из основных трудностей при разработке численных алгоритмов на базе сеточных методов для несжимаемых уравнений Навье – Стокса – это определение связи поля давления с полем скорости. В данной работе связь между полями скорости и давления, обеспечивающая выполнение уравнения неразрывности, реализуется при помощи SIMPLE-подобной процедуры на совмещенных сетках. В литературе можно встретить большое количество вариантов методики расщепления для уравнений гидродинамики и способов вывода результирующих выражений. Дополнительную информацию по сравнению и использованию SIMPLE и SIMPLEC методов можно найти в [8,9,10]. Значения полей скорости и давления хранятся в одних и тех же узлах (совмещенные сетки). Подход, при котором значения полей скорости и давления расположены в одних и тех же узлах (центрах контрольных объемов), наиболее экономичен с точки зрения программной реализации. Для устранения возможных шахматных осцилляций решения используется подход предложенный в работе Рхи-Чоу [11].

Аппроксимация конвективных членов уравнения переноса количества движения осуществлялась с помощью противопоточной схемы QUICK [12] или Umist TVD [13]. Вязкие слагаемые аппроксимировались со вторым порядком точности. Для интегрирования по времени использовалась неявная направленная трёхслойная схема второго порядка точности.

Системы разностных уравнений, аппроксимирующие уравнение движения, решались итерационным методом неполной LU-факторизации [14]. Система линейных уравнений, полученная в результате дискретизации эллиптического уравнения на поправку давления, решалась с помощью трёхслойного вариационного метода сопряжённых невязок.

Программная реализация

Для ускорения расчётов применялась технология параллельных вычислений, основанная на декомпозиции расчётной области. Декомпозиция области решения заключается в разбиении её на неперекрывающиеся (соприкасающиеся) односвязные подобласти. При геометрической декомпозиции расчётной области для использования параллельных вычислений в массивы данных включается информация о данных из соседних подобластей. В качестве коммуникационного интерфейса применялся протокол MPI. Для получения хорошей сбалансированности процессоров необходимо каждому процессору выделить примерно одинаковую часть работы. Распределение расчётных узлов по процессорам осуществляется с помощью программы MeTiS [15].

В GPU-версии кода ([16,17]) все основные операции по обработке расчётных данных выполнялись на графическом процессоре: расчёт градиентов полей скорости и давления, дискретизация уравнения движения и уравнения на поправку давления, решение систем линейных уравнений и корректирующие операции процедуры SIMPLE. Для их реализации использовалась архитектура CUDA (Compute Unified Device Architecture) поколения 2.0. В подавляющем большинстве реализованных CUDA-ядер требуется выполнить некую операцию над каждым узлом или гранью сетки, оперируя значениями с соседних с ним/ней узлов. Таким образом, структуру подобных ядер можно описать следующим образом. Имеется массив размера, равного количеству контрольных объемов или граней сетки. Для каждого элемента необходимо прочитать значения из этого же массива по известным индексам и подать их на вход некой функции, которая выполняется в отдельной нити CUDA на GPU ядре.

Так же, как и в CPU-версии, использовалась декомпозиция расчётной области – в этом случае роль ядра CPU, на котором выполняется отдельный поток, играет весь графический процессор. Таким образом, осуществляется разбиение задачи между несколькими GPU.

Сравнение производительности расчетов на CPU и GPU

Для сравнения производительности рассматривалось время расчёта нестационарного ламинарного обтекания цилиндра (Рис. 1). Течение зависит от числа Рейнольдса $Re = UD/\nu$, где U - скорость потока, D - диаметр цилиндра, ν - кинематический коэффициент вязкости. Число Рейнольдса в

данном тесте составляло $Re = 100$. В этом случае за цилиндром образуется вихревая дорожка Кармана (Рис. 2). На Рис. 1а показана схема расчетной области. Внешняя граница имеет форму цилиндра диаметром $D_{ext} = 40D$, длина цилиндра составляет $4D$. На входе задавалось равномерное поле скорости, а на выходе - неотражающие граничные условия. На торцевых гранях задавались условия симметрии. Расчетная сетка О-типа состояла из 1.5 млн. гексаэдральных ячеек и была сгущена вблизи стенки цилиндра и в области следа за цилиндром. Временной шаг составлял $\tau = 0.04T_{ref}$, где $T_{ref} = D/U_{in}$ - характерное время задачи. Предварительные расчеты показали формирование дорожки Кармана (Рис. 2а). Число Струхала срыва вихрей $St = fD/U_{in}$, где f - частота срыва вихрей, Гц, хорошо соответствует экспериментальным данным [18,19] и результатам других расчетов [20] (Таблица 1). Средняя длина отрывной зоны L (Рис. 2б) также совпадает с расчетами [20].

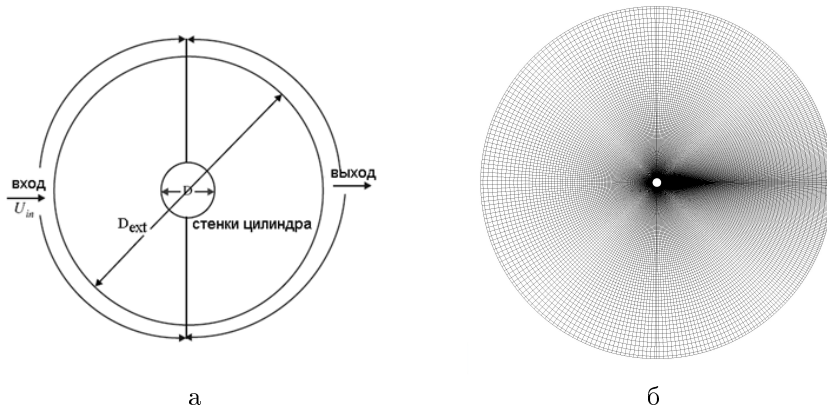


Рисунок 1. Обтекание цилиндра: а) схема; б) расчетная сетка.

Для сравнения производительности нестационарные расчеты проводились с однородного начального приближения. Расчет выполнялся в течении $0.6T_{ref}$ (15 временных шагов). На каждый временной слой приходилось оди-

Таблица 1. Обтекание цилиндра: интегральные характеристики

	St	L/D
расчеты SigmaFlow-GPU	0.164	1.41
расчеты Shoeubi (2010)	0.168	1.41
эксперимент Zdravkovich (1997)	0.165	-

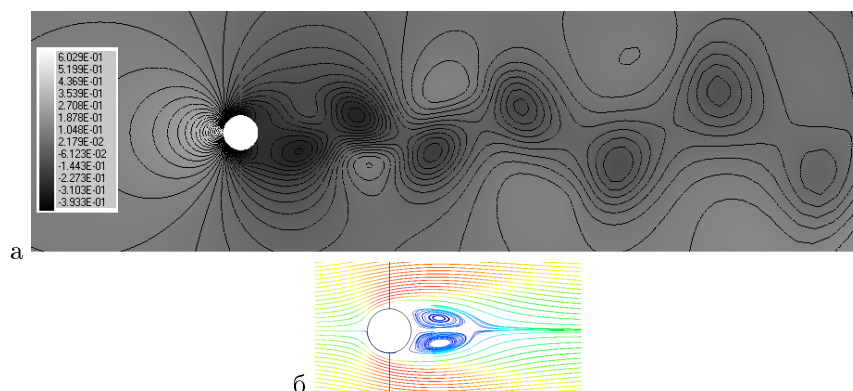


Рисунок 2. Обтекание цилиндра: а) вихревая дорожка Кармана (изолинии давления); б) линии тока усредненного течения.

наковое количество итераций метода SIMPLEC равно 30. Результаты расчетов с использованием различных CPU и GPU представлены на рис. 3. Как видно из рисунка, производительность современных GPU в 2 – 3 раза превышает производительность 6-ядерного процессора. Наибольшую производительность показывают GeForce 1070 и GeForce 1080 Ti, а также Tesla P100. Массовая серия GeForce по производительности практически не уступает профессиональной линейке Tesla при меньшей стоимости. В то же время, ускорители серии Tesla обладают гораздо большим объемом памяти. Объем памяти GPU является важным параметром при проведении CFD расчетов, так как промышленные и научные задачи требуют построения детальных сеток. Новейшие GPU в сочетании с организацией параллельных расчетов на нескольких GPU позволяет обойти данное ограничение. Вместе с тем, с ростом количества разбиений снижается эффективность распараллеливания. Для данной задачи на гибридном вычислительном кластере ЦКП ДВО РАН было рассмотрено ускорение параллельных расчетов на GPU-узлах Tesla P100 (Рис. 4). Расчет на 8 GPU выполняется почти в 4 раза быстрее, чем на одном ускорителе. Снижение эффективности ускорения, по-видимому, объясняется небольшим объемом расчетной сетки (1.5 млн. ячеек) и высокой производительностью самих узлов. Таким образом, для эффективного распараллеливания на GPU требуется использовать разбиения на относительно большие (по сравнению с ядрами CPU) подобласти расчетной сетки.

Расчеты тестовых турбулентных задач

Для верификации модуля расчета турбулентных течений были рассмотрены два канонических теста. Первая задача представляла собой периодическое

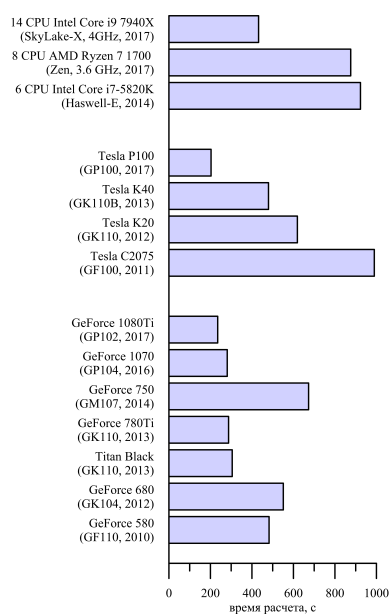


Рисунок 3. Обтекание цилиндра: расчетное время.

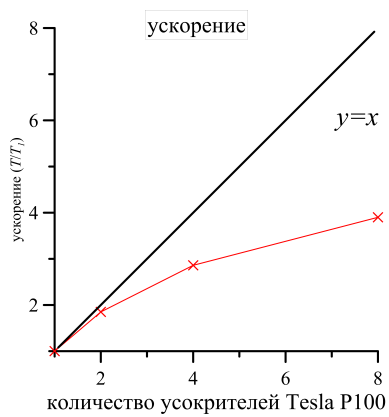


Рисунок 4. Обтекание цилиндра: ускорение параллельных расчетов.

вдоль потока турбулентное течение в плоском канале. Результаты расчетов сравнивались с результатами расчетов DNS Tanahashi et al. [21], полученными для числа Рейнольдса $Re_\tau = 800$. При полувысоте канала $h = 1$ м, плотности $\rho = 1$ кг/м³ и вязкости $\mu = 10^{-5}$, напряжение трения составляло $\tau = 6.4 \cdot 10^{-5}$ Па. Задавались условия периодичности вдоль потока при фиксированном расходе, соответствующему средней скорости $U = 0.1522$ м/с. На боковых гранях ставились условия симметрии. Расчеты проводились на двух расчетных сетках. Первая сетка использовала разрешение погранслоя до стенки ($y_+ = 0.3$) и содержала 500 ячеек поперек канала. Вторая расчетная сетка использовалась для проверки работы пристеночных функций и содержала 10 ячеек поперек канал при $y_+ = 40$.

При расчете с разрешением пограничного слоя до стенки (WIN) напряжение трения отличается от DNS на 3.6% (Таблица 2). Графики скорости и генерации турбулентности очень близки к эталонному решению (Рис. 5). Для энергии турбулентности и диссипации энергии турбулентности наблюдаются характерные для данной модели отклонения от данных DNS. Как по напряжению трения, так и по графикам скорости и турбулентных характеристик нет заметного отличия между реализациями модели турбулентности на CPU и GPU. При использовании пристеночных функций напряжение на стенке получается немного ниже и точность расчета снижается до 6%. Профили скорости и энергии турбулентности близки к данным DNS в разрешаемой области (Рис. 6).

Вторая задача представляет собой турбулентное периодическое вдоль потока течение в круглой трубе. Результаты расчетов сравнивались с результатами расчетов DNS Moin et al. [22], полученными для числа Рейнольдса $Re_D = 44\,000$, основанного на диаметре трубы и средней скорости в канале. Число Рейнольдса по пристеночным характеристикам было равно $Re_\tau = 1142$. При радиусе трубы $R = 1$ м, плотности $\rho = 1$ кг/м³ и вязкости $\mu = 4.5455 \cdot 10^{-5}$, напряжение трения составляло $\tau = 2.69 \cdot 10^{-3}$ Па, при этом средняя скорость была равна 1 м/с. Расчетная сетка состояла из пограничного слоя с толщиной пристеночной ячейки 0.001 м и количеством ячеек поперек стенки 150 с увеличением размеров с коэффициентом 1.1. В центре расчетная сетка переходила в неструктурированную. Всего расчетная сетка содержала 1468 тыс. ячеек, а безразмерное расстояние до пристеночного узла составляло $y_+ = 1.1$. Как показывают расчеты, CPU и GPU версии считают одинаково и их результаты совпадают с результатами DNS

Таблица 2. Напряжение на стенке, Па

	WN	WF
CPU	$6.17 \cdot 10^{-5}$	$6.0 \cdot 10^{-5}$
GPU	$6.17 \cdot 10^{-5}$	$6.0 \cdot 10^{-5}$
DNS	$6.40 \cdot 10^{-5}$	-//-

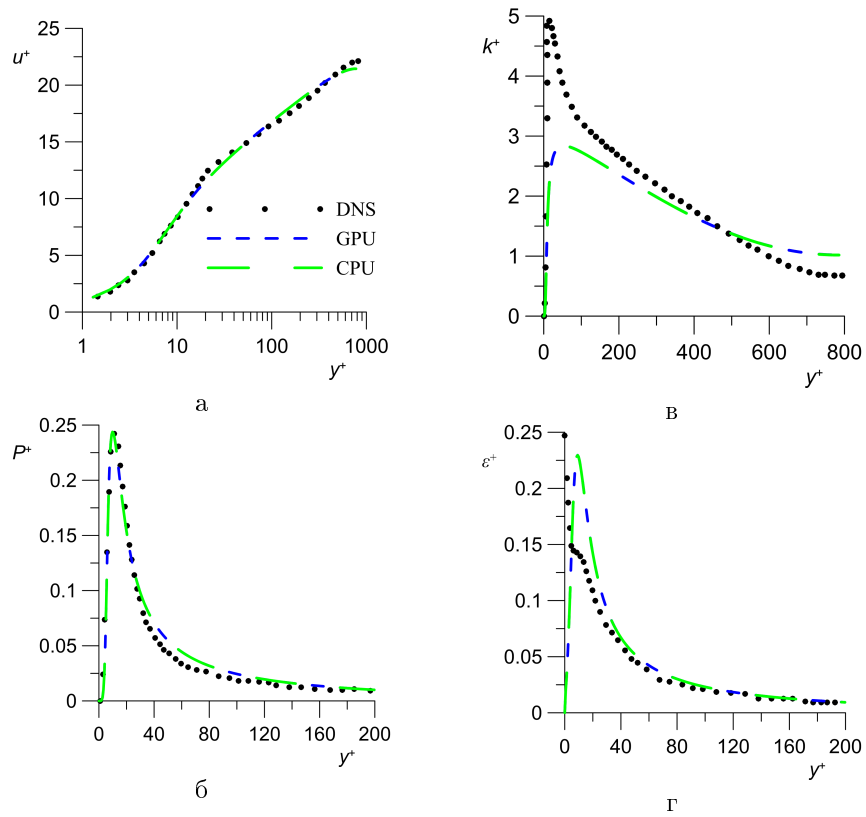


Рисунок 5. Безразмерные профили величин поперек канала (расчет до стенки): а) скорость, б) кинетическая энергия турбулентности, в) генерация турбулентности, г) диссипация турбулентности.

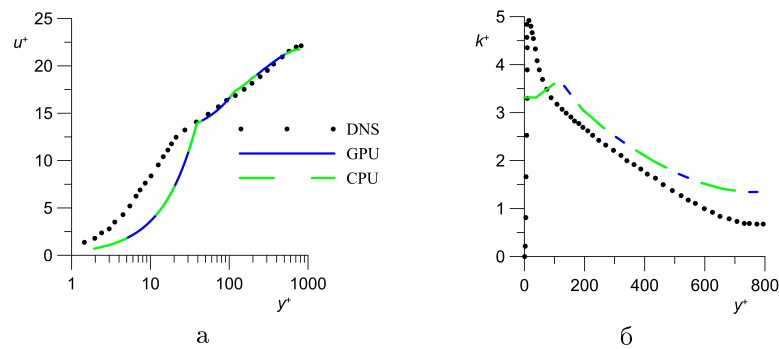


Рисунок 6. Безразмерные профили величин поперек канала (расчет пристеночными функциями): а) скорость, б) кинетическая энергия турбулентности.

с точность 5% (Таблица 3). График безразмерной скорости (Рис. 7) также показывает корректность расчетов.

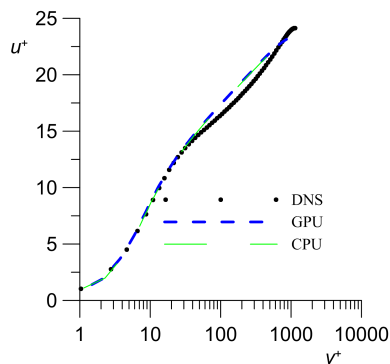


Рисунок 7. Безразмерный график скорости от стенки трубы до ее центра.

Размер расчетной сетки позволяет провести сравнение производительности CPU и GPU версий кода (Таблица 4). Расчеты были проведены с использованием двух GPU NVidia GeForce GTX 1070 и 6-ядерного CPU Intel Core i7-5820k (3.3 ГГц). Как видно из таблицы, расчет с помощью одного графического ускорителя выполняется в 3.0 раза быстрее, чем расчет на 6-ядерном CPU, а использование двух GPU увеличивает производительность ещё на 32%.

Заключение

Таким образом, была разработана специальная версия гидродинамического кода для моделирования течений несжимаемой жидкости, позволяющая производить основные вычисления на одном или нескольких узлах GPU. Тестовые расчеты показывают соответствие результатов на GPU экспериментальным данным и результатам других расчетов для различных задач. Для обеспечения высокой производительности все необходимые поля хранились

Таблица 3. Напряжение на стенке, Па

	τ
CPU	$2.55 \cdot 10^{-3}$
GPU	$2.55 \cdot 10^{-3}$
DNS	$2.69 \cdot 10^{-3}$

в памяти графического ускорителя и все операции алгоритма SIMPLEC выполнялись также на GPU.

Результаты расчетов показали высокую производительность графических ускорителей. Современные GPU позволяют увеличить производительность расчётов задач вычислительной гидродинамики в 2 – 3 раза по сравнению с современными 6-ядерными CPU. Параллельные вычисления позволяют разделить большие задачи между несколькими GPU и обойти ограничение на объём памяти на одном графическом процессоре. При недостаточном большом числе узлов расчетной сетки затраты на обмен данными с GPU приводят к менее эффективному распараллеливанию. Объем памяти GPU является важным параметром при проведении CFD расчетов, так как промышленные и научные задачи требуют построения детальных сеток. Новейшие GPU в сочетании с организацией параллельных расчетов на нескольких GPU позволяет уже сейчас использовать GPU в качестве мощного инструмента для CFD расчетов.

В разработанном программном комплексе были реализованы RANS модели турбулентности и соответствующие пристеночные функции. Тестирование на канонических задачах показывает корректность работы модуля расчета турбулентных течений. Сравнение времени расчета турбулентной задачи показывает большой (в 3 раза) выигрыш в производительности при использовании современного GPU ускорителя по сравнению с 6-ядерным процессором.

Исследование было выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической №16-41-243033.

Для выполнения расчетов были использованы вычислительные ресурсы ЦКП «Центр данных ДВО РАН» [23].

Таблица 4. Время расчета на одну итерацию алгоритма SIMPLE, с

	t , с
1xGPU	1.04
2xGPU	0.787
6xCPU	3.08

Список литературы

1. Li, R., Saad, Y.: GPU-accelerated preconditioned iterative linear solvers. *The Journal of Supercomputing* 63(2), 443 - 466 (2013). DOI: 10.1007/s11227-012-0825-3
2. Rinaldi, P.R., Dari, E.A., Venere, M.J., Clause, A.A.: Lattice-Boltzmann solver for 3D Fluid simulation on GPU. *Simulation Modelling Practice and Theory* 25, 163 - 171 (2012). DOI: 10.1016/j.simpat.2012.03.004
3. Corrigan, A., Camelli, F.F., Lohner, R., Wallin, J.: Running unstructured grid-based CFD solvers on modern graphics hardware. *International Journal for Numerical Methods in Fluids* 66(2), 221 - 229 (2011). DOI: 10.1002/fld.2254
4. Waltz, J.: Performance of a three-dimensional unstructured mesh compressible flow solver on NVIDIA Fermi-class graphics processing unit hardware. *International Journal for Numerical Methods in Fluids* 72(2), 259 - 268 (2013). DOI: 10.1002/fld.3744
5. Gavrilov, A.A., Dekterev, A.A., Sentyabov, A.V.: Modeling of Swirling Flows with Coherent Structures Using the Unsteady Reynolds Stress Transport Model. *Fluid Dynamics* 50(4), 471 - 482 (2015). DOI: 10.1134/S001546281504002X
6. F.R. Menter: Zonal Two Equation $k-\omega$ Turbulence Models for Aerodynamic Flows. AIAA Paper, 93-2306 (1993).
7. Mavriplis, J.: Revisiting the least-squares procedure for gradient reconstruction on unstructured meshes. AIAA-Paper 2003-3986, June (2003). DOI: 10.2514/6.2003-3986
8. Ferziger, J.H., Peric, M.: *Computational methods for fluid dynamics*. Springer (2002)
9. Moukalled, F., Darwish, M.: A Unified Formulation of the Segregated Class of Algorithms for Fluid Flow at All Speeds. *Numerical Heat Transfer, Part B* 37(2), pp. 227 - 246 (2000). DOI: 10.1080/104077900275576
10. Патанкар С.: Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. М.: Энергоатомиздат, 1984, пер. с англ.
11. Rhie, C.M., Chow, W.L.: A Numerical Study of the Turbulent Flow Past an Isolated Airfoil with trailing Edge Separation. *AIAA Journal* 21, 1525 - 1532 (1983)
12. Leonard, B.P.: A stable and accurate convective modeling procedure based on quadratic upstream interpolation. *Comp. Math. Appl. Mech. Eng.* 19, 59 - 98 (1979). DOI: 10.1016/0045-7825(79)90034-3
13. Leschziner, M.A., Lien, F.S.: Upstream monotonic interpolation for scalar transport with application to complex turbulent flows. *Int. J. Num. Meth. Fluids* 19(6), 527 - 548 (1994). DOI: 10.1002/fld.1650190606
14. Barrett, R., Berry, M., Chan, T.: *Templates for the Solution of Linear Systems: Building Blocks for Iterative Methods*. s.l. SIAM (1994) DOI: <http://dx.doi.org/10.1137/1.9781611971538>
15. Karypis, G., Kumar, V.: A Fast and Highly Quality Multilevel Scheme for Partitioning Irregular Graphs. *SIAM Journal on Scientific Computing* 20(1), 359-392 (1999). DOI:10.1137/S1064827595287997
16. Сентабов А.В., Гаврилов А.А., Гризан С.А., Дектерев А.А., Бойков Д.В.: Эффективность расчетов на графических процессорах в вычислительной гидродинамике несжимаемой жидкости. *Математическое моделирование*, 29(3), с. 16 - 28. (2017)
17. Sentyabov A., Gavrilov A., Krivov M., Dekterev A., Pritula M.: Development of a high-performance code for hydrodynamic calculations using graphics processor

- units. In: Sokolinsky L., Zymbler M. (eds) *Parallel Computational Technologies. PCT 2017. Communications in Computer and Information Science*, vol 753. pp. 288-300. Springer, Cham (2017) https://doi.org/10.1007/978-3-319-67035-5_21
18. Zdravkovich, M.M.: *Flow around circular cylinders. Vol 1: Fundamentals*. Oxford University Press (1997). DOI: <https://doi.org/10.1017/S0022112097227291>
 19. Rajani, B., Kandasamy, A., Majumdar, S.: Numerical simulation of laminar flow past a circular cylinder. *Applied Mathematical Modelling* 33, 1228-1247 (2009). DOI: 10.1016/j.apm.2008.01.017
 20. Shoeybi, M., Svard, M., Ham, F.E., Moin, P.: An Adaptive Implicit-Explicit Scheme for the DNS and LES of Compressible Flows on Unstructured Grids. *Journal of Computational Physics* 229, 5944-5965 (2010). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2010.04.027>
 21. Tanahashi, M., Kang, S.-J., Miyamoto, S., Shiokawa, S., Miyauchi, T.: Scaling law of fine scale eddies in turbulent channel flows up to $Re_\tau = 800$. *Int. J. Heat Fluid Flow* 25, 331-340 (2004)
 22. Wu X., Moin P.: A direct numerical simulation study on the mean velocity characteristics in turbulent pipe flow. *J. Fluid Mech.*, vol. 608, pp. 81-112. (2008) doi:10.1017/S0022112008002085
 23. Центр коллективного пользования "Центр данных ДВО РАН"[Электронный ресурс]: сайт. – Хабаровск: ВЦ ДВО РАН. – URL: <http://lits.ccfbras.ru>.

Построение научно-образовательного кластера на базе интегрированной распределенной информационной системы Академгородка

Н. М. Темирбеков¹, О. Л. Жижимов², Д. Р. Байгереев³,
Б. Б. Омиржанова⁴, А. Н. Темирбеков⁵, А. М. Оразгалиева¹

¹ Казахский инженерно-технологический университет,
пр. Аль-Фараби 93 А, 050060 Алматы, Казахстан

² Институт вычислительных технологий СО РАН,
пр. Академика Лаврентьева, 6, 630090 Новосибирск, Россия

³ Восточно-Казахстанский государственный технический университет
им. Д. Серикбаева, ул. Серикбаева, 19, 070004 Усть-Каменогорск, Казахстан

⁴ КазНИИ перерабатывающей и пищевой промышленности,
пр. Гагарина, 238 Г, 050060 Алматы, Казахстан

⁵ Казахский национальный университет им. аль-Фараби,
пр. аль-Фараби, 71, 050040 Алматы, Казахстан
temirbekov@rambler.ru, zhizhim@mail.ru, dbaigereyev@gmail.com,
omirzhanova61@mail.ru, almas_tem@mail.ru, aorazgalieva@bk.ru

Аннотация В работе рассматриваются вопросы создания технологической модели интегрированной распределенной библиотечной информационной системы, объединяющей оцифровываемый книжный фонд и научные труды Казахского инженерно-технологического университета и ряда НИИ, расположенных в Академгородке г. Алматы (Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии имени У. У. Успанова, Казахский НИИ перерабатывающей и пищевой промышленности, Казахский НИИ плодоводства и виноградарства, НИИ микробиологии и вирусологии, НИИ физиологии человека и животных, НИИ генетики и цитологии), работающей на базе их единой облачной IT-платформы.

Ключевые слова: научно-образовательный кластер, распределенная информационная библиотечная система, Академгородок

В развитых странах информация стала важнейшим объектом производственной деятельности и потребления, поскольку она оказывает значительное или даже решающее воздействие на направления и результаты прогресса в научной, технической, культурной, экономической и других сферах жизни этих стран. Сказанное в полной мере относится также к деятельности отдельных организаций, фирм, учебных заведений, административных органов управления и физических лиц, являющихся производителями и потребителями разнородной информации [2,2,3]. Поэтому информация рассматривается как один из наиболее значимых ресурсов человеческого сообщества

и в государственном плане рассматривается как стратегический ресурс. Сохранение, рациональное использование и развитие этого ресурса является задачей огромного значения для любого сообщества, государства и организации.

В то же время гигантские объемы уже накопленной информации, непрерывно продолжающийся рост ее количества, разнородный и разобченный по многим признакам характер хранения и распространения, отсутствие унифицированного доступа к ней создают существенные и все возрастающие проблемы ее эффективного использования.

Осознание указанных проблем, а также качественные изменения в области развития современных информационных технологий и средств передачи данных привели к необходимости поиска новых подходов и решения проблем создания хранилищ информационных ресурсов, их организации, средств и способов доступа пользователей к ним. Такие подходы сегодня стали трактовать как создание «цифровых» или «электронных» библиотек. В дополнение к информационному обслуживанию на печатных носителях приходит обеспечение пользователей, основанное на электронном представлении самой разнообразной информации, тиражируемой в неограниченном количестве и оперативно доступной по глобальным компьютерным сетям, независимо от времени обращения к ней и местонахождения пользователей.

Впечатляющие успехи в развитии средств вычислительной техники и телекоммуникаций в последние десятилетия привели к существенным изменениям во всех областях человеческой деятельности, которые в совокупности принято относить к важным признакам постиндустриального или информационного общества. Эти изменения самым существенным образом влияют на развитие технических и программных средств, использующих в библиотеках и информационных органах, равно как и тех технологий, которые связаны с их деятельностью. Вполне очевиден тот факт, что проектировщики средств автоматизации библиотечной и информационной деятельности конкретных организаций опираются на реально существующие средства. Однако также ясно, что без учета перспективы развития этих средств и технологий, основанных на их использовании, проектировать новые системы нельзя. Последнее обстоятельство тем более важно в такой динамично развивающейся области, как информационные технологии XXI века.

Дальнейшее развитие научных основ для построения интегрированных распределенных информационных систем соответствует целям, поставленным в рамках Государственной программы «Цифровой Казахстан» на 2017-2020 годы, и нацелена на выполнение следующих прикладных задач:

- развитие креативного общества (развитие человеческого капитала путем повышения цифровой грамотности населения, повышение квалификации специалистов в области инфокоммуникационных технологий, развитие креативного мышления и т.д.);
- цифровые преобразования в отраслях экономики (развитие цифровой индустрии путем, автоматизации транспортно-логистической системы стра-

ны; внедрения цифровых технологий в сфере сельского хозяйства; пищевой промышленности).

«Наука – цифровой экономике!» Под таким девизом во всем мире разрабатываются новые информационные технологии и системы, интеграция ресурсов и обеспечение информационной безопасности. Эти проблемы становятся особенно актуальными в свете решения задач построения цифровой экономики.

Основным направлением является создание и применение распределенных компьютерных систем для интенсивной работы с данными, что актуально как для решения новых научных задач, использование больших объемов научных данных, генерируемых современными измерительными средствами, так и экономических и социальных проблем на основе больших данных и технологии их обработки и анализа. Одним из основных результатов научной деятельности является создание и накопление опыта предыдущих поколений.

Одним из пионеров и, как следствие, одним из мировых лидеров в развитии научно-образовательной информационной системы и облака, является «Электронная библиотека Сибирского отделения РАН», который сегодня называется Порталом СО РАН (<http://www.sbras.ru/>). По данным Webometrics сайт занимает первое место в России среди научных организаций и 45-е место в мире. Автор этой электронной библиотеки является сотрудником ИВТ СО РАН [1,5,6,7,8].

Существует достаточно много технологических разработок ИС для электронных библиотек, например, Euro CRIS (<http://www.eurocris.org>), Информика (<http://www.informika.ru>), eLibrary (<http://elibrary.ru>), MathNET (<http://www.mathnet.ru>).

В Казахстане создана Республиканская межвузовская электронная библиотека (РМЭБ) на базе университетских образовательных ресурсов по единой технологии, предложенной Ассоциацией вузов РК и научно-образовательной компьютерной сетью Казахстана KAZRENA.

Однако основной недостаток большинства систем – ограниченность интеграции ресурсов как внутри каждой из них, так и с внешними системами.

Серьезной проблемой является идентификация информационных ресурсов, позволяющая получать библиографические сведения, а также устанавливать связи определенного ресурса с другими фактами и объектами.

Создаваемая авторами РИС будет полностью соответствовать потребностям участников научно-образовательного кластера как по информационному содержанию, так и по поддержке отраслевой и языковой специфике. Отличие от существующих проектов заключается в том, что для создаваемой ИС ставится требование обеспечения ссылочной целостности данных и соответствие международному стандарту ISO-1472 (Open Archive information System - OAIS) [9]. Это очень жесткое требование, которое тяжело соблюсти даже в хорошо формализованных СУБД. Жесткие гиперссылки будут заменены ассоциативными связями между документами.

С помощью предложенной технологической модели СУЭБ будет создана РБИС, позволяющая хранить все созданные ресурсы НИИ в актуальном виде и поддерживать к ним защищенный в силу закрытости сети доступ. РБИС будет предоставлять следующие типы информационных ресурсов:

- географические материалы (карты, спутниковые снимки, данные полевых наблюдений и т.п.), а также соответствующие базы метаданных;
- библиографические базы данных и электронные каталоги;
- полнотекстовые базы данных и цифровые репозитории;
- авторитетные базы данных (словари, справочники и т.д.);
- другие ресурсы (аудио и видеозаписи, электронные презентации и др.).

Все цифровые объекты представляют собой результат интеллектуальной деятельности НИИ почвоведения и агрохимии им. Успанова, НИИ перерабатывающей и пищевой промышленности, НИИ плодоводства и виноградарства, НИИ микробиологии и вирусологии, НИИ физиологии человека и животных, НИИ генетики и цитологии, образовательного учреждения КазИТУ, расположенные в Академгородке г.Алматы. Контентное наполнение распределенной библиотечной информационной системы – оцифрованная база знаний научно-образовательного агропромышленного кластера.

Требования к модели такой информационной системы обусловлены двумя принципами:

- информационные потребности научных работников и представителей бизнеса, экономики;
- обеспечение надежного и долговременного хранения информации.

Опыт разработки и эксплуатации информационных систем выдвигает следующие основные требования к подобным системам [6]:

1. системы должны разрабатываться на основе свободно распространяемого программного обеспечения;
2. системы должны иметь возможность импортировать информацию из других систем;
3. системы должны предоставлять информацию в соответствии со стандартными протоколами, схемами и форматами;
4. системы должны интегрировать информацию, специфичную для CRIS-систем (Current Research Information System) [7,10];
5. системы должны иметь полный комплект административных и пользовательских интерфейсов, желательно на основе WEB-технологий;
6. системы должны разграничивать доступ к хранимой информации;
7. системы должны иметь возможность расширения как по номенклатуре хранимых данных, так и по номенклатуре внешних источников информации.

Для реализации этих требований проще всего использовать проверенные временем технологические подходы, основанные на использовании свободно распространяемого программного обеспечения и на стандартных сетевых

протоколах. При этом речь может идти не об одной информационной системе, а о целом комплексе относительно самостоятельных информационных систем, взаимодействующих между собой в соответствии с фиксированными правилами (протоколами).

На рисунке 1 представлено архитектурное решение ИС, на рисунке 2 – ее технологическая модель.



Рисунок 1. Структура библиотечной информационной системы.

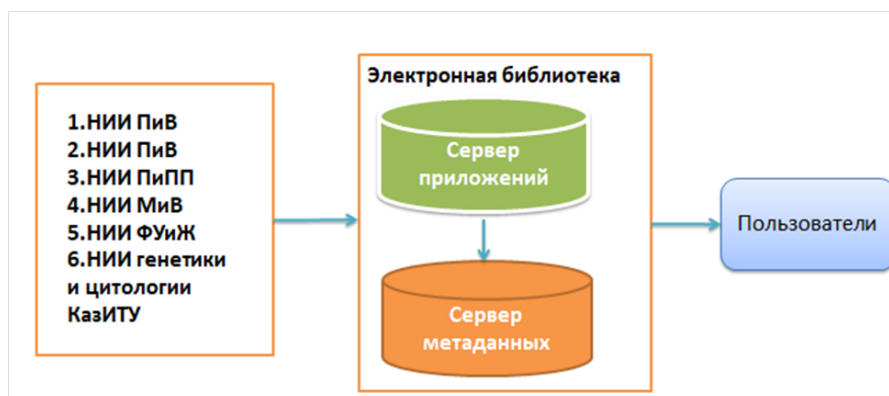


Рисунок 2. Архитектура электронной библиотеки.

РИС будет содержать следующие подсистемы:

- Подсистема – репозиторий цифровых объектов, предоставляющий пользовательские и административные WEB- интерфейсы для доступа к цифровым объектам и коллекциям, а также интерфейсы интеграции с другими подсистемами на основе открытых международных стандартов (Рисунок 3).
- Подсистема управления текущей научно-исследовательской информацией (CRIS), включающей информацию о публикациях сотрудников, их участии в конференциях и в исполнении исследовательских проектов. Подсистема будет включать пользовательские и административные WEB-интерфейсы, а также интерфейсы интеграции с другими подсистемами на основе открытых международных стандартов (Рисунок 4).
- Подсистема интеграции распределенных информационных ресурсов на основе технологий Z39.50/ SRU /SRW.
- Подсистема доступа к распределенным информационным ресурсам на основе WEB-технологий (WEB-портал) (Рисунок 5).

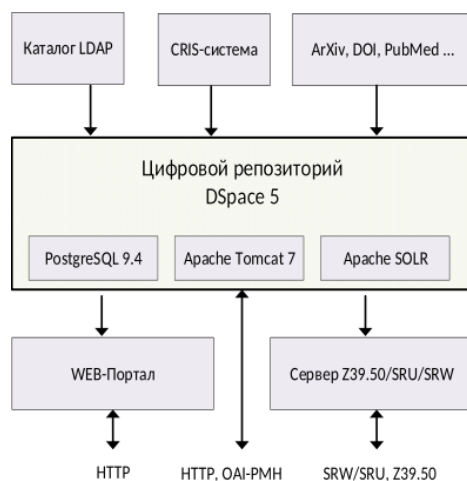


Рисунок 3. Цифровой репозиторий.

Указанные подсистемы в совокупности должны обеспечить:

- идентификацию информационных ресурсов;
- идентификацию, аутентификацию и авторизацию пользователей;
- управление метаданными;
- управление информационными ресурсами;
- сбора статистики;
- мониторинг доступности сервисов и ресурсов.

Реализация подсистем ИС должна основываться на открытых спецификациях, связанных с международными стандартами и рекомендациями.

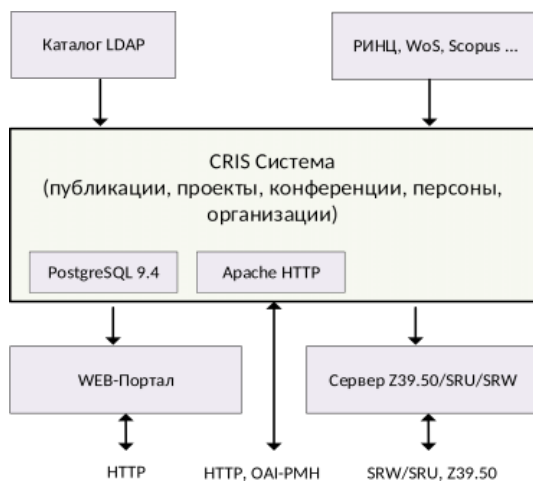


Рисунок 4. Подсистема CRIS.

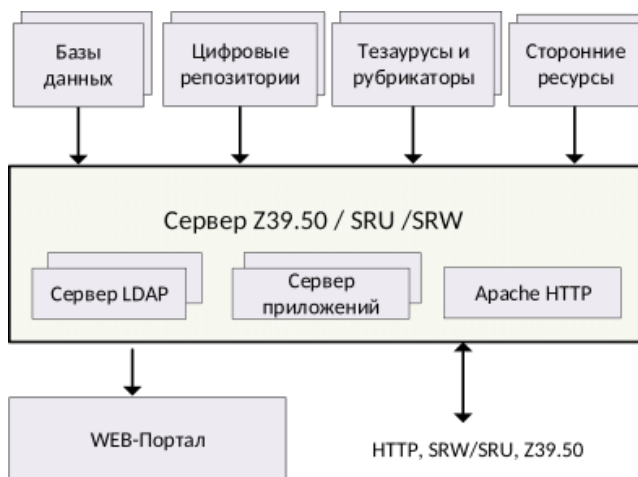


Рисунок 5. Подсистема Z39.50/SRW/SRU.

Создаваемая информационная система ориентирована на обеспечение потребностей участников научно-образовательного кластера, основана на передовых информационных технологиях и реализована на основе свободно распространяемого программного обеспечения и уникальных программных модулях. Создаваемая система в полной мере обеспечивает необходимыми вычислительными ресурсами проводимые научные исследования и образовательные процессы, упрощая перспективу дальнейшего ее развития. Информационная система позволит построить передовую IT-инфраструктуру, управление интеллектуальным капиталом, электронной библиотекой, в которой будут храниться все книги и научные труды КазИТУ и НИИ.

Список литературы

1. Темирбеков, Н.М., Балова, Т.Г., Мокеров, В.О.: Проектирование сервисов портала вуза для интеграции информационных ресурсов образовательных программ. Информатика в образовании, 87–91 (2012)
2. Жумагулов Б.Т., Темирбеков Н.М., Денисова Н.Ф., Нугуманова А.Г., Архипова О.Г., Турганбаев Е.М.: Разработка информационной образовательной статистики Республики Казахстан. Вестник НИА РК 44, 75–80 (2012)
3. Temirbekov, N.M., Tokanova, S., Malgazhdarov, Ye.: Information technology for numerical simulation of viscous incompressible flow in biconnected domains. Journal of Theoretical and Applied Information Technology 88, 441–448 (2016)
4. Шокин, Ю.И., Федотов, А.М., Жижимов, О.Л.: Технологии создания распределенных информационных систем для поддержки научных исследований. Вычислительные технологии 20, 251–274 (2015)
5. Жижимов, О.Л., Федотов, А.М., Федотова, О.А.: Построение типовой модели информационной системы для работы с документами по научному наследию. Вест. НГУ. Информационные технологии 10, 5–14 (2012)
6. Шокин, Ю.И., Федотов, А.М., Жижимов, О.Л., Федотова, О.А.: Система управления электронными библиотеками в ИРИС СО РАН. Инфраструктура научных информационных ресурсов и систем: Сборник научных статей Четвертого Всероссийского симпозиума 1, 11–39 (2014)
7. Guskov, A.E., Zhizhimov, O.L., Kikhtenko, V., Skachkov, D.M., Kosyakov, D.: A Pilot CERIF based System to Aggregate Heterogeneous Data of Russian Research Projects. Procedia Computer Science 33, 163–167 (2014)
8. Жижимов, О.Л., Федотов, А.М., Шокин, Ю.И.: Технологическая платформа массовой интеграции гетерогенных данных. Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии 11, 24–41 (2013)
9. ISO – 14721 Reference Mode for an Open Archival Information System (OAIS): Recommended Practicle: CCSDS 650.0-M-2 (Magenta Book) (2012) <http://public.ccsds.org/publications/archive/650x0m2.pdf>
10. Chudlarsky, T., Dvorak, J.: A National CRIS Infrastructure as the Cornerstone of Transparency in the Research Domain. In: Jeffery, Keith G; Dvorak, Jan (eds.): E-Infrastructures for Research and Innovation: Linking Information Systems to Improve Scientific Knowledge Production: Proceedings of the 11th International Conference on Current Research Information Systems, 9–17 (1981)

Системы для поддержки принятия решений в ситуационных центрах вузов

Е. В. Блинаяева, Г. А. Маликова, Г. В. Попова, С. С. Смаилова

Восточно-Казахстанский государственный
технический университет им. Д. Серикбаева,
Усть-Каменогорск, Казахстан
gal_tomsk@mail.ru

Аннотация В статье дано основное отличие ситуационного центра от традиционных систем автоматизации управления. Основной идеей применения СППР в ситуационном центре является замещение отдельных этапов процесса принятия решений автоматизированными информационными технологиями с целью совершенствования данного процесса за счет рационального сочетания преимуществ человеческого мышления и достижений в области методологии, моделирования, техники.

Ключевые слова: Ситуационный центр, альтернативные решения, системы поддержки принятия решений, компетентностный подход, делегирование полномочий, метод TOPSIS, матрицы предпочтений, попарное сравнение альтернатив

Ситуационный Центр (СЦ) предназначен для проведения совместных (групповых) совещаний по выработке решения различных управленческих задач (проблем, ситуаций) с применением автоматизированных и инструментальных средств комплексного анализа и многовариантного сценарного и целевого прогнозирования различных сфер деятельности.

Основное отличие ситуационного центра от традиционных систем автоматизации управления состоит в том, что в процессе проведения производственно-управленческого совещания в режиме реального времени можно просчитывать и анализировать последствия любых управленческих решений. Для обеспечения решения поставленных задач ситуационный центр должен включать в себя следующие подсистемы: Подсистема мониторинга; Геоинформационная система; Подсистема анализа данных (аналитическая подсистема); Подсистема прогнозирования ситуации; Подсистема поддержки принятия решений; Хранилище данных (базы данных и базы знаний); Подсистема визуализации; Подсистема защиты информации. Структурно-функциональная схема программного комплекса ситуационного центра приведена на рисунке 1.

Коллективный характер решения ситуационных задач с использованием накопленного опыта, знаний профессионалов высокого уровня определяет необходимость использования экспертных систем. В рамках развития новых форм организации работы СЦ перспективным направлением является

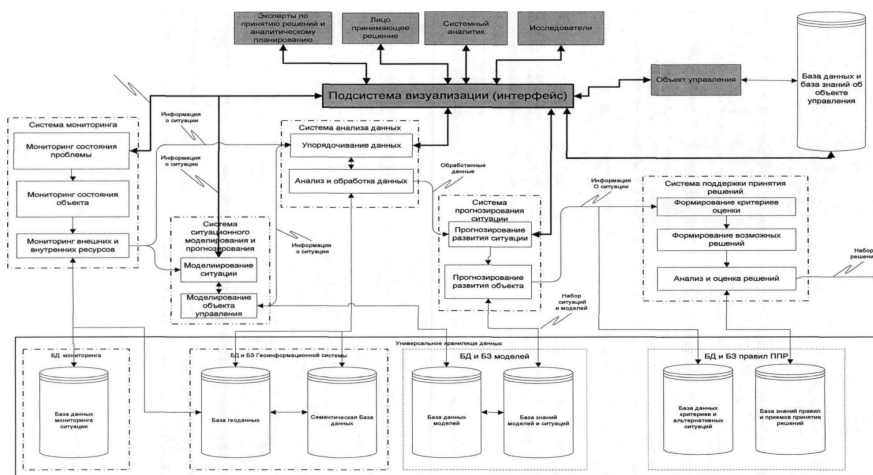


Рисунок 1. Функциональная схема ситуационного центра

такая стратегия генерации вариантов возможных решений, когда концептуальный анализ проблемной ситуации, интуитивной цели и замысла решения трансформируется в форму, пригодную для моделирования. Такая стратегия принимаемых на уровне руководства решений имеет характер «выбора альтернативных решений из некоторого известного множества возможных» и определяется оптимальным сочетанием «выигрыша» и риска. Учитывая, что стратегия «выигрыш» и связанный с ней риск представляют собой сложные комплексы количественных и качественных показателей, выбор стратегии, обладающей оптимальным сочетанием «выигрыша» и риска, является весьма сложной задачей многокритериального анализа и сравнения, предполагающей учет предпочтений и приоритетов лиц, принимающих решение.

Системы поддержки принятия решений СЦ базируются на всем арсенале средств обработки информационных ресурсов, технологиях доступа к информационно-аналитической системе (ИАС), инструментально-моделирующих средствах, современных методах визуализации, что позволяет их считать эффективным средством решения широкого круга ситуационных задач (рис. 2).

Главной особенностью систем поддержки принятия решений (СППР) в СЦ является творческий, проблемный характер деятельности пользователей, их свобода в выборе информационных ресурсов на каждом этапе подготовки решений. Принципиальным отличием от традиционных систем является ориентация на конкретного пользователя, его знания, опыт, интуицию, его систему ценностей при принятии решений, что обеспечивает решение даже слабо структурированных задач.

В ходе подготовки решений используются все виды методов и средств, которые способствуют становлению принципа активизации лица, принимающего решение (ЛПР). Они выступают как средство формализации личного

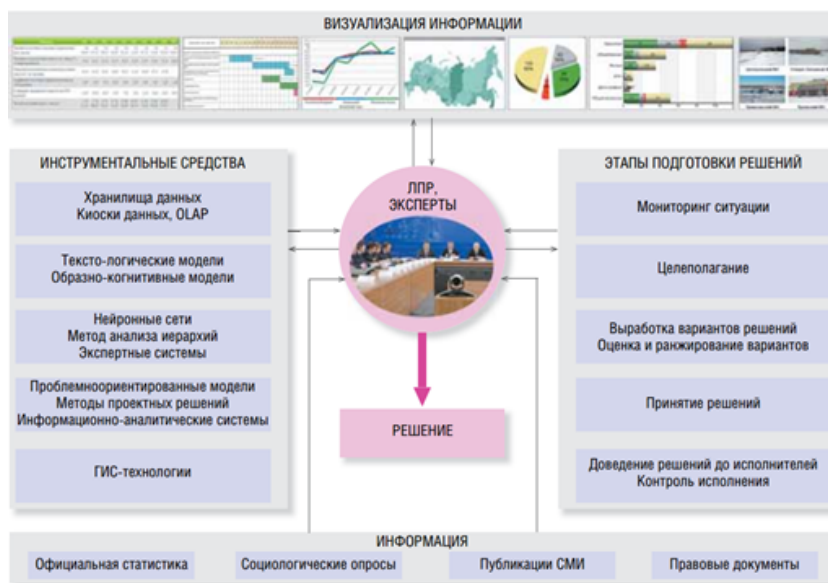


Рисунок 2. Структурная схема системы подготовки и принятия решений

опыта и передачи его другим пользователям с обеспечением возможности идентификации автора знаний и процедур их получения.

Высшее учебное заведение должно функционировать в условиях реформирования системы высшего образования на принципах экономической самостоятельности, самокупаемости, самофинансирования, как и любой другой хозяйствующий субъект. Поэтому современные методы управления и новые подходы к управлению должны внедряться в практику менеджмента образовательных учреждений.

Основная идея применения системы поддержки принятия решений в ситуационном центре – замещение отдельных этапов процесса принятия решений автоматизированными информационными технологиями с целью совершенствования данного процесса за счет рационального сочетания преимуществ человеческого мышления и достижений в области методологии, моделирования, техники и т.п. Объект управления для СППР – высшее учебное заведение и процессы в его деятельности. Основным пользователем СППР – руководитель ситуационного центра, который принимает решения, связанные со стратегическим управлением объектом

В современных условиях происходит переход от «образовательной» концепции университета как приобретения знаний, умений, навыков студентами к концепции «инновационного университета», предполагающей осуществление деятельности за счет интеграции образовательной, научно-исследовательской, культурной, сервисной и других видов деятельности. Поскольку основой реализации инноваций высшего учебного заведения являются ком-

петенции его персонала, в данной исследовательской работе предлагается разработка системы поддержки принятия решений с использованием процессного подхода для управления человеческими ресурсами вуза в рамках стратегического развития вуза.



Рисунок 3. Система поддержки принятия решений в деятельности вуза

Состав коллектива должен соответствовать требованиям, предъявляемым к участникам, которые в свою очередь должны быть заложены в основу системы оценки ККП.

Компетентный подход – ориентация всех компонентов высшего учебного заведения на реализацию компетенций персонала вуза, необходимой для осуществления его стратегического развития.

ККП (корпоративная компетентность персонала) – набор требований к сотрудникам, сочетающий совокупные характеристики персонала, относящиеся к квалификации, профессиональной компетентности, знаниям и применению знаний, навыкам, а также личностным характеристикам, которые характеризуются утверждением «могут сделать вместе». Алгоритм принятия управленческого решения с помощью предлагаемой СППР представлен следующим образом (рисунок 4).

Для успешного достижения поставленных вузом стратегических целей необходимо использовать широкий арсенал инструментов управления предприятием (рисунок 5).



Рисунок 4. Алгоритм принятия управленческого решения с использованием СППР

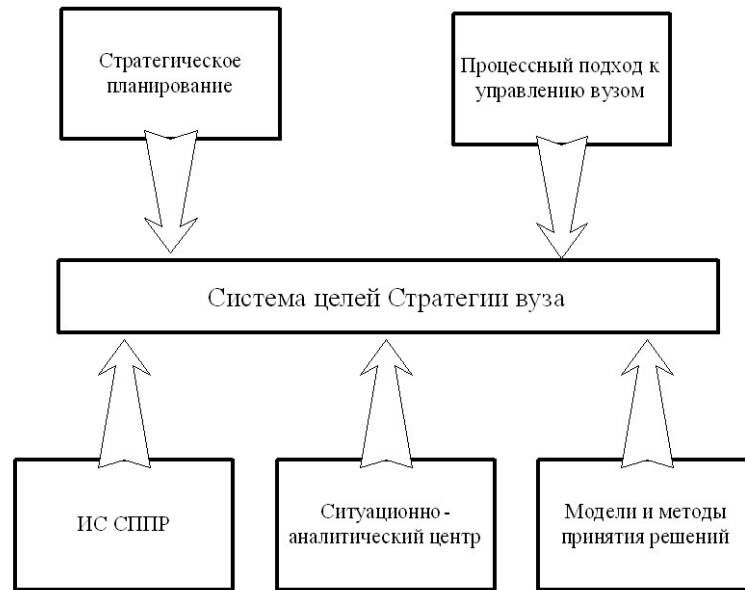


Рисунок 5. Инструменты для реализации стратегии вуза

Для повышения эффективности и улучшения организации процесса делегирования полномочий и ответственности необходимо предусмотреть групповое использование системы поддержки принятия решений.

Объем, количественный и качественный характер, сложность и противоречивость потока информации позволяет идентифицировать процесс делегирования полномочий и ответственности как задачу многоаспектную и обладающей многокритериальным характером.

Как следует из сущности метода TOPSIS, достаточно эффективно можно решить задачи нечеткой многокритериальной оптимизации, которые составляют математическую основу поддержки принятия решений в задачах управления человеческими ресурсами. Под многокритериальной оптимизацией в теории принятия решений подразумевается выбор наилучшего решения среди возможных альтернатив.

Схема алгоритма применяемого метода изображена на рисунке 6.

Использование метода TOPSIS в задачах у назначения Владельца бизнес-процесса позволяет повысить адекватность принятых решений за счет ранжирования по степени близости к идеальному решению, обеспечивает объективность принимаемых управленческих решений.

Для решения ряда задач упорядочения при нечеткой исходной информации использовались методы анализа нечетких данных, предложенные Л.А. Заде.

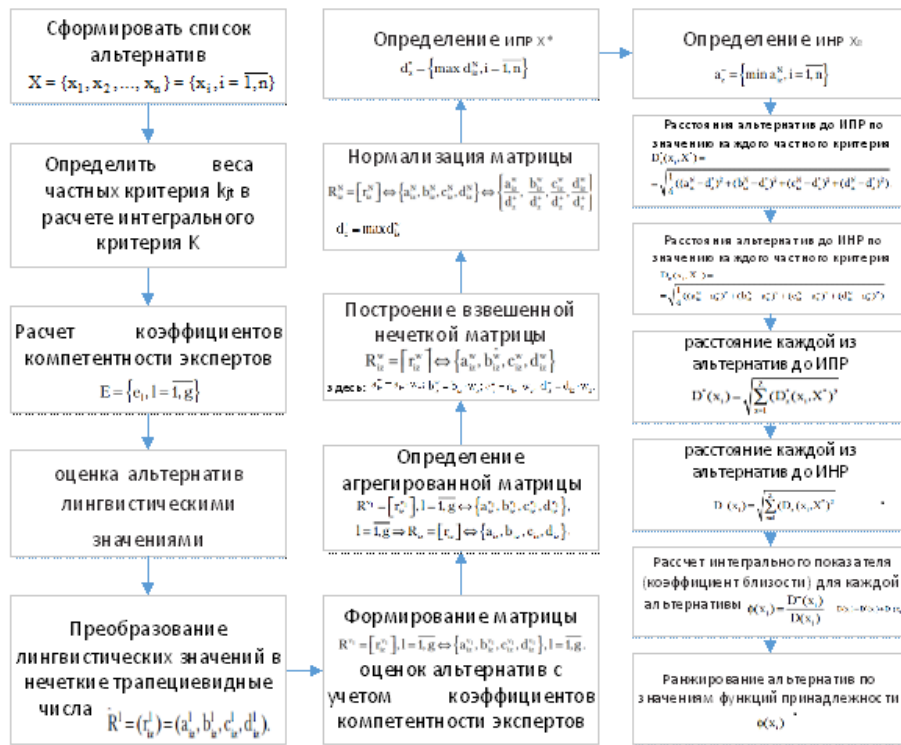


Рисунок 6. Алгоритм метода TOPSIS

Наиболее рациональная альтернатива – это альтернатива, имеющая максимальную степень недоминируемости. Схема алгоритма представлена на рисунке 7.

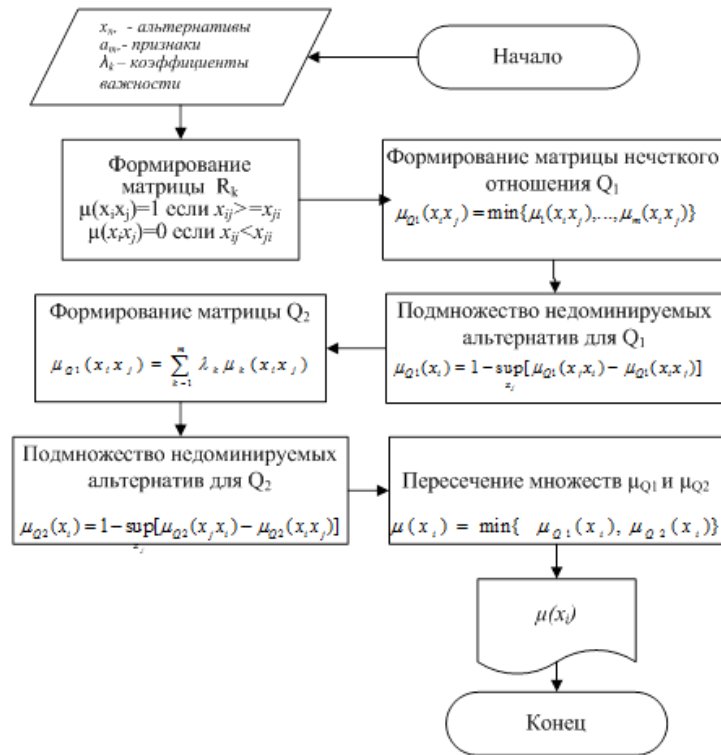


Рисунок 7. Алгоритм выбора альтернатив на основе нечеткого отношения предпочтения

В соответствии с данным алгоритмом, входными данными являются множество альтернатив $\{x_i\}$, множество признаков каждой альтернативы $\{a_i\}$, коэффициенты относительной важности признаков $\{\lambda_k\}$.

Формируются матрицы предпочтений R_k для каждого признака. Информация о попарном сравнении альтернатив по каждому признаку представлена в форме нечеткого отношения предпочтения (было введено нечеткое отношение «не хуже»): если $x_i \geq x_j$, то $\mu_k(x_i, x_j) = 1$ иначе $\mu_k(x_i, x_j) = 0$. После формирования матриц по всем признакам, строится матрица для нечеткого отношения Q_1 как пересечение всех R_k .

Далее формируется матрица для нечеткого отношения строгого предпочтения μ_{Q_1}' и находится степень недоминируемости.

Формируется матрица Q_2 и строится подмножество недоминируемых альтернатив для Q_2 .

На последнем шаге находится пересечение μ_{Q_1} и μ_{Q_2} , характеризующее степень недоминируемости альтернативы.

Применена модификация метода TOPSIS, заключающаяся в интегрировании в алгоритм дополнительного шага, предполагающего расчет и введение коэффициентов компетентности экспертов, участвующих в процедуре оценки альтернатив.

Преимущества предложенного подхода:

- математическая обоснованность и относительная простота расчетов интегральных показателей
- отсутствие ограничений на количество альтернатив и критериев, характеризующих объект исследования;
- учет в алгоритме принятия решений компетентности экспертов

Основной идеей применения СППР в ситуационном центре является замещение отдельных этапов процесса принятия решений автоматизированными информационными технологиями с целью совершенствования данного процесса за счет рационального сочетания преимуществ человеческого мышления и достижений в области методологии, моделирования, техники и т.п.

Список литературы

1. Андрейчиков, А. В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике // А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – М. : Финансы и статистика, 2002.– 368 с.
2. Колесников Д.А., Симанков В.С. Режимы работы ситуационного центра регионального уровня // Вестник Южного Научного Центра РАН. - Москва, 2010. - Том 6.- С.96-99.
3. Денисов Д. В. Автоматизация управления качеством образования в вузе // Прикладная информатика. - Москва, 2011. – №3(33). - С. 57-60
4. Электронный Курс лекций по дисциплине "Системы искусственного интеллекта"[Электронный ресурс]. URL: http://www.mari-el.ru/mmlab/home/AI/7_8/ (дата доступа: 30.09.2016).
5. Л.Заде Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений», М-Мир, 1976

Математическое моделирование фракционной разгонки сырой нефти при проведении экспериментальных исследований магистрантов технических специальностей

Е. В. Блинаява, С. С. Смаилова, Г. В. Попова

Восточно-Казахстанский государственный
технический университет им. Д. Серикбаева,
Усть-Каменогорск, Казахстан
EBlinaeva@ektu.kz

Аннотация В данной статье приводятся результаты проведения эксперимента и математическая модель, являющаяся основой для объяснения полученных результатов эксперимента. Если предположить, что под воздействием звуков низкой частоты в молекулах углеводородов происходит разрыв связей, то химико-физические свойства нефти после обработки инфразвуком будут отличаться от химико-физических свойств до обработки. Авторами исследования проведен эксперимент по воздействию звуков низкой частоты на пробы сырой нефти.

Ключевые слова: эксперимент, обработка результатов, звуки низкой частоты

При проведении научных исследований магистрантов технических специальностей большое значение имеют практические эксперименты, проводимые молодыми исследователями в рамках тематик научных работ.

Приобщение молодых ученых к научным исследованиям, как одной из форм самостоятельной работы, позволяет подготовить высококвалифицированного специалиста, готового к освоению и внедрению кардинально новых методик в повседневную практику, что обеспечивает конкурентоспособность на рынке труда.

Научное исследование— это целенаправленное познание, результаты которого выступают в виде системы понятий, законов и теорий.

Любое конкретное исследование может быть представлено в виде ряда этапов.

Одним из этапов научного исследования является проведение эксперимента и дальнейшая обработка полученных результатов. В данной статье приводятся результаты проведения эксперимента и математическая модель, являющаяся основой для объяснения полученных результатов эксперимента.

Сырая нефть – жидкая природная ископаемая смесь углеводородов широкого физико-химического состава, которая содержит растворенный газ,

воду, минеральные соли, механические примеси и служит основным сырьем для производства жидких энергоносителей (бензина, керосина, дизельного топлива, мазута), смазочных масел, битума и кокса. С химической точки зрения нефть представляет собой сложную смесь органических соединений, основу которой составляют углеводороды различного строения. Состав и строение нефти различных месторождений нередко сильно отличаются друг от друга. Нефть, газ и газовый конденсат представляют собой смеси различных углеводородов, т.е. химических соединений углерода и водорода, различающихся числом атомов углерода С и водорода Н в каждой молекуле и ее строением [1].

Вязкость – одна из важнейших технических характеристик нефти, продуктов ее переработки, газовых конденсатов и фракций; определяет характер процессов добычи нефти, ее поднятия на дневную поверхность, промышленного сбора и подготовку, условия перевозки и перекачки продуктов, гидродинамического сопротивления при их транспортировке по трубопроводам и др. Для некоторых видов топлив и масел вязкость служит нормированным показателем [2,3].

Если предположить, что под воздействием звуков низкой частоты в молекулах углеводородов происходит разрыв связей, то химико-физические свойства нефти после обработки инфразвуком будут отличаться от химико-физических свойств до обработки.

Авторами исследования проведен эксперимент по воздействию звуков низкой частоты на пробы сырой нефти. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Входные характеристики эксперимента

№ пробы	Частота воздействия, Гц	Продолжительность воздействия, мин	Объем пробы, л
1	10	15	0,5
2	10	30	0,5
3	10	60	0,5
4	20	15	0,5
5	20	30	0,5
6	20	60	0,5
7	26	15	0,5
8	26	30	0,5
9	26	60	0,5

Контрольный образец объемом 0,5л низкочастотному воздействию не подвергался.

В результате лабораторных исследований нефти, обработанной звуками низкой частоты, установлены изменения показателей кинематической вязкости.

Таблица 2. Показатели кинематической вязкости при 100°С

№ п/п	Частота, Гц	Время, мин	Вязкость кинематическая, сСт
1	10	15	2,2272
2	10	30	2,1059
3	10	60	2,1156
4	20	15	2,1737
5	20	30	2,1430
6	20	60	2,1420
7	26	15	2,1227
8	26	30	2,1538
9	26	60	2,1616

Контрольный образец, вязкость = 2,1616 сСт.

Таблица 3. Показатели кинематической вязкости при 20°С

№ п/п	Частота, Гц	Время, мин	Вязкость кинематическая, сСт
1	10	15	14,8829
2	10	30	14,9117
3	10	60	15,1556
4	20	15	15,0988
5	20	30	14,8531
6	20	60	14,1374
7	26	15	14,5859
8	26	30	14,1723
9	26	60	14,3682

Контрольный образец, вязкость = 14,9356 сСт

За основу взята математическая модель, описывающая поведение одиночного сферического кавитационного пузырька в сферической акустической стоячей волне. Рассматривается сферическая колба, наполненная жидкостью, в которой создано акустическое поле в виде сферической стоячей волны. Распределение давления как решение линейного волнового уравнения в сферической геометрии, может быть записано в виде:

$$p(r, t) = p_0 + \frac{\sin(kr)}{kr} p_a(t). \quad (1)$$

Здесь p_0 - начальное однородное (атмосферное) давление; $p_a(t) = -P_a \sin(\omega t) = -P_a \sin(kr - \omega t)$ - акустическое давление в центре сферической колбы с амплитудой P_a ; r - радиальная координата; $k = \omega/C_l$ - волновое число акустического поля; C_l и ω - скорость звука в жидкости и частота акустической волны соответственно.

Трансляционное движение пузырька в акустическом поле происходит под действием нескольких сил: силы плавучести, силы Бьеркнеса, силы сопротивления и силы присоединенных масс.

Сила плавучести имеет вид:

$$\mathbf{F}_b = -V_b (p_l - p_g) \mathbf{g}. \quad (2)$$

Здесь $V_b = (4/3)\pi R^3$ - объём пузырька, R - радиус пузырька, ρ_l - плотность жидкости, и $\rho_g = \rho_{g0}(R_0/R)^3$ - плотность газа в пузырьке, R_0 - невозмущённый радиус пузырька.

Сила Бьеркнеса имеет вид:

$$\mathbf{F}_B = -V_b \nabla p(r, t). \quad (3)$$

Сила сопротивления. В рамках Стоксовой аппроксимации использовано решение Адамара - Рыбчинского для медленного движения жидкого сферического тела, откуда и получена формула для силы, действующей на движущийся в жидкости пузырёк

$$\mathbf{F}_d = C_d \pi R^2 \frac{\rho_l \|\mathbf{v}_l - \mathbf{v}_b\|}{2} (\mathbf{v}_l - \mathbf{v}_b) = 4\pi \mu_1 R (\mathbf{v}_l - \mathbf{v}_b). \quad (4)$$

Сила присоединённой массы имеет вид:

$$\mathbf{F}_a = \frac{1}{2} \frac{d}{dt} [V_b \rho_l (\mathbf{v}_l - \mathbf{v}_b)]. \quad (5)$$

Сумма всех сил даёт уравнение для движения пузырька в акустическом поле

$$m_b \frac{d\mathbf{v}_b}{dt} = \mathbf{F}_b + \mathbf{F}_B + \mathbf{F}_a + \mathbf{F}_d, \quad (6)$$

где $m_b = \rho_g V_b = const$ - масса пузырька.

Подставляя в уравнение (6) формулы (2)-(5) и используя тот факт, что поле акустического давления и скорости жидкости связаны формулой $\dot{p} = -\rho_l \dot{\phi}$, получим, пренебрегая массой пузырька по сравнению с массой жидкости, следующее векторное обыкновенное дифференциальное уравнение для скорости пузырька:

$$\dot{\mathbf{v}} = 3\dot{\mathbf{v}}_l - 2\mathbf{g} - \left(\frac{9v_l}{R^2} + \frac{3\dot{R}}{R} \right) (\mathbf{v}_b - \mathbf{v}_l), \quad (7)$$

где точкой обозначены производные по времени.

В полярной системе координат (r, θ) уравнение (7) представляется следующими скалярными уравнениями

$$\ddot{r} - r\dot{\theta}^2 = 3\dot{v}_l + (v_l - \dot{r}) \left(\frac{9v_l}{R^2} + \frac{3\dot{R}}{R} \right) + 2g \cos \theta, \quad (8)$$

$$r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta} = 3\nu_l + 3\nu_l\dot{\theta} - r\dot{\theta} \left(\frac{9\nu_l}{R^2} + \frac{3\dot{R}}{R} \right) - 2gsin\theta, \quad (9)$$

где

$$\nu_l = -\frac{P_a}{\omega\rho_l} \cos\omega t \left(\frac{\cos kr}{kr} - \frac{\sin kr}{kr^2} \right), \quad (10)$$

$$\dot{\nu}_l = -\frac{P_a}{\rho_l} \sin\omega t \left(\frac{\cos kr}{kr} - \frac{\sin kr}{kr^2} \right). \quad (11)$$

Объединим уравнения (8), (9) и (10), (11), описывающие трансляционное движения пузырька, с уравнением, описывающим радиальные колебания одиночного пузырька в вязкой слабосжимаемой жидкости [2]:

$$\begin{aligned} & \left(1 - \frac{\dot{R}}{C_l} \right) R\ddot{R} + \frac{3}{2}\dot{R}^2 \left(1 - \frac{\dot{R}}{3C_l} \right) = \\ & = \left(1 + \frac{\dot{R}}{C_l} \right) \frac{p_R - p(r, t)}{\rho_l} + \frac{R}{\rho_l C_l} \frac{d}{dt} (p_R - p(r, t)), \quad (12) \\ & p_R = \left(p_0 + \frac{2\sigma}{R_0} \right) \left(\frac{R_0}{R} \right)^{3\tau} - \frac{2\sigma}{R} - \frac{4\mu_l}{R} \dot{R}. \end{aligned}$$

Здесь $p(r, t)$ - акустическое давление, которое описывается уравнением (1); p_R - давление в жидкости около стенки пузырька, σ - коэффициент поверхностного натяжения. Полученная модель (система уравнений (8)-(12)) описывает поведение одиночного сферического кавитационного пузырька в сферической акустической стоячей волне. Построим алгоритм решения уравнения (12). Рассмотрим вспомогательную задачу [3]:

$$\begin{aligned} \ddot{R} &= \nu \\ R|_{t=0} &= R_0 \\ R|_{t=t_0} &= R_1 \end{aligned} \quad (13)$$

где $A = \frac{d^2}{dt^2}$.

Это задача однозначно разрешима при любом $\nu \in L_2$.

Предположим, что найдется линейный оператор такой, что оператор $M\nu = B(LA^{-1}\nu)$ непрерывен. В решении уравнении (13) операторной форме $u = A^{-1}\nu$, т.е. решение ищем в таком виде и на полученное уравнение подействуем оператором B . Тогда имеем

$$M\nu = f \quad (14)$$

где $f = \left(1 + \frac{\dot{R}}{C_l} \right) \frac{p_R - p(r, t)}{\rho_l} + \frac{R}{\rho_l C_l} \frac{d}{dt} (p_R - p(r, t))$.

Для построения метода приближенного решения уравнения (14) на оператор M наложим некоторые условия: Предполагаем, что при $\varepsilon \in (-\varepsilon_0, \varepsilon)$ выполнены условия (15)-(18)

$$\|D(u, v, \varepsilon)\| = \left\| \frac{M(u + \varepsilon\nu) - M(u)}{\varepsilon} - M'(u)\nu \right\| \leq \varepsilon F(\|u\|, \|\nu\|) \cdot \|\nu\| \quad (15)$$

$$\|M'(u)\| \leq c_1(\|u\|) \quad (16)$$

$$\|u\| \leq c_2(\|Mu\|) \quad (17)$$

$$\|M'^{* -1}(u)\| \leq c_3(\|u\|) \quad (18)$$

где $F(\cdot, \cdot), c(\cdot), (j = 1, 2, 3)$ - непрерывные и монотонные неубывающие функции своих аргументов, M' - оператор, первая вариация по u M , M'^{\bullet} - сопряженный оператор к оператору M' .

Обозначим $J(\nu) = \int_0^1 |M\nu - f|^2 dt = \|M\nu - f\|^2$. Чтобы найти приближенное решение уравнение (14), минимизируем этот функционал [4]. Составим итерационный процесс:

$$u_{n+1} = u_n - \delta_0 M'^{*}(u_n)(M(u_n) - f), n = 0, 1, 2, \dots \quad (19)$$

где δ_0 - произвольно, но от него зависит u_0 .

Полученная модель, описывающая поведение одиночного сферического кавитационного пузырька в акустической сферической стоячей волне, была выбрана для изучения влияния низкочастотных звуков на сырую нефть.

Список литературы

1. Лудченко А. А., Лудченко Я. А., Примак Т. А. Основы научных исследований: Учеб. пособие / Под ред. А. А. Лудченко. — 2-е изд., стер. — К.: О-во «Знания», КОО, 2001.
2. Каминский Э.Ф., Хавкин В.А. Глубокая переработка нефти: технологический и экологический аспекты. М., 2001.
3. Рябов В.Д. Химия нефти и газа. М., Техника, 2004.
4. Васильев Г.Г. Коробов Г.Е., Коршак А.А., Шаммазов А.М. Трубопроводный транспорт нефти / Под ред. М.С. Вайнштока. — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. — Т 1. — 408 с.
5. Мырзакожа Д. А., Мирзаходжаев А. А. Современные методы исследования.- Алматы, 2006. — 303 с.
6. Г.А. Ауэзова, Г.С.Татыханова, А.Ж. Иматова ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ОТДЕЛЬНЫХ ФРАКЦИЙ НЕФТЕЙ АКШАБУЛАК И ЖЕТЫБАЙ МЕТОДОМ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ. Вестник КазНТУ, №6 (82), 2010-12-24
7. Журавлева Е.Д. Нефти и породы Тенгизского месторождения. - М. (Деп. в ВИНТИ, 22.11.90, № 5877-В 90).
8. Букейханов Н.Р., Уразгалиев Б.У. Новые нефти Казахстана //Международная конференция по химии нефти: Тезисы докладов. - Томск, 1992.- С.346.

Экспертиза образовательных программ, используя Text Mining

Г. Жомарткызы, М. Базарова, С. Кумаргажанова, А. Уркумбаева

Восточно-Казахстанский государственный
технический университет им. Д. Серикбаева,
Усть-Каменогорск, Казахстан
madina9959843@gmail.com

Аннотация В статье рассматривается проведение экспертизы образовательных программ используя Text Mining. Для качественной подготовки специалиста, необходимо выполнить соответствие образовательных программ и профессиональных стандартов. Сопоставление компетенций образовательной программы и профессиональных стандартов формируют общие требования профессиональной подготовки, необходимые для выполнения конкретной трудовой деятельности. Используя Text Mining, будет выполнено попарное сравнение набора ключевых слов с набором терминов. Разработана структурная модель подсистемы оценки качества ОП. Данная экспертиза позволит выполнить соответствие образовательных программ требованиям со стороны рынка труда.

Ключевые слова: образовательная программа, онтология, профессиональный стандарт, набор терминов, набор ключевых слов

Введение

Цель образовательной программы - обеспечить конкурентоспособность и востребованность выпускников на рынке труда, поэтому результаты обучения в виде сформированных у выпускников компетенций должны быть согласованы с требованиями профессиональных стандартов, которые формируются по запросам основных потребителей программы и соответствуют национальной системе квалификаций. В связи с этим одной из основных задач при разработке образовательной программы является актуальное отображение паспорта соответствующего вида деятельности и его единиц профессионального стандарта на содержание образовательной программы. Механизм учёта потребностей рынка труда, заложенный в основу концепции образовательной программы, должен актуализировать требования к видам профессиональной деятельности, гибко реагировать на изменяющиеся условия внешней среды, способствовать дальнейшему развитию образовательной программы, повышая её качество и востребованность на рынке образовательных услуг. Для качественной подготовки специалиста, необходимо выполнить соответствие образовательных программ и профессиональных

стандартов. То есть соответствие академических и профессиональных компетенций. Чем больше будет это соответствие, тем качественнее будет подготовка специалиста.

Информационная модель портала знаний

Для обеспечения унифицированного представления разнородных знаний и данных, учета их связей, а также поддержки функциональности портала знаний, предложена информационная модель [1]. Формально информационная модель портала знаний MP_K описывается следующей формулой 1:

$$MP_K = \langle O_{BK}, IC_P \rangle \quad (1)$$

где O_{BK} – онтология БЗ, IC_P – информационное содержание (контент) портала. На основе данной модели будут строиться внутренние хранилища данных системы, организовываться информационное наполнение портала, осуществляться поиск и навигация по контенту. Онтология является ядром, базовым компонентом информационной модели семантического портала знаний. Онтология портала вводит понятия некоторой предметной области знаний в виде классов объектов и отношений между ними, тем самым задавая структуры для представления реальных объектов и связей между ними. В соответствии с этим, вся информация, расположенная в контенте портала, представлена как множество разнотипных информационных объектов – экземпляров классов онтологии, связанными между собой отношениями, описанными в онтологии [2]. Информационная модель онтологии семантического портала включает онтологию образовательных программ вуза и востребованных на региональном рынке труда профессиональных компетенций и онтологию научных знаний вуза. Модель онтологической базы знаний – это набор онтологий, имеет следующий вид 2:

$$O_{BK} = \langle O_{EP}, O_{PS}, O_{SK} \rangle \quad (2)$$

где

- O_{EP} - онтология образовательных программ вуза;
- O_{PS} - онтология профессиональных стандартов;
- O_{SK} - онтология научных знаний вуза.

Используя онтологический подход, необходимо разработать базу знаний модульных образовательных программ вуза, профессиональных компетенций и e-SF. Онтология образовательных программ уже была построена ранее в рамках проекта Грантового финансирования, построение онтологий профессиональных компетенций и e-SF выполнено в рамках написания диссертационной работы.

Структурная модель подсистемы оценки качества ОП

Для оценки соответствия образовательных программ требованиям профессиональных компетенций необходимо разработать алгоритм оценки качества образовательной программы (ОП). В рамках данного алгоритма будут оцениваться ОП, расположенные на образовательном портале вуза. В качестве эталонного документа, на основе которого будет производиться оценка ОП вуза, выступает проект Профессионального стандарта (ПС), разрабатываемые Холдингом «Зерде». Алгоритм оценки качества ОП требованиям профессиональных компетенций разработан с использованием продукционных правил. Продукционное правило состоит из двух частей: антецедента и консеквента. Антецедент представляет собой условную часть, осуществляющую посылку правила и состоящую из элементарных предложений, соединенных логическими связками «и», «или». Консеквент представляет собой заключение и включает одно или несколько предложений, которые выражают либо некоторый факт, либо указание на определенное действие, подлежащее исполнению. Продукционные правила записываются в виде антецедент-консеквент и представляют знания как предложения типа «ЕСЛИ условие, ТО действие» [2]. Сравнению в рамках алгоритма оценки качества будут подвергаться наборы терминов, характеризующие сравниваемые документы [3]. Описание эталонного документа хранятся в онтологической базе знаний ПС. В качестве набора терминов эталонного документа будут выступать набор ключевых слов, представляющие собой экземпляры класса «Ключевые слова» Профессионального стандарта. А в качестве набора терминов оцениваемого ОП будут выступать набор терминов, полученный в результате обработки данного ОП алгоритмом автоматического извлечения терминов. Оценка качества ОП осуществляется по следующему алгоритму:

- попарное сравнение набора терминов эталонного документа и набора терминов ОП, взятого с портала вуза;
- вывод об уровне качества оцениваемого ОП на основе продукционных правил.

Для данного алгоритма используются следующие продукционные правила:

- ЕСЛИ «Процент совпадения терминов ОП с терминами ПС менее 50%», ТО «ОП обладает низким соответствием требованиям профессиональных стандартов, необходимо изменение ОП»;
- ЕСЛИ «Процент совпадения терминов ОП с терминами ПС более 50%, но менее 85%», ТО «ОП обладает средним соответствием требованиям профессиональных стандартов, может быть рекомендован к изучению, когда нет альтернатив данному ОП»;
- ЕСЛИ «Процент совпадения терминов ОП с терминами ПС более 85%», ТО «ОП обладает высоким соответствием требованиям профессиональных стандартов и может быть рекомендован к изучению».

Структурная модель подсистемы оценки качества ОП представлена на рисунке 1: Набор ключевых слов эталонного документа хранится в онтологической базе знаний ПС. Набор терминов оцениваемого ОП хранится в БД, в

которой содержатся ссылки на место расположения оцениваемых документов и их наборы терминов. В качестве наборов ключевых слов будут вы-



Рисунок 1. Структурная модель подсистемы оценки качества ОП требованиям профессиональных компетенций

ступать результаты обучения из ОП, набор терминов – трудовые функции из профессиональных стандартов. Так же предполагается оценка соответствия знаний, умений и навыков из syllabusов дисциплин конкретной ОП с знаниями, умениями и навыками из ПС.

Заключение

Информационная модель семантического портала состоит из онтологии ОП и информационного содержания (контента) семантического портала. Разработана структурная модель подсистемы оценки качества ОП. В рамках алгоритма оценки производится попарное сравнение набора ключевых слов эталонного документа из онтологической базы знаний ПС и набора терминов оцениваемого ОП, расположенного в БД. После сравнения делается вывод об уровне качества оцениваемого ОП требованиям профессиональных компетенций на основе использования набора продукционных правил.

Список литературы

1. Кузнецова Е.М., Балова Т.Г.: Разработка алгоритма автоматического извлечения терминов из единицы электронного образовательного ресурса. Вестник ВКГТУ им. Д.Серикбаева. Т. №2. (2012)
2. Загорулько Ю.А.: Технология построения порталов научных знаний: опыт применения, проблемы и перспективы. Вестник НГУ. Т. №5. Выпуск 2. Новосибирск, 42-52 (2007)
3. Модели представления знаний. Продукционная модель знаний, <http://www.aiportal.ru/articles/knowledge-models/production-model>
4. Добров Б.В., Лукашевич Н.В., Сыромятников С.В.: Формирование базы терминологических сочетаний по текстам предметной области. Труды V Всероссийской научной конференции. СПб. 201-210. (2003)

Организация работы с двоичными данными в системе дистанционного обучения (на примере системы дистанционного обучения ВКГТУ им.Д.Серикбаева)

С. К. Кумаргажанова, Е. М. Федькин

Восточно-Казахстанский государственный
технический университет им. Д. Серикбаева,
Усть-Каменогорск, Казахстан
EFedkin@mail.ru

Аннотация На современном этапе развития большая часть информации храниться в виде файлов различного формата. Использование файлов для хранения является очень удобным для пользователей и система дистанционного обучения должна предоставлять возможность хранения и передачи файлов. При работе с двоичными данными необходимо решить ряд вопросов: где хранить файлы и как исключить дублирование файлов. В системе дистанционного обучения ВКГТУ двоичные данные хранятся в базе данных на основе технологии FileStream, а для исключения дублирования данных основано на использовании криптографической хэш-функции алгоритма SHA-1.

Ключевые слова: дистанционное обучения, двоичные данные, образовательный портал, хэш-функция, SHA-1

Введение

На современном этапе развития большая часть информации храниться в электронном формате в виде файлов, имеющих различный формат хранения данных. Большая часть данных файлов имеют двоичный формат хранения, т.е. данные представлены в виде последовательности байтов. Работа с такими файлами осуществляется соответствующей программой или программным комплексом. Например, самым распространенным форматом хранения текстовых документов является формат Microsoft Word, файлы которого имеют такие расширения «.doc», «.docx» и ряд других. Использование файлов для хранения различной информации является очень удобным для пользователей, так как позволяет им хранить и обмениваться информацией.

Поскольку имеется большой объем информационных ресурсов в виде файлов, то система дистанционного обучения должна предоставлять возможность хранения и передачи данных хранимых в файлах для своих пользователей.

Вопросы, связанные с хранением двоичных данных

При организации хранения двоичных данных в системе дистанционного обучения возникает ряд вопросов, которые необходимо решить.

Первым из таких вопросов является вопрос – где хранить файлы. Возможными решениями данного вопроса могут быть:

1. Файлы могут храниться непосредственно в базе данных, если соответствующая система управления базами данных поддерживает данное хранение. При таком способе хранения файлы будут храниться централизованно, что упрощает к ним доступ. Так же преимуществом является то, что у систем управления базами данных есть система резервного копирования, что позволяет осуществлять перенос файлов вместе с базой данных. Однако, имеется ряд проблем. Во-первых, если число файлов будет велико, то это приведет к резкому росту размер базы данных. Во-вторых, для записи и считывания файлов необходимо постоянное подключение к базе данных при осуществлении данных операций, что может привести к снижению производительности.
2. Файлы могут храниться в файловой системе. В базе данных при таком способе хранения требуется только хранить только местонахождение соответствующих файлов в файловой системе. При таком способе хранения будет резко снижено время взаимодействия с базой данных, а для работы с файлами будет использоваться файловая система операционной системы, что резко увеличивает быстродействие системы. Основным недостатком данной системы является, что данных хранятся в разных системах, что усложняет поддержание целостности данных. Так же усложняется процедура резервирования и переноса данных. В данном варианте приходится производить две отдельные процедуры резервирования – отдельно для базы данных, отдельно для файлового хранилища.
3. Гибридный вариант хранения. При таком варианте хранения часть файлов может храниться в базе данных, а часть в файловой системе. При применении такой схемы хранения, как правило, применяется следующий подход – небольшие по объему файлы будут хранятся в базе данных, большие файлы хранятся в файловой система. Данный подход устраняет ряд недостатков, которые имеются в первых двух вариантах – снижается время подключения к базе данных, так как файлы имеют небольшой размер, а при работе с большими файлами используется ресурсы файловой системы, что ускоряет работу с данными файлами.

Вторым важным вопросом при хранении двоичных данных является вопрос исключения их дублирования. Данная проблема возникает из-за того, что один и тот же двоичный файл может потребоваться в разных местах. Оптимальным решением в таком случае является вариант, при котором файл размещается один раз, а затем на него делаются ссылки. Однако, реализация данного решения имеет ряд проблем, связанных с тем, что, во-первых, пользователи не всегда помнят какие файлы они ранее загрузили

и загружает один и тот же файл несколько раз, а, во-вторых, пользователи могут загружать файлы, которые были загружены другими пользователями и не знают о них.

Для решения данной проблемы необходимо иметь механизм проверки наличия загружаемого файла в хранилище. Для этого необходимо реализовать процедуру проверки наличия идентичного файла в хранилище. Если файл уже имеется в хранилище, то новый файл не вносится в хранилище, а пользователю возвращается указатель на уже имеющийся файл. В противном случае, файл вносится в хранилище и пользователю возвращается указатель на загруженный файл.

При реализации процедуры проверки наличия идентичного файла в хранилище возникает проблема, связанная с числом и объемом имеющихся файлов в хранилище. Это связано с тем, что необходимо пройтись по всему списку файлов и произвести сверку содержания загружаемого файла с имеющимися файлами в хранилище. При наличии большого числа файлов данный процесс может занимать продолжительное время.

Один из эффективных механизмов оптимизации поиска файлов, является применение криптографических хэш-функций. Особенностью данных хэш-функций является то, что при подаче им на вход байтовых данных произвольной длины они возвращают байтовое значение фиксированной длины. Организация системы поиска при использовании криптографических хэш-функций может иметь следующую последовательность:

1. Пользователь загружает файл в систему
2. Содержимое полученного файла подается на вход хэш-функции
3. По полученному хэш-значению производится поиск в базе имеющихся файлов
4. Если хэш-значение имеется в базе, то возвращается указатель на имеющийся файл, иначе файл вносится в хранилище, а в базу добавляется хэш нового файла.

Хэш-значения, которые возвращают криптографические хэш-функции, имеют небольшой размер. Если эти значения хранить в таблице в базе данных, то это позволит создать индекс по полю, где храниться данное значение, что резко увеличит скорость поиска файлов.

Система дистанционного обучения на образовательном портале ВКГТУ им.Д.Серикбаева

На образовательном портале ВКГТУ имеется система дистанционного обучения. Данная система является частью программного комплекса образовательного портала SPortal/Dales. На программном уровне данная система реализована как web-приложение на базе технологии Microsoft ASP.NET версии 4.0. Данное web-приложение работает в рамках web-службы Microsoft Internet Information Services, которая входит в состав операционной системы

Microsoft Windows 2012. В качестве базы данных для системы дистанционного обучения выступает база данных образовательного портала. Данная база работает на основе системы управления базами данных Microsoft SQL Server 2012.

Доступ к работе с данной системой является авторизованным, и к ней имеют доступ следующие категории пользователей:

1. Обучающиеся
2. Преподаватели
3. Деканаты
4. Учебная часть

Учебные курсы привязаны к дисциплине и академической группе, которая изучает данную дисциплину. Доступ к конкретному дистанционному курсу имеют только обучающиеся группы, преподаватели, ведущие дисциплину и административный персонал.

Каждый дистанционный курс имеет следующую иерархическую структуру:

- Блок – объединяет несколько недель. В качестве блоков выступают: рубежный контроль 1, рубежный контроль 2, экзаменационный блок. По каждому блоку высчитывается итоговая оценка как среднее арифметическое значение по всем оценкам полученных по заданиям включенных в данный блок
 - Неделя – это блок в который включаются различные ресурсы и задания, которые должен изучить выполнить обучающихся на данной неделе.
 - * Ресурс – представляет собой некий учебный материал необходимый для обучения. Имеются следующие виды ресурсов для курса:
 - Файл – представляет собой файл, в котором содержится информация, требуемая для изучения курса
 - Ссылка на внешний ресурс – представляет собой url-адрес на внешний ресурс на котором находится какая-либо информация для изучения в рамках курса
 - Текстовый блок – представляет собой текстовое содержание для пояснения обучающимся по курсу
 - * Задание – представляет собой задание, которое должен выполнить обучающийся. За каждое выполненное задание обучающийся получает оценку. Задание может быть обычным (оценка учитывается при подсчете итоговой оценки по блоку) и тренировочное (оценка не учитывается при подсчете итоговой оценки по блоку). Задание должны выполняться в сроки, которые указал преподаватель. Имеются следующие виды заданий:
 - Практическая/лабораторная работа – представляет собой какое-либо практическое задание, которое должен выполнить

обучающийся. Содержание задания загружается в виде файла. Обучающийся выполняет данное задание и в качестве ответа должен прикрепить файл с выполненным заданием, которое преподаватель должен оценить.

- Форум – представляет собой обсуждение темы на форуме курса. По итогам обсуждения преподаватель выставляет обучающимся оценки.
- Чат – представляет собой обсуждение темы в чате курса. По итогам обсуждения преподаватель выставляет обучающимся оценки.
- Тестирование – представляет собой выполнение тестового задания с выбором одного ответа из нескольких. Задание оценивается автоматически по результатам ответов обучающихся. В случае несогласия с результатами, обучающийся может подать апелляцию на вопросы, которые были неверно отвечены. Апелляцию рассматривает преподаватель курса и в случае её удовлетворения оценку по тесту будет изменена.

Организация хранения двоичных данных в системе дистанционного обучения

Как было указано в предыдущем разделе, в качестве системы управления базами данных используется Microsoft SQL Server 2012. Данная система управления базами данными имеет специальную технологию по хранению файлов из таблиц в файловой системе. Данная технология называется Filestream. Данная технология позволяет работать с файлами как с обычными двоичными данными внутри таблиц, так и как с обычными файлами. Данная технология используется для организации хранения двоичных данных в системе дистанционного обучения на образовательном портале.

Для решения проблемы дублирования файлов, которая была описана в пункте «Вопросы, связанные с хранением двоичных данных», нами было использовано решение на основе применения криптографических хэш-функций. В качестве хэш-функции нами была использована схема хеширования на основе алгоритма SHA-1. Данный алгоритм на выходе генерирует двоичные данные фиксированного размера объемом 20 байт.

Исходя из описания структуры дистанционного курса, приведенного в предыдущем разделе, двоичными данными, которые требуется хранить в системе дистанционного обучения являются:

1. Ресурс – Файл;
2. Задание – Практическая/лабораторная работа

На рисунке 1 представлена структура части базы данных предназначенная для хранения данных курса.

На рисунке 1 представлены следующие таблицы:

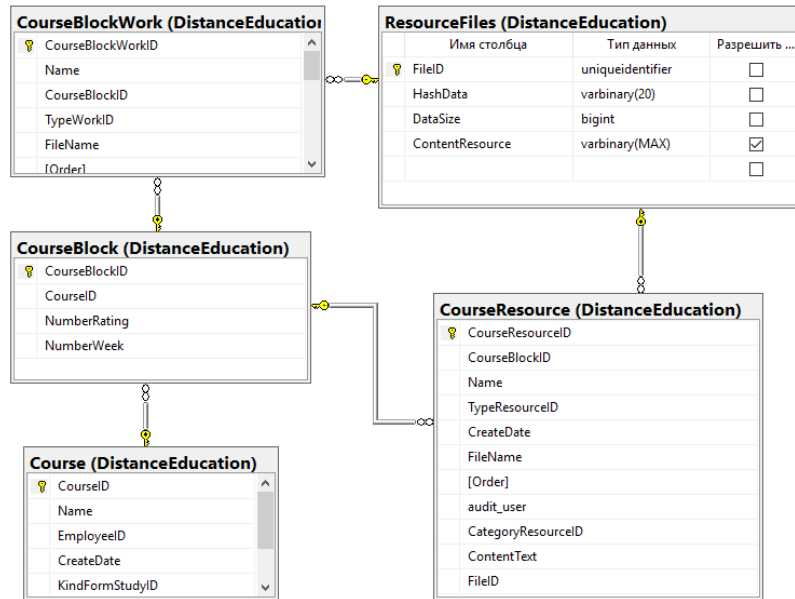


Рисунок 1. Структура таблицы для хранения данных дистанционного курса

1. Course – таблица описывающая курс
2. CourseBlock – таблица описывающая блоки и недели
3. CourseResource – таблица описывающая ресурсы для курса
4. CourseBlockWork – таблица описывающая задания по курсу
5. ResourceFiles – таблица представляющая собой двоичные данные хранимые с использованием технологии Filestream.

Рассмотрим структуру таблицы ResourceFiles более подробно. Данная таблица имеет следующие поля:

1. FileID, которое имеет тип uniqueidentifier и являются ключом таблица. Данное поле данного типа являются обязательным для организации работы с технологией Filestream.
2. HashData, которое имеет тип двоичных данных размером в 20 байт. Данное поле предназначено для хранения вычисленного для двоичных данных значения хэш-функции по алгоритму SHA-1. Для данного поля создан уникальный индекс, что гарантирует дублирование двоичных данных в таблице
3. DataSize – поле, которое задает размер хранимых двоичных данных
4. ContentResource – поле для хранения двоичных данных на основе технологии Filestream.

Таблица ResourceFiles, как видно из схемы на рисунке 1, связанная с таблицами CourseResource и CourseBlockWork по полю FileID. Данная связь

помогает определить, какие файлы привязаны к ресурсам и практическим заданиям.

Работа с двоичными данными с web-приложении системы дистанционного обучения

Как было описано выше, технология Filestream позволяет работать с двоичными данными не только как с двоичными данными внутри базы данных, но и как с обычными файлами. Для такой работы .Net Framework имеет специальный класс `SqlFileStream`. Данный класс используется нами для организации работы с двоичными данными в web-приложении системы дистанционного обучения. В листинге 1 приведен листинг из web-приложения предназначенного для работы с двоичными данными в базе данных.

Листинг 1 – работа с двоичными данными

```
public void ReadFromFileStream(string filePath,
    Stream writeStream, int bufSize)
{
    SqlTransaction tran = mConnection.BeginTransaction();
    SqlCommand cmd_tran = mConnection.CreateCommand();
    cmd_tran.Transaction = tran;
    cmd_tran.CommandText =
        "SELECT GET_FILESTREAM_TRANSACTION_CONTEXT()";
    byte[] tran_data = (byte[])cmd_tran.ExecuteScalar();
    using (SqlFileStream fs = new SqlFileStream(filePath,
        tran_data, FileAccess.Read))
    {
        byte[] buffer = new byte[bufSize];
        using (BinaryWriter bw = new BinaryWriter(writeStream))
        {
            int rb = 0;
            do
            {
                rb = fs.Read(buffer, 0, bufSize);
                bw.Write(buffer, 0, rb);
            } while (rb == bufSize);
            bw.Close();
        }
        fs.Close();
    }
    tran.Commit();
}

public void ReadFromFileStream(string filePath,
    Stream writeStream)
```

```
{
    ReadFromFileStream(filePath, writeStream, 4096);
}
public Guid WriteResourceFileStream(byte[] file)
{
    Guid FileID;
    SHA1 hashAlg = SHA1.Create();
    byte[] hash = hashAlg.ComputeHash(file);
    object rq = Scalar("SELECT FileID
        FROM DistanceEducation.ResourceFiles
        WHERE HashData = @HashData AND
            DataSize = @DataSize",
        Parameter("@HashData", hash),
        Parameter("@DataSize", file.Length));
    if (rq == null)
    {
        FileID = Guid.NewGuid();
        SqlTransaction tran = mConnection.BeginTransaction();
        SqlCommand cmd = mConnection.CreateCommand();
        cmd.Transaction = tran;
        cmd.CommandText =
            "SELECT GET_FILESTREAM_TRANSACTION_CONTEXT(";
        byte[] tranID = (byte[])cmd.ExecuteScalar();
        SqlCommand cmd_ins = mConnection.CreateCommand();
        cmd_ins.Transaction = tran;
        cmd_ins.CommandText =
            "INSERT INTO DistanceEducation.ResourceFiles
            (FileID,HashData, DataSize, ContentResource)
            VALUES(@FileID, @HashData, @DataSize, 0x)";
        cmd_ins.Parameters.AddWithValue("@FileID", FileID);
        cmd_ins.Parameters.AddWithValue("@HashData", hash);
        cmd_ins.Parameters.AddWithValue("@DataSize",
            file.Length);
        cmd_ins.ExecuteNonQuery();
        SqlCommand cmd_path = mConnection.CreateCommand();
        cmd_path.Transaction = tran;
        cmd_path.CommandText =
            "SELECT ContentResource.PathName(2)
            FROM DistanceEducation.ResourceFiles
            WHERE FileID = @FileID";
        cmd_path.Parameters.AddWithValue("@FileID", FileID);
        string path = (string)cmd_path.ExecuteScalar();
        SqlFileStream fs = new SqlFileStream(path, tranID,
            FileAccess.Write);
        fs.Write(file, 0, file.Length);
    }
}
```

```

        fs.Close();
        tran.Commit();
    }
    else
    {
        FileID = (Guid)rq;
    }
    return FileID;
}

```

Как видно из приведенного листинга, перед началом работы с `SqlFileStream` мы должны запустить транзакцию и выполнить команду -

```
GET_FILESTREAM_TRANSACTION_CONTEXT
```

Данная команда возвращает специальный объект, который используется для работы с `SqlFileStream`.

В приведенном листинге у нас имеются две функции:

1. `ReadFromFileStream` – для чтения данных
2. `WriteResourceFileStream` – для записи данных. При записи данных, как видно из листинга, мы сначала вычисляем хэш, проверяем наличие в таблице `ResourceFiles` аналогичных данных. Если таких двоичных данных нет, то вносим новый файл в базу данных.

Заключение

В данной статье мы:

1. Рассмотрели проблемы, которые возникают при организации хранения двоичных данных;
2. Описали подходы, которые могут использоваться для решения вопросов организации хранения данных;
3. Описали систему дистанционного обучения, которая была реализована на образовательном портале ВКГТУ
4. Рассмотрели, как организована схема хранения двоичных данных в базе данных и как реализовано работа с ними в web-приложении системы дистанционного обучения

Список литературы

1. Бондарь А.Г., *Microsoft SQL Server 2012*. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 608 с.
2. Конеев И.Р., Беляев А.В., *Информационная безопасность предприятия*. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 747 с.

Интеграции данных на основе онтологий для мониторинга развития вуза

Л. Сулейменова, С. Рахметуллина

Восточно-Казахстанский государственный
технический университет им. Д. Серикбаева,
Усть-Каменогорск, Казахстан
Suleimenoalr@gmail.com

Аннотация Оценка результатов деятельности сотрудников вуза может проводиться с различными целями, согласованными со стратегическими целями учреждения, например, для привлечения или продвижения сотрудников, участвующего в исследовании. В то время как для такой оценки обычно используются количественные меры, такие как количество научных статей и цитирования. Чтобы предоставить соответствующий набор данных, должна быть предоставлена подходящая структура, которая гарантирует, что не будут использоваться ни неполные, ни не достоверные данные. Чтобы обеспечить такую структуру с наилучшими возможными функциями, данные из различных доступных источников должны быть интегрированы. В статье представлена обзор существующих проблем интеграции и подходы к решению данной проблемы. Система объединяет данные, имеющиеся в существующих информационных системах в университете, с данными, полученными из внешних источников. Также представлена единая онтологическая модель данных.

Ключевые слова: Интеграция данных, онтология, онтологическая модель, информационная система, мониторинг

Введение

Успешное управление социально-экономическими системами требует разработку эффективной политики и системного мониторинга. Одной из распространённых ошибок при проектировании и разработке ИС – ограничение усовершенствованиями в области информационных технологий хранения и поддержки данных, при этом недостаточное внимание уделяется качеству данных, которые являются основой для принятия управленческих решений. Информационная система мониторинга развития вуза должна поддерживать основные направления деятельности вуза и комплексно реализовывать необходимые функции от сбора и хранения до анализа, планирования и поддержки принятия решений. Как для любой ИС, для ИС вуза одним из наиболее актуальных вопросов, требующий индивидуального подхода является вопрос интеграции данных из разнородных источников, так как данные о

результатах деятельности хранятся не только во внутренних БД, также и во внешних источниках. При сборе и анализе информации, возникает целый ряд проблем:

- первая - неполнота информации для полноценного исследования сложившейся ситуации;
- вторая группа проблем характеризуется недостоверностью - есть вероятность фальсифицирования данных с целью повышения количественных показателей;
- третья группа характеризуется закрытостью доступа или чрезвычайной дороговизной.

Для решения проблем неполноты и недостоверности желательно собирать информацию из различных (независимых) источников, что повышает объективность получаемых результатов. Целью статьи является анализ существующих подходов интеграции имеющихся данных в онтологию как единую информационную модель интегрированной системы, а также обзор, который включает:

- обзор существующих программных средств и подходов для создания онтологической баз знаний;
- анализ основных особенностей интеграции данных в онтологии; - обзор проблем, возникающих при интеграции данных;
- обзор методов интеграции данных в базу знаний с учетом особенностей предметной области.

В последнее время программные средства, позволяющие строить базы знаний онтологического типа становятся все более популярными.

Интеграция данных: проблемы и подходы

Для решения проблем неполноты и недостоверности желательно собирать информацию из различных (независимых) источников, что повышает объективность получаемых результатов. Интеграция данных в информационных системах понимается как обеспечение единого унифицированного интерфейса для доступа к некоторой совокупности, неоднородных независимых источников данных. Таким образом, для пользователя информационные ресурсы всей совокупности интегрируемых источников представляются как новый единый источник. Система, обеспечивающая пользователю такие возможности, называется системой интеграции данных [1]. Интегрируемыми источниками данных могут быть традиционные системы баз данных, поддерживающие различные модели данных (реляционные, объектные, объектно-реляционные, графовые и т.п.), разнообразные унаследованные системы, репозитории, веб-сайты, файлы структурированных данных. В ходе работы был проведен анализ программных средств, [2]-[3] авторы разделяют данные средства по следующим функциональным группам (рисунк 9. По итогам анализа наиболее удобным инструментом для решения



Рисунок 1. Программные средства создания для создания базы знаний онтологического типа.

задач создания базы знаний онтологического типа для интеграции данных являются инструменты с категории универсальные, к которым относится Protégé. Для интеграции данных используется единая онтологическая модель - Semantic Web Research Community (SWRC). SWRC - онтология, которая моделирует ключевые субъекты в научно-исследовательской деятельности [3]. Она является открытой и была дополнена необходимыми классами и свойствами для описания академической деятельности (рисунок 2). С помощью данной модели будем интегрировать структурированную информацию, хранящуюся в корпоративных БД, с неструктурированной информацией, относящейся деятельности научно-образовательных организации. В течение многих лет в вузе использовалось только внутренняя база о достижениях ППС, куда данные заносились в основном вручную, что иногда вызывало искажения и повтора информации. Для решения данных проблем необходимо автоматически извлекать информацию из первоисточников, чтобы получить представление о реальной ситуации о исследовательской деятельности и их результатах, но этот процесс нуждается в улучшении путем обеспечения интегрирования информации. На данный момент в нашей стране производительность научной работы оценивается в соответствии с количеством публикаций, индексированных в Scopus или Web of Science (WoS). В результате анализа работ Гавриловой Т.А., Когаловского М.Р., Zielgler P., Бездушного А.А., Бова А.А. ([3], [1]-[4]) были определены основные проблемы интеграции и возможные пути их решения. На рисунке 3 представлены основные

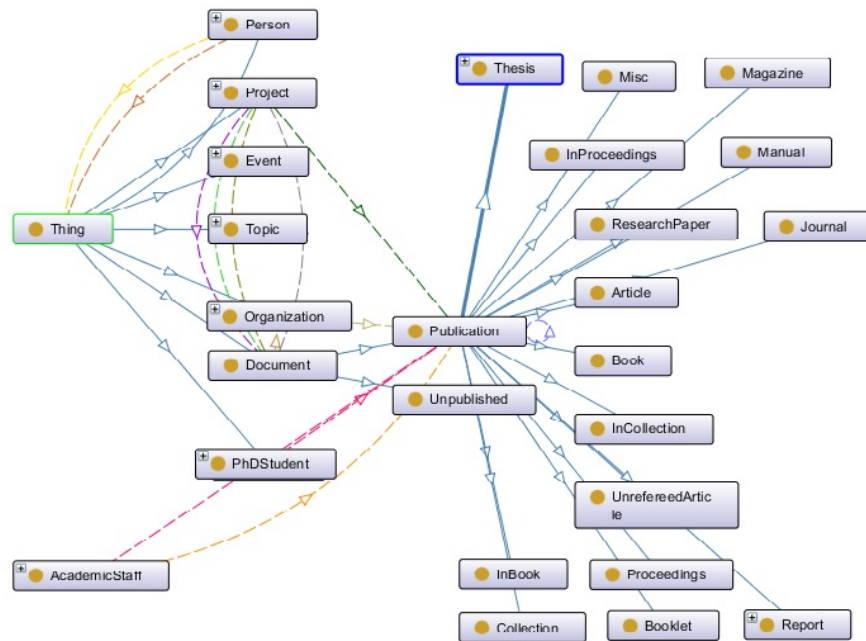


Рисунок 2. Онтологическая модель научной деятельности сотрудников вуза.

проблемы, которые могут возникнуть при интеграции данных. При инте-



Рисунок 3. Проблемы интеграции данных.

грации данных из наукометрических баз возникают проблемы:

- неоднородности: для разных источников используются разные модели, например для scopus – CSV, а для Web of Science (WfS) – BibTex;
- структурные: используются различные типы данных для отображения одинаковых по смыслу атрибутов;
- проблема названий: когда один и тот же автор может быть связан с разными идентификаторами и т.д.

Существуют различные подходы к интеграции данных: интеграция на физическом, логическом и семантическом уровне. Синтаксическая или логическая интеграция данных основывается на внешнем сходстве объединяемых данных, а семантический уровень интеграции основывается на содержательном сходстве объединяемых данных. Семантическая интеграция основывается на знании и учете природы данных [5]. Для интеграции данных на семантическом уровне используется онтология, которая предоставляет теоретическое описание предметной области.

Интеграция данных о публикациях

Для поддержки анализа и оценки научной деятельности сотрудников предлагаем системную архитектуру, которая объединяет информацию о публикациях из всех доступных источников данных, которые включают библиотечную информационную систему SCOPUS и WoS. Данные о публикациях из нескольких источников будут связаны и хранятся в репозитории. Моделью данных репозитория является SWRC. Центральным классом для хранения библиографических данных о публикациях, а также количеством ссылок в базах данных SCOPUS и WoS является Publication (см рисунок 9). Определение связей авторских профилей, полученных с наукометрических баз данных, и пользователями информационной системы является первоочередной задачей. Один из возможных подходов идентификации авторов публикаций из различных баз данных публикаций – это проведение анализа возможных внешних идентификаторов авторов и сопоставление их с внутренними (университетскими) идентификаторами. Такие связи идентификаторов не всегда существуют, возникают новые авторские коллективы, автор может изменить фамилию, также в авторитетных базах данных авторы могут не иметь уникальный идентификатор, или один и тот же автор может быть связан с разными идентификаторами. В настоящее время в мире нет единого стандартизованного способа идентификации журнальных статей, авторов, их мест работы и др., несмотря на то, что в последние годы введены в действие немалое число различных идентификаторов [6]. При идентификации авторов большое значение имеет аффилиация. Некоторые авторы не указывают аффилиацию с университетом, что приводит к затруднению их идентификации. На основании анализа существующих алгоритмов интеграции данных, предлагаем следующий алгоритм загрузки данных (рисунок 4). В процессе интеграции данных имеются внешние источники данных о публикациях, такие как системы баз данных SCOPUS и WoS. Приведем описание алгоритма на примере SCOPUS, данная база предлагает API, который позволяет искать публикации, созданные сотрудниками, и извлекать библиографические данные таких публикаций, а также различные метрики цитирования. Первый этап процесса загрузки данных SCOPUS, который выполняется в любой новой публикации, является фазой распознавания. Основной целью этого этапа является выявление публикации, которые уже зарегистрированы в репозитории, но которые недавно

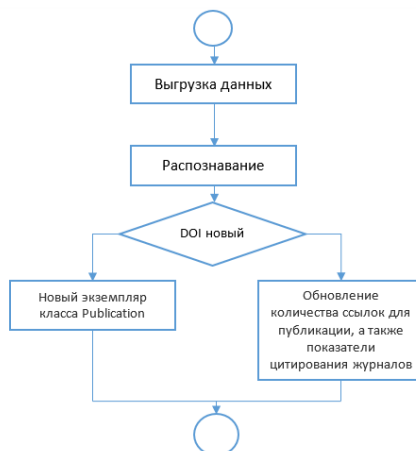


Рисунок 4. Алгоритм работы

были проиндексированы SCOPUS, чтобы избежать создания дубликатов. Первым критерием, используемым для распознавания, является Идентификатор объекта документа (DOI), который является уникальным для каждой публикации. Если соответствующая публикация с тем же DOI не найдена в репозитории, выполняется поиск на основе аналогичного названия и года публикации. Чтобы определить существующую публикацию с наиболее похожим названием в репозитории, используется сходство объектов, поскольку иногда могут быть разные альтернативы правописания названия, а также проблемы с качеством данных. Если процесс распознавания обнаруживает существующую публикацию в репозитории или если публикация уже была предварительно обновлена данными SCOPUS, обновляется количество ссылок для публикации, а также показатели цитирования журналов. Если обработанная публикация является новой для системы, новый экземпляр класса Publication создается со всей библиографической информацией, полученной из базы данных SCOPUS, авторы публикаций также представлены как экземпляры классов Author и SCOPUS Author и метрики цитирования, а также данные журнала ранжирования создаются или обновляются, если информация о журнале была загружена ранее. В случае новой публикации выполняется процесс сопоставления авторов, когда для каждого автора вуза, выполняется поиск соответствующего экземпляра класса Person и, если он найден, он связан с соответствующим экземпляром класса Author. Основным критерием для процесса сопоставления авторов является идентификатор автора SCOPUS, который позволяет однозначно идентифицировать авторов, публикации которых ранее загружались в репозиторий. Если поиск автора по идентификатору неуспешен, в процессе сопоставления используется вторичный критерий, который представляет собой комбинацию имени и фамилии автора. Согласование авторов по точным именам и фа-

миллиам приводит к незначительным результатам, поскольку авторы публикаций склонны использовать различное написание имен и фамилий, которые не всегда соответствуют их полным именам. Кроме того, полное имя может содержать специальные символы локального языка, которые могут быть заменены на символы английского языка в публикации по-другому. Для решения проблем с качеством данных, сопоставление авторов по именам и фамилиям выполняется с использованием сходства объектов между полным именем, как оно указано в публикации, и полным именем официального автора, то есть экземпляром `Person` с коэффициентом подобия который превышает установленный порог, связан с публикацией. После того, как найдено совпадение, мы также установим связь между экземпляром класса `SCOPUS Author` и соответствующим экземпляром класса `Person`, чтобы использовать идентификатор автора `SCOPUS` в качестве основного критерия для соответствия будущим публикациями.

Заключение

В работе был сделан обзор проблем интеграции данных с различных источников в единую согласованную систему, также рассмотрены инструменты и возможные подходы к интеграции данных. На основе анализа существующих работ был предложен алгоритм интеграции данных для оценки результатов научно-образовательной деятельности вуза.

Список литературы

1. Ершеева Р. М.: Обзор методов интеграции информационных ресурсов высших учебных заведений. Молодой ученый №12. Т.1. с.75-78. (2011)
2. Григорьев Л. Ю., Заблоцкий А. А., Кудрявцев Д. В.: Технология наполнения баз знаний онтологического типа. Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление 150, с.27-36 (2012).
3. Гаврилова Т.А. Отчет за 2017 год по проекту 17-07-00228 Методология и Технология формирования Онтологий на основе интеграции с гетерогенными источниками данных (МЕТЕОР) http://gsom.spbu.ru/files/1/meteor_otchet_za_2017_gavrilova_ta.pdf
4. Y. Sure, S. Bloehdorn, P. Haase, J. Hartmann, and D. Oberle.: The SWRC Ontology - Semantic Web for Research Communities. In: Proceedings of the 12th Portuguese Conference on Artificial Intelligence - Progress in Artificial Intelligence (EPIA 2005), pp. 218 - 231. volume 3803 of LNCS, Covilha (2005)
5. Коголовский М.Р.: Методы интеграции данных в информационных системах. Институт проблем рынка РАН, Москва (2010)
6. Ziegler P., Dittrich K.R.: Data Integration —Problems, Approaches, and Perspectives. Conceptual Modelling in Information Systems Engineering. P.39-58. (2007)
7. Бова В.В.: Онтологическая модель интеграции данных и знаний в интеллектуальных информационных системах. Известия Южного федерального университета. Технические науки №4 (165). с.225-237 (2015)

8. Васильева Т.П., Глава М.Г.: Основные проблемы и методы интеграции баз данных. Первый независимый научный вестник №1. с.28-32 (2015)
9. Вареников Д.А., Шлей М.Д., Муромцев Д.И.: ПОСТРОЕНИЕ НАУЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ УЧАСТНИКОВ НАУЧНО - ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ УНИВЕРСИТЕТА. Современные проблемы науки и образования. № 2-2. (2015)

Создание модели и прототипа информационной системы для медицинских данных

А. Адалбек, О. Жижимов

Новосибирский государственный университет
Институт вычислительных технологий СО РАН
Новосибирск, Россия
q_al@mail.ru

Аннотация В работе рассматриваются некоторые аспекты применения современных информационных технологий для поддержки медицинских услуг и исследований пациентов в лечебных учреждениях. Описаны основная модель информационной системы, алгоритмы реализации модели и прототип приложения, демонстрирующей основные функции. Основной задачей исследования является разработка прототипа медицинской информационной системы, позволяющей автоматизировать процесс обслуживания пациентов и увеличить эффективность работы лечебных учреждений. Что в свою очередь обеспечит оперативный доступ любого пользователя данной системы к информации с учетом прав доступа, зависящих от временных интервалов. Определена структура прототипа медицинской информационной системы. Даны обоснования создания медицинских информационных систем для решения разных задач, поставленных перед медицинскими учреждениями. Рассматривается вопрос о выборе средств разработки прототипа информационных систем.

Ключевые слова: информационные системы, архитектура, алгоритмы обработки данных, контроль доступа, визуализация данных

Цель настоящей работы¹ - создание модели, алгоритмов и реализация прототипа приложения, обеспечивающего разграниченный доступ к массивам данных, организованных в соответствии с заданной онтологией, на основе ролей, действующих на конечных временных интервалах. Потребность в подобной модели возникла при построении информационной системы для обработки и визуализации данных, получаемых с медицинских датчиков при обследовании пациентов. При этом под датчиком может подразумеваться любой источник данных, генерирующий информацию определенной категории в определенном формате в течении конечного интервала времени [2].

Проектируемая информационная система должна аккумулировать достаточно большой объем информации, связанный с потоками данных от

¹ Работа выполнена в рамках Интеграционного Проекта СО РАН (АААА-А18-118022190008-8) и Проекта по фундаментальным научным исследованиям (АААА-А17-117120670141-7).

датчиков, а также хранить данные о документах, мультимедийных файлах, о пользователях, пациентах, врачах и постоянных изменениях в структуре активных датчиков и доступных документах. Информационная система должна иметь возможность сбора, хранения и обновления данных, а также предоставлять различным категориям пользователей быстрый доступ к требующейся информации [3].

Информационную систему можно разделить на следующие подсистемы:

- Регистрационная подсистема – позволяющая регистрировать все происходящие события и факты.
- Медицинская подсистема (системы электронного документооборота) – позволяет хранить и передавать данные, получаемые с медицинских датчиков.
- Справочная подсистема, предоставляющая общую информацию о пользователях [1].
- Аналитическая подсистема – обрабатывает данные полученные с датчиков и представляет их в виде графиков.

Регистрационная подсистема – позволяющая регистрировать все происходящие события и факты.

Система контроля доступа к данным.

Контроль доступа — функция открытой системы, обеспечивающая технологию безопасности, которая разрешает или запрещает доступ к определённым типам данных, основанную на идентификации субъекта, которому нужен доступ, и объекта данных, являющегося целью доступа.

Основными механизмами контроля доступа являются идентификация и аутентификация.

В информационных системах, используемых сегодня, Имя пользователя и Пароль являются наиболее распространённой формой аутентификации. Имена пользователей и пароли постепенно заменяются более сложными механизмами аутентификации. После успешной идентификации и аутентификации, пользователь или система получает в своё распоряжение именно те ресурсы, к которым система или пользователь имеет право доступа, а также какие действия будут допущены к выполнению (запуск, просмотр, создание, удаление или изменение). Это называется разрешением.

Теперь рассмотрим безопасный метод регистрации и авторизации. Форум, интернет магазины, гостевые книги и т.д. используют регистрацию и последующую авторизацию пользователей. При входе на которую пользователю, если он ещё не зарегистрирован, выводится ссылка, при нажатии на него выводится форма для ввода данных, необходимых для регистрации. Если же пользователь уже зарегистрирован и авторизован на системе, перенаправим его на страницу для входа сайта так, что форму регистрации он и не увидит.

При регистрации в базе данных записываются все данные пользователя и пароль (в md5 шифровании). Для каждого из всех полей есть правила валидации. Сейчас стоит заметить лишь то, что, если пользователь введёт

некорректные данные или не введёт их вовсе, посредством JavaScript будет выведено сообщение об ошибке. При регистрации проверяется логин на уникальность и обязательно фиксируется дата регистрации и ее удаление.

Здесь используем подход управления доступом на основе ролей. При входе в систему уникальный логин пользователя записывается в сессию.

Зарегистрированному пользователю врач или администратор назначает роль. В данный момент в базе существуют четыре роли. Врач может назначить две роли: пациента и врача (Рис. 1).

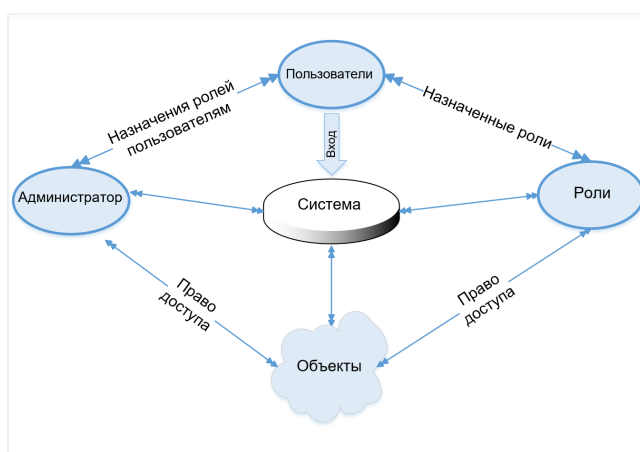


Рисунок 1. Назначения ролей

Медицинская подсистема (системы электронного документооборота) – позволяет хранить и передавать данные, получаемые с медицинских датчиков.

Данные в информационной системе (в базе данных) должны быть структурированы и организованы в соответствии с некоторой моделью, которая может адекватно отображать все возможные связи между объектами, субъектами их ролями (Рис. 2), актуальными в конечные промежутки времени.

Для начала следует описать модель. С помощью модели данных могут быть представлены объекты предметной области и взаимосвязи между ними. Наша информационная система содержит описания субъектов, объектов и ролей. В качестве субъектов будут рассматриваться пользователи информационной системы, которые прошли процедуру аутентификации. Объекты информационной системы приведены в таблице 1. Список возможных объектов может расширяться.

Каждый субъект информационной системы может играть одну или несколько ролей (см. Рис. 3).

Пояснение этих ролей приведено в Таблице 2.

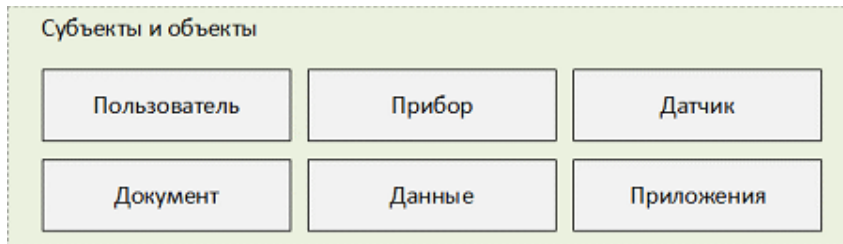


Рисунок 2. Субъекты и объекты модели

Таблица 1. Объекты информационной системы

Объект	Описание
Прибор	Группа датчиков
Датчик	Поставщик физических данных
Данные	Любые результаты, полученные с датчиков или другим способом
Приложение	Задачи, которые могут преобразовывать данные, создавая тем самым новые данные
Документ	Любые документы, порожденные внутри информационной системы. Документами являются врачебные заключения, рекомендации и пр.

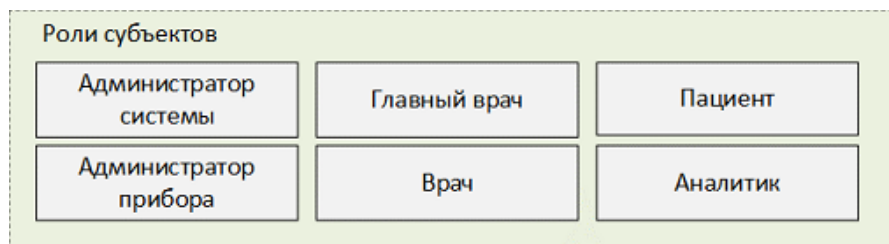


Рисунок 3. Роли субъектов

Права пользователей в информационной системе по доступу к данным должны определяться назначенными ролями и связями типа «субъект-объект». Следует обратить внимание, что назначенные роли или связи должны иметь жесткие временные рамки, например, роль врача назначается пользователю с такого-то по такой-то моменты времени, по такой же схеме должны назначаться связи между назначенными ролями, например, между ролями «врач-пациент» (см. Рис. 4).

Таблица 2. Роли субъектов информационной системы

Роль	Описание
Пользователь	Любой пользователь, прошедший процедуру аутентификации
Пациент	Пользователь, имеющий связи в приборами, врачами и т.п.
Врач	Пользователь, у которого есть привязанные к нему пациенты.
Главный врач	Пользователь, который может управлять всеми врачами и пациентами.
Администратор системы	Пользователь, который может управлять всем.
Администратор прибора	Пользователь, который может управлять прибором.
Аналитик	Пользователь, который может управлять приложениями.

Кроме упомянутых связей типа «субъект-роль» и «роль-роль» модель предполагает наличие связей «роль-объект», например, связи «пациент-прибор» или «врач-документ», а также связи «объект-объект», например, связи типа «прибор-датчик» (см. Рис.5).

Обсуждаемая модель может быть отображена на реляционную модель базы данных, представленную в виде таблиц и связей между ними (см. Рис.6.). Реляционная модель характеризуется простотой структур данных, удобным для пользователя табличным

представлением и возможностью использования формального аппарата алгебры отношений и реляционного исчисления для обработки данных.

В соответствии с описанной моделью доступ к данным (результатам измерений), например, пациента должен учитывать (см. Рис. 6):

- Связанные с пациентом приборы в требуемый интервал времени
- Связанные с приборами датчики
- Порожденные датчиками данные в требуемый интервал времени

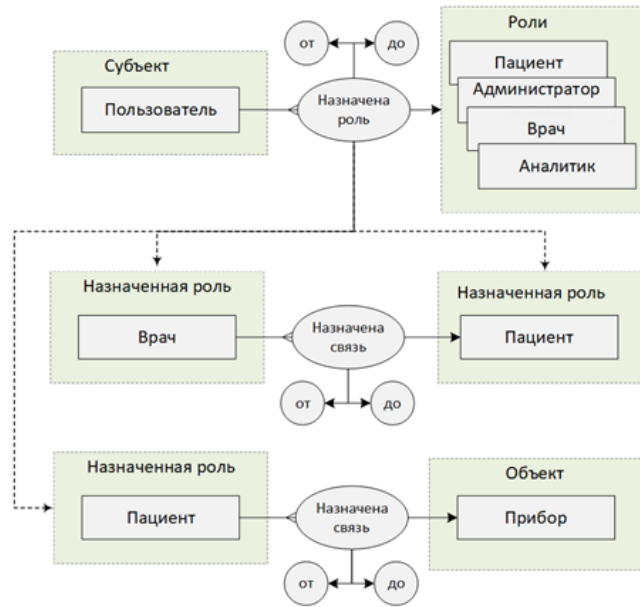


Рисунок 4. Связи «субъект-роль», «роль-роль», «роль-объект», действующие в конечные промежутки времени



Рисунок 5. Связи «объект-объект»

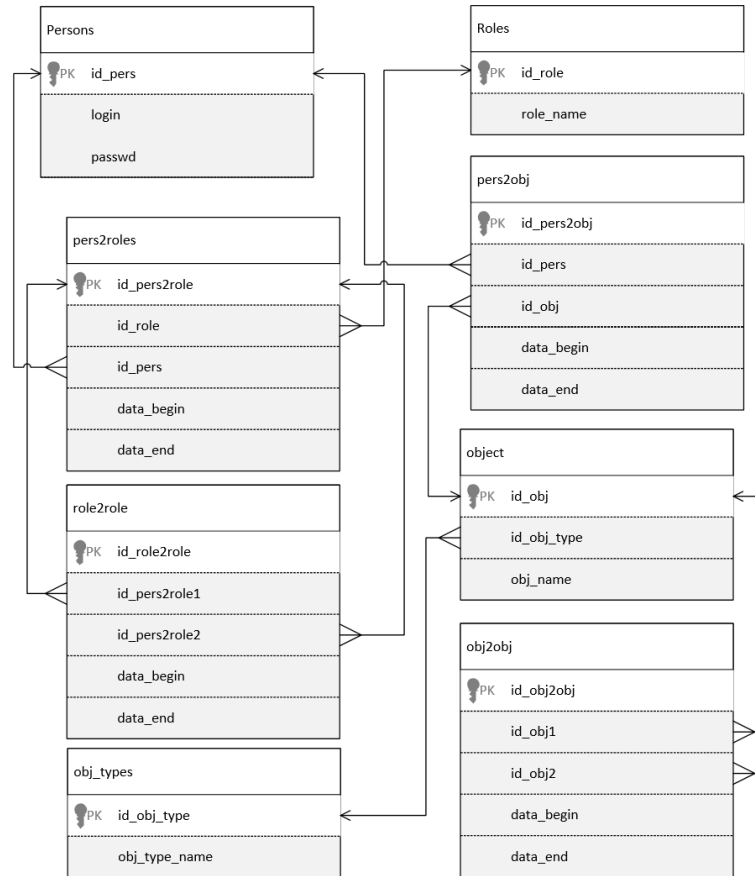


Рисунок 6. Модель базы данных (фрагмент)

Аналогично реализуется доступ и к другим объектам. При доступе к данным, отображенным на рис. 7, действуют правила, приведенные в Таблице 3.

Таблица 3. Роли и полномочия

Роль	Описание
Пользователь	Никаких прав не имеет.
Пациент	Может просматривать только объекты, связанные с ним, в перекрывающихся временных интервалах.
Врач	Может просматривать только объекты, связанные с назначенными ему пациентами, в перекрывающихся временных интервалах. Может назначать приборы своему пациенту.
Главный врач	Может просматривать только объекты, связанные со всеми пациентами, в перекрывающихся временных интервалах. Может назначать пациентов врачу.
Администратор системы	Может просматривать все объекты.
Администратор прибора	Может просматривать только объекты, связанные с назначенным ему прибором. Может назначать датчики своему прибору.

Аналитическая подсистема – обрабатывает данные полученные с датчиков и представляет их в виде графиков.

В PostgreSQL (свободная объектно-реляционная система управления базами данных) была создана реляционная база данных, состоящая из нескольких таблиц. В таблицах хранится основная информация, получаемая со специализированных медицинских датчиков (пульс, давление, и др.), а также любая информация, относящаяся к пациентам (документы в различных форматах, изображения, аудио и видео информация (см. рис.8)). Хранящаяся информация доступна через графические WEB интерфейсы в соответствии с правами пользователя.

В частности, поступающая с датчиков информация может быть представлена в том числе и в виде графиков.

Один из основной задачей является обработка и визуализация этих данных. Для этого была разработана программа в РНР, которая позволяет визуализировать информацию в виде масштабируемых графиков (см. рис.9).

Основной задачей создания прототипа ИС является обеспечение оперативного доступа к информации любому пользователю и специалисту данного учреждения с учетом прав доступа в определенном промежутке времени. Права доступа – совокупность правил, регламентирующих порядок и усло-

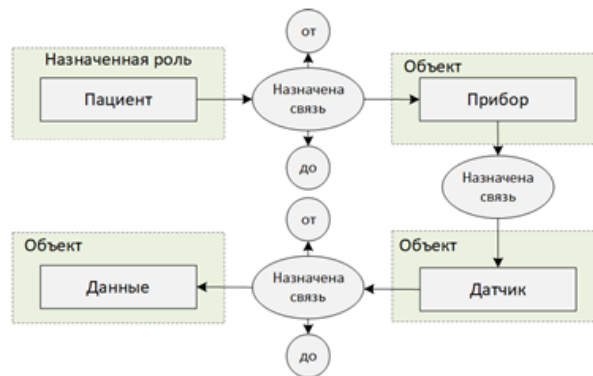


Рисунок 7. Доступ к данным пациента

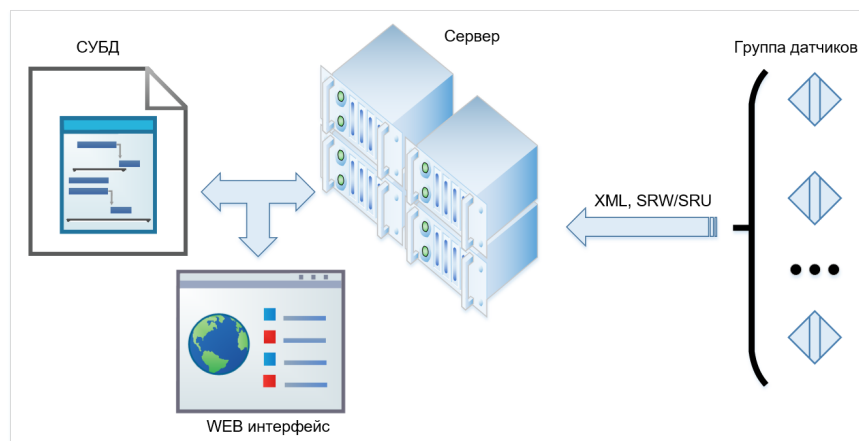


Рисунок 8. Хранения и визуализация данных

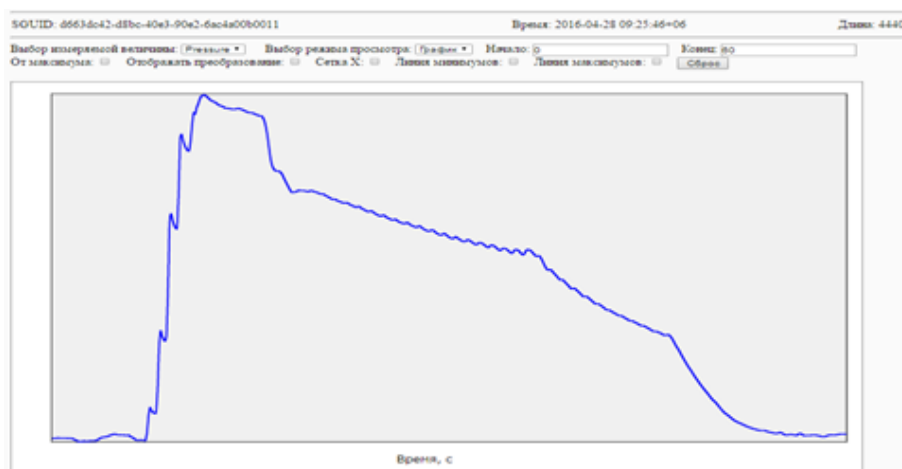


Рисунок 9. График измеряемого давления

вия доступа субъекта к объектам информационной системы, информации, носителям, процессам и другим ресурсам, установленных правовыми документами или собственником, владельцем информации. Права доступа определяют набор действий (например, просмотр, хранение, измерение), разрешенных для выполнения субъектам, пользователям системы над объектами данных.

Для эффективного решения задачи создания прототипа информационных систем необходимо комплексное рассмотрение всех упомянутых подсистем. Также следует отметить, что для создания прототипа современной ИС каждой из указанных в работе подсистем требуется проведение исследований и разработок по соответствующему направлению с учетом особенностей функциональных возможностей.

Разработка прототипа ИС ведется по заказу ИВТ СО РАН. Работы по расширению функциональных возможностей прототипа приложения продолжаются.

Список литературы

1. Гегерь Э.В. Информационные технологии в управлении качеством оказания медицинской помощи // «Современные наукоемкие технологии». – 2016. – № 2 (часть 1) – С. 9-12.
2. Адалбек А., Жижимов О.Л. Реализация модели авторизованного доступа к разнородным медицинским данным на основе конечных временных интервалов // XVI Российская конференция «Распределенные информационно - вычислительные ресурсы. Наука – цифровой экономике» (DICR-2017): Труды XVI Всероссийской конференции (4-7 декабря 2017 г.). Новосибирск / Под ред. О.Л. Жижимова, А.М. Федотова. - 2017. - Новосибирск: ИВТ СО РАН. - С.206-211. - ISBN: 978-5-905569-10-4.

3. Никульцев В.С., Стубарев В.М., Жижимов О.Л. Система мониторинга биометрических данных человека // «Индустриальные информационные системы» - ИИС-2015. Всероссийская конференция с международным участием (Новосибирск, 20-24 сентября 2015 г.): Сборник тезисов докладов / КТИ ВТ СО РАН. - 2015. - Новосибирск: КТИ ВТ СО РАН. - С.46-46.

ИТ-инфраструктура е-здравоохранения Республики Казахстан

С. Бельгинова, И. Увалиева, А. Исмухамедова

Восточно-Казахстанский государственный
технический университет им. Д. Серикбаева,
Усть-Каменогорск, Казахстан
saule.belginova@mail.ru

Аннотация В статье описана ИТ-инфраструктура реализации е-здравоохранения на основе разработки и внедрения стандартов, определяющих возможность реализации сервис ориентированной архитектуры. Данная ИТ-инфраструктура обеспечивает полную interoperability между информационными системами, участвующими в поддержке процессов здравоохранения. Особое внимание было уделено внедрению, использованию и особенностям единой информационной системы здравоохранения. Также описаны особенности архитектурных моделей и управления характерные для электронного здравоохранения Казахстана. Рассмотрены функционал и архитектура информационных систем е-здравоохранения; предлагаемая концептуальная функциональная архитектура е-здравоохранения; архитектура программно-аппаратных средств в е-здравоохранении

Ключевые слова: Е-здравоохранение, медицинская информационная система, архитектура информационной системы, инфраструктура, электронный паспорт здоровья

Введение

В современном мире одним из основных факторов, определяющих динамику социально-экономического развития любого государства, в том числе здравоохранения, является информатизация общества и активное внедрение информационно-коммуникационных технологии во все отрасли жизнедеятельности человека. Главная цель информатизации здравоохранения в целом может быть сформулирована следующим образом: создание новых информационных технологий на всех уровнях управления здравоохранением и новых медицинских компьютерных технологий, повышающих качество лечебно-профилактической помощи и способствующих реализации основной функции охраны здоровья населения – увеличению продолжительности активной жизни [1].

Как мы знаем, в медицинской отрасли производится и накапливается очень большой объем медицинских и статистических данных. Все эти данные, в какой-то степени используются врачами, медицинскими работниками, а так же управляющими органами в целях правильной организации и

улучшения качества медицинской помощи и поднятия общего уровня жизни населения. Поэтому от качественного использования медицинской информации в полной мере зависит не только здоровье населения, но и растет уровень развития страны в целом. Таким образом, актуальной является использование постоянно растущих больших объемов медицинских данных при решении диагностических, терапевтических, статистических и управленческих задач для развития электронного здравоохранения в Казахстане.

Предпосылками развития электронного здравоохранения в Республике Казахстан являются:

- 1) Государственная программа реформирования и развития здравоохранения на 2005-2010 г.
- 2) Кодекс РК «О здоровье народа и системе здравоохранения».
- 3) Государственная программа развития здравоохранения РК «Саламатты Қазақстан» на 2011-2015 годы, утвержденная в ноябре 2010 г.
- 4) Послание Президента РК Назарбаева Н.А. народу Казахстана от 14 декабря 2012 года «Стратегия «Казахстан-2050»: новый политический курс состоявшегося государства»
- 5) Государственная программа «Информационный Казахстан – 2020», утвержденная в январе 2013 г.
- 6) Концепция развития электронного здравоохранения РК на 2013-2020 г., утвержденная приказом в сентябре 2013 г. и дорожная карта.
- 7) Государственная программа развития здравоохранения РК «Денсаулық» на 2016 - 2019 годы, утвержденная в январе 2016 г.
- 8) Закон Республики Казахстан от 24 ноября 2015 года № 418-V «Об информатизации»
- 9) Проект Всемирного банка и Правительства РК «Передача технологий и проведение институциональной реформы в секторе здравоохранения Республики Казахстан

Список официально утвержденных нормативно-правовых актов, регулирующих развитие сферы электронного здравоохранения в Республике Казахстан; ряд важных медицинских автоматизированных систем, интегрированных в единую информационную систему здравоохранения изучена в работе [2]. Здесь проведен подробный обзор действующих автоматизированных информационных систем в медицинских организациях страны, при котором использованы методы системного и структурного-логического анализа, проведен SWOT анализ.

В рамках развития электронного здравоохранения в соответствии с утвержденной Концепцией развития электронного здравоохранения Республики Казахстан к концу 2010 в медицинскую сферу будут внедрены информационно-коммуникационные технологии повсеместно. Фокусом электронного здравоохранения будет формирование единого информационного пространства здравоохранения, в рамках которого все заинтересованные стороны, включая пациента, имеют доступ к необходимой информации, независимо от типа используемых информационных систем.

Развитие электронного здравоохранения в Казахстане

Одним из важнейших стратегических направлений развития системы здравоохранения является организация единого информационного пространства и его технологической инфраструктуры.

К сегодняшнему дню в казахстанском здравоохранении наблюдается переход к автоматизации обработки медицинской информации и ведения документооборота. Это предполагает повышение скорости обработки, тем самым улучшение качества обслуживания пациентов, облегчение работы врачебного и медицинского персонала.

В целях реализации электронного здравоохранения в Казахстане предполагается разработка и внедрение стандартов, которые дают возможность реализации сервис ориентированной архитектуры. Она в свою очередь обеспечит полную интероперабельность между информационными системами, участвующими в поддержке процессов здравоохранения. Т.е. данная архитектура позволяет системе взаимодействовать и функционировать с другими продуктами или системами без каких-либо ограничений доступа и реализации.

Сегодня в стране активно внедряется информационно-технологическая платформа, так называемая Единая Информационная Система Здравоохранения (ЕИСЗ), основной целью которой является создание информационной структуры здравоохранения Республики Казахстан, соответствующей уровню экономического, социального, технического, технологического развития общества и обеспечивающей рациональное использование ресурсов здравоохранения при более качественном предоставлении медицинских услуг населению [3].

Создание ЕИСЗ предполагает выполнение ряда задач, основанных на разработке и внедрении единых стандартов обмена медицинскими данными, применении единой системы идентификации объектов учета и субъектов информационного взаимодействия в здравоохранении; а также централизованного ведения и открытого доступа к базе данных единых классификаторов, справочников и нормативов, в том числе к базе данных стандартов медицинской помощи, протоколов ведения больных, государственным реестрам лекарственных средств и изделий медицинского назначения [4].

В рамках Государственной программы развития здравоохранения Республики Казахстан «Денсаулық» на 2016-2020 годы будет продолжено развитие единой национальной информационной системы здравоохранения (далее – ЕИСЗ) в части разработки единых стандартов, технологических спецификаций и характеристик различных информационных систем по требуемому функционалу.

Ясно, что задача формирования ЕИСЗ может быть решено только на государственном уровне и только за много лет. В то же время, технологические предпосылки ее решения уже существуют. Две частные информационные технологии (помимо многих других компонентов), получившие значительное развитие в последние годы, являются базисными для решения этой задачи: телемедицина и медицинские информационные системы [5]. К

концу 2018 года предполагается формирование необходимых программно-аппаратных средств для внедрения Электронного паспорта здоровья (далее – ЭПЗ), единого хранилища аналитических данных здравоохранения, интеграционной шины, инструментов ведения единых классификаторов, справочников и регистров.

ЭПЗ станет центральным звеном, обеспечивающим взаимодействие медицинских информационных систем и поставщиков медицинских услуг за счет реализации стандартизированной модели медицинской информации. При этом будут предусмотрены механизмы информационной безопасности и защиты персональных и конфиденциальных данных.

Большинство медицинских учреждений в настоящее время развивают среду, используя медицинские информационные технологии, за счет внедрения интегрированного доступа к клинической информации. Здесь информационные технологии и их инструменты помогают по административным и финансовым вопросам, в научных исследованиях, в автоматизации делопроизводства, а так же помогает пациентам. В основе этих эволюционирующих интегрированных сред лежит доступная, конфиденциальная, безопасная и интегрированная электронная медицинская карта [6-9].

Информационные системы здравоохранения: архитектурные модели и управление

С функциональной точки зрения, электронное здравоохранение Казахстана поддерживает три основных уровня системы здравоохранения:

Централизованное управление на национальном и региональном уровнях: сюда входят возможности централизованного планирования, управление ресурсами, определение правил и процедур, которым надлежит следовать, общий контроль над финансовой деятельностью, контроль над качеством и безопасностью.

Первичная медико-санитарная помощь: этот уровень включает все системы, которые поддерживают услуги, предоставляемые гражданам на всей национальной или региональной территории. Она включает в себя все поставщики услуг, такие как врачи общей практики, местные обычаи и т. д.

Вторичное медицинское обслуживание: этот уровень относится главным образом к системам, которые поддерживают процессы здравоохранения среди поставщиков медицинских услуг.

Эти три уровня обычно взаимосвязаны только в отношении административных и учетных потоков, но потенциальный обмен данными между различными слоями делает ИКТ важными как для обмена, так и для обработки больших наборов клинических данных. Эти данные дают огромный потенциал для будущего развития здравоохранения. По сути, решения на базе ИКТ, которые в настоящее время присутствуют в отрасли здравоохранения, имеют возможность не только упростить отношения между пациентами и врачами, улучшающих общую эффективность медицинских услуг, - но также позволяют лучше контролировать всю систему здравоохранения.

Функционал и архитектура информационных систем е-здравоохранения, а так же потребность в стандартизации определяется информационной моделью ЭМЗ (Электронная Медицинская Запись) /ЭПЗ (Электронный Паспорт Здоровья) (рисунок 1).



Рисунок 1. Общая схема реализации и развития е-здравоохранения.

Создание электронного здравоохранения основано на следующих основополагающих направлениях:

- оцифровка информационных потоков на национальном и региональном уровнях;
- разработка национальной, а также региональной карты социального страхования;
- наличие интеграционной шины и единого репозитория, который обеспечивает централизованное хранение медицинских и немедицинских данных здравоохранения, в том числе электронных паспортов здоровья каждого гражданина Республики Казахстан (рисунок 2);
- развитие региональной инфраструктуры, поддерживающей онлайн-услуги для граждан;
- развитие сильного набора взаимосвязей между поставщиками медицинских услуг (вторичная помощь) и врачей общей практики (первичная медико-санитарная помощь);
- создание региональной электронной записи о здоровье, которая впоследствии будет интегрирована на национальном уровне;
- оцифровка процессов предоставления услуг при вторичной помощи.

Среди других приоритетных направлений е-здравоохранения, Государственной программой «Информационный Казахстан – 2020» отмечены следующие:

- создание единой базы лекарственных препаратов;
- создание электронной системы медицинских назначений и рецептов;



Рисунок 2. Предлагаемая концептуальная функциональная архитектура электронного здравоохранения.

- внедрение системы телемедицинских браслетов для мониторинга состояния здоровья;
- автоматизация служб скорой помощи;
- создание базы данных научной и медицинской информации [3].

Приоритетное внедрение информационных систем и электронных услуг позволит решать самые острые потребности в улучшении медицинских услуг в РК и будет иметь ощутимое воздействие на здравоохранение в целом.

Техническая архитектура является архитектурой инфраструктуры аппаратного и программного обеспечения, которая обеспечивает работу прикладных систем и выполнение операционных (нефункциональных) требований, предъявляемых к архитектуре прикладных систем и информации.

В настоящее время, архитектура е-здравоохранения содержит два типа информационных систем и приложений. Первая часть разработана по принципу клиент-серверных настольных приложений. При использовании данных систем предполагается, что все МО имеют сервера в пределах самого предприятия, и все пользователи работают с системами по локальной сети от своих рабочих станций. В течение ночи, все данные, которые обновлись в течение дня, отправляются с локального сервера наверх (на уровень области для обеспечения резервного копирования данных), где происходит синхронизация данных, а вниз передаются возможные изменения в справочниках, в структурах данных и в кодах ПО. Обмен оперативной информацией, необходимой для процесса оказания медицинской помощи, между централизованными системами и узлами систем ЕИСЗ осуществляется посредством обращения к сервисам путем обмена сообщениями через транспортную среду. Вторая часть приложений разработана на веб-технологиях,

в которых пользователи посредством веб-браузеров обращаются напрямую в центральный ЦОД МЗ РК, где размещены веб-сервера, приложения и базы данных.

В будущем предполагается переход на облачные технологии. Рассматривается наличие резервного центра обработки медицинских данных (ЦОД) и канала связи. В данной архитектуре существует две категории медицинских организаций: 1) работающие в облаке, и 2) работающие с локальным сервером, причем в начале большинство организаций будет из второй категории (рисунок 3).

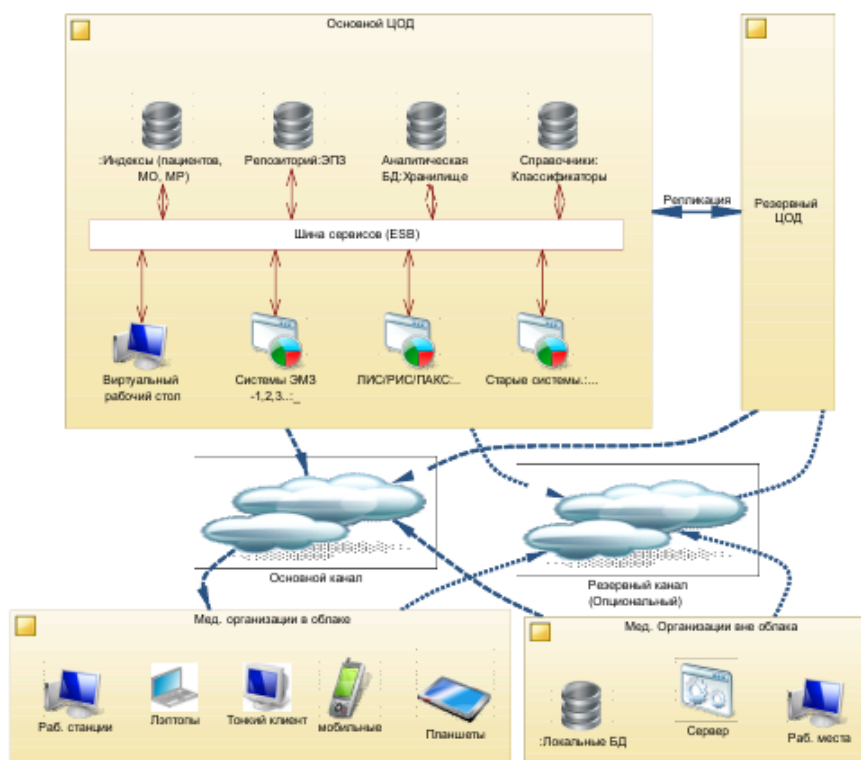


Рисунок 3. Архитектура программно-аппаратных средств в е-здравоохранении.

Внутри ЦОД, будут храниться все БД, среди которых выделены основные:

- Индекс пациентов (РМІ), который содержит основные идентификационные данные каждого пациента (при этом персональные данные будут храниться в зашифрованном виде в БД), демографию и другие основные данные;
- Электронный паспорт здоровья, в котором хранятся основные медицинские данные каждого пациента;

- Специализированные БД отдельных ЭМЗ и веб-приложений, а также централизованных информационных систем, работающих в облаке;
- Хранилище данных для статистических вычислений.

На серверах ЦОД будут обрабатываться как существующие системы (централизованная база данных от локальных систем и веб-приложения), так и ПО для работы виртуальных рабочих столов и новые системы (ЭПЗ, ИС Поликлиника, ИС Стационар, ИС Скорая помощь) и др.

Сейчас все большее распространение получает сервис «Программное обеспечение как услуга» (SaaS). Следовательно, становятся все более популярными службы «облачных» вычислений. Часто они даже полностью вытесняют локальные системы и хранилища данных. Предполагается, что такие системы могут полагаться исключительно на службы SaaS и предоставлять все необходимые функции через тонкие клиенты, которые представляют собой сочетание недорого аппаратного обеспечения, операционной системы и веб-браузера. Хотя такой подход может быть в некоторых случаях рациональным, он не может быть универсальным, поскольку таким образом невозможно обеспечить удобство использования, полную интеграцию с производительными настольными системами, а также возможность работы в автономном режиме (без подключения к Интернету). Поэтому, считается целесообразным применять расширенный подход «программные продукты и интернет-службы» (S+S) [9].

Заключение

В этой статье представлены актуальность процесса развития административных и клинических информационных систем в медицинской сфере Республики Казахстан. Особое внимание было уделено внедрению, использованию и особенностям единой информационной системы здравоохранения. Также описаны особенности архитектурных моделей и управления характерные для электронного здравоохранения Казахстана. Рассмотрены функционал и архитектура информационных систем е-здравоохранения; предлагаемая концептуальная функциональная архитектура е-здравоохранения; архитектура программно-аппаратных средств в е-здравоохранении.

Список литературы

1. Назаренко, Г.И., Гулиев, Я.И., Ермаков Д.Е., Осипова Г.С. Медицинские информационные системы: теория и практика. М., (2005)
2. Шопабаева, А.Р., Блатов, Р.М., Сыдыков К.С., Жакипбеков К.С., Елшибекова К.М.: Информационно-коммуникационные технологии в системе здравоохранения Республики Казахстан: проблемы и перспективы развития. Вестник Казахского Национального медицинского университета. № 1, 769–775 (2016)
3. Концепция развития электронного здравоохранения Республики Казахстан на 2013-2020 годы (2013)
4. Кузнецов, П.П., Столбцов, А.П.: Современные информационные технологии и развитие здравоохранения. Медицинский альманах. № 3, 195–197 (2008)

5. Шифрин, М.А.: Создание единой информационной среды здравоохранения — миссия медицинской информатики. Врач и информационные технологии, № 1, 18-21 (2004)
6. Увалиева, И.М., Бельгинова, С.А.: Development of the conceptual model of the diagnostic object in the medical diagnosis system. Алматы. Вестник КазННТУ, № 5. 69-74 (2017)
7. Увалиева, И., Бельгинова, С.: Концепция электронного здравоохранения Республики Казахстан. / EUROPEAN RESEARCH: сборник статей XI Международной научно-практической конференции, С 65-69. МЦНС «Наука и Просвещение», Пенза (2017)
8. Увалиева, И., Бельгинова, С., Исмухамедова, А.: Анализ систем поддержки принятых решений в медицине. ADVANCED SCIENCE: сборник статей Международной научно-практической конференции. В 3 ч. Ч. 1, С 99-101. МЦНС «Наука и Просвещение», Пенза (2017)
9. Бельгинова, С., Увалиева, И., Исмухамедова, А.: Применение методов поддержки принятия решений для постановки медицинского диагноза. Вестник Шакарима, № 2 (2018)
10. Методология построения интегрированных медицинских информационных систем. Издание второе. Корпорация Microsoft. (2009)

Построение индивидуализированной математической модели позвоночника по рентгеновским снимкам

И. Григорьева¹, Г. Колпинский², А. Тоцкий¹, А. Сечкарев¹, Р. Фролов¹

¹ Кемеровский государственный университет,
Кемерово, Россия
igriva@list.ru

² Кемеровский государственный медицинский университет,
Кемерово, Россия

Аннотация В работе представлен подход к построению индивидуализированной модели позвоночника на основе рентгеновских снимков в проекциях. Модель учитывает размеры, наклон, повороты и положение позвонков относительно друг друга и дополнена описанием сколиотической кривой. В работе представлены основные этапы построения модели. Для определения позвоночника на рентгеновских снимках используется нейронная сеть U-Net, описан подбор параметров и архитектуры сети, а также подготовка изображений для распознавания, приводятся результаты распознавания. Определение контура позвонков выполняется с использованием метода настраиваемых фильтров. На основе вычислений строится 3d-модель позвоночника и сколиотическая кривая.

Ключевые слова: Позвоночник, сколиотическая кривая, рентгеновский снимок, нейронная сеть, U-Net, метод настраиваемых контуров, машинное обучение

Введение

Рентгенография занимает важную роль в визуальном диагностировании заболеваний костно-мышечной системы человека, она также является наиболее доступным средством исследования и чаще всего назначается детям при первичной диагностике сколиоза. Целью данной работы является построение индивидуализированной математической модели позвоночника на базе рентгеновских снимков в проекциях для определения типа и степени сколиоза у детей. Позвоночник является несущим элементом скелета человека, состоящим из 32-34 позвонков разделенных на 5 отделов: шейный из 7 позвонков, грудной из 12 позвонков, поясничный из 5 позвонков, крестцовый из 3 позвонков и копчиковый из 3-5 позвонков. Между телами позвонков располагаются хрящевые прослойки – межпозвоночные диски. Позвоночник можно рассматривать как кинематическую цепь, звеньями которой являются позвонки и межпозвоночные диски. Модель позвоночника формируется

из описаний позвонков и межпозвоночных дисков, но при формировании модели на основе рентгеновских снимков информация о межпозвоночных дисках недоступна. Поэтому в данном случае модель включает только характеристики позвонков: размеры, углы наклона, смещение тел позвонков относительно друг друга, углы между телами позвонков [2]. Все параметры вычисляются в сагитальной и фронтальной плоскостях. В данной работе строится трехмерная графическая интерпретация модели позвоночника, представленная в виде упрощенного представления позвонков, на основе значений описанных параметров. В дальнейшем эта модель будет использоваться для определения вида и степени сколиоза, а также для вычисления нагрузок на деформированный позвоночный столб методами математического моделирования с целью определения корректирующих воздействий. При математическом моделировании позвоночника часто представляется в виде гибкого стержня, в данной работе сколиотическая дуга представляется в виде неоднородного рационального В-сплайна, который является дополнением к трехмерной графической интерпретации.

В дальнейшем графическая интерпретация будет использоваться для определения типа и степени сколиоза. В настоящее время стандартным методом измерения угла и степени искривления в международной практике является метод Кобба. Этот метод имеет ряд существенных недостатков [1]. Он отражает искривление только в одной плоскости и не учитывает ротацию, поэтому он не может точно описать пространственную деформацию. На точность угла измерения часто влияют такие факторы, как выбор позвонков, по которым производятся измерения, а также качество изображения. У разных клиницистов результаты измерений, выполненных по одному и тому же снимку, могут сильно различаться. Поэтому необходимо построение математических методов для проведения надежных количественных оценок сколиоза.

Рентгеновский снимок является достаточно сложным объектом исследования, так как на нем отображаются все кости, попавшие в область снимка. Изображения этих костей, например ребер, тазовых костей, костей рук в боковой проекции могут накладываться на изображения позвоночника, создавая существенные препятствия для его распознавания. Позвоночник имеет ту же яркость на снимке как и экранирующие его кости, что создает дополнительные трудности. Кроме того, на снимках могут отображаться различные метки и металлические элементы одежды. Отдельные зоны снимков могут быть засвечены. Поэтому первичная задача при построении модели позвоночника - определение расположения позвоночного столба и выделение отдельных позвонков.

Для решения таких задач все чаще применяются методы машинного обучения, которые пригодны для работы с сильно зашумленными данными. Большинство работ по распознаванию позвоночника посвящено анализу изображений компьютерной томографии (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ). Эти изображения послойные, более детальные и содержат существенно меньше шумов. Работы [13], [12] посвящены использова-

нию нейронных сетей для распознавания медицинских изображений КТ и МРТ. В них описывается специальная архитектура искусственных нейронных сетей известная как сверточная нейронная сеть ConvNet для поиска повреждений позвоночника. В работе [8] сверточную нейронную сеть в сочетании с операторами Собеля применили для поиска травм позвоночника на снимках КТ. В [7] описывается модель сверточной сети - U-Net, которая применяется для сегментации изображений. Есть незначительное количество работ, посвященных исследованию рентгеновских снимков. Работа [6] посвящена автоматическому распознаванию позвонков. Метод, предложенный в работе, автоматически вычисляет контуры позвонков. Ключевые точки, которые могут быть углами этих контуров, обнаруживаются путем построения SIFT-дескрипторов, после чего обучается модель на основе метода опорных векторов. Работа [14] посвящена использованию сверточной нейронной сети с дополнительными слоями бустинга для анализа рентгеновских снимков. Ряд работ посвящен определению типа и степени сколиоза. В работе [11] угол Кобба вычисляется по рентгеновским снимкам с использованием структурированной векторной регрессии. В статье [3] описан комбинированный фильтр для выявления особенностей позвонков, представляющий собой комбинацию анизотропных, сигма и дифференциальный фильтров. После применения метода дифференциального выделения границ для нахождения контуров позвонков на отфильтрованном изображении, в работе также применяется метод Кобба для определения степени сколиоза.

Основные этапы построения модели

Построение пространственной модели позвоночника – сложный многоэтапный процесс, его диаграмма последовательности представлена на рисунке 1. Исходное изображение поступает в модуль предобработки, который выполняет масштабирование изображения, переводит цветное изображение в оттенки серого и увеличивает его контрастность. Результат сохраняется в файле, который служит входными данными для модуля распознавания. Модуль распознавания определяет положение и форму позвонков в проекциях, используя обученную сеть U-Net. Результатом работы этого модуля также является файл с распознанным изображением позвоночника, который, в свою очередь, поступает на вход модуля разметки. Этот модуль размечает контуры позвонков во фронтальной и сагитальной проекциях. Результатом работы модуля является проект в формате GiD-ascii с описанием геометрии, представленной описанием позвонков в проекциях, который при необходимости может быть доразмечен в GiD и сохранен повторно. GiD представляет собой препроцессор и постпроцессор для задач численного моделирования и компьютерной обработки данных и подходит для решения данной задачи, так как имеет удобный графический интерфейс для доразметки и дальнейшей визуализации 3d-модели в постпроцессоре, кроме того позволяет вызывать различные модули обработки из интерфейса приложения, для этого необходимо создать тип задачи. Для построения 3d-модели вызывается со-

ответствующий модуль, который на основе разметки по плоскостям строит трехмерную графическую модель и пространственную сколиотическую кривую. Все модули, упомянутые в диаграмме, реализованы на языке Python с использованием библиотек Pandas, Keras, Cv2. В дальнейшем планируется перейти от полуавтоматического режима распознавания позвоночника, предусматривающего этап доразметки, к полностью автоматическому за счет повышения качества распознавания, а также разработка собственного приложения для работы с графической трехмерной моделью позвоночника.

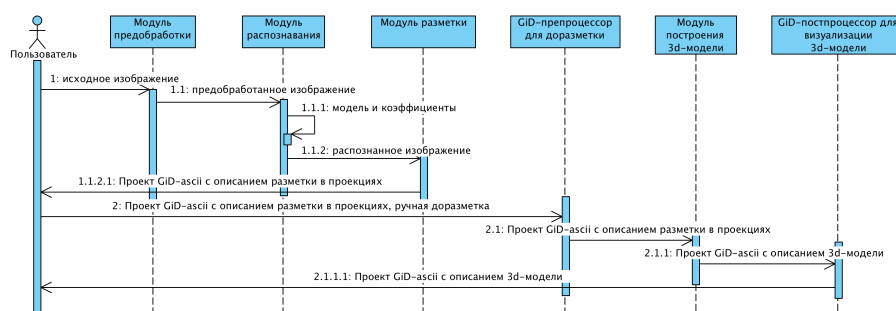


Рисунок 1. Диаграмма последовательности построения модели позвоночника по рентгеновским снимкам.

Распознавание позвоночника

Сети U-Net получили распространение в последние годы и широко применяются для анализа медицинских изображений [7], [14]. Пример архитектуры сети представлен на рисунке 2. Идея этих сетей явилась продолжением сверточных нейронных сетей используемых для классификации изображений ConvNet. В сверточных сетях при прямом ходе изображение сворачивается по размеру но увеличивается по глубине. Под изображением в данном случае понимается трехмерный массив $n \times m \times k$, где n и m –исходные размеры изображения, k обозначает глубину и для исходного изображения равно 1. Хотя исходный снимок представлен цветным четырехканальным изображением, в котором во всех точках значения красного, синего и зеленого цветов совпадают, такое изображение без потери качества преобразуется к оттенкам серого в диапазоне $[0,1]$, поэтому исходное изображение имеет глубину $k = 1$. Нейросеть U-Net является нелинейной сверточной сетью состоящей из чередующихся слоев свертки, пулинга, и обратной свертки. Отличительная особенность U-Net состоит в том, что в данной сети при прямом ходе изображение сворачивается по размеру, но увеличивается по глубине, после чего в сверточных сетях предназначенных для классификации располагается полносвязный слой, выполняющий классификацию. В U-Net полно-

связный слой не включается, вместо этого на обратном ходе сети происходит обратное развертывание изображения с одновременным уменьшением количества слоев по глубине. На прямом ходе сети исходное изображение увеличивается по глубине достигая в разных вариантах сети значений 256, 512 и 1024, на обратном ходе изображение постепенно восстанавливается до исходного размера и количество слоев по глубине уменьшается до одно. Сверточные нейронные сети учитывают при построении архитектуры тот факт, что входные данные являются изображениями, поэтому слои свертки имеют нейроны, расположенные в трех измерениях: ширина, высота, глубина. На рисунке 2 изображения представлены прямоугольниками, слева от которых указан текущий пространственный размер, а сверху глубина. Слой свертки просматривает изображение в ограниченном поле, применяя к нему обучаемый фильтр. При перемещении фильтра по всему пространству входного объема создается двумерная карта активации, которая становится выходом слоя свертки. На рисунке слои свертки помечены стрелками conv. Слои свертки формируют на основе исходного изображения несколько слоев размера $n \times m$, которые выстраиваются по третьему измерению. При этом за счет выбора параметров слоя размер изображения $n \times m$ при прохождении через слой свертки не меняется. В разных вариантах сети на начальном этапе формируется от 16 до 32 двух таких слоев. На следующих слоях свертки количество слоев по глубине каждый раз удваивается. После нескольких слоев свертки располагается слой пуллинга, его функция заключается в постепенном уменьшении пространственного размера изображения. Слой пуллинга работает независимо на каждом фрагменте глубины ввода и изменяет его пространственно, используя операцию нахождения максимума или среднего в поле размером 2×2 , на рисунке такие слои помечены стрелками max pool 2×2 .

На обратном ходе происходит развертывание изображения с использованием чередующихся слоев пуллинга и обратной свертки. Слои обратной свертки выполняют действие, обратное прямой свертке, на рисунке они помечены стрелками up-conv. Соотношения, связывающие размер фильтров, полей и шага фильтра для слоев свертки и обратной свертки, описаны в [5]. Результатом работы сети является изображение, содержащее искомые объекты. Архитектура сети является нелинейной, так как ряд слоев использует не только изображение - результат предыдущего слоя, но и результат вычислений одного из более ранних слоев, которое склеивается с изображением предыдущего слоя по третьему измерению и таким образом формируются дополнительные слои по глубине. На рисунке эти действия помечены горизонтальными стрелками coru and cor. Последний сверточный слой использует другую функцию активации и выполняет свертку изображения к исходному размеру по глубине.

В работе протестированы различные варианты архитектуры сети, а также различные значения параметров U-Net. В данной работе при описании архитектуры сети указывается количество слоев на первом и последнем сверточном слое, например 32-254. Так как обучение одного варианта се-

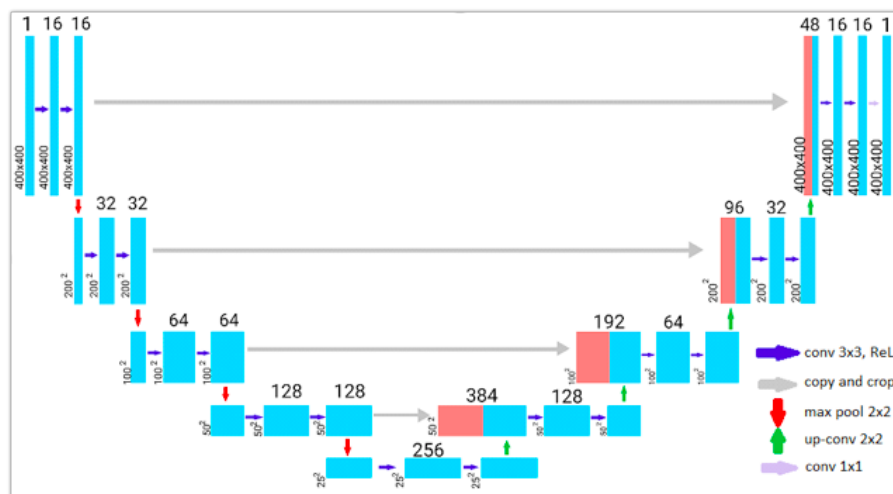


Рисунок 2. Архитектура сети U-Net.

ти требует существенных вычислительных затрат, то на первом этапе осуществляется выбор оптимальных параметров на сети 16-256, после чего выбранные оптимальные параметры использовались для выбора оптимальной архитектуры сети. Значения параметров для тестирования отбирались на основе анализа работ, посвященных распознаванию изображений с использованием нейросетей ConvNet и U-Net для распознавания и классификации изображений. Рассматривались следующие параметры: функция активации сверточного слоя, функция активации выходного слоя, функция потерь. В таблице 1 приведены результаты распознавания тестовых образцов после 800 эпох. Тестирование проводилось методом кросс-валидации с отношением обучающего и тестового подмножеств 80% и 20% процентов соответственно. В таблице приводятся средние значения по 5 наборам для кросс-валидации. Для оценки сходства тестовых изображений с ответами использовалась метрика SSIM, предназначенная для оценки сходства изображений. Сети с параметрами, представленные в строках таблицы 2, 4, 5 и 6 продемонстрировали слабую обобщающую способность. Сети с параметрами представленными в строках 1, 3 и 7 показали хорошую обобщающую способность с минимальным сходством изображений не менее 0.8 и было решено опробовать различные варианты архитектур для седьмого варианта, так как его средняя точность оказалась выше чем у других.

В таблице 2 приведены замеры точности различных архитектур сети. Архитектура 32 -> 1024 оказалась наиболее точной благодаря большому числу сверток. Вычисления с использованием этой архитектуры связаны с существенными вычислительными затратами, поэтому вычисления проводились с использованием параллельного варианта библиотеки TensorFlow на GPU-

Таблица 1. Варианты сочетаний параметров сети.

N	Функция активации	Функция потерь	Функция активации выходного слоя	$SSIM_{min}$	$SSIM_{avr}$
1	relu	dice_coef	sigmoid	0.8102	0.8837
2	relu	dice_coef	softmax	0.1267	0.1420
3	relu	jaccard_coef	sigmoid	0.8267	0.8902
4	relu	jaccard_coef	softmax	0.1267	0.1420
5	selu	dice_coef	sigmoid	0.1267	0.1420
6	selu	dice_coef	softmax	0.1267	0.1420
7	selu	jaccard_coef	sigmoid	0.8086	0.8936
8	selu	jaccard_coef	softmax	0.1267	0.1420

сервере с видеокартой Nvidia Tesla P100 Центра коллективного пользования научным оборудованием Кемеровского государственного университета.

Таблица 2. Точность распознавания для различных вариантов архитектуры.

Архитектура	$SSIM_{min}$	$SSIM_{avr}$
16 -> 256	0.6456	0.7023
32 -> 512	0.8612	0.8974
16 -> 512	0.7353	0.7602
32 -> 1024	0.9487	0.9734

Определенные трудности при распознавании позвоночника были связаны с низкой контрастностью позвонков на снимках, трудоемкостью разметки большого количества рентгеновских снимков а также необходимостью подбора способов предварительной обработки снимков. Поэтому набор данных из 1000 изображений для кросс-валидации при подборе оптимального варианта сети был сгенерирован из изображений, сходных с изображениями позвоночника, на основе свободно распространяемой базы изображений с ответами. Объекты распознавания на этих изображениях располагаются в центральной части снимка на зашумленном фоне, так же как на фронтальной проекции позвоночника.

Для обучения сети распознаванию позвоночника использовались 600 изображений, полученных из 100 исходных изображений позвоночника путем отображения относительно центра вертикальной оси и наложения различных случайных искажений. Обучение проводилось в 2 вариантах: с исходных коэффициентов, полученных при обучении сети на базе сходных изображений; со случайных начальных коэффициентов. Использование коэффициентов, полученных при распознавании других сходных с позвоночниками

изображений, использует опыт ряда исследований по использованию предобученных сетей, описанный, например, в [10]. На рисунке 3 представлен пример распознавания тестового изображения, не использовавшегося при обучении, но с известным ответом. Значения метрики SSIM для результатов распознавания полученными с использованием разных коэффициентов имеют близкие значения, но сами изображения заметно различаются. Изображение, полученное с использованием сети с использованием предобученных коэффициентов, точнее повторяет контуры размеченного ответа.

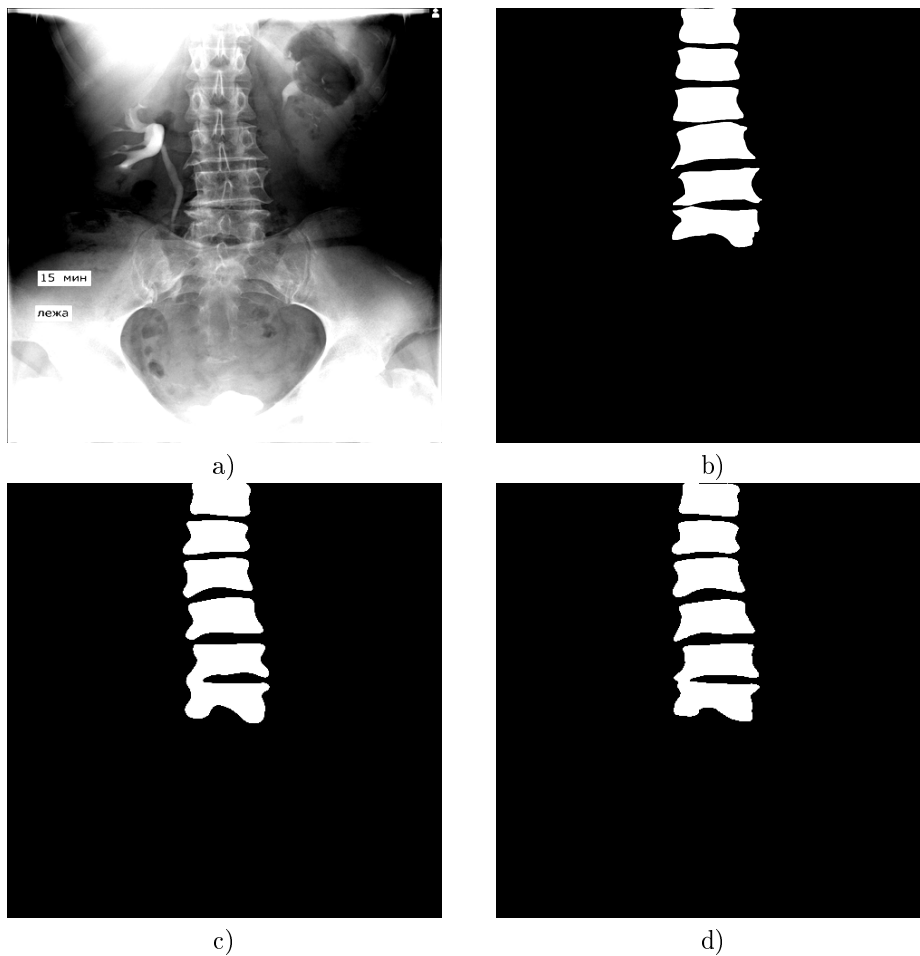


Рисунок 3. Результаты распознавания изображения: а) рентгеновский снимок во фронтальной проекции, б) ручная разметка снимка, в) результат распознавания на основе случайных коэффициентов $SSIM = 0.9583$, д) результат распознавания на основе предобученных коэффициентов $SSIM = 0.9620$.

Разметка изображения и формирование 3d-модели

В настоящее время ведется разработка модуля разметки распознанного изображения. Основной задачей этого модуля является вычисление контуров позвонков. По вычисленному контуру вычисляются угловые точки и центры позвонков. Определение очертаний позвонков в проекциях позволяет вычислить размеры позвонков, их углы наклона, положение относительно друг друга. Более сложным параметром для исследования является угол поворота позвонка. Описан целый ряд различных методов построения контуров, среди них метод активных контуров [4], метод настраиваемых фильтров [3] и модели заряженных частиц [9]. В данной работе был выбран подход, использующий идею метода настраиваемых фильтров, на основе фильтров Собеля.

Метод построения 3d-модели формирует визуальную интерпретацию в форматах GiD-ascii и Texplot. Результаты работы этого модуля представлены на рисунке 4. Так как модуль разметки находится в стадии разработки, то представленная на рисунке модель является тестовой и получена по разметке изображения позвоночника вручную. Тестовое изображение также представлено на рисунке 4.

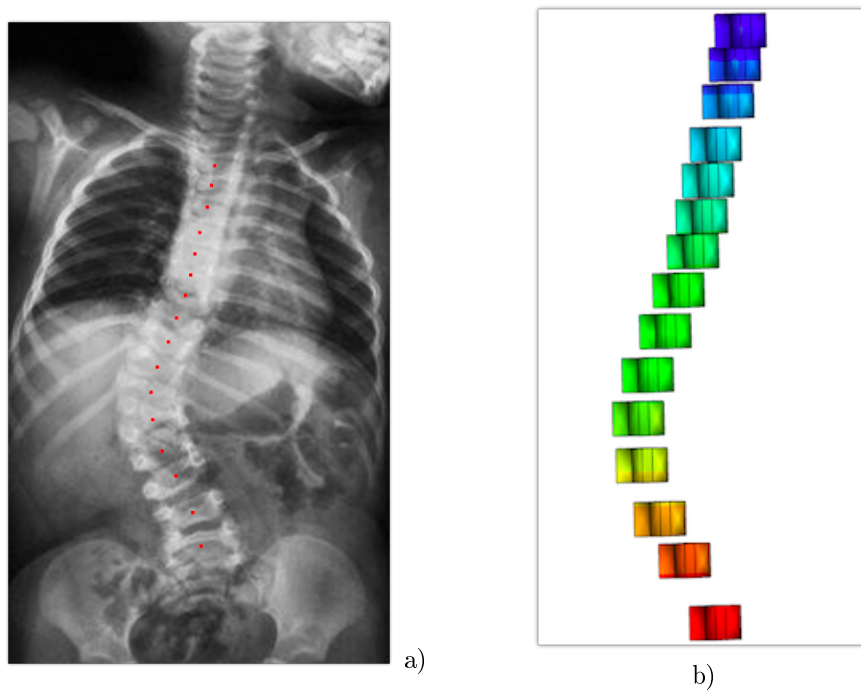


Рисунок 4. 3d-модель позвоночника: а) рентгеновский снимок во фронтальной проекции, б) 3d-модель.

Заключение

В данной работе представлен подход к построению индивидуализированной модели позвоночника на основе рентгеновских снимков в проекциях. Модель учитывает размеры, наклон, повороты и положение позвонков относительно друг друга и дополнена описанием сколиотической кривой, представленной неоднородным рациональным B-сплайном.

Для распознавания рентгеновских снимков используется нейронная сеть U-Net. В работе описан подбор параметров и архитектуры сети, а также подготовка изображений для распознавания. Сеть была успешно обучена, продемонстрировала приемлемую обобщающую способность на снимках фронтальной проекции. Обучение сети распознаванию снимков в сагиттальной проекции потребует формирования нового обучающего множества.

В настоящее время разрабатывается модуль разметки изображений полученных в результате распознавания, а также доработка модуля построения 3d-модели.

Полученный в результате данной работы программный комплекс будет использоваться в медицинских учреждениях г. Кемерово для анализа рентгеновских снимков, определения типа и степени сколиоза у детей.

Работа поддержана внутриуниверситетским грантом "Математическое моделирование индивидуализации лечения сколиоза позвоночника"

Список литературы

1. Бакланов А.Н., Колесов С.В., Шавырин И.А. Сравнительный анализ результатов лечения пациентов с тяжелыми деформациями позвоночника при использовании винтовых и гибридных металлоконструкций. Травматология и ортопедия России. 2014;(1):34-43.
2. Гладков А.В., Сивец Ю.В., Авдеева К.Ю. Новые подходы в использовании математического аппарата в построении трехмерной модели позвоночника. Хирургия позвоночника. 2005;(1):100-104.
3. Anitha, H., Karunakar, A.K., Dinesh, K.V.N. Biomed. Eng. Lett. (2014) 4: 158. <https://doi.org/10.1007/s13534-014-0129-z>
4. Anitha, H., Prabhu, G.: Automatic quantification of spinal curvature in scoliotic radiograph using image processing. J. Med. Syst. 36(3), 1943–1951 (2012)
5. Dumoulin, V., Visin, F., A guide to convolution arithmetic for deep learning, March 24, 2016, <https://arxiv.org/pdf/1603.07285v1.pdf>
6. Lecron, F., Benjelloun, M., Mahmoudi, S., Fully automatic vertebra detection in x-ray images based on multi-class SVM. In: Proc. SPIE 8314, Medical Imaging 2012: Image Processing, 83142D (14 February 2012)
7. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. (2015) U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. In: Navab N., Hornegger J., Wells W., Frangi A. (eds) Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015. Lecture Notes in Computer Science, vol 9351. Springer, Cham
8. Roth, H.R., Wang, Y., Yao, J., Lu, L., Burns, J.E., Summers, R.M.: Deep convolutional networks for automated detection of posterior-element fractures on spine CT. In: SPIE Medical Imaging, p. 97850 (2016)

9. Sardjono, T.A., Wilkinson, M.H., Veldhuizen, A.G., van Ooijen, P.M., Purnama, K.E., Verkerke, G.J.: Automatic cobb angle determination from radiographic images. *Spine* 38(20), 1256–1262 (2013)
10. Simonyan, K., Zisserman, A., Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. arXiv preprint arXiv:1409.1556 (2014)
11. Sun H., Zhen X., Bailey C., Rasoulinejad P., Yin Y., Li S. (2017) Direct Estimation of Spinal Cobb Angles by Structured Multi-output Regression. In: Niethammer M. et al. (eds) *Information Processing in Medical Imaging. IPMI 2017. Lecture Notes in Computer Science*, vol 10265. Springer, Cham
12. Suzani, A. (2014). Automatic vertebrae localization, identification, and segmentation using deep learning and statistical models (T). University of British Columbia. Retrieved from <https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/24/items/1.0166073>
13. Waller T, Nowak R, Tkacz M, Zapart D, Mazurek U. Familial or Sporadic Idiopathic Scoliosis - classification based on artificial neural network and GAPDH and ACTB transcription profile. *Biomed Eng Online*. 2013 Jan 4;12:1.
14. Wu H., Bailey C., Rasoulinejad P., Li S. Automatic Landmark Estimation for Adolescent Idiopathic Scoliosis Assessment Using BoostNet. In: Descoteaux M., Maier-Hein L., Franz A., Jannin P., Collins D., Duchesne S. (eds) *Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention - MICCAI 2017. Lecture Notes in Computer Science*, vol 10433. Springer, Cham

Технология извлечения географических названий из текстовых документов на основе инструментария PostgreSQL

О. Жижимов

Институт вычислительных технологий СО РАН,
Новосибирск, Россия
zhizhim@mail.ru

Аннотация Извлечение географических названий из произвольных текстовых документов имеет важное значение в задачах обработки больших массивов документов и привязки их контента к определенному географическому региону. В самом простом виде модель извлечения географических названий из текста выглядит как последовательность действий с текстом, при этом на каждом этапе решается своя задача. Среди этих задач, несомненно, присутствуют: парсинг текста, анализатор элементов текста, обработка синонимов и сокращений, приведение элементов текста к нормальной форме с возможных словоформ и правил грамматики, сравнение элементов текста с элементами словарей географических названий, добавление в текст специальных меток для однозначной идентификации географических названий. В предлагаемой работе описана технология, реализующая перечисленные выше задачи на базе свободно распространяемой СУБД PostgreSQL. При этом используется стандартная конфигурация, все настройки серверной части выполнены в рамках штатных документированных процедур. В качестве авторитетной базы данных географических названий применены база данных GeoNames Gazetteer, базы данных Open Street Map (OSM), классификаторы ОКАТО и КЛАДР.

Ключевые слова: географические названия, полнотекстовый поиск, модель извлечения названий, обработка текста, PostgreSQL, географический поиск

Введение

Цель настоящей работы¹ - создание модели извлечения географических названий из произвольного текста с его индексирование по географическим атрибутам, например, по географическим координатам, с возможностью дальнейшей организации геометрического поиска.

¹ Работа выполнена в рамках Интеграционного Проекта СО РАН (АААА-А18-118022190008-8), Проекта по фундаментальным научным исследованиям (АААА-А17-117120670141-7) и проекта РФФИ № 18-07-01457-а.

Следует отметить, что существующие программные комплексы для организации доступа к текстовым информационным ресурсам не обладают необходимой функциональностью по хранению и обработке географических данных. Наделение же их требуемой функциональностью осложняется отсутствием единых стандартов на поиск и представление данных, связанных с географическим аспектом, которые сопрягались бы с существующими геоинформационными системами (ГИС), т. е. с системами, для которых географический аспект информации является основным [1]. Отсюда вытекает актуальность и перспективность создания технологии, обеспечивающей обработку географической информации в «негеографических» информационных системах общего назначения [2].

Модель и алгоритмы

Если очень коротко описать предлагаемую модель фиксирования географического контента в текстовом массиве данных для последующей индексации, то она будет выглядеть следующим образом.

- Первое, что необходимо сделать при обработке произвольного текста - раскрыть все сокращения. В тексте заменяются слова-сокращения на их несокращенные значения. Эта процедура существенна для дальнейшего анализа, т.к. в текстах географические названия как правило сопровождаются сокращенными обозначениями типа географического объекта: г. - город, оз. - озеро, обл. - область и т.п. При этом необходима не только простая механическая подстановка значений в соответствии со словарем сокращений, но и анализ сопутствующего контента. В частности, сокращение «г.» может восприниматься не только как «год», но и как «город», в зависимости от окружающих слов. Формализованные правила, в соответствии с которыми происходит раскрытие сокращений, образуют специальный словарь шаблонов сокращений.
- Полученный в результате вышеописанной процедуры текст разбивается на отдельные слова (токенизация) с фиксацией порядкового номера каждого слова в исходном тексте. При этом также происходит удаление стоп-слов, определенных в специальном словаре, и приведение остальных слов к нормальной форме в соответствии с морфологическим словарем, который может сводить множество разных лингвистических форм слова к одной лексеме.
- Следующий желательный, но не обязательный шаг, - раскрытие перечислений. Дело в том, что в различных текстах часто встречаются различные перечисления географических названий с групповым указанием типа объекта. Например, текст «... исследования были проведены в Новосибирской, Кемеровской и Омской областях» для однозначной фиксации географических объектов требует его преобразования к виду «... исследования были проведены в Новосибирской области, Кемеровской области и Омской области».

- После выполнения вышеперечисленных процедур можно выполнить фиксацию географических объектов - приписать специальные метки соответствующим комбинациям слов или заменить соответствующую комбинацию слов на специальную метку. Первый вариант необходим в случае дальнейшей индексации текста как для геометрического, так и для полнотекстового поиска, а второй - для индексации географических объектов только для поиска геометрического. Специальная метка может представлять собой уникальный идентификатор географического объекта в базе данных географических названий. Формально вся процедура сводится к замене нормализованных лексем на специальные метки с идентификатором объекта или на метки с лексемами. Соответствие лексем и меток содержится в специальном географическом словаре.
- Наконец, последний шаг - разрешение проблемы многозначности географических названий. Например, вполне определенной форме «Советский район» может быть поставлено в соответствие более 40 географических объектов (на основе данных [5]). Однако, среди всех возможных нужно выбрать тот, который максимально соответствует окружающему контексту. Здесь возможны несколько вариантов разрешения конфликта.
 - На основе иерархических связей - решение об идентификации объекта среди конкурирующих принимается на основе анализа иерархических связей соседних по тексту полностью идентифицированных объектов. Иерархические связи (административное подчинение, географическое расположение и пр.) как правило присутствуют в базах данных географических названий. Более того, идентификаторы объектов некоторых баз данных хранят эту иерархию в значении идентификационного кода, например, справочник ОКАТО[3]. В частности, для города Карасук код ОКАТО 50217501 содержит информацию о Карасукском районе (ОКАТО 50217000) и Новосибирской области (ОКАТО 50000000).
 - На основе геометрических параметров - решение об идентификации объекта среди конкурирующих принимается на основе минимизации расстояния до соседних по тексту полностью идентифицированных объектов. Расстояние вычисляется на основе координат объектов, присутствующих в базе данных географических названий. При этом возможны различные варианты критерия принятия решения.

Алгоритм фиксации географических объектов в произвольном тексте изображен на Рис. 1.

Справочники

Как следует из вышеописанной технологии, качество ее работы зависит от качества и полноты справочников, содержащих информацию о географических названиях. Сегодня в открытом доступе существует достаточно инфор-

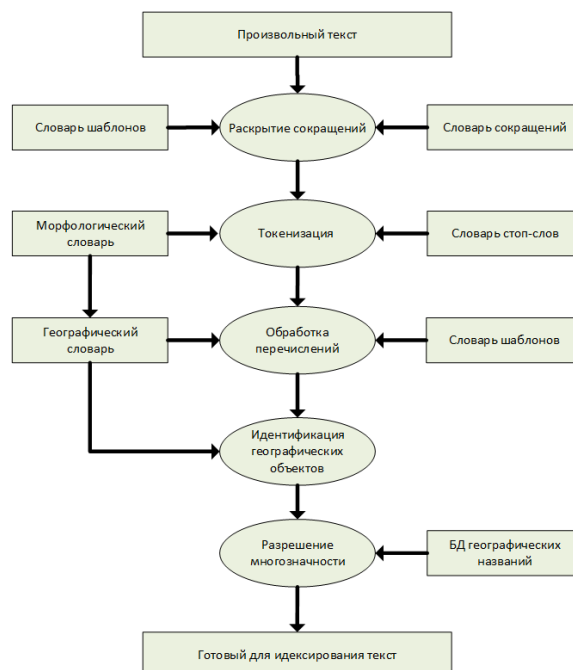


Рисунок 1. Алгоритм фиксации географических объектов в произвольном тексте

мации для создания собственной базы данных географических названий. Источниками информации могут быть:

- ОКАТО - общероссийский классификатор объектов административно-территориального деления[3].
- КЛАДР - классификатор адресов Российской Федерации [4].
- GeoNames - база данных, содержащая свыше 10 млн. географических названий и информацию о более 7,5 млн их уникальных характеристик. Среди характеристик: названия мест на разных языках, широта, долгота, высота над уровнем моря. Все эти характеристики разбиты по категориям, так что каждая характеристика географического объекта относится к одному из девяти классов. А каждая из этих категорий, в свою очередь, делится на подкатегории, общее количество которых более 600. Кроме наименований на различных языках, хранятся географические координаты, высота над уровнем моря, численность населения, административное деление и почтовые индексы. К сожалению, база данных содержит дубли, ошибки в наименованиях и другие неточности.
- База данных OSM (Open Street Map) [6] - открытая база данных географических объектов, включающая их геометрические и географические характеристики.

- Getty тезаурус географических названий (TGN) [7] - содержит географические названия с точечными координатами, в том числе и ретроспективные. Недостаток - российские названия даны в транскрипции.
- Государственный каталог географических названий РОСРЕЕСТР [8] - содержит полный реестр официальных географических названий по регионам с точечными координатами.

Перечисленные информационные ресурсы содержат исходные данные, на основе которых формируется собственная база данных географических объектов, описанная ниже.

Прототип стенда

Для отработки технологии извлечения географических названий из текстов, проведения тестирования алгоритмов и сбора информации об ошибках был создан программный стенд, в котором реализованы описанные выше алгоритмы.

В качестве системной основы реализации алгоритмов был выбран вариант на базе СУБД PostgreSQL, реализующей полный цикл обработки текстовой информации с возможностью расширения базовых функциональных возможностей как за счет дополнительных словарей и конфигураций, так и написанием дополнительных модулей на различных языках программирования [9].

Созданный прототип стенда включает в себя:

- Базу данных СУБД PostgreSQL 9.4 со специальной конфигурацией для полнотекстового поиска, ориентированного на географические объекты.
- Набор серверных WEB приложений (PHP скрипты), которые выполняются на стороне WEB сервера. Эти приложения обеспечивают связь с сервером баз данных PostgreSQL и клиентскими приложениями. Отдельным серверным приложением также является модуль для ZooSPACE, позволяющий анализировать текстовые данные, извлекаемые из различных библиографических баз данных.
- Набор клиентских WEB приложений (Java скрипты), которые выполняются на стороне WEB клиента. Эти приложения реализуют функции графических интерфейсов пользователя для управления работой стенда и визуализации найденных географических объектов на картах.

Для обеспечения работы стенда созданы

- Словари
 - Словарь сокращений с шаблонами на основе регулярных выражений - при помощи этого словаря раскрываются сокращения во входном тексте (шаг 1).

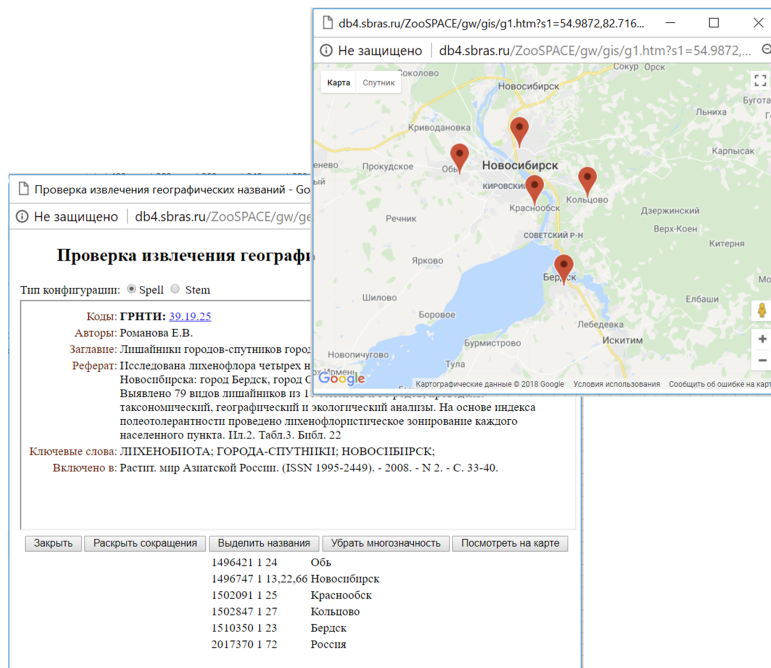


Рисунок 2. Интерфейсы приложения для тестирования алгоритмов

- Словарь стоп-слов русского языка (*russian.stop*). Этот словарь входит в поставку PostgreSQL и в нашей конфигурации не менялся (шаг 2).
- Морфологический словарь русского языка (*ispell*) с добавлением географических названий и орфографических правил для этих названий (*ru_geo1.dict*).

Фрагмент *ru_geo1.dict*

```

. . .
абажур/К
. . .
Кольцово/М
Мошковский/А
Новосибирск-Южный/AEZ
. . .

```

- Географический словарь для замены лексем на комбинацию «метка + лексема». Этот словарь (*geor1.ths*) соответствует шаблону тезауруса (в терминах PostgreSQL тезаурус - это словарь замен: левая часть от символа «:» заменяется на правую часть, наличие символа «*» в первой позиции правой части предписывает не контролировать пра-

вую часть морфологическим словарем) и состоит из записей вида:

Фрагмент файла geor1.ths

```

. . .
Бердск: */gn/1510350 Бердск
город Бердск: */gn/1510350 город Бердск
Советский район: */gn/490026,/gn/1491227 Советский район
. . .

```

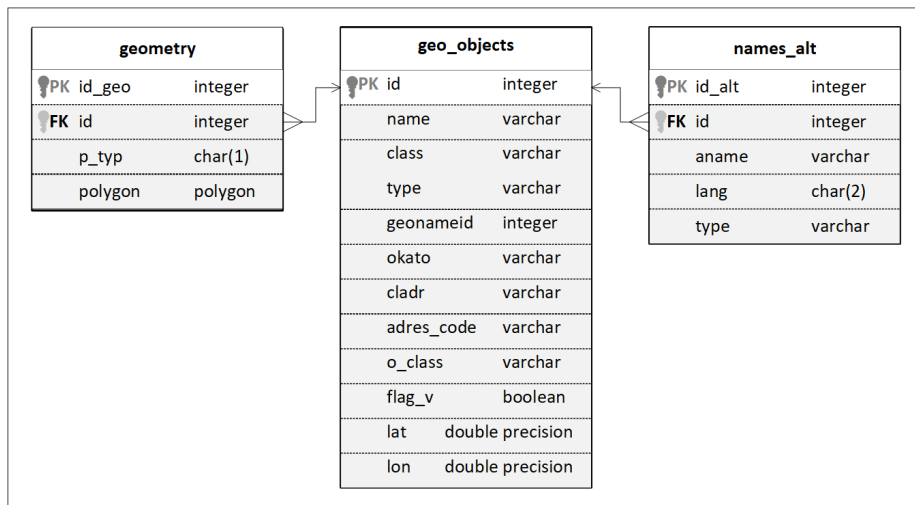


Рисунок 3. Структура базы данных географических объектов

- Конфигурация FTS (в терминах PostgreSQL), определяющую список словарей и порядок обработки текста (rugeo1):

Команды создания конфигурации FTS rugeo1

```
CREATE TEXT SEARCH DICTIONARY rugeo_ispell (TEMPLATE = ispell,
dictfile = 'ru_geo1', afffile = 'ru', stopwords = 'russian');
```

```
CREATE TEXT SEARCH DICTIONARY tz_geo_1 (TEMPLATE = thesaurus,
dictfile = 'geor1', dictionary = 'rugeo_ispell');
```

```
CREATE TEXT SEARCH CONFIGURATION rugeo1 (PARSER = "default");
```

```
ALTER TEXT SEARCH CONFIGURATION rugeo1 ADD MAPPING
FOR hword WITH tz_geo_1,rugeo_ispell,russian_stem;
```

```
ALTER TEXT SEARCH CONFIGURATION rugeo1 ADD MAPPING
FOR hword_part WITH tz_geo_1,rugeo_ispell,russian_stem;
```

Работу алгоритма фиксации географических названий можно проиллюстрировать на примере обработки фрагмента текста «В окрестностях города Новосибирска находятся: город Бердск, город Обь, поселок Краснообск и Наукоград Кольцово». В результате выполнения запроса

```
SELECT plainto_tsquery('rugeo1',
'В окрестностях города Новосибирска находятся: город Бердск,
город Обь, поселок Краснообск и Наукоград Кольцово');
```

получим ответ - размеченный текст

```
'окрестность /gn/1496747 город новосибирск находится
/gn/1510350 город бердск /gn/1496421 город обь
/gn/1502091 поселок краснообск /gn/1502847 наукоград кольцово'
```

Другой запрос

```
SELECT to_tsvector('rugeo1',
'В окрестностях города Новосибирска находятся: город Бердск,
город Обь, поселок Краснообск и Наукоград Кольцово');
```

вернет список лексем с указанием их позиции в тексте

```
"'/gn/1496421':10 '/gn/1496747':3 '/gn/1502091':13
'/gn/1502847':17 '/gn/1510350':7 'бердск':9 'город':4,8,11
'кольцово':19 'краснообск':15 'наукоград':18 'находиться':6
'новосибирск':5 'обь':12 'окрестность':2 'поселок':14"
```

Заключение

В результате выполненных работ был создан прототип стенда для тестирования моделей и алгоритмов извлечения географических названий из неструктурированного текста для построения индексов как для текстового, так и для геометрического поиска. Предварительное тестирование показало, что предложенная технология обеспечивает высокую степень достоверности результатов при условии, что все справочники содержат информацию об определяемых географических объектах. Эффективность технологии зависит от полноты справочников.

В настоящее время созданные справочники содержат информацию по географическим объектам Новосибирской области. В дальнейшем планируется расширить номенклатуру поддерживаемых регионов.

Список литературы

1. Жижимов О. Л., Мазов Н. А. Проблемы географической привязки цифровых объектов в электронных библиотеках. Тр. XII Всерос. науч. конф. «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» (RCDL'2010). Казань, с. 207–214. (2010).
2. Барахнин В.Б., Жижимов О.Л., Куперштох А.А., Скачков Д.М., Федотов А.М. Алгоритм извлечения из текстовых документов географических названий, отражающих содержание. Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии, Т.10, № 1, С.109-120. (2012).
3. Общероссийский классификатор объектов административно-территориального деления (ОК 019-95), <http://protect.gost.ru/document.aspx?control=20&id=134377>.
4. Классификатор адресов Российской Федерации (КЛАДР), <http://kladrf.ru>.
5. The GeoNames geographical database, <http://www.geonames.org/>
6. Open Street Map, <http://wiki.openstreetmap.org>.
7. Getty Thesaurus of Geographic Names (TGN), <http://www.getty.edu/research/tools/vocabularies/tgn/index.html>.
8. Государственный каталог географических названий, РосРеестр, <https://rosreestr.ru/site/activity/geodeziya-i-kartografiya/naimenovaniya-geograficheskikh-obektov/gosudarstvennyy-katalog-geograficheskikh-nazvaniy/>.
9. Бартунов О., Сигаев Ф. Введение в полнотекстовый поиск в PostgreSQL, <http://citforum.ru/database/postgres/fts/bib.shtml>.

Оценка экологических рисков территории на основе спутниковых методов мониторинга

А. Г. Зотин¹, Д. В. Зуев², В. Б. Кашкин², М. А. Курако², К. В. Симонов³

¹Сибирский государственный университет науки и технологий,
Красноярск, Россия

²Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
mkurako@sfu-kras.ru

³Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск, Россия

Аннотация Исследование посвящено оценке и картографированию зон экологического риска для определения воздействия загрязнения атмосферы на растительный покров урбанизированной территории. Оценка экологического риска основана на расчете соответствующих показателей и использовании критерия чрезвычайной экологической ситуации с учетом реакции растительного покрова к загрязнению, которое определяется по данным ДЗЗ. Картографирование зон экологического риска показано на примере воздействия Норильского промышленного узла на растительный покров. Кратко описаны существующие системы спутникового контроля выбросов диоксида серы для экосистемы Норильской промышленной зоны. Разработан алгоритм обработки базы данных ОМІ и ОМPS по выбросам SO₂. Сопоставлены данные двух спектрометров ОМІ и ОМPS. Предложена и осуществлена методика картографирования концентрации SO₂ для исследуемой территории. Представлены результаты расчетов на основе методики картографирования зон экологического риска.

Ключевые слова: растительный покров, экологический риск, загрязнение атмосферы, данные спутникового зондирования.

Введение

Работа предприятий Норильской промышленной зоны приводит к техногенному загрязнению атмосферного воздуха, водоемов, к разрушению плодородного слоя земли и, соответственно, к уничтожению растительности. Доля выбросов диоксида серы предприятиями Норильской промышленной зоны (НПЗ) составляет 25% от всех российских промышленных выбросов [1]. Высокие концентрации диоксида серы в атмосфере очень быстро вызывают серьезные повреждения листьев, что приводит к хроническим повреждениям у растений. Выбросы SO₂ приводят к изменению состава почвы, что является одним из факторов, вызывающих повреждение лесных массивов вокруг предприятий северных территорий Красноярского края.

Диоксид серы (SO₂) является серьезным загрязняющим газом, который существенно влияет на окружающую среду и климат на глобальном, региональном и местном уровнях. Он окисляется с образованием сульфатных

аэрозолей, которые уменьшают видимость, влияют на образование облаков и приводят к кислотным дождям и осадениям. Дистанционные спутниковые методы контроля открывают новые возможности в изучении газового состава атмосферы и его динамики, мониторинга состояния окружающей среды, прогнозирования техногенных и природных чрезвычайных ситуаций, связанных с поступлением загрязняющих веществ в атмосферу, а также упрощают изучение климатических изменений. Современные космические технологии мониторинга позволяют обеспечить ежедневный глобальный охват всей атмосферы Земли.

Оценка экологической обстановки территорий проводится с целью получения объективной информации о состоянии окружающей среды и здоровья населения; установления научно-обоснованных границ территории или отдельных ее участков; организации системы контроля и наблюдений по приоритетным показателям изменения окружающей среды и здоровья населения; обоснования неотложных мер по реабилитации здоровья населения, и восстановлению отдельных участков и объектов территории. Поэтому большой интерес представляет оценка экологического риска воздействия диоксида серы на экосистему НПЗ.

Отметим, что при рассмотрении степени экологического неблагополучия урбанизированной территории важно не ограничиваться лишь суммарным показателем загрязнения среды отдельными веществами, необходимо учитывать показатели уровня здоровья населения как результата общей техногенной нагрузки на человека. Для крупного промышленного центра характерно почти полное изменение большинства параметров внешней среды: загрязнение почв, воздушного бассейна, акваторий, изменение климатических характеристик и многое другое. Актуальность решения проблем в сфере охраны окружающей среды и экологической безопасности остается высокой и будет нарастать по мере увеличения объемов производства и потребления.

В практике оценки воздействий на растительные экосистемы используют санитарно-гигиенические нормативы, которые не адаптированы к оценке воздействий на природную среду с ее совокупным биоразнообразием [1,2,3]. Экологический риск, рассматриваемый как вероятность возникновения неблагоприятных ситуаций в состоянии окружающей среды в результате хозяйственной деятельности человека, позволяет более обоснованно оценивать степень воздействия негативных факторов на компоненты природной среды. Однако в настоящее время недостаточно разработаны вопросы оценки экологического риска в арктических зонах воздействия крупных предприятий. В связи с этим целью работы является изложение методических вопросов оценки и картографирования зон экологических рисков, возникающих в результате воздействия крупного промышленного производства на растительные экосистемы, с использованием данных ДЗЗ.

Данные спутникового мониторинга

Для мониторинга выбросов диоксида серы в атмосферном воздухе используются инструмент OMI (установленный на спутнике AURA), прибор OMPS (спутник Suomi NPP) и спектрофотометр SCIAMACHY (спутник ENVISAT). В качестве ключевого источника по выбросам диоксида серы использованы данные, получаемые от инструмента OMI (Ozone Monitoring Instrument) [4,5,6].

Инструмент OMI определяет концентрацию выбросов SO_2 для четырёх высот над уровнем моря: 0,9 км, 2,5 км, 7,5 км и 17 км в е.Д. (единицах Добсона). Одна е.Д. равна 0,01 мм толщины осажденного слоя диоксида серы при 0°C и атмосферном давлении 1013 ГПа, что составляет $2,69 \cdot 10^{20}$ молекул диоксида серы на квадратный метр. Для инструмента OMI так же доступна графическая база данных по выбросам диоксида серы для территории Норильской промышленной зоны (рис. 1, слева), где цветом обозначено содержание SO_2 . Она описывает период с 2004 г. по 2018 г. и включает данные о массе выбросов диоксида серы, площади распространения, максимальных значениях концентрации с привязкой по координатам, времени проведения замера.

В настоящее время для решения задач мониторинга диоксида серы в атмосферном воздухе также используются более современные измерительные инструменты OMPS [7]. Спектрометр OMPS, как и его предшественник, осуществляет контроль выбросов диоксида серы в глобальном масштабе. Графическая база данных OMPS хранится в том же виде, что и графическая база данных OMI. Она охватывает период с апреля 2013 г. по 2018 г. (рис. 1, справа).

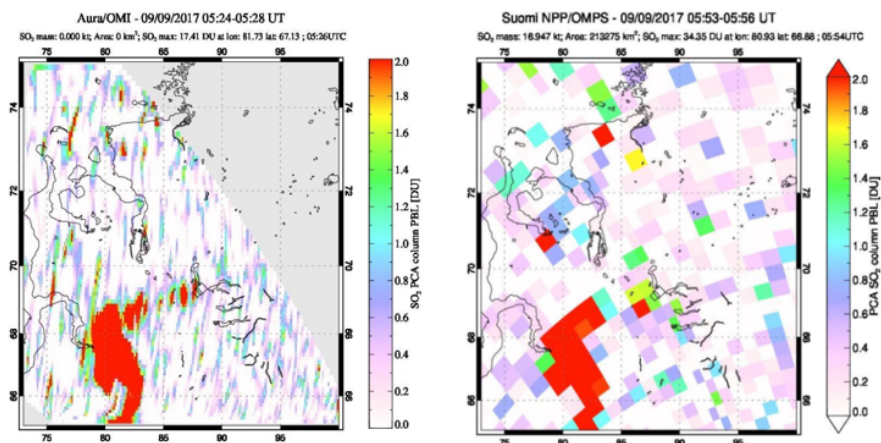


Рисунок 1. Фрагмент графических баз данных OMI (слева) и OMPS (справа) за 2016 г.

Перед построением карт риска проведена оценка корреляции данных по методике, описанной в [7]. Для этого вычислены два типа корреляции для данных. Пространственная корреляция — это корреляция между ОМІ и ОМPS данными по среднегодовым значениям концентрации диоксида серы в пределах Норильской промышленной зоны. Временная корреляция — это корреляция между ежедневными массами диоксида серы для исследуемой территории. Для расчета корреляции использована база данных за 2013–2017 гг. На рисунке 2 представлены графики, где данные ОМІ наложены на данные ОМPS.

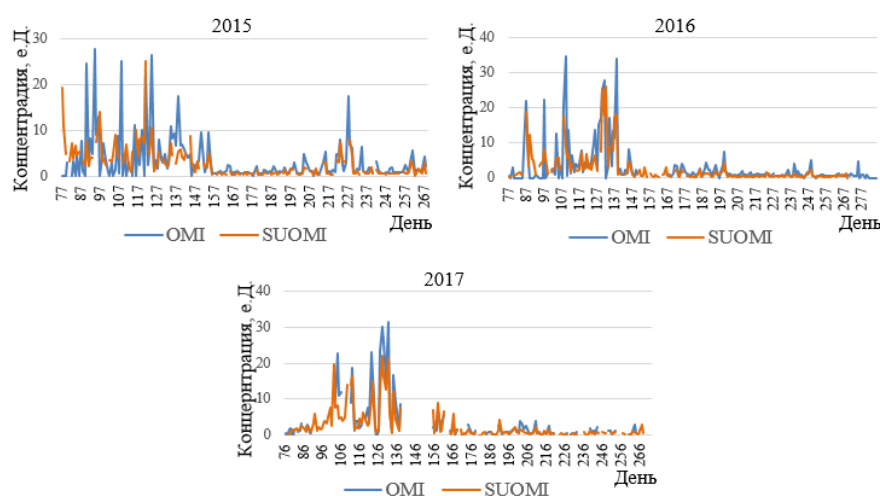


Рисунок 2. Данные ОМІ и ОМPS за 2015–2017 гг.

Пространственная корреляция среднегодовых данных ОМІ-ОМPS составляет 0,8 (табл. 1). Относительная разница составляет 8,2%. Это можно объяснить разницей наблюдений по времени, так как столб SO_2 может относительно быстро перемещаться в пространстве.

Таблица 1. Среднегодовые показатели концентрации SO_2 для ОМІ и ОМPS за 2013–2017 годы и их пространственная корреляция.

Год	2013	2014	2015	2016	2017
ОМІ	2,13	3,05	3,15	3,04	3,56
ОМPS	2,32	2,39	2,77	2,47	2,64
Корреляция	0,80	0,79	0,80	0,88	0,91

Для анализа временной корреляции сравнивались ежедневные массы выбросов SO_2 , основываясь на данных за 2013–2017 гг. При этом в учет шли только те дни, в которые имеются данные с обоих приборов. Временная корреляция (R) рассчитана для года с разбивкой помесячно. В таблице 2 отражены помесячные значения пространственной корреляции.

Таблица 2. Помесячные значения пространственной корреляции данных ОМІ-ОМPS.

Месяц	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Ноя.
R	0,64	0,84	0,74	0,84	0,80	0,64	0,62	0,85

Коэффициент корреляции для 2013 г. не опускается ниже 0,62. Среднее значение массы выбросов SO_2 за день на исследуемой территории составляет 3,56 и 2,65 тыс. тонн для ОМІ и ОМPS, соответственно. Максимальная временная корреляция соответствует маю, июлю и ноябрю и находится в пределах 0,84–0,85.

По такому же принципу проведен анализ данных с 2014 г. по 2017 г. Основные итоги сведены в таблицы 3 и 4. В таблице 3 отображены значения коэффициента временной корреляции за период с 2013 по 2017 гг., в таблице 4 — среднее значение массы выбросов диоксида серы в день.

Таблица 3. Коэффициент временной корреляции за 2013–2017 гг.

Год	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.
2013	–	0,64	0,84	0,74	0,84	0,80	0,64	0,62
2014	0,69	0,60	0,70	0,83	0,63	0,54	0,84	0,56
2015	0,61	0,54	0,62	0,59	0,58	0,79	0,54	–
2016	0,82	0,59	0,79	0,87	0,53	0,77	–	–
2017	0,83	0,58	0,83	0,75	0,62	0,58	0,54	–

Таблица 4. Среднее значение массы выбросов диоксида серы в день за 2013–2017 гг., тыс. тонн.

Год	2013	2014	2015	2016	2017
ОМІ	2,47	0,90	2,52	2,42	3,89
ОМPS	1,19	0,52	1,96	1,67	3,13

В целом, массы выбросов SO_2 по ОМІ несколько выше чем ОМPS. Относительная разница между значениями лежит в пределах от 19% для 2017 г.

до 51% для 2013 г. Сравнение полученных данных свидетельствует о том, что данные достаточно хорошо коррелированы. Показатели на основе OMPS немного меньше, чем OMI, вероятно из-за меньшей пространственной разрешающей способности для исследуемого региона.

Построение карт риска целесообразно осуществлять на основе данных OMI, поскольку предполагается строить оценки относительно верхней границы значений изучаемых показателей. Однако, при этом следует дополнительно учитывать показания OMPS, в случае если они превышают значения OMI.

С учетом анализа выбросов диоксида серы для территории НПЗ за 2015–2017 гг. на основе метода упругих сеток построены карты концентрации выбросов по массе. На рисунке 3 представлено картографирование концентрации диоксида серы за 2015–2017 гг., которое показывает территориальное распространение выбросов. Видно, что практически по всей территории НПЗ и вблизи г. Норильска наблюдается повышенное значение концентрации диоксида серы, только в северной части исследуемой территории концентрация снижается.

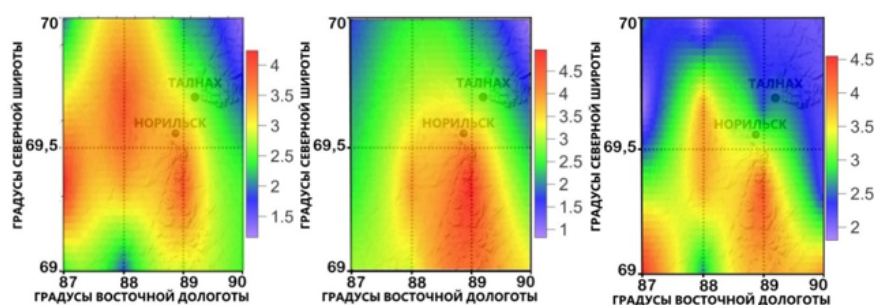


Рисунок 3. Картографирование и визуализация концентрации выбросов SO_2 для территории НПЗ за 2015 г. (слева), 2016 г. (в центре) и 2017 г. (справа). Цветом обозначен уровень концентрации в е.Д.

Алгоритм оценки экологического риска

Экологический риск — количественная или качественная оценка экологической опасности неблагоприятных воздействий на природную среду [3,10]. Экологический риск рассматривается как вероятность возникновения неблагоприятных ситуаций в состоянии природной среды, разрушения экосистем или гибели популяций и отдельных видов под воздействием хозяйственной деятельности человека. Наиболее разработаны два направления оценки рисков: первое связано с оценкой возможности потери жизни или причинения

ущерб здоровью населения, второе с определением среднего риска ущерба, причиняемого выбросом загрязнений в атмосферу.

Постоянное присутствие в окружающей среде диоксида серы создает определенную степень экологического риска. Принято рассматривать три уровня экологического риска: приемлемый, повышенный и неприемлемый, с учетом которых на исследуемых территориях могут быть выделены зоны приемлемого, повышенного и неприемлемого рисков [3,11]. Важным вопросом при этом является определение значений концентраций загрязняющих веществ, соответствующих разным уровням риска.

Уровень загрязнения атмосферы в долях ПДК (предельно допустимая концентрация), соответствующий зоне неприемлемого риска, устанавливается на основе данных и методических материалов [3,10]. Степень загрязнения воздуха рассчитывается с учетом кратности превышения среднегодового значения ПДК веществ, их класса опасности, допустимой повторяемости концентраций заданного уровня, массы веществ, одновременно присутствующих в воздухе.

Среднегодовые значения $\text{ПДК}_{y.avg.}$ связаны со среднесуточным значением $\text{ПДК}_{d.avg.}$ соотношением:

$$\text{ПДК}_{y.avg.} = a \cdot \text{ПДК}_{d.avg.},$$

где a — коэффициент, значение которого определяется в интервале 0,1–1,0 в зависимости от класса опасности вещества.

Зоной неприемлемого риска будем рассматривать участок территории, в пределах которого значение комплексного показателя среднегодового загрязнения атмосферного воздуха P соответствует уровню чрезвычайной экологической ситуации и выбирается равным 8, величина коэффициента a , соответствующая диоксиду серы, составляет 1. Переходя (согласно указанному соотношению) к среднесуточным значениям $\text{ПДК}_{d.avg.}$ для выбросов диоксида серы, получим:

$$8\text{ПДК}_{y.avg.} = 8 \cdot (1 \cdot \text{ПДК}_{d.avg.}) = 8\text{ПДК}_{d.avg.},$$

из которого следует, что границей зоны неприемлемого риска можно принять уровень загрязнения атмосферного воздуха, равный $8\text{ПДК}_{d.avg.}$. В пересчете в е.Д. такой уровень составляет 1,28 е.Д. [11].

Если атмосферный воздух загрязнен веществами, относящимися к разным классам опасности, производится расчет комплексного показателя P :

$$P = \sqrt{\sum_j K_j^2},$$

где K_j — ПДК j -го вещества, приведенная к концентрации веществ 3-го класса.

Рассмотрим методику зонирования территории, которая является основой для построения карт рисков. Оценка риска осуществляется путем объединения всех значимых природных опасностей (качество атмосферного

воздуха, воды, растительного покрова, абсолютные и относительные показатели и т.д.), характерных для исследуемого региона. Оценка суммарного (комплексного) риска состоит из четырех компонентов:

- Карта опасностей — является основой для всех последующих карт, показывает, где и с какой интенсивностью на исследуемой территории происходят выбранные для оценок события;
- Карта суммарной опасности — содержит данные обо всех рассматриваемых опасностях, показывает суммарную потенциальную опасность для каждого района исследуемой территории;
- Карта уязвимости — содержит данные относительно экономической и социальной уязвимости в отношении потенциальных опасностей;
- Карта суммарного риска — показывает индекс суммарного риска для каждой исследуемой территории.

В рамках экспериментального исследования произведена оценка и картографирование зон экологического риска для хвойного и мелколиственного лесов, а также травянистой растительности. Построение карт риска происходит на основе геобазы, включающей топографические и тематические слои, а также подготовленного шаблона представления картографического материала.

Большинство видов растений оказываются более чувствительными к воздействию вредных факторов, чем человек. Таксономические группы растений по степени чувствительности к воздействию фитотоксичных газов располагаются в следующем порядке [7]: мхи, лишайники и грибы; хвойные породы деревьев; лиственные породы деревьев; травянистые растения. Необходимо отметить [3], что экологические нормативы качества атмосферного воздуха по уровню химического загрязнения носят рекомендательный характер и в настоящее время определены не для всех загрязняющих веществ. В работе чувствительность групп растений определялась на основе анализа экологических нормативов.

Для картографирования экологических рисков предложены следующие значения коэффициентов чувствительности: травянистая растительность — 1; мелколиственный лес — 0,75; хвойный лес — 0,5. Чем выше чувствительность, тем меньшие концентрации загрязняющих веществ вызывают повреждения соответствующих видов растительности. В соответствии с коэффициентом чувствительности для каждой группы растительных сообществ выбираются зоны с определенным уровнем загрязнения атмосферы, соответствующие разным зонам экологического риска (табл. 5).

На рисунке 4 представлен пример картографирования зон экологических рисков для северных территорий Красноярского края (апрель 2017 г.).

На картах видно значительное загрязнение атмосферного воздуха, существенно повышающее риски воздействия как на организм человека, так и на растительный мир. Этот результат картографирования зон экологического риска может служить сигналом для предприятий северных территорий Красноярского края об уменьшении производственных мощностей, что значительно улучшит экологическую обстановку.

Таблица 5. Уровень загрязнения атмосферы, е.Д.

Уровень экологического риска	Хвойный лес	Мелколиственный лес	Травянистая растительность
Неприемлемый	$>0,625$	$>0,94$	$>1,25$
Повышенный	$>0,625..0,5$	$>0,94..0,75$	$>1,25..1$
Приемлемый	$<0,5$	$<0,75$	<1

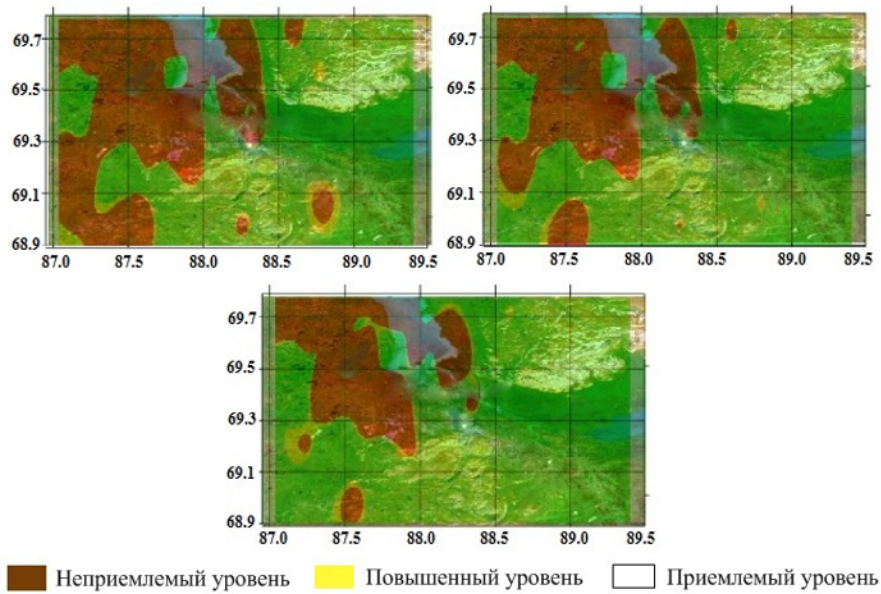


Рисунок 4. Пример картографирования зон экологического риска: хвойный лес (вверху слева); мелколиственный лес (вверху справа); травянистая растительность (внизу).

Заключение

В работе кратко описаны системы спутникового мониторинга выбросов диоксида серы в атмосферу. Подтверждена возможность использования данных спектрометра ОМІ для контроля выбросов диоксида серы. Сопоставлены данные наблюдений от двух спектрометров ОМІ и OMPS. В целом показано, что массы выбросов SO₂ по ОМІ несколько выше по сравнению с OMPS. Относительная разница между значениями лежит в пределах от 19% для 2017 г. до 51% для 2013 г.

Произведен анализ выбросов диоксида серы по концентрации и массе применительно к экосистеме Норильской промышленной зоне. Предложена методика картографирования концентрации SO₂ для исследуемой территории на основе данных ОМІ и OMPS. Представлена методика картографирования зон экологических рисков. Полученные результаты экспериментальных исследований показали, что построенные карты экологического риска являются полезными и могут быть использованы для контроля неблагоприятных процессов в экосистемах, которые подвергаются воздействию опасных промышленных производств.

Список литературы

1. Проект Государственного доклада о состоянии и об охране окружающей среды в 2016 году, <http://www.mnr.gov.ru/online/detail.php?ID=343440>
2. Годовой отчет ПАО «ГМК «Норильский Никель» за 2016 год, https://ar2016.nornik.ru/pdf/ar/ru/ru_annual_report_pages.pdf
3. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Методика Министерства природных ресурсов РФ от 30 ноября 1992 г., https://lawrussia.ru/bigtexts/law_4008/index.htm
4. Krotkov, N.A., Carn, S.A., Krueger, P.K., Yang, K.: Band residual difference algorithm for retrieval of SO₂ from the Aura Ozone Monitoring Instrument (OMI). Remote Sensing. AURA Special Issue. 1259–1266 (2002)
5. Официальный сайт NASA по глобальному мониторингу диоксида серы, https://avdc.gsfc.nasa.gov/pub/data/satellite/Aura/OMI/V03/L20VP/OMS02/aura_omi_l2ovp_omso2_v1.3.0_norilsk_999.txt
6. Elena, S., Simon, A., Carn, S.A., Krotkov, N.A., George, H., Yang, K., Krueger, A.: Validation of ozone monitoring instrument SO₂ measurements in the Okmok volcanic cloud over Pullman, WA, July 2008. Journal of geophysical research. 115, 1–14 (2010)
7. Zhang, Y., Li, C., Krotkov, N.A., Joiner, J., Fioletov, V., McLinden, C.: Continuation of long-term global SO₂ pollution monitoring from OMI to OMPS. Atmos. Meas. Tech. 10, 1495–1509 (2017)
8. Зуев, Д.В., Кашкин, В.Б.: Анализ выбросов диоксида серы по данным инструмента ОМІ (спутник AURA) для Норильской промышленной зоны. Оптика атмосферы и океана. 9, 793–797 (2013)
9. Gorban, A.N., Zinoviev, A.Yu., Pitenko, A.A.: Data visualization by elastic maps. Information Technology. 6, 26–35 (2000)

10. Коплан-Дикс, В.А., Алехова, М.В. К вопросу разработки экологических нормативов качества атмосферного воздуха, <https://distant.msu.ru/mod/resource/view.php?id=14264>
11. Полищук, Ю.М., Токарева, О.С.: Методические вопросы картографирования зон экологического риска воздействия нефтедобычи на растительный покров. Известия Томского политехнического университета. 1, 166–169 (2011)

Моделирование вероятностных оценок сейсмической опасности на основе методологии ОСР-97

С.А. Перетокин¹, М.А. Курако², Е.В. Бодякин³, К.В. Симонов³

¹Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск, Россия

²Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
mkurako@sfu-kras.ru

³Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск, Россия

Аннотация Исследование посвящено разработке алгоритмического и информационного обеспечения для вероятностного анализа сейсмической опасности на основе методологии общего сейсмического районирования (ОСР-97). Отметим, что работы последних лет сосредоточены на совершенствовании моделей, закладываемых в расчет модели зон возникновения очагов землетрясений (зон ВОЗ) и модели сейсмического эффекта (МСЭ).

Технология ВАСО используются как для построения карт ОСР, так и на стадии детальных исследований в рамках инженерно-сейсмологических изысканий под строительство конкретных объектов. При этом, в соответствии с масштабом изысканий, выполняются детализация модели зон ВОЗ и корректировка модели сейсмического эффекта по региональным данным. На протяжении 2010–2017 гг. выполнена модификация программного обеспечения расчетной технологии ОСР-97. В том числе, реализована возможность использования индивидуальных моделей затухания для элементов модели зон ВОЗ. Кроме того, реализована возможность расчета сейсмической опасности в пиковых ускорениях и амплитудах спектра реакции.

Ключевые слова: каталог землетрясений, период повторяемости, модели затухания, сейсмическая опасность, деагрегационный анализ, обобщенный спектр реакции, карты сейсмического районирования.

Введение

Вычислительные технологии вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО), массово применяемые во всем мире, разработаны в конце прошлого века, и за последние 20 лет не претерпели особых изменений. Как правило, исследования последних лет сосредоточены на совершенствовании моделей, закладываемых в расчет: модель зон возникновения очагов землетрясений (зон ВОЗ) и модель сейсмического эффекта (МСЭ). В мировой практике технология ВАСО используются как для построения карт ОСР,

так и на стадии детальных исследований в рамках инженерно-сейсмологических изысканий под строительство конкретных объектов. При этом, в соответствии с масштабом изысканий выполняется детализация модели зон ВОЗ и корректировка модели сейсмического эффекта по региональным данным.

Методика ОСР-97 [1] имеет ряд существенных преимуществ относительно зарубежных аналогов. Однако она не была внедрена в практику региональных исследований и прикладных инженерно-сейсмологических изысканий. Прежде всего, это связано с недоступностью программного обеспечения ОСР-97 для широких масс исследователей и изыскателей. Кроме того, отсутствуют формализованные методические рекомендации по построению и параметризации моделей зон ВОЗ и корректировке моделей сейсмического эффекта от протяженного очага в рамках методики ОСР-97.

На протяжении 2010–2016 гг. выполнена модификация методологии и программного обеспечения расчетной технологии ОСР-97. В том числе, реализована возможность использования индивидуальных моделей затухания для элементов модели зон ВОЗ. Кроме того, реализована возможность расчета сейсмической опасности в пиковых ускорениях и амплитудах спектра реакции [2].

Программа EAST-2016 предназначена для расчетов вероятностных оценок сейсмической опасности на основе методологии ОСР-97. В основу вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО) положены две взаимосвязанные сейсмогеодинамические модели (рис. 1): модель зон возникновения очагов землетрясений (зон ВОЗ) и модель сейсмического эффекта (МСЭ) [1].

Пакет EAST-2016 является развитием комплекса программ PRB-60, разработанного А.А. Гусевым, В.М. Павловым и Л.С. Шумиловой в рамках работ по созданию комплекта карт общего сейсмического районирования РФ ОСР-97. Пакет PRB предназначен для расчета повторяемости в заданном пункте значения балла I_T , такого что сотрясения с баллом I , большим или равным I_T происходят в этом пункте в среднем 1 раз за T лет.

К функциональным возможностям PRB-60 добавлены: функция деагрегационного анализа сейсмической опасности (процентный вклад в расчетное воздействие землетрясений с шагом по магнитуде и гипоцентральному расстоянию, процентный вклад в расчетное воздействие зон ВОЗ); возможность использования индивидуальных моделей затухания для зон ВОЗ; функция расчета обобщенного спектра реакции и вероятной длительности колебаний. Расчет обобщенных спектров реакции реализован как экспериментальная процедура на основе эмпирических зависимостей Ф.Ф. Аптикаева [3].

Интерфейс программы EAST-2016

На рисунке 2 показан интерфейс программы EAST-2016.

Интерфейс программы EAST-2016 поддерживает следующие параметры и возможности:



Рисунок 1. Концепция методологии ОСР-97 (по В.И. Уломову).

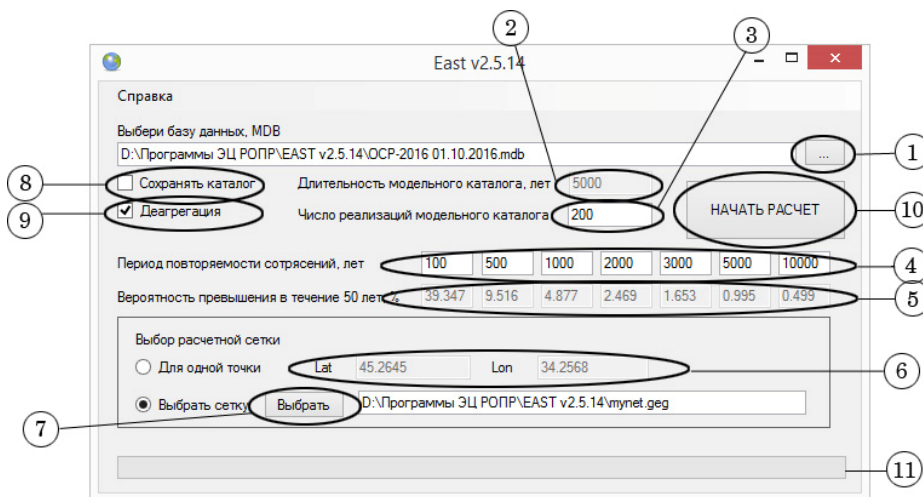


Рисунок 2. Интерфейс программы EAST-2016.

1. Выбор базы данных в формате mdb;
2. Длительность модельного каталога (по умолчанию выставлена 5000 лет);
3. Число реализаций модельного каталога;
4. Периоды повторяемости сейсмических воздействий, для которых выполняются расчеты;
5. Вероятность превышения расчетной интенсивности в течение 50 лет, соответствующая выбранным периодам повторяемости;
6. Поля для задания географических координат расчетной точки (WGS-84);
7. Расчет сейсмической опасности в нескольких точках;
8. Возможность сохранения модельного каталога при выборе опции «Сохранить каталог»;
9. Возможность сохранения результатов деагрегационного анализа при выборе опции «Деагрегация»;
10. Отображение «прогресса» расчетов.

Работа с программой EAST-2016

Запуск программы осуществляется через файл EAST-2016-v2.5.15.exe. По умолчанию расчет ведется для набора периодов повторяемости сейсмических воздействий 100, 500, 1000, 2000, 3000, 5000, 10000 лет, но при необходимости можно выставить любые периоды повторяемости. Ниже периодов повторяемости приведены соответствующие им вероятности превышения расчетной интенсивности в течение 50 лет.

Длительность модельного каталога по умолчанию выставлена равной 5000 лет (2). Число реализаций (3) указанного периода выбирается пользователем. Для получения статистически обоснованного результата расчетов рекомендуется не выставлять менее 100 реализаций. После выбора входных данных и параметра расчет начинается кнопкой «НАЧАТЬ РАСЧЕТ». Для начала расчётов необходимо, чтобы в папке с запускаемым файлом содержались:

- mdb файл базы исходных данных;
- mynet.geg — сетка приемников (в случае если ведется расчет по нескольким точкам).

Через кнопку (1) открывается диалоговое окно выбора базы исходных данных (рис. 3).

Расчет может выполняться как для одной точки, так и для сетки точек. В первом случае необходимо, чтобы была отмечены позиция «Для одной точки», и введены географические координаты (WGS-84). Если расчет ведется для нескольких точек, необходимо отметить пункт «Выбрать сетку», и нажать кнопку «Выбрать». После этого открывается диалоговое окно для выбора файла сетки mynet.geg (рис. 4).

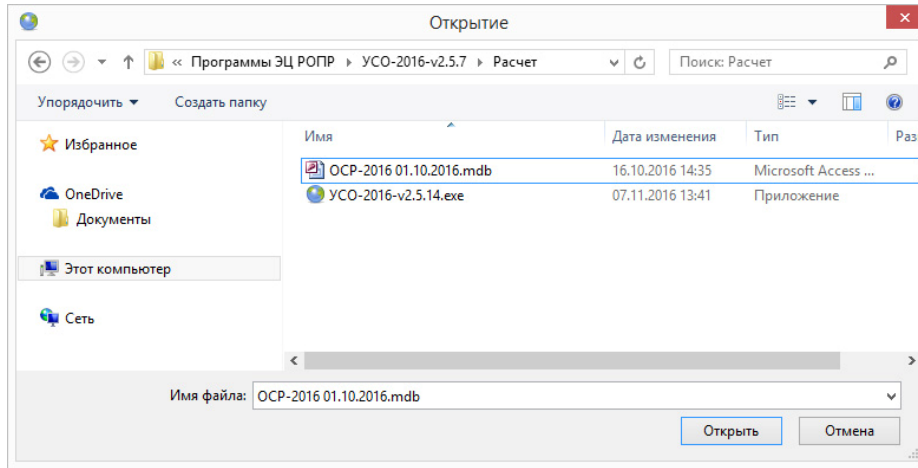


Рисунок 3. Диалоговое окно выбора файла базы исходных данных mdb.

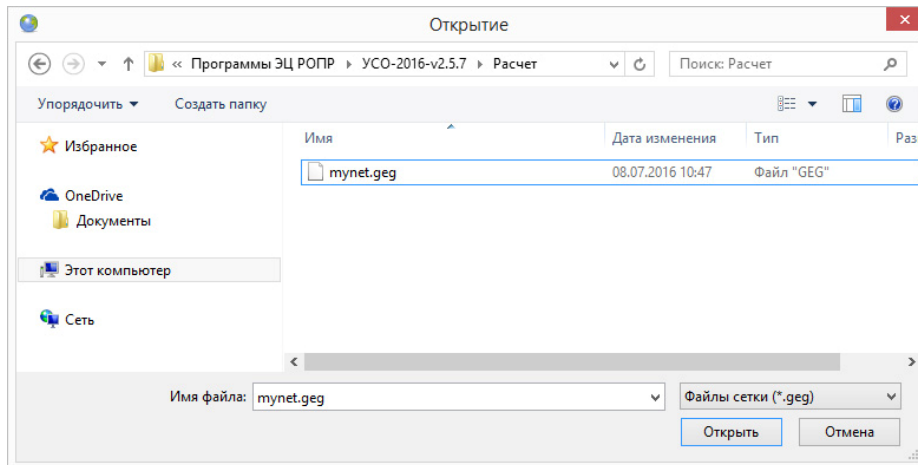


Рисунок 4. Диалоговое окно выбора файла сетки mynet.geg.

Файл `munet.geg` с сеткой точек должен содержать географические координаты. Для сохранения модельного каталога или выполнения деагрегационного анализа выставляются соответствующие галочки (8) «Сохранить каталог» и (9) «Деагрегация».

Выходные файлы расчетов

Результаты расчетов сохраняются в той же папке, где находятся файл базы данных.

Результат расчетов интенсивности и обобщенных спектров реакции. Файл `EAST_2016_ABCD.TXT` содержит результаты расчетов интенсивности и обобщенных спектров реакции для всех точек подряд. Формат файла: каждой точке соответствует строка с координатами и 95 расчетных характеристик сейсмической опасности; `lat`, `lon` — координаты точки в формате WGS-84.

Расчетная интенсивность и периоды повторяемости сотрясений. Расчет сейсмической опасности выполняется для семи периодов повторяемости указанных. По умолчанию выставлены периоды повторяемости 100, 500, 1000, 2000, 3000, 5000, 10000 лет. T100, T500, T1000, T2000, T3000, T5000, T10000 — расчетная интенсивность в долях балла для указанных периодов. VI, VII, VIII, IX — периоды повторяемости (лет) для сотрясений в 6, 7, 8, 9 баллов, соответственно.

Обобщенные спектры реакции. Расчет обобщенных спектров реакции реализован как экспериментальная процедура на основе эмпирических зависимостей Ф.Ф. Аптикаева [2,3]. Далее для каждого периода повторяемости приведен PGA (в долях g) и обобщенный спектр реакции SA (в долях g) по 10 периодам собственных колебаний 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.7, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0 сек. Всего 77 столбцов (семь периодов повторяемости по 11 значений).

Вспомогательные файлы

Файл контроля графиков повторяемости EAST_2016_01_GRP.TXT. Содержит графики повторяемости: исходный (GRFO) и по модельному каталогу (GRFM) для каждой зоны ВОЗ (ZONA). Если какая-либо магнитуда в счет не включена, это отразится на результатах.

Файл расчетных гистограмм повторяемости сотрясений EAST_2016_01_GST.TXT. Формат файла:

- LAT, LON — координаты точки;
- BALL — значения балльности, к которым относятся значения гистограмм;
- IGS — натуральная (некумулятивная) гистограмма за $t \cdot n_{cycl}$ лет;
- KUM — кумулятивная гистограмма за $t \cdot n_{cycl}$ лет;
- KUMNORM — результат операции $\frac{KUM}{n_{cycl}}$;
- GRAN1 — результат операции $\frac{KUM - KUM0.5}{n_{cycl}}$;

– GRAN2 — результат операции $\frac{KUM+KUM0.5}{n_{cycl}}$.

Файл зон ВОЗ и графиков повторяемости использованных при расчете EAST_2016_01_OUT.TXT. Для текущей подсетки в счет включаются только те зоны, которые могут создавать сотрясения с баллом больше 3, а из магнитуд графика такой зоны оставляются магнитуды с таким же свойством. Если зона исключается, то об этом дается сообщение. Если нет — указывается интервал оставленных магнитуд.

Файл модельного каталога CAT.TXT. Формат файла: INDZ — номер зоны; MAG — магнитуда Mw; L, W — длина и ширина площадки очага; AZ — азимут верхней кромки с координатами RН1, LMD1, задающий направление простирания очага; DIP — угол падения (угол между горизонтальной плоскостью и площадкой очага; отсчитывается по часовой стрелке, если смотреть вдоль направления простирания; лежит в пределах от 0 до 180 градусов); RН1, LMD1, Н1 — географические координаты и глубина гипоцентра.

Деагрегационный анализ сейсмической опасности

Оценки сейсмической опасности, полученные в результате вероятностного анализа, это совокупная опасность от потенциальных землетрясений многих различных магнитуд, происходящих на разных расстояниях источник-пункт. То есть рассчитанная интенсивность, PGA или др., не связана с какой-либо отдельной магнитудой, расстоянием или зоной ВОЗ. Для контроля адекватности заложенных в расчет моделей зон ВОЗ и затухания реализована процедура деагрегационного анализа сейсмической опасности в двух вариантах. Кроме того, результаты деагрегационного анализа сейсмической опасности могут быть использованы на стадии сейсмического микрорайонирования (СМР) для обоснования параметров подбираемых или синтезируемых акселерограмм.

Оценка процентного вклада в расчетные воздействия землетрясений с шагом по магнитуде и гипоцентральному расстоянию. Результаты деагрегационного анализа сохраняются в файл Deagreg_SA_-1.-txt. Формат файла: Mlh — магнитуда модельных землетрясений; R — расстояние от площадки очага до расчетной точки. Далее идут результаты расчетов процентного вклада землетрясений с шагом по магнитуде (Mlh от 2.0 до 9.0 с шагом 0.5) и гипоцентральному расстоянию (R от 0 км до 400 км с шагом 5 км) для каждой расчетной величины сейсмической опасности из файла EAST_2016_ABCD.TXT (за исключением периодов повторяемости VI, VII, VIII, IX и длительностей колебаний). Всего для 84 характеристик.

Оценка процентного вклада в расчетное воздействие зон ВОЗ. Результаты деагрегационного анализа сохраняются в файл DeagregDomLin_-1.txt. Формат файла: N — номер зоны ВОЗ в базе данных. Далее идут результаты расчетов процентного вклада каждой зоны ВОЗ в расчетную интенсивность для семи периодов повторяемости.

Пример расчета сейсмической опасности

Результаты расчета для площадки на территории г. Махачкала приведены в таблице 1. Расчет выполнен на основе модели зон ВОЗ ОСР-2016 (рис. 5) и модели затухания А.А. Гусева для материковой части Северной Евразии.

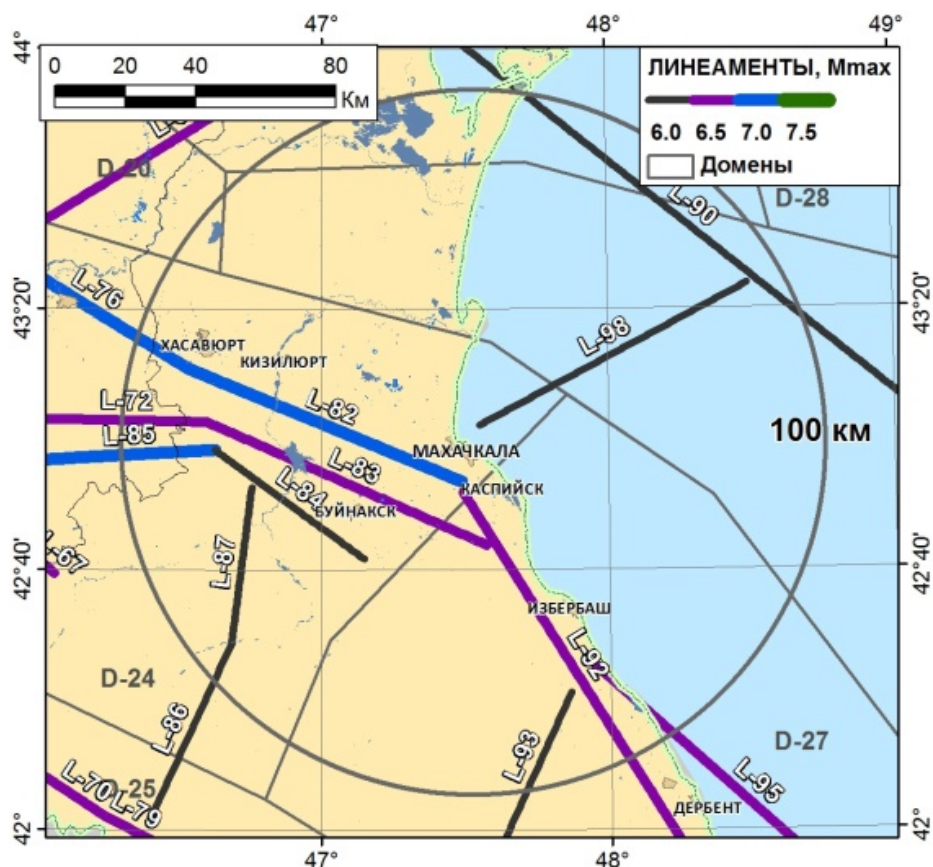


Рисунок 5. Модель зон ВОЗ ОСР-2016 для 100 км. зоны вокруг г. Махачкала.

Результат деагрегационного анализа сейсмической опасности приведен на рисунках 6–7. Основной вклад в расчетную интенсивность обеспечивают землетрясения с магнитудой $MLH = 6.5 \pm 0.5$ и гипоцентральной расстоянием 15 ± 5 км.

Результаты деагрегации сейсмической опасности от зон ВОЗ приведены на рисунке 8. Из них видно, что основной вклад обеспечивают линиямент №82 и рассеянная сейсмичность домена №24.

Таблица 1. Расчетные интенсивность, пиковые ускорения и амплитуды обобщенных спектров реакции при разных периодах повторяемости для территории города Махачкала (в привязке к грунтам II категории по сейсмическим свойствам).

Период повторяемости T , лет	Балл MSK-64	Длительность колебаний по Ф.Ф. Аптикаеву, с.	Пиковое ускорение PGA, см/с ²	Амплитуды обобщенных спектров реакции SA, доли g^* , на периодах колебаний t , с									
				0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	1.0	2.0	3.0	5.0
100	7.4	1.0	0.14	0.23	0.29	0.30	0.28	0.25	0.19	0.14	0.06	0.03	0.01
500	8.2	3.0	0.28	0.51	0.63	0.67	0.64	0.57	0.44	0.32	0.15	0.09	0.03
1000	8.6	4.0	0.34	0.66	0.81	0.85	0.83	0.75	0.58	0.42	0.20	0.12	0.05
2000	8.9	5.1	0.40	0.83	1.00	1.06	1.03	0.95	0.74	0.53	0.26	0.16	0.07
3000	9.1	6.4	0.44	0.94	1.12	1.18	1.15	1.07	0.84	0.61	0.30	0.19	0.08
5000	9.3	7.2	0.49	1.07	1.26	1.35	1.33	1.23	0.97	0.70	0.36	0.23	0.11
10000	9.6	8.2	0.55	1.26	1.51	1.59	1.58	1.44	1.16	0.83	0.44	0.28	0.15

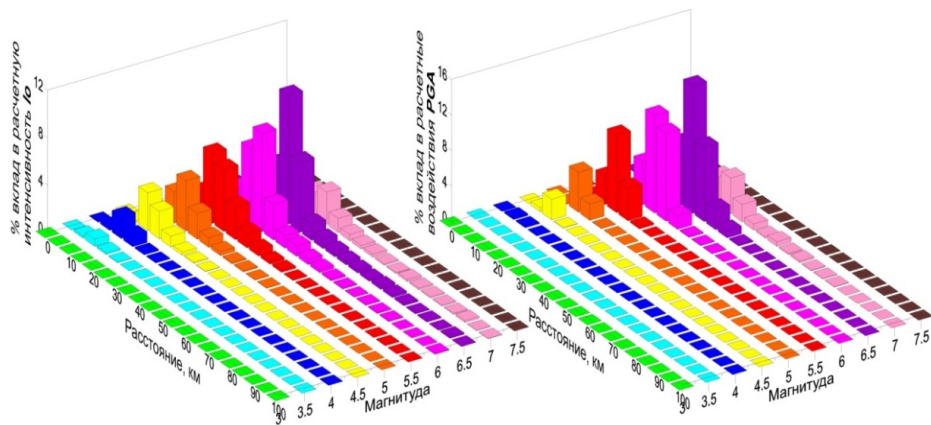


Рисунок 6. Гистограммы деагрегационного анализа сейсмической опасности для периода повторяемости 500 лет: А — интенсивности сотрясений в баллах; Б — пиковых ускорений.

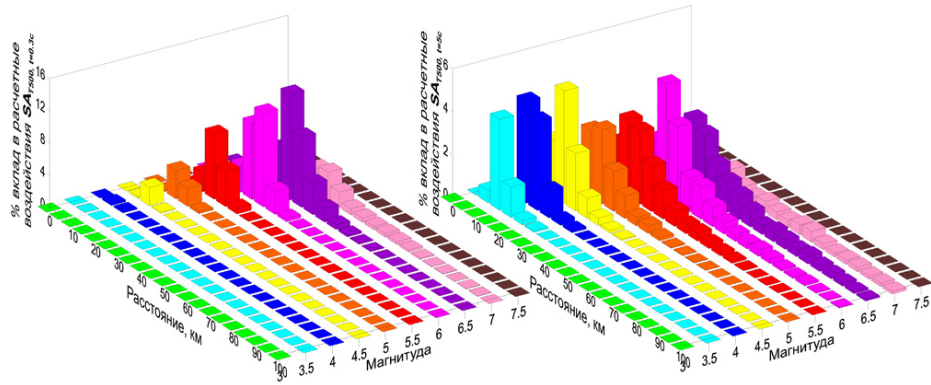


Рисунок 7. Гистограммы деагрегационного анализа сейсмической опасности для периода повторяемости 500 лет: А — амплитуды обобщенного спектра реакции для периода колебаний 0.3 с; Б — амплитуды обобщенного спектра реакции для периода колебаний 5 с.

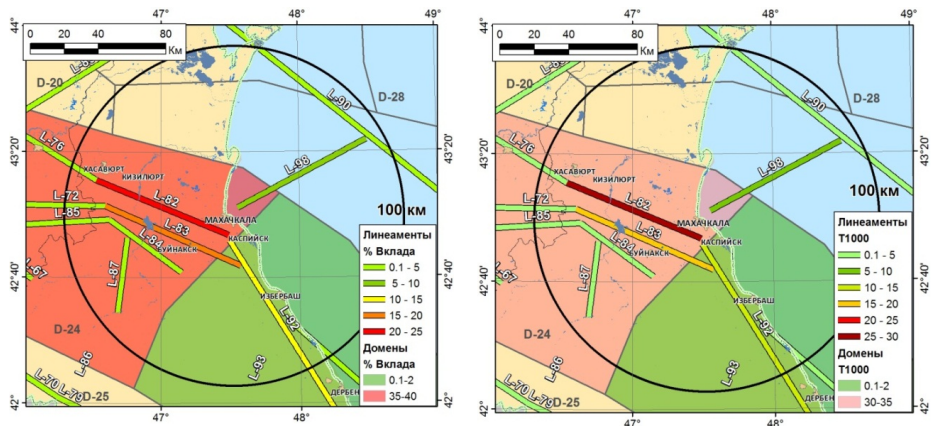


Рисунок 8. Деагрегация сейсмической опасности от зон ВОЗ: А — период повторяемости 500 лет; Б — период повторяемости 1000 лет.

Заключение

В Российской Федерации исторически сложилась двухступенчатая схема оценки сейсмической опасности: оценка исходной сейсмичности для средних грунтов (общее сейсмическое районирование — ОСР, уточнение исходной сейсмичности — УИС, детальное сейсмическое районирование — ДСР, уточнение сейсмической опасности — УСО) и последующая корректировка оценок с учетом реальных грунтовых условий площадки (сейсмическое микрорайонирование — СМР).

К сожалению, эти направления в научно-методическом плане развиваются бессистемно и разнонаправленно. Единой методической основы, обеспечивающей преемственность оценок сейсмической опасности от ОСР к УИС и СМР в РФ нет. Разработка единой методологии оценки сейсмической опасности, увязывающая стадии ОСР, ДСР и СМР является ключевой задачей, без решения которой дальнейшие попытки совершенствования нормативной базы по оценке и учету сейсмических нагрузок бессмысленны. Кроме того, данная методология должна иметь статус приоритетной, а разработка нормативных документов по составу работ УСО и СМР выполняться в увязке с ее положениями.

Модифицированное программное обеспечение методики ОСР-97 позволяет обеспечить методически единый подход к решению задач ОСР и УИС, а также получить оценки исходной сейсмичности в долях балла и физических характеристиках (PGA, SA) для их дальнейшего использования в работах по сейсмическому микрорайонированию и проектированию. Использование в качестве базовой методики ОСР-97 позволит создать научно-методические и технологические основы для разработки системы нормативных документов, регламентирующих исследования по оценке сейсмической опасности и задания проектных сейсмических нагрузок в рамках инженерных изысканий в строительстве.

Список литературы

1. Уломов В.И., Шумилина Л.С.: Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1:8 000 000: объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ, (1999)
2. Перетокин С.А.: Некоторые аспекты вероятностной оценки сейсмической опасности с использованием эмпирических зависимостей. Инженерные изыскания. 7, 39–48 (2016)
3. Аптикаев Ф.Ф.: Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. М.: Наука и образование, (2012)

Системный подход к созданию адаптационных механизмов управления безопасностью информационных ресурсов

З. В. Родионова, И. Т. Утепбергенов

Новосибирский государственный университет экономики и управления "НИНХ"
Новосибирск, Россия

Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК
Алматы, Казахстан
rodionova_z@ngs.ru, i.utepbergenov@gmail.com

Аннотация В статье описан адаптационный механизм, основанный на элементах системного подхода, позволяющий повысить эффективность процессов разработки и внедрения системы управления информационной безопасностью на предприятии¹. В общем виде представлена модель процесса создания системы управления информационной безопасностью, соответствующая стандартам семейства ISO/IEC 27000. Предложены методологии, инструменты и методы системного анализа для использования в рамках проекта по разработке и внедрению системы управления информационной безопасностью предприятия. Представлен подход к управлению рисками информационной безопасности предприятия на основе анализа бизнес-процессов.

Ключевые слова: Система управления информационной безопасностью, системный анализ, бизнес-процесс, управления рисками, моделирование бизнес-процессов.

Введение

В условиях цифровой трансформации экономики, требования к обеспечению безопасности информационных ресурсов современного предприятия существенно изменились. В 2017 году были утверждены государственные программы «Цифровая экономика Российской Федерации» и «Цифровой Казахстан», определяющие перспективы развития цифровой индустрии двух стран в том числе и в области информационной безопасности (далее ИБ). В программе «Цифровая экономика Российской Федерации» к приоритетным задачам ИБ отнесено «обеспечение устойчивости и безопасности функционирования информационных систем и технологий...» [1]. Основное поло-

¹ Работа поддержана грантом МОН РК (проект № AP05134019 «Разработка научно-методических основ и прикладных аспектов построения распределенной системы информационного обеспечения инновационной деятельности с учетом специфических особенностей каждого из этапов жизненного цикла инноваций».

жение программы «Цифровой Казахстан» устанавливает, что «эффективная реализация мероприятий по цифровизации экономики Республики Казахстан будет обеспечена только при обеспечении единства, устойчивости и безопасности информационно-коммуникационной инфраструктуры, сохранности данных и доверии граждан к процессам, в основе которых лежат решения, основанные на использовании ИКТ. . . » [2].

Сама сущность деятельности современного предприятия подразумевает смену или значительную модификацию бизнес-модели, а также динамичное изменение процессов и технологий на протяжении всего жизненного цикла продукта и/или проекта, что делает применение классической системы управления ИБ не эффективным. Подобная система не позволяет оперативно отслеживать и интерпретировать указанные изменения на настройки системы управления ИБ, в результате чего, рассматриваемый управленческий процесс является трудоемким, дорогостоящим, а также слабо формализованным. Важно отметить и тот факт, что функционирование предприятия в цифровом пространстве приводит к появлению новых специфичных угроз и уязвимостей для информационных систем, таких как кибертерроризм, утечка конфиденциальной информации, риски электронных расчетов, ненадежные сети передачи данных, угроза «кражи личности» вследствие использования цифровой идентификации, риски «интернет вещей» и другие, которые требуют изучения и выработки методик по их противодействию.

«Глобальное исследование утечек конфиденциальной информации в I полугодии 2017 года», выполненное аналитическим центром InfoWatch зафиксировало восьмикратный рост объемов скомпрометированных данных по сравнению с аналогичным периодом 2016 года. В отчете аналитического центра отмечается, что «цифровизация требует все больших объемов обрабатываемых данных, которые компании и госорганы вынуждены собирать, анализировать, хранить. В этом смысле рост объема скомпрометированных данных является неперенным спутником «цифровизации», ее обратной стороной. . . » [3].

Значимость процесса обеспечения информационной безопасности может существенно возрасти в зависимости от степени автоматизации предприятия, интеллектуальной составляющей продукта и/или услуги, наличия в информационных потоках предприятия сведений, составляющих коммерческую тайну, государственную тайну, а также другие виды конфиденциальной информации (персональные данные, банковская тайна, врачебная тайна, интеллектуальная собственность и др.). Нельзя не отметить и тот фактор, что предприятие испытывает постоянно растущее давление, связанное с необходимостью соответствовать требованиям законодательства и регулирующих органов.

В реалиях современного мира, необходимо разработать систему управления ИБ предприятия, позволяющую адаптировать и изменять требования к защите информационных ресурсов в зависимости от изменений бизнес-процессов, которые в свою очередь подвержены влиянию внешней и внут-

ренной среды [4,5,6]. К внешним изменениям относятся изменения, обусловленные законодательством или организационно-распорядительными документами вышестоящих органов (министерств, ведомств, государственных регуляторов). Внутренние изменения могут быть обусловлены оптимизацией бизнес-процессов, совместным использованием информационных ресурсов с другими предприятиями, изменениями технологий обработки информации и др. Указанные изменения могут касаться всех элементов системы информационной безопасности: от информационных ресурсов, концептуальных документов, инструкций и регламентов до конфигурации программно-технических решений.

Анализируя целесообразность обращения к элементам системного анализа при решении задач ИБ, следует отметить, что формальные модели бизнес-процессов обычно разрабатываются в ходе бизнес-планирования и реинжиниринга процессов предприятия, в частности, при автоматизации. Результаты таких работ приводят к необходимости внесения изменений в политики и (или) технологии информационной безопасности, и если при моделировании бизнес-процессов предусмотреть анализ параметров, влияющих на информационную безопасность, то можно снизить трудоёмкость работ по выявлению и обоснованию изменений в системе ИБ [7].

Использование процессного подхода для управления информационной безопасностью предприятия

Все вышеизложенное позволяет сделать вывод о том, что эффективную систему управления ИБ предприятия можно построить, используя процессный подход, что также закреплено в разделе 0.2. «Процессный подход» стандарта ISO/IEC 27001 «Информационные технологии. Методы защиты. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования».

Сущность процессного или системного подхода заключается в возможности анализировать систему в целом, а не отдельные её части, но его практическая реализация для целей управления ИБ наталкивается на сложности, которые с одной стороны связаны с отсутствием описания четких механизмов, с другой - с неопределенностью источников знаний.

Ключевую роль в процессе управления ИБ предприятия играет система управления ИБ (далее СУИБ), под которой понимается система, позволяющая создать, внедрить, обеспечить функционирование, осуществить мониторинг, анализ, поддержку и улучшение защиты информационных активов для достижения стратегических целей предприятия. Управление в контексте СУИБ подразумевает руководство и принятие решений, необходимых для достижения бизнес-целей, направленных на защиту информационных активов предприятия. Целью такой деятельности является обеспечение конфиденциальности критической информации, обеспечение невозможности несанкционированного доступа к критической информации, целостности информации и связанных с ней процессов (создания, ввода, обработки и вывода).

Процесс построения СУИБ детально описан в стандартах группы ISO/IEC 27000 «Система менеджмента информационной безопасности». Стандарты, входящие в указанную группу, с одной стороны, используются как источник знаний об управленческих, организационных и технических процедурах, с другой, как потребность следовать требованиям законодательства. Для организации управленческого процесса предписывается использовать «PDCA» модель (Планирование «Plan» – Осуществление «Do» – Проверка «Check» – Действие «Act»).

В соответствии с процессной моделью и моделью «PDCA» выделяют четыре этапа создания СУИБ (Табл. 1).

Таблица 1. Этапы создания СУИБ.

Номер этапа	Название этапа	Краткое содержание работ
1.	Разработка СУИБ	Разработка политики СУИБ, установление целей, процессов и процедур СУИБ, относящихся к менеджменту рисков и улучшению ИБ, для достижения результатов, соответствующих общей политике и целям организации
2.	Внедрение и обеспечение функционирования СУИБ	Внедрение и применение политики ИБ, мер управления, процессов и процедур СУИБ
3.	Проведение мониторинга и анализа СУИБ	Оценка, в том числе по возможности, количественная, результативности процессов относительно требований политики, целей безопасности и практического опыта функционирования СУИБ и информирование высшего руководства о результатах для последующего анализа
4.	Поддержка и улучшение СУИБ	Проведение корректирующих и превентивных действий, основанных на результатах внутреннего аудита или другой соответствующей информации, и анализа со стороны руководства в целях достижения непрерывного улучшения СУИБ

Как показывает практика, перечень этапов может быть расширен и включать пятый этап - сертификация СУИБ. Процедура сертификации является добровольной и позволяет укрепить имидж предприятия, повысить интерес со стороны клиентов, инвесторов, кредиторов и спонсоров, расширить сферу деятельности за счет участия в тендерах и развитии бизнеса на меж-

дународном уровне, мотивировать персонал, снизить ущерб от инцидентов безопасности, застраховать информационные риски предприятия на более выгодных условиях и т.д.

Деятельность, целью которой является создание СУИБ (первые два этапа) относится к проектной деятельности предприятия, поддержание дальнейшего функционирования разработанной системы (третий и четвертый этапы), как правило, относится к процессной деятельности. Рабочая группа для реализации проекта по созданию СУИБ в обязательном порядке включает представителей высшего руководства, бизнес-подразделений, сотрудников подразделения ИБ и сторонних консультантов.

Далее рассмотрим более подробно этапы и работы проекта по созданию СУИБ (далее проект СУИБ), в рамках которых наиболее целесообразно применять методы и инструменты системного анализа.

Использование методов и инструментов системного анализа для проектирования и разработки СУИБ

На Рис. 1 представлена модель бизнес-процесса «Проектирование и разработка СУИБ», выполненная в нотации функционального моделирования IDEF0. Перечень работ, а также их основные параметры разработаны в соответствии со стандартом ISO/IEC 27003 «Методы и средства обеспечения безопасности. Система менеджмента информационной безопасности. Руководство по реализации системы менеджмента информационной безопасности».

На рисунке полужирным курсивом выделены методы и инструменты системного анализа, предложенные авторами для реализации работ, связанных с проектированием и разработкой СУИБ, которые позволят формализовать процесс создания СУИБ и обеспечить последующую адаптацию системы к изменениям внешней и внутренней среды.

Работы первого этапа по разработке СУИБ начинаются с получения одобрения руководства для запуска проекта СУИБ. Обоснование необходимости реализации указанного проекта производится посредством описания случаев применения СУИБ для данного предприятия и составления предварительного плана проекта. Для управления проектом СУИБ может быть использован стандарт ISO 21500 «Руководство по проектному менеджменту». Важно определить текущее состояние ИБ на предприятии, которое закрепляется документально и используются для выполнения всех последующих работ процесса.

В рамках первого этапа также производится определение приоритетов организации для разработки СУИБ и постановка основных целей СУИБ. Приоритеты СУИБ определяются в соответствии со стратегией деятельности, источником информации о которой, как правило, является документ «Стратегия предприятия», в котором бизнес-цели могут получить графическое отображение в виде «Стратегической карты». Для определения приоритетных направлений обеспечения информационной безопасности пред-

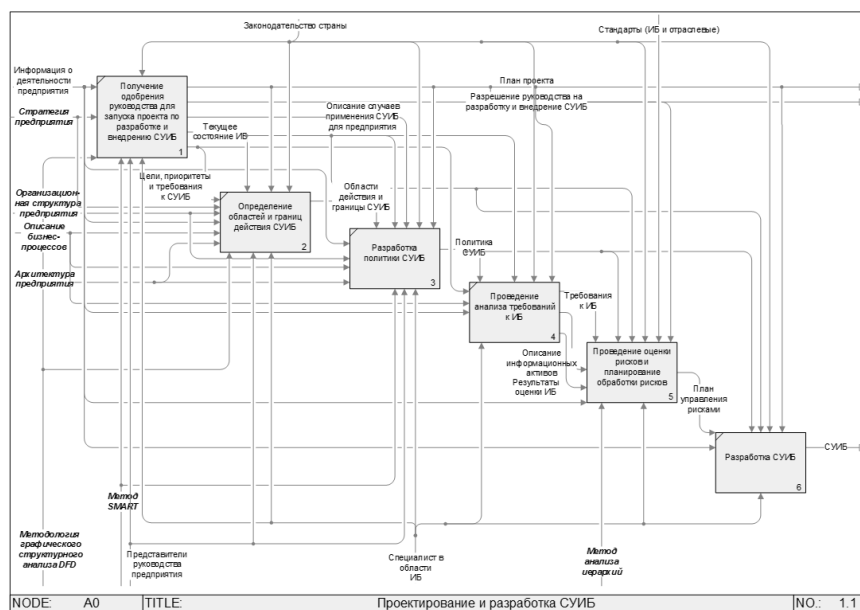


Рисунок 1. Модель бизнес-процесса «Проектирование и разработка СУИБ».

предприятия может быть использована методология графического структурного анализа DFD (Data Flow Diagrams – диаграмма потоков данных). На модели рекомендуются отобразить приоритетные направления хозяйственной деятельности предприятия и соответствующие им информационные системы и потоки информации. Такая модель позволит проанализировать причинно-следственные связи между возможными нарушениями конфиденциальности и/или нарушениями в стабильной работе информационных систем, с одной стороны, и нарушениями нормального хода текущих хозяйственных операций, с другой стороны. Модель DFD может быть также полезна для демонстрации того, каким образом ИБ способствует достижению стратегических целей предприятия.

Цель внедрения СУИБ должна быть направлена на улучшение процесса управления рисками ИБ, повышение результативности самой управленческой деятельности, а также развитие конкурентных преимуществ предприятия. Для постановки цели СУИБ целесообразно использовать метод «SMART», согласно которому, цель является конкретной, измеримой, достижимой, актуальной и ограниченной во времени. Далее приведен пример цели СУИБ, сформулированный по указанному методу: «Совершенствование системы обеспечения ИБ организации посредством повышения устойчивости к инцидентам ИБ на 20 процентов в течении одного года». Для оценивания достижения цели, приведенного в примере, используется отношение числа инцидентов определенного типа, выявленных за период времени, к общему числу выявленных за это время инцидентов.

После получения одобрения руководства для запуска проекта СУИБ можно переходить к определению области и границ действия разрабатываемой системы на основе требований всех заинтересованных лиц с учетом имеющихся активов и технологий. Следующая информация о деятельности предприятия позволит обеспечить полноту и целостность результатов в процессе определения областей и границ действия СУИБ.

- Описание всех видов деятельности и бизнес-целей предприятия (документ «Стратегия предприятия», графическая модель «Стратегическая карта»).
- Описание организационной структуры предприятия.
- Описание бизнес-процессов предприятия (виды информационных ресурсов).
- Архитектура предприятия (предпочтительно графическая схема информационных систем предприятия и поддерживающей инфраструктуры. Может быть использована модель архитектуры предприятия, описанная с помощью языка ArchiMate).

На основании изученной информации о деятельности предприятия выполняются следующие работы.

- Определяются заинтересованные стороны, которые имеют отношение к СУИБ и их требования.
- Описание внешних и внутренних проблем, которые с одной стороны имеют значение для достижения стратегических целей предприятия, с другой - на результативность системы управления информационной безопасностью. Стандарт ISO/IEC 27001 «Информационные технологии. Методы защиты. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования» предписывает для определения таких проблем использовать положения об установлении внешнего и внутреннего контекста организации, содержащиеся в разделе «5.3» ISO/IEC 31000 «Менеджмент риска. Принципы и Руководство».
- Составляется итоговый документ, в котором фиксируют области и границы действия СУИБ.

Любое исключение объекта из области действия СУИБ должно быть детально обосновано. Далее разрабатывается политика ИБ.

Такая политика описывает основные мероприятия по информационной безопасности и процедуру их выполнения, её основная цель – дать ясное представление о поведении сотрудников предприятия и других лиц при внедрении/использовании информационных систем, средств защиты, осуществлении информационного обмена и операций по обработке информации.

В соответствии со стандартом ISO/IEC 27001 «Информационные технологии. Методы защиты. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования» политика СУИБ должна принимать во внимание требования бизнеса, нормативно-правовые требования, а также договорные обязательства по обеспечению безопасности, быть согласована со стратегией предприятия и, в обязательном порядке, утверждаться руководством.

Как правило, политика СУИБ является расширенной версией политики ИБ предприятия, поэтому далее будем рассматривать процесс разработки общего документа.

Начать работы по разработке политики информационной безопасности целесообразно с определения ее цели, которая может быть сформулирована также с использованием метода «SMART». Такая цель, как правило, отражает позицию руководства в отношении защиты информационных активов. Может быть выделена наивысшая цель и несколько сопутствующих ее достижению целей. Наивысшая цель предприятия в области защиты информации может быть связана с обеспечением целостности, доступности и конфиденциальности информации. Совокупность стратегических целей информационной безопасности и соответствующих им показателей достижения можно представить графически в виде стратегической карты. Важно отметить, что стратегическая карта информационной безопасности может быть разработана как модель для отдельного подразделения предприятия (например, для службы ИБ). Более эффективным видится построение стратегической карты информационной безопасности как детализации стратегической карты уровня предприятия.

Далее описывается стратегия достижения поставленных целей. Под стратегией информационной безопасности понимается долгосрочное качественно определенное направление развития предприятия, касающееся сферы, средств и формы ее деятельности, системы взаимоотношений внутри предприятия, а также позиции в окружающей среде, приводящее предприятие к ее целям в области информационной безопасности.

В общей теории стратегического менеджмента популярен известный подход канадского специалиста Г. Минцберга в рамках системы «5-Р»: план («plan») – заранее намеченные в деталях и контролируемые действия на определенный срок; исполнение («performance») – краткосрочная стратегия, которая характеризуется очень ограниченными целями и, в случае необходимости, может быть изменена. Минцберг описывает прием, т. е. тактический ход, как «маневр с целью переиграть своего противника или конкурента»; модель поведения («pattern of behavior») – это стратегия изменений путем следования принятой форме поведения; позиция по отношению к другим («position in respect to others») – позиция по отношению к конкурентам или позиция предприятия на рынке; перспектива («perspective») – разделяемое членами организации видение/восприятие мира, которое реализуется через их намерения и действия.

Для разработки бизнес-ориентированных стратегий информационной безопасности также могут быть использованы подходы и модели CISCO, Gartner, ISACA и др.

В процессе внедрения политики информационной безопасности и последующего ее совершенствования важно обеспечить гласность разработанному документу, а также определить лицо, которое будет интерпретировать положения политики в случае возникновения вопросов разъяснительного характера.

Из соображений эффективности и практичности, стандарт ISO/IEC 27003 рекомендует параллельно с этапом разработки политики СУИБ выполнять работы по проведению анализа требований к ИБ. Работы указанного этапа начинаются с определения требований к ИБ для процесса СУИБ, исходная информация, как правило, поступает из описаний бизнес-процессов и позволяет оценить влияние инцидентов ИБ на деятельность предприятия.

Специалисту в области ИБ требуется принять решение о том, насколько важной является информация, циркулирующая в каждом из бизнес-процессов. Все полученные данные оформляются в виде итогового документа «Требования к ИБ», который включает: определение основных бизнес-процессов, функций, объектов, информационных систем и коммуникационных сетей; информационные активы предприятия; классификация важнейших бизнес-процессов и активов предприятия; требования к ИБ; перечень известных уязвимостей; требования к обучению и образованию в области ИБ.

Идентифицированные активы предприятия рекомендуется детализировать и представить описание в следующем виде: наименование процесса и его описание (акцент на действиях с информационным активом – создание, хранение, передача, удаление); важность бизнес-процесса (критический, важный, вспомогательный); владелец бизнес-процесса; бизнес-процессы, обеспечивающие входные и выходные данные; ИКТ; классификация актива.

На основании всей полученной информации производится предварительная оценка ИБ путем сравнения текущего состояния ИБ с целями предприятия. Функционирование СУИБ основывается на процессе результативного управления рисками. Процесс анализа угроз и оценки рисков информационной безопасности является непрерывным, исходные данные определяются на этапе создания СУИБ, далее в процессе ее функционирования производится мониторинг изменения угроз и рисков, их повторный анализ и оценка. Рекомендации по управлению рисками ИБ содержатся в стандарте ISO/IEC 27005 «Система менеджмента информационной безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности».

Работы по управлению рисками начинаются с выбора методик оценки рисков и последующего определения, анализа и оценки рисков в соответствии с выбранной методикой. К наиболее популярным методикам оценки рисков относятся: CRAMM, двухфакторная модель NIST, RiskWatch, Гриф, методика определения актуальных угроз персональных данных в информационных системах персональных данных, методика Таубенбергера-Юрьенса и др. Для выбора методики, соответствующей уровню зрелости предприятия и потребностям в сфере ИБ может быть использован метод анализа иерархий [9].

В соответствии с выбранной методикой проводятся следующие виды работ: определение угроз и их источников; определение существующих и планируемых мер и средств контроля и управления; определение уязвимостей; определение последствий потери конфиденциальности, сохранности, доступности, неотказуемости или нарушение других требований к ИБ; оценка вли-

яния фактических инцидентов ИБ; оценка вероятности и уровня каждого риска; сравнение уровня риска с критериями оценки и приемлемости риска. Полученная информация заносится в план управления рисками.

Как правило, источником данных для проведения подобного вида работ являются результаты интервьюирования и анкетирования работников предприятия и внешних экспертов, которые получены в ходе предпроектного обследования и последующего аудита, что затрудняет дальнейшую актуализацию информации. Авторами предложен подход к управлению рисками ИБ на основе анализа бизнес-процессов, целесообразность использования которого обоснована в работе [7].

На этапе непосредственной разработки СУИБ производится составление конечного плана внедрения СУИБ путем разработки системы безопасности организации на основе выбранных вариантов обработки риска, а также требований, касающихся записей и документов, объединяющих меры безопасности информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), физические и организационные процессы и разработку специальных требований для СУИБ.

Управление рисками информационной безопасности на основе анализа бизнес-процессов

Анализ формальных моделей бизнес-процессов позволяет получить информацию для решения широкого спектра задач ИБ, в частности, в работе [8] предложен автоматизированный подход к формализации и актуализации прав доступа пользователей на основе анализа моделей бизнес-процесса в нотации EPC (Event-Driven Process Chain - событийная цепочка процессов). Подход к управлению рисками ИБ на основе анализа бизнес-процессов предприятия предполагает использование формальной модели бизнес-процесса, как основного источника информации для анализа угроз и уязвимостей, а также последующей оценки рисков информационной безопасности.

Анализ наиболее распространенных методик оценки рисков [7], позволил определить перечень объектов, знания о которых необходимы для построения модели угроз и уязвимостей: информационный актив; подразделение к которому относится информационный актив; носитель информации; информационная система; пользователь; характеристика доступа пользователя к информации; канал передачи данных; ресурсы на которых хранится информация; технология обработки. Данный перечень не является исчерпывающим и может быть расширен для конкретной методики построения модели угроз и уязвимостей.

На Рис. 2 представлена метамодель знаний, охватывающая функциональную, организационную и информационную модели бизнес-процесса и позволяющая идентифицировать и актуализировать риски информационной безопасности предприятия.

Организационная модель определяет перечень исполнителей процесса, отражает обязанности и ответственность. Изменение этой модели вслед-



Рисунок 2. Мета модель знаний для управления рисками информационной безопасности [6].

ствие увольнения, перевода на другую должность, приема сотрудника, изменения организационной структуры и др. через процедуру управления изменениями окажет влияние на такие процессы, как распределение обязанностей и ответственности, управление доступом к данным, рисками, инцидентами и уязвимостями [7].

Функциональная модель позволит повысить осведомленность сотрудников в вопросах информационной безопасности, обеспечить непрерывность бизнес-процесса, актуализировать модель управления доступом. Информационная модель отражает информационные системы предприятия, их модули, функции, пользователей и служит источником данных для управления и мониторинга информационной инфраструктуры и управления правами доступа.

Важно отметить, что извлекаемые данные могут служить основой для идентификации защищаемых активов во взаимосвязи с объектами бизнес-процесса, когда: каждой уязвимости может быть поставлен в соответствие объект, определяющий, какому способу обработки, передачи и/или хранения присуща данная уязвимость; каждой угрозе ставятся в соответствие

аспекты информационной безопасности, к нарушению которых может привести угроза (конфиденциальность, доступность и/или целостность); для каждой угрозы определяется источник (таковым может являться исполнитель бизнес-процесса либо лицо, не принимающее участия в исполнении бизнес-процесса, события форс-мажорного характера, и др.).

Бизнес-процесс, описанный соответствующей моделью, может также рассматриваться как самостоятельный объект защиты, имеющий определённые свойства (напр., своевременность результата (выхода процесса), соответствие результата установленным требованиям, соответствие затраченных на выполнение процесса ресурсов плановым значениям и др.), нарушение которых приводит к тем или иным негативным последствиям.

Заключение

Логика рассуждений приводит к следующему выводу - построение системы управления информационной безопасностью организации, исходя из анализа и мониторинга бизнес-процессов, позволит обеспечить ее эффективную адаптацию к изменениям бизнес-среды и специфическим особенностям генерируемых информационных ресурсов. В дальнейшем, необходимо провести дополнительное исследование относительно того, каким уровнем зрелости процессов должно обладать предприятие для возможности применения разработанного адаптационного механизма.

Список литературы

1. Государственная программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации №1632-р от 28 июля 2017 г.
2. Государственная Программа «Цифровой Казахстан». Утверждена Постановлением Правительства Республики Казахстан №827 от 12 декабря 2017 г.
3. Аналитический Центр компании InfoWatch. Глобальное исследование утечек конфиденциальной информации в I полугодии 2017 года. [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: https://www.infowatch.ru/report2017_half.
4. Родионова, З.В. Управление информационной безопасностью предприятия на основе анализа бизнес-процессов : монография / З. В. Родионова, Т. М. Пестунова ; Новосиб. гос. ун-т экономики и управления. – Новосибирск: НГУЭУ, 2016. – 260 с.
5. Утепбергенов, И.Т. Повышение эффективности управления ИТ-инфраструктурой организации на основе внедрения современных систем менеджмента качества / И.Т. Утепбергенов, А.Н. Нургулжанова, А.Х. Джиенбаева // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – Алматы. – 2011. – С. 46-52.
6. Бобров, Л. К. Защита информационных ресурсов библиотеки на основе анализа бизнес-процессов / Л.К. Бобров, З.В. Родионова// НТИ. Сер. 1, Орг. и методика информ. работы. – 2016. – № 1. – С. 21-29.

7. Родионова, З.В. *Повышение эффективности управления работой с персональными данными на основе анализа бизнес-процессов* / З.В. Родионова, Т.М. Пестунова, Е.Н. Отто // Вестник СибГУТИ. -2016. -№ 1. – С. 23-29.
8. Rodionova, Z. *Design of Algorithms for Automated Access Control Based on Business Process Approach* / Z. Rodionova // Computational Technologies. – 2015. – P. 218-224.
9. Медянкина, И.П. *Метод анализа иерархий как инструмент выбора электронно-библиотечной системы* / И.П. Медянкина, Л.К. Бобров // Научные и технические библиотеки. – 2015. – № 4. – С. 5-14.

О трехмерной визуализации геологических объектов на основе фотограмметрии

А. Т. Уалханова, Н. Ф. Денисова

Восточно-Казахстанский государственный
технический университет им. Д. Серикбаева,
Усть-Каменогорск, Казахстан
AUalkhanova@ektu.kz

Аннотация В настоящее время популяризация геологических знаний, развитие геотуризма и применение для этого современных информационных технологий является актуальной и востребованной задачей. В данной работе описана технология 3D-визуализации различных объектов, в том числе, геологических, на основе фотограмметрии. Выявлены особенности и проблемы построения 3D-моделей геологических объектов, исследованы возможности программного продукта Agisoft Photoscan, позволяющего в полуавтоматическом режиме получать облако точек и 3D-модели объектов на основе их двумерных фотоснимков, в том числе, полученных с помощью управляемых беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: Фотограмметрия, 3D-модель, 3D-моделирование, облако точек, алгоритм фотосъемки, квадрокоптер, текстурирование, ортофоплан

Введение

Восточно-Казахстанская область уникальна по своим туристическим возможностям. Большое разнообразие ландшафтно-климатических зон, наличие памятников истории и культуры обуславливает привлекательность Восточного Казахстана в плане туризма. Здесь находятся памятники природы мирового значения: гора Белуха, один из самых крупных и красивых водопадов Алтая - Коккольский, озеро Маркаколь, озеро Зайсан, река Иртыш, Тарханский геологический разрез, горы Дельбегетей (Драконовы горы), гора Коронная, массив Пылающие адыры, Долина царей, Киин-Кериш (Горделивый красавец). В территорию Восточного Казахстана входит казахстанская часть Алтай-Саянского экорегиона, выделенного ЮНЕСКО в качестве одного из двухсот природных эталонных экорегионов мира, подлежащих охране. В связи с этим популяризация геологических знаний и применение для этого современных информационных технологий, в том числе и 3D-визуализации уникальных геологических памятников будет способствовать развитию геотуризма в регионе. Поэтому весьма актуальной задачей является разработка информационно-аналитической системы на основе

ГИС-технологий, учитывающих специфику геологических задач и особенности Восточно-Казахстанского региона. Интеграция геоинформационных систем с технологиями 3D-моделирования и 3D-панорамирования позволит визуализировать геологические объекты с привязкой к географическим координатам и объединять данные в единую информационно-аналитическую систему.

Предметная область представлена геологическими объектами Восточно-Казахстанской области, включенными в перечень «Геологических объектов государственного природно-заповедного фонда республиканского и международного значения» [1]. В данный перечень вошли следующие геологические объекты государственного природно-заповедного фонда республиканского и международного значения Восточно-Казахстанской области:

- Грязевые вулканы на юго-западной части Таганского месторождения;
- Выход пермских песчаников у горного массива Улькен-Тектурмас;
- Гора Ащутас;
- Гора Белуха;
- Гора Киин-Кериш;
- Гора Коронная;
- Гранитный массив с большим разнообразием драгоценных и полудрагоценных камней участка Дельбегетей;
- Массив Акжайляу;
- Массив Пылающие Адыры;
- Мыс Шакельмес;
- Оползни в Сайканском хребте;
- Разрез кайнозойских отложений Зайсанской впадины;
- Редкометалльные минералы пегматитовых месторождений района поселка Асубулак;
- Рудник Кокколь;
- Тарханский геологический разрез.

Данные геологические объекты были выбраны как представляющие интерес для развития геотуризма в регионе. Все перечисленные объекты классифицированы и по ним осуществляется сбор и систематизация информации, с целью создания базы данных и информационно-аналитической системы, позволяющей получать полную информацию о геологическом объекте. В таблицах базы данных размещается разнообразная информация о геологическом объекте такая как, информация о географическом месторасположении объекта, описание, фото-видео материалы, ссылки на блоги, информация о логистике и инфраструктуре объекта, 3D-модели объекта.

3D-моделирование территорий, на которых расположены уникальные геологические объекты Восточно-Казахстанской области и дальнейшая их интеграция в геоинформационную систему и информационно-аналитическую систему будет способствовать развитию туристической сферы Восточного Казахстана, так как трёхмерный вид местности на экране более понятен для людей, неискушенных в картографии, нагляднее и просто привлекательнее.

Методики и технологии 3D-визуализации

Существующие на сегодняшний день компьютерные технологии позволяют увидеть, как выглядит тот или иной объект или территория с нужной степенью детализации, а также смоделировать, как будет изменяться ее вид вследствие протекания каких-то процессов или реализации на практике принимаемых нами решений. Реализуемые в современных геоинформационных системах методы моделирования и визуализации трехмерных моделей позволяют:

- создавать модели сколь угодно обширных территорий;
- создавать модели с высокой степенью детализации;
- снабдить изображения объектов интерактивной справочной информацией;
- смоделировать изменения местности;
- оценить последствия произошедших изменений.

А пользователю таких систем предоставляется возможность:

- «посмотреть» на изучаемую территорию или отдельные объекты на ней с разных расстояний и под разными углами зрения, в разное время суток;
- «прогуляться» или «полетать» над интересующей территорией;
- выполнить различные измерения и расчеты;
- пронаблюдать и оценить последствия происходящих изменений;
- «увидеть» взаимное расположение определенных объектов, невидимых в обычных условиях (например, подземных сооружений);
- добавить или удалить какие-то объекты, чтобы оценить, как они влияют на вид местности или ее характеристики;
- и многое другое.

Трехмерные карты, созданные средствами ГИС, обеспечивают высокую наглядность и интерпретируемость данных, дают возможность наиболее полно передавать информацию об изменениях объектов и исследуемой среды с течением времени, а также позволяют реализовать ряд прикладных задач недоступных для решения с использованием традиционных двухмерных карт.

Теоретически существует два подхода, обеспечивающих получение объемных моделей объектов на основе обычных двумерных снимков [2]. Первый позволяет создавать так называемые псевдотрехмерные модели — им присуща иллюзия объемности, но в действительности они не являются трехмерными. Данный подход в большинстве случаев реализуется путем сшивания фотографий специальными программами-сшивателями в 360-градусные панорамы и актуально применяется при создании круговых обзоров, когда поворот объекта вокруг своей оси позволяет получить достаточно полное представление о его внешнем виде. Круговые обзоры широко используются в Интернете, где придают интерактивность web-страницам, и совершенно

незаменимы в интерактивных каталогах, а также применяются в интерактивных презентациях, энциклопедиях, образовательных программах и т.п.

Второй подход обеспечивает создание настоящих трехмерных моделей, которые можно экспортировать в популярные 3D-форматы и в дальнейшем продолжить их обработку в программах трехмерного моделирования. При желании такие модели обычно могут быть экспортированы в Java Applet для просмотра в Интернет-браузерах.

В обоих случаях основой моделей является набор фотографий (количество снимков, как правило, не меньше восьми и зависит от используемого ПО и желаемого результата), а процесс их создания можно разделить на два этапа: непосредственно фотосъемка объекта и генерация модели.

Псевдотрехмерные модели теоретически могут быть получены в любом пакете для создания виртуальных туров из панорамных фотографий, так как представляют собой особый вариант виртуального тура, в ходе которого осуществляется вращение 360-градусной панорамы. Однако удобнее и быстрее получить их в более узкоспециализированных приложениях, таких как 360 Degrees Of Freedom 360.3D, 3D Photo Builder Professional, Easypano Modelweaver и т.п. Генерация псевдотрехмерных моделей в их среде — процесс достаточно быстрый, простой и не требующий какой-то специальной подготовки. Более того, в таких пакетах могут быть предусмотрены те или иные возможности автоматизации процесса, что актуально, так как число моделей, например для интерактивных каталогов, достаточно велико.

Настоящие трехмерные модели создаются совершенно иным способом: с помощью особых встроенных алгоритмов приложения преобразуют двумерную информацию, содержащуюся в фотографиях, в точно рассчитанные трехмерные точки, линии и плоскости, генерируют полигональную модель, а затем осуществляют ее текстурирование. При этом далеко не все операции проводятся программами в полностью автоматическом режиме — нередко требуется подключение пользователя, которому, возможно, придется поучаствовать в том или ином этапе моделирования — в маскировании и удалении фона, формировании каркаса модели и/или ее текстурировании. Поэтому данный процесс быстрым не назовешь, хотя в целом времени на генерацию 3D-модели таким способом требуется на порядок меньше, чем при обычном трехмерном моделировании.

Алгоритм получения фотоснимков, пригодных для фотограмметрии

Рассмотрим технологию получения так называемой «настоящей трехмерной модели объекта». Эта технология, позволяющая получить трехмерную модель геологического объекта на основе его двумерных фотоснимков, иными словами, фотограмметрии, описана в работах [3], [4]. Фотограмметрия становится высокоэффективной альтернативой технологии лазерного сканирования для создания виртуальных моделей геологических объектов, в том числе и обнажений. Трехмерную цифровую модель геологического объекта можно создать с использованием фотографий, сделанных из разных

точек съемки, и последующей обработкой этих фотографий с использованием программного обеспечения. Трехмерное изображение обеспечивается наличием, по меньшей мере, двух изображений одной и той же сцены, снятой с разных позиций. Знание положения, ориентации и фокусного расстояния камеры для каждого изображения, позволяет вычислить положение любой точки пространства из ее двумерных координат в двух изображениях. С другой стороны, когда параметры камеры (то есть положение, ориентация и фокусное расстояние фото) неизвестны, они могут быть получены двумерными координатами эквивалентных точек в разных фотографиях, что, в свою очередь, позволяет вычисление координат точек в пространстве. Из сказанного ясно, что важно определить положение набора точек в разных, но перекрывающихся фотографиях одной и той же сцены. Этот вопрос является предметом изучения с самого начала с Structure From Motion (SFM) алгоритмами, предназначенными для корреляции точек в изображениях той же сцены, взятой с разных позиций и/или в разных. Алгоритмы SFM в настоящее время реализованы в различных программах (например, Bundler, Microsoft Photosynth, Photomodeller, Agisoft PhotoScan). Для заданного набора частично перекрывающихся изображений, алгоритмы SFM автоматически обнаруживают набор общих точек в каждой пары изображений, а затем распознают параметры камеры для каждой фотографии. Это, в свою очередь, позволяет определить 3D-координаты каждой точки, распознаваемые как минимум двумя фотографиями и следовательно, создание точечного облака, представляющего поверхности объекты в пределах целевой сцены. По существу, перекрывающиеся фотографии должны быть взяты с нескольких точек зрения. Поэтому стоит использовать одну и ту же камеру для минимизации ошибок от использования различных объективов и датчиков камеры. Также рекомендуется устанавливать фиксированное фокусное расстояние. Фотографии также следует снимать последовательно или, по меньшей мере, при тех же условиях. Эти рекомендации гарантируют, что каждая часть сцены, представленная аналогичным рисунком пикселей на разных фотографиях, облегчает распознавание точек алгоритмами SFM. Эти процедуры обеспечивают и максимизируют распознавание точек, позволяя создавать более плотные облака точек.

При выполнении практической съемки и дальнейшей обработке снимков мной были отработаны и скорректированы алгоритмы съемки различных объектов с целью получения снимков пригодных для дальнейшей обработки специальными программами, предназначенными для создания 3D-моделей и ортофотопланов. Наиболее важные шаги алгоритма фотосъемки небольшого объекта следующие:

- выбор и обеспечение правильного освещения;
- настройка фотоаппарата, съемка с одинаковым фокусным расстоянием объектива;
- съемка по периметру объекта с небольшим смещением, не более 7 градусов, перекрытие фотографий должно быть около 80 процентов;

– на заключительном этапе осуществляется круговая съемка под углом 45 градусов.

Однако, для получения фотоснимков геологических объектов, как правило, наземная фотосъемка представляет собой довольно трудоемкий, а порой и невозможный процесс, так как геологические объекты занимают обширные территории в несколько гектаров. В данном случае подходящим и современным решением является фотосъемка с беспилотных летательных аппаратов – дронов. Используемый нами квадрокоптер представлен на Рис. 1. Возможности использования беспилотных летательных аппаратов для отображения геологических структур описаны в работе [5].



Рисунок 1. Квадрокоптер Phantom 3 Standart

Управление дроном можно осуществлять вручную с помощью пульта управления и с помощью программного обеспечения, позволяющего задавать маршруты облета и дистанционно управлять дроном со своего мобильного устройства. Программное управление квадрокоптером можно осуществлять с помощью следующих приложений: DJI Go, Altizure, 4dPixCapture (Рис. 2).

Рассмотрим управление квадрокоптером с помощью приложения DJI Go. Приложение DJI Go – такая же неотъемлемая часть квадрокоптера, как и любая другая его деталь. Без него коптер способен выполнять лишь полеты на небольшие расстояния, при этом пилот остается «слепым», т.к. не владеет информацией о текущем состоянии дрона и не может управлять его камерой. Чтобы воспользоваться приложением, необходимо установить его на свое мобильное устройство, затем подключиться к сети Wi-Fi, создаваемой пультом управления. Приложение представляет собой экран, на который транслируется видео с квадрокоптера, по границам экрана располагаются всевозможные информация и кнопки: сбоку расположены кнопки съемки и записи видео, слева – окошко с радаром и картой с отмеченным на

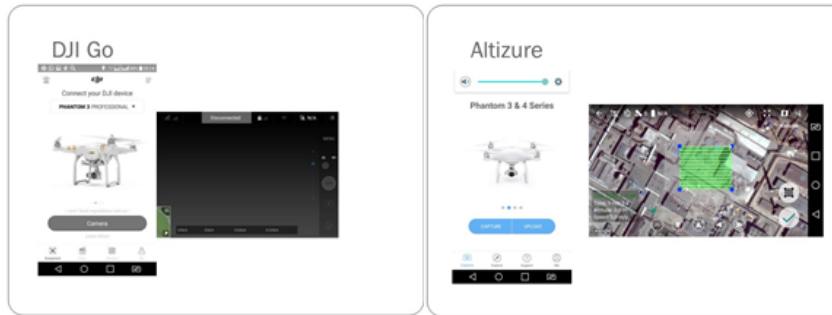


Рисунок 2. Программное обеспечение для управления дронами

ней коптером, сверху – режимы полета, заряд аккумулятора, качество сигнала GPS, внизу – текущие скорость и высота полета. Данная программа позволяет задавать траекторию облета геологического объекта, параметры съемки.

После того как были получены фотографии моделируемого объекта, можно приступить к их обработке с целью создания 3D-модели объекта. Следует отметить, что для получения качественной модели потребуется около 50-100 фотографий исследуемого объекта.

Этапы построения 3D-модели с помощью Agisoft Photoscan

На сегодняшний день существует ряд программных продуктов по трехмерной фотограмметрии. В таких программах информация о каждой фотографии записывается в специальный файл: высота, угол поворота камеры, данные долготы и широты. Программа использует технологии машинного зрения и фотограмметрии для нахождения общих точек на многих фотографиях. В результате каждому пикселю на фотографии находится цветовое соответствие на других фотографиях. Каждое соответствие становится ключевой точкой. Если ключевая точка найдена на трех фотографиях и более, программа строит эту точку в пространстве. Чем больше таких точек, тем лучше определяются координаты точки в пространстве. Следовательно, чем больше пересечений между фотографиями, тем точнее будет модель. Пересечение от 60% до 80% является оптимальным.

Пространственные координаты каждой точки вычисляются методом триангуляции: от каждой точки съемки к выбранной точке автоматически проводится линия зрения, и их пересечение дает искомое значение. Кроме того, в фотограмметрии применяются алгоритмы, целью которых является минимизирование суммы квадратов множества ошибок. Обычно для решения используют алгоритм Левенберга-Марквардта (или метод связок), основанный на решении нелинейных уравнений методом наименьших квадратов. В процессе обработки фотографий создается расширенное облако точек (совокупность всех 3D точек), которое используется для генерирования поверх-

ности, составленной из полигонов. В заключение вычисляется разрешение и определяется, какие пиксели на фотографии соответствуют какому полигону. Для этого 3D-модель развертывается в плоскость, и затем пространственное положение точки ставится в соответствие оригинальной фотографии для задания цвета [6].

Доступны различные пакеты фотограмметрии, которые имеют широкий спектр затрат, простоты установки и использования, а также возможность экспорта результатов. Agisoft Photoscan был выбран в нашем рабочем процессе из-за его удобного интерфейса, наличия академического лицензирования и инструментов, позволяющих экспортировать результаты в различных форматах. В PhotoScan следует использовать только оригинальные изображения в том виде, в котором они получены на цифровую фотокамеру. Использование фотографий, для которых были произведены геометрические трансформации или кадрирование, скорее всего, приведет к отрицательному или крайне неточному результату. Для восстановления текстурированной 3D-модели объекта программой PhotoScan необходимо прохождение четырех этапов обработки.

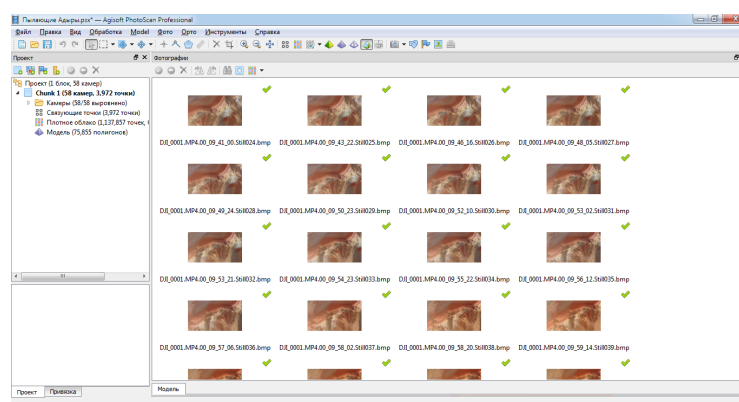


Рисунок 3. Загрузка фотографий в Agisoft Photoscan

Рассмотрим этапы создания 3D-модели и ортофотоплана на примере моделирования территории геологического объекта «Пылающие Адыры». «Пылающие Адыры» – древний и очень красивый памятник природы – особые сопки из рыхлых пород общей площадью около 50 гектаров, находится в Южном Призайсанье в предгорьях хребта Манрак. Этот разрез, в котором отпечатались следы невиданных, живших и произраставших здесь миллионы лет назад животных и растений, за свои ярко-красные пятнистые и розовато-коричневые цвета назван пылающими адырами. Такая расцветка глинистых пород образовалась в условиях жаркого и влажного тропического климата мезозоя, говорят ученые. Это значит, что когда-то в Восточном Казахстане шумели тропические леса. В 1959 году здесь впервые нашли

скорлупу яиц динозавров, а позднее – сильно разрушенные костные останки небольших динозавров.

Съемка была осуществлена с помощью дрона, количество камер - 58.

После того как фотографии или серия фотографий объекта были загружены в приложение (Рис. 3), выполняется первый этап обработки. Первый этап – определение положений и параметров внешнего и внутреннего ориентирования камер. На этой стадии PhotoScan находит общие точки фотографий и по ним определяет все параметры камер: положение (с точностью до масштаба), ориентацию, внутреннюю геометрию (фокусное расстояние, параметры дисторсии и т.п.). Результатами этого этапа являются разреженное облако общих точек в 3D пространстве модели и данные о положении и ориентации камер. Разреженное облако точек представлено на Рис. 4.

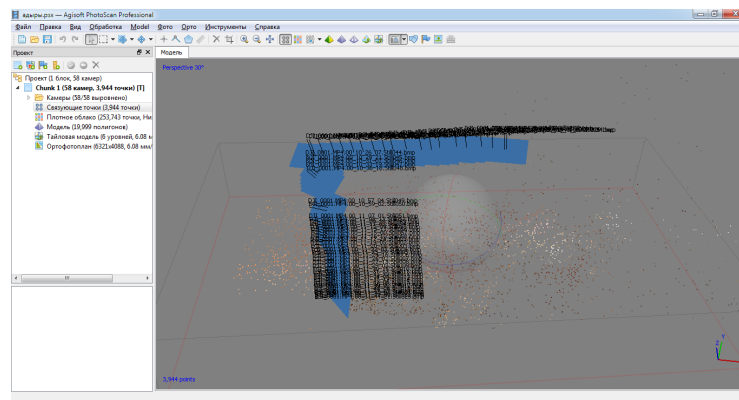


Рисунок 4. Разреженное облако точек

В PhotoScan облако точек служит для визуальной оценки качества выравнивания фотографий. А также, облако точек может быть экспортировано для дальнейшего использования во внешних программах. Набор же данных о положении и ориентации камер используется на дальнейших стадиях обработки.

На втором этапе PhotoScan выполняет построение плотного облака точек (Рис. 5) на основании рассчитанных на первом этапе обработки положений камер и используемых фотографий. Перед переходом на следующий этап создания 3D модели или перед экспортом модели, плотное облако точек может быть отредактировано и классифицировано.

На третьем этапе PhotoScan строит трехмерную полигональную модель (Рис. 6), описывающую форму объекта, на основании плотного облака точек. В PhotoScan доступны некоторые инструменты редактирования восстановленной модели, позволяющие оптимизировать модель, удалять изолированные компоненты модели, заполнять отверстия, сглаживать и др. Также предусмотрена возможность экспорта полигональной модели для внесения

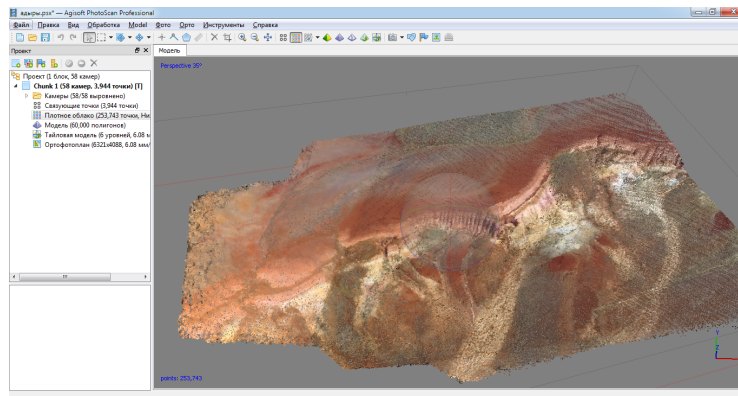


Рисунок 5. Плотное облако точек

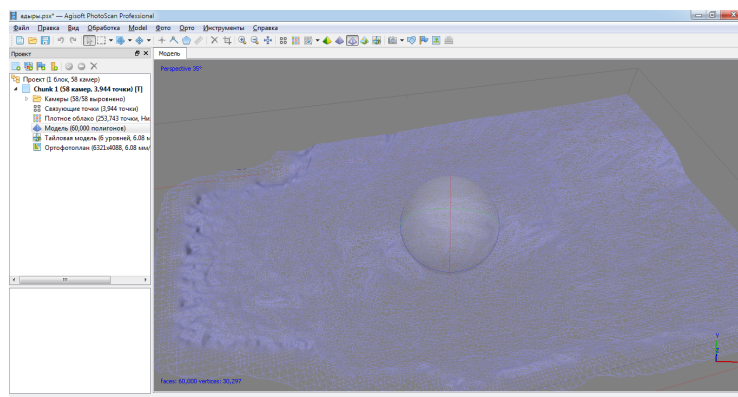


Рисунок 6. 3D-модель (каркасная) объекта

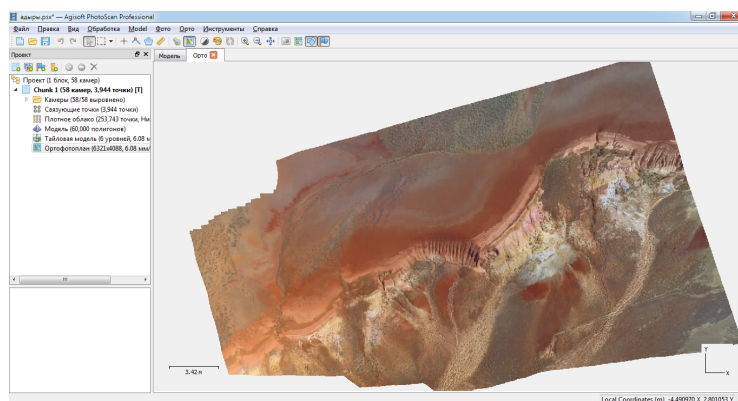


Рисунок 7. Ортомозаика

изменений во внешнем редакторе с последующим импортом модели обратно в PhotoScan.

Заключительный этап – Текстурирование объекта, он включает в себя текстурирование и/или построение ортофотоплана.

Если при осуществлении фотосъемки задается привязка к местности, например с помощью GPS, то при создании 3D-модели ее можно автоматически привязать к точке на местности. При съемке с дрона, практически осуществить это не составляет трудности, так как беспилотные летательные аппараты оснащены встроенным GPS. Для каждой определенной точки программой Photoscan автоматически определяются ее географические координаты. Если имеется привязка к местности, то можно создать ортофотоплан, иначе говоря, ортомозаику (Рис. 7) и в дальнейшем интегрировать ее в ГИС.

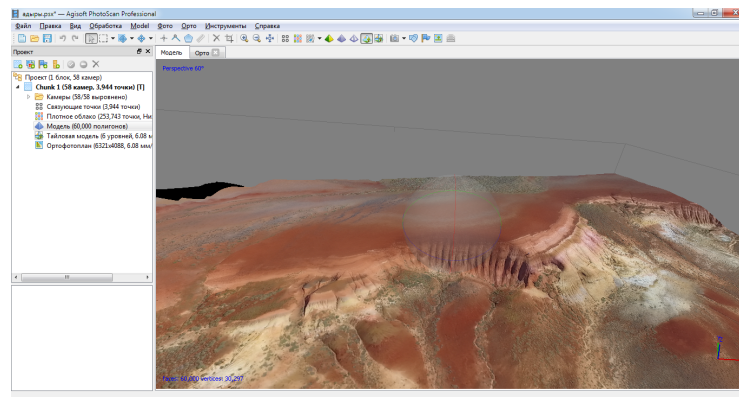


Рисунок 8. Текстурированная 3D-модель «Пылающие Адыры»

На Рис. 8 представлена текстурированная 3D-модель территории геологического объекта «Пылающие Адыры». Аналогично, по описанной выше технологии можно осуществить построение 3D-моделей и ортомозаик всех интересующих геологических объектов и интегрировать их с ГИС.

Заклучение

Описанную в данной работе технологию построения пространственных моделей геологических объектов на основе фотограмметрии, в том числе и алгоритмы осуществления фотосъемки с наземных фотокамер и с фотокамер, установленных на беспилотных летательных аппаратах, а также использование программного обеспечения реализующего алгоритмы Structure from motion, можно использовать, как для создания 3D-моделей геологических объектов, занимающих обширные территории, так и для создания неболь-

ших 3D-моделей объектов, расположенных или на маршруте или на объекте, например объекты инфраструктуры, памятники, палеонтологические образцы. Полученные описанным способом, 3D-модели и ортомозаики могут быть экспортированы в различные форматы, что позволяет интегрировать их с ГИС, например с популярной Google Earth.

На основе полученных данных в дальнейшем будут исследованы особенности различных ГИС, осуществлен выбор ГИС, наиболее применимой для интеграции элементов 3D-визуализации, разработана технология интеграции элементов визуализации геологических объектов и ГИС.

Список литературы

1. Об утверждении перечня геологических, геоморфологических и гидрогеологических объектов государственного природно-заповедного фонда республиканского и международного значения, Правил их ограниченного хозяйственного использования на особо охраняемых природных территориях, а также перечня участков недр, представляющих особую экологическую, научную, культурную и иную ценность, отнесенных к категории особо охраняемых природных территорий республиканского значения/ Постановление Правительства Республики Казахстан от 18 ноября 2010 года № 1212
2. Шляхтина С. Объемные модели из фотографий <https://compress.ru/article.aspx?id=16596>
3. Tavani, S. et al. Building a virtual outcrop, extracting geological information from it, and sharing the results in Google Earth via OpenPlot and Photoscan: An example from the Khaviz Anticline (Iran)// S. Tavani, P. Granado, A. Corradetti, M. Girundo, A. Iannace, P. Arbués, J.A. Muñoz, S. Mazzoli / Computers & Geosciences 63 (2014) 44–53
4. Bistacchi et al. Photogrammetric digital outcrop reconstruction, visualization with textured surfaces, and three-dimensional structural analysis and modeling: Innovative methodologies applied to fault-related dolomitization (Vajont Limestone, Southern Alps, Italy).// Bistacchi, Andrea; Balsamo, Fabrizio; Storti, Fabrizio; Mozafari, Mahtab; Swennen, Rudy; Solum, John; Tueckmantel, Christian; Taberner, Conxita/ Geosphere. Dec2015, Vol. 11 Issue 6, p2031-2048. 18p.
5. . Yathunathan, V. et al. Semi-automatic mapping of geological Structures using UAV-based photogrammetric data: An image analysis approach /// Yathunathan Vasuki, Eun-Jung Holden, Peter Kovesi, Steven Micklethwaite /Computers & Geosciences 69 (2014) 22–32M.
6. Завтур А. Трехмерная фотограмметрия, или от фотографии к 3D-модели <http://sapr.ru/article/25136>

Содержание

Разработка системы 3D-сканирования для интеллектуальной роботизированной системы плазменной обработки и резки крупногабаритных изделий сложной формы	7
<i>Д. Л. Алонцева, А. Л. Красавин, А. Т. Кадыролдина, Ә. Т. Құсайын-Мұрат</i>	
Разработка программного обеспечения для роботизированного микроплазменного напыления биосовместимых покрытий при производстве медицинских изделий	20
<i>Д. Л. Алонцева, А. Л. Красавин, Д. М. Нурекенов, Е. Т. Жанузаков</i>	
Система передачи аудио сигналов с помощью светодиодной системы освещения	28
<i>А. Т. Байдилдина, А. Е. Бакланов, С. В. Григорьева, А. К. Дмитриев, Е. А. Григорьев</i>	
Низковольтная светодиодная система освещения, интегрированная с солнечным элементом питания и контролем неисправности светодиодов	38
<i>А. Т. Байдилдина, А. Е. Бакланов, С. В. Григорьева, А. К. Дмитриев, В. М. Саюн</i>	
Создание прототипа системы управления информационными ресурсами	47
<i>Ю. Леонова, А. Федотов</i>	
Разработка интеллектуальной системы для оптимального энергоэффективного управления подачей воздушно-топливной смеси в паровых котлах	57
<i>О. Б. Оспанов, Д. Л. Алонцева, А. Л. Красавин</i>	
Разработка новых алгоритмов контроля и управления в современных теплопунктах	72
<i>И. К. Сагынганова, А. Е. Бакланов</i>	
Моделирование автоматической системы управления непрерывным дозированием сыпучих материалов	78
<i>С. Р. Шакиров, А. Г. Квашнин, А. В. Писарев</i>	
Телетрафик с фрактальной природой	92
<i>С. К. Кумаргажанова, Е. М. Федькин</i>	

Применение GPGPU вычислений для моделирования турбулентных течений несжимаемой жидкости	107
<i>А. Сентябов, А. Шебелев, А. Гаврилов</i>	
Построение научно-образовательного кластера на базе интегрированной распределенной информационной системы Академгородка	120
<i>Н. М. Темирбеков, О. Л. Жижимов, Д. Р. Байгереев, Б. Б. Омержанова, А. Н. Темирбеков, А. М. Оразгалиева</i>	
Системы для поддержки принятия решений в ситуационных центрах вузов	128
<i>Е. В. Блинаяева, Г. А. Маликова, Г. В. Попова, С. С. Смаилова</i>	
Математическое моделирование фракционной разгонки сырой нефти при проведении экспериментальных исследований магистрантов технических специальностей	137
<i>Е. В. Блинаяева, С. С. Смаилова, Г. В. Попова</i>	
Экспертиза образовательных программ, используя Text Mining	143
<i>Г. Жомарткызы, М. Базарова, С. Кумаргажанова, А. Уркумбаева</i>	
Организация работы с двоичными данными в системе дистанционного обучения (на примере системы дистанционного обучения ВКГТУ им.Д.Серикбаева)	148
<i>С. К. Кумаргажанова, Е. М. Федькин</i>	
Интеграции данных на основе онтологий для мониторинга развития вуза	157
<i>Л. Сулейменова, С. Рахметуллина</i>	
Создание модели и прототипа информационной системы для медицинских данных	165
<i>А. Адалбек, О. Жижимов</i>	
ИТ-инфраструктура е-здравоохранения Республики Казахстан	176
<i>С. Бельгинова, И. Увалиева, А. Исмухамедова</i>	
Построение индивидуализированной математической модели позвоночника по рентгеновским снимкам	185
<i>И. Григорьева, Г. Колпинский, А. Тоцкий, А. Сечкарев, Р. Фролов</i>	
Технология извлечения географических названий из текстовых документов на основе инструментария PostgreSQL	196
<i>О. Жижимов</i>	

Оценка экологических рисков территории на основе спутниковых методов мониторинга	205
<i>А. Г. Зотин, Д. В. Зуев, В. Б. Кашкин, М. А. Курако, К. В. Симонов</i>	
Моделирование вероятностных оценок сейсмической опасности на основе методологии ОСР-97	216
<i>С.А. Перетокин, М.А. Курако, Е.В. Бодякин, К.В. Симонов</i>	
Системный подход к созданию адаптационных механизмов управления безопасностью информационных ресурсов	227
<i>З. В. Родионова, И. Т. Утепбергенов</i>	
О трехмерной визуализации геологических объектов на основе фотограмметрии	240
<i>А. Т. Уалханова, Н. Ф. Денисова</i>	

Научное издание

Совместный выпуск

ВЕСТНИК
Восточно-Казахстанского государственного технического
университета им. Д. Серикбаева

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
Институт вычислительных технологий
Сибирского отделения РАН

Том I. Часть I



ВЕСТНИК
Восточно-Казахстанского государственного технического
университета им. Д. Серикбаева

Научный журнал

Издается с 1998 г.

Зарегистрирован Министерством информации и общественного согласия
Республики Казахстан. Свидетельство № 145-ж от 27 февраля 1998 г.

Ответственные за выпуск:

Директор департамента-проректор по информатизации департамента
информационных технологий *Н.Ф. Денисова*

Руководитель РИЦ *О.Н. Николаенко*

Верстка: *Д.Н. Зырянов, Д.Р. Байгереев*

Издание в авторской редакции

Подписано в печать 27.09.2018. Формат 84×108/16. Бумага офсетная.
Объем: 18,67 уч.-изд. л., 27,18 усл. печ. л. Тираж 350 экз.
Заказ № 2038-2018. Цена договорная.

Восточно-Казахстанский государственный
технический университет
070004, г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова, 69

ISSN 1561-4212 Индекс 75678 Вестник ВКГТУ 2018 №3
ISSN 1560-7534 Вычислительные технологии 2018 №3

3
3