

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:
ТЕОРИЯ, ИНСТРУМЕНТЫ, ПРАКТИКА**

Материалы XIV Международной
интернет-конференции молодых ученых,
аспирантов, студентов
(14 ноября – 31 декабря 2022 г.)

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета
2023

УДК 685.325.05

И66

И66 Инновационные технологии: теория, инструменты и практика : материалы XIV Междунар. интернет-конф. молодых ученых, аспирантов, студентов (14 ноября – 31 декабря 2022 г.). – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2023. – 396 с.

ISBN 978-5-398-02980-2

Конференция посвящена вопросам системных исследований и моделирования информационно-измерительных и управляющих систем, систем телекоммуникации и связи, энергетики и энергоресурсосбережения, информационных технологий и средств автоматизации, аппаратно-программного обеспечения информационно-управляющих систем.

Представлены работы молодых ученых, аспирантов, а также лучшие работы студентов.

Публикуемые результаты исследований могут быть интересны молодым исследователям, преподавателям и специалистам, интересующимся теоретическими и прикладными разработками в данной предметной области.

Редакционная коллегия

В.В. Черняев, доцент, канд. техн. наук

Б.В. Кавалеров, доцент, д-р техн. наук

Д.К. Елтышев, доцент, канд. техн. наук (отв. редактор)

А.Б. Петроченков, доцент, д-р техн. наук

Н.М. Труфанова, профессор, д-р техн. наук

Р.А. Файзрахманов, профессор, д-р экон. наук

А.Г. Щербинин, профессор, д-р техн. наук

А.А. Южаков, профессор, д-р техн. наук

Рецензент: заслуженный деятель науки РФ, заслуженный машиностроитель Республики Башкортостан, доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета *Г.Г. Куликов*

УДК 685.325.05

ISBN 978-5-398-02980-2

© ПНИПУ, 2023

Секция 1

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

И.А. Мальцев, Е.А. Чабанов, П.Ю. Шмелев

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИПОВ РАСЧЕТНЫХ СЕТОК И МЕТОДОВ ИХ ПОСТРОЕНИЯ

В статье исследованы типы конечно-элементных сеток и методы их построения. Изложен способ построения сетки расчетной области в программном комплексе ANSYS. Данный способ позволяет улучшить качество расчетов за счет включения в себя преимуществ двух разных методик построения расчетных сеток.

Ключевые слова: расчетные сетки, метод конечных элементов, ANSYS, метод построения расчетных сеток.

I.A. Maltsev, E.A. Chabanov, P.Yu. Shmelyev

Perm National Research Polytechnic University, Perm

RESEARCH OF THE TYPES OF MESHES AND METHODS OF THEIR CONSTRUCTION

The article examines the types of finite element meshes and methods for their construction. A method for constructing a mesh of the computational domain in the ANSYS software package is described. This method improves the quality of calculations by incorporating the advantages of two different methods for constructing computational meshes.

Keywords: computational meshes, finite element method, ANSYS, method for constructing computational meshes.

При использовании численного моделирования нельзя забывать, что результаты численных решений всегда приближительны. Несогласованность между результатами расчета и эксперимента происходит из-за нескольких причин.

Ошибки, полученные в процессе дискретизации, уменьшаются в случае применения других методов интерполяции, аппроксимации, усреднения, которые обладают меньшей погрешностью, но приводят к увеличению временных и финансовых затрат.

При всем при этом методы численного моделирования постоянно совершенствуются и позволяют проводить различным компаниям численный анализ своих проектных разработок, дает возможность выполнить предварительную оценку работоспособности проекта, что позволит снизить материальные и временные затраты на экспериментальную часть.

В общем, подготовка к любому решению задачи численным методом состоит из [1]:

- 1) предварительного этапа подготовки модели;
- 2) постановки задачи: выбор способа построения целочисленной модели, задание исследуемой области, начальных и граничных условий, параметров целочисленного моделирования;
- 3) формирования алгоритма и программного кода процесса моделирования.

Построение сеток:

Расчетная сетка – дискретное описание области пространства в виде скалярного поля, в которой предполагается решение поставленной математической задачи.

Процедура построения расчетной сетки – это взаимно-однозначное отображение реальной физической области на расчетную, элементы которых имеют общие узловые точки [4]. Выбранный метод и параметры моделирования определяет успех численного решения задачи.

Расчетные сетки бывают структурированные, неструктурированные, адаптивные.

Структурированная (регулярная) сетка – это сетка, узлы которой располагаются упорядоченно (рис. 1). Благодаря этому все элементы данного множества пронумерованы последовательно и определены индексом в два (двумерное поле) или в три (трехмерное поле) номера. Сетка преимущественно состоит из четырехугольных двумерных или шестигранных трехмерных элементов. В силу своей простоты способа организации структурированные сетки позволяют уменьшить временной промежуток расчетов и сократить необходимый объем оперативной памяти ЭВМ.

Регулярные сетки имеют недостаток. Их целесообразно использовать только для построения геометрически простых областей решения. Большая концентрация точек в той области, где в этом есть необходи-

мость, вынужденно создает слишком малый межузловой интервал в других частях области моделирования. Тонкие упорядоченные ячейки могут привести к заикливанию процесса решения и затруднить его сходимость.

Неструктурированная сетка – сетка с произвольным расположением узлов (рис. 2). Вследствие гибкой структуры построения данные сетки используются для объектов с достаточно сложной геометрией, при этом затрачиваются минимальные ресурсы. Чаще всего исследуемая область в двумерном пространстве триангулируется, т.е. разбивается на треугольники. Она также может разбиваться на четырехугольники. В трехмерном пространстве исследуемая область разбивается на тетраэдры или гексаэдры.

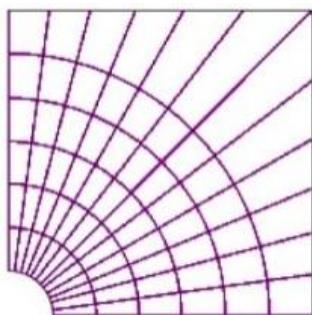


Рис. 1. Структурированная сетка

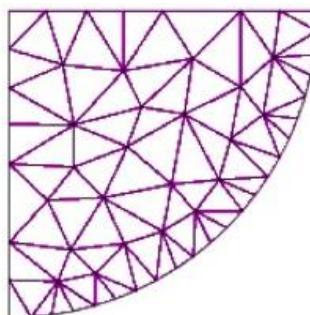


Рис. 2. Неструктурированная сетка

Недостатком неструктурированной сетки является посредственная точность аппроксимации границ, которая ограничивает максимальный размер элементов, следовательно, не совсем точно представляет исходную геометрию.

Адаптивная сетка – сетка, которая способна перестраиваться в процессе расчета. Алгоритм математического моделирования после оценки ошибки способен корректировать базовую сетку путем изменения ее размера. Этот процесс выполняется до тех пор, пока расчетная погрешность не станет меньше заданной величины.

На начальном этапе построение сетки осуществляется методами [2]:

- триангуляция Delaunay;
- метод quadtree/octree;
- метод движущегося фронта.

Последовательность этапов использования метода триангуляции Delaunay (рис. 3):

- построение сетки для границы области;
- построение начальной сетки внутри области;
- измельчение сетка путем вставки новых точек;
- образование новых элементов.

На каждом шаге проверяется критерий Делоне, согласно которому окружность, описанная вокруг любого треугольника, не должна содержать внутри себя других узлов, кроме этого треугольника.

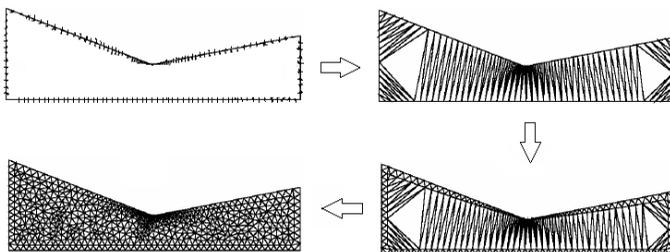


Рис. 3. Этапы построения сетки методом Delaunay

При методе quadtree (для двумерного случая) и octree (для трехмерного случая) на область накладывается равномерная квадратная сетка, наглядно представлена на рис. 4. Затем сетка обрезается по границе области, а каждый квадрат разделяется на два треугольника. Данная сетка имеет упорядоченную структуру, однако по границам зачастую элементы имеют ненадлежащее качество.

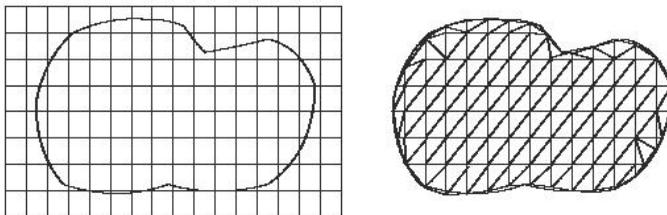


Рис. 4. Построение сетки методом quadtree/octree

Метод движущегося фронта – построения сетки последовательно, от границы к центру (рис. 5). При этом данный метод является простым, а границы области четко сохраняются.

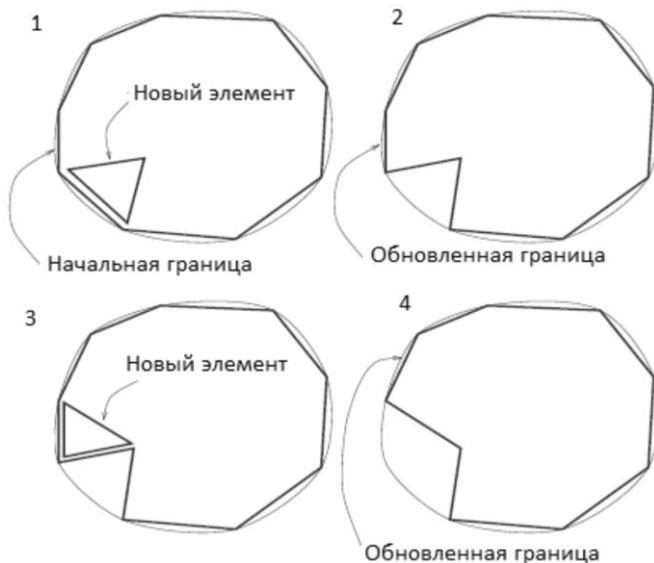


Рис. 5. Построение сетки методом движущегося фронта

Метод построения расчетной сетки для газодинамических расчетов:

Для удобства описания методики построения сетки воспользуемся одним из самых распространенных программных комплексов на сегодня – программа ANSYS.

После проработки геометрической модели строят сеточную, первым этапом которой является построение ее поверхностной составляющей методом Oustree по алгоритму:

- тетраэдрами заполняется октаэдральный объем модели;
- уменьшение шага сетки согласно локальным параметрам;
- обрезка лишнего объема, не участвующего в описании рабочего объема модели;
- сглаживание сеточной модели.

Построенная сетка состоит из элементов двух типов: поверхностных и объемных [3]. В этом случае объемные элементы имеют выделенное направление в сетке, что может привести к ошибочному описанию течения рабочей жидкости. По этой причине объемную сетку строят отдельно методом Delaunay.

Однако перед построением объемной сетки необходимо проверить поверхностную на наличие ошибок. Вначале проверяется сетка на выход из расчетной области. После идет проверка на ошибки.

Построение объемной сетки, которая образуется неупорядоченно, происходит с поверхностной. Далее также проверяется на ошибки и на выход из расчетной области, потом производят сглаживание

Завершающим этапом построения является построение призматического слоя. Он необходим для описания пограничного слоя с использованием моделей турбулентности. Призматический слой строится только на стенках [5], т.к. из-за его вытянутой формы протекание рабочего тела на входе/выходе будет происходить поперек, что приведет к существенным ошибкам в расчете.

В данной статье рассмотрены основные типы конечно-элементных сеток. Все они основаны на том, что физическая область разбивается на простые фигуры, имеющие общие узловые точки и в целом повторяющие форму объекта.

Структурированные сетки упорядочены, поэтому каждый элемент имеет свое обозначение, что сокращает время расчетов и необходимые вычислительные ресурсы. В неструктурированных сетках элементы располагаются в хаотическом порядке. Благодаря этому возможно описание объекта сложной геометрии, но при этом неточно описываются границы самого объекта. Адаптивные сетки перестраиваются в процессе расчета до тех пор, пока погрешность расчета не станет минимальной заданной.

В программном пакете ANSYS неструктурированные сетки строятся разными методами. Метод Delaunay формирует сетку сначала на границе, затем на ее основании в самой области. Данная сетка разбивается в произвольном порядке. Метод quadtree/octree накладывает квадратную сетку, затем разделяет ее. Поэтому расчетная сетка имеет более выраженную структуру в сравнении с методом Delaunay. Метод движущегося фронта строит сетку от границы к центру [6].

Для улучшения эффективности газодинамических расчетов предложена методика построения объемной расчетной сетки в программном комплексе ANSYS. Для описания поверхности используется метод quadtree/octree. Дальше на основе поверхностной сетки строится

объемная методом Delaunay. Данный процесс построения позволяет получить расчетную сетку, которая правильно описывает течение рабочей жидкости или рабочего газа, что скажется на эффективности результатов.

Библиографический список

1. Маврин А.С. Типы расчетных сеток и способы хранения информации о них // Научное обозрение. Международный научно-практический журнал. – 2018. – № 3.

2. Мальцев И.А. Разработка математической модели асинхронного двигателя для изучения работы электрической сети // Известия Тульского гос. ун-та. Технические науки. – 2022. – № 2. – С. 690–695.

3. Жидков А.В. Применение системы ANSYS к решению задач геометрического и конечно-элементного моделирования: учеб.-метод. материал по программе повышения квалификации «Информационные системы в математике и механике». – Нижний Новгород, 2006. – 115 с.

4. Инновационное направление в зеленой энергетике / И.А. Мальцев, А.А. Балук, В.А. Кленин [и др.] // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Новые материалы и энергетика в ВС РФ»: сб. статей науч.-техн. конф., Анапа, 20 апреля 2022 г. – Анапа: Федеральное государственное автономное учреждение «Военный инновационный технополис «ЭРА», 2022. – С. 256–261.

5. Молчанов А.М., Щербаков М.А., Янышев Д.С. Построение сеток в задачах авиационной и космической техники: учеб. пособие для студентов. – М.: Изд-во МАИ, 2013. – 260 с.

6. Мальцев И.А., Тюленев М.Е., Чабанов Е.А. Компенсация реактивной мощности в узле нагрузки с использованием устройства «СТАТКОМ» // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2022. – № 41. – С. 215–250.

Сведения об авторах

Мальцев Илья Анатольевич – аспирант кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, инженер-конструктор Пермской научно-производственной приборостроительной компании, г. Пермь, e-mail: malcevia18.08.1997@mail.ru

Чабанов Евгений Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: ceapb@mail.ru

Шмелев Павел Юрьевич – аспирант кафедры «Информационных технологий и автоматизированных систем» Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИТТ-22а, г. Пермь, e-mail: schmelev.pacha.kz@yandex.ru

Н.С. Квасов, А.В. Тарутин

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДОКУМЕНТООБОРОТА В СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

В данной статье рассматривается проблема передачи и редактирования документов, которые существуют в строительно-монтажных организациях и ведутся на бумажных носителях, флешках или пересылаются по электронной почте. По результатам осуществления анализа обоснована полезность и актуальность введения автоматизации оборота документов в строительно-монтажных организациях.

Ключевые слова: система электронного документооборота, документооборот, автоматизация.

N.S. Kvasov, A.V. Tarutin

Perm National Research Polytechnic University, Perm

AUTOMATION OF DOCUMENT FLOW IN CONSTRUCTION AND INSTALLATION ORGANIZATIONS

This article discusses the problem of transferring and editing documents that exist in construction and installation organizations and are kept on paper, flash drives or sent by e-mail. Based on the results of the analysis, the usefulness and relevance of the introduction of automation of document turnover in construction and installation organizations is substantiated.

Keywords: electronic document management system, document management, automation.

Эффективность работы предприятия всегда зависела от опыта и профессионализма персонала, но наравне с этим также присутствовал и присутствует фактор скорости и удобства обмена и редактирования информации.

Система электронного документооборота (СЭД) представляет собой программное обеспечение, которое позволяет организовать работу

с электронными документами, а также взаимодействие между сотрудниками. Система электронного документооборота (СЭД) обладает следующими сильными сторонами [1]:

- снижение возможности возникновения ошибок при заполнении и редактировании документов;
- ведение журнала с такими записями, как создание, изменение и удаление всех документов, присутствующих в документообороте;
- хранение данных в единой системе управления;
- снижение общих расходов на физические носители, которые использовались как единственное средство перемещения документов;
- уменьшение времени и упрощение поиска данных. Процесс, который до внедрения системы электронного документооборота (СЭД) приходилось выполнять вручную;
- сокращение времени, в ходе которого выполняется документооборот.

В наше время в России стремительно развиваются информационные технологии, поэтому на многих предприятиях происходит усиленное внедрение автоматизации во всех сферах их работ, также автоматизации документооборота. На рис. 1 представлен график динамики рынка систем электронного документооборота (СЭД). Как видно из диаграммы с каждым годом продажи систем электронного документооборота (СЭД) уверенно растут.

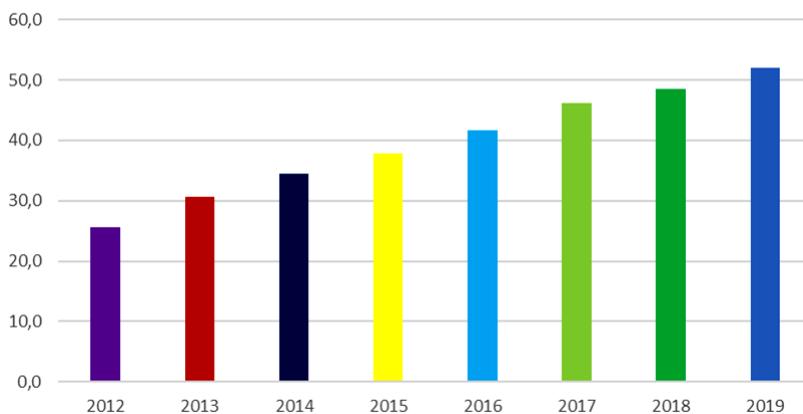


Рис. 1. График динамики российского рынка (СЭД), млрд руб.

Из-за пандемии коронавируса в начале 2020 г. темпы роста на услуги СЭД заметно снизились. Это потребовало от бизнеса приостановить проекты, поэтому прогнозы были неблагоприятными для всего рынка. Однако именно экономическая ситуация в дальнейшем заставила бизнес принимать быстрые решения, и привела к росту рынка. Так, к 2021 г. динамика роста продаж выросла на 15 % [2].

Практически любой документооборот включает в себя следующие функции работника, такие как:

- сортировка данных;
- размножение рабочих документов;
- проверка документов на различные ошибки;
- ввод информации;
- хранение данных;
- маршрутизация данных;
- основная работа над содержимым.

При внедрении автоматизации непосредственно в конкретную организацию происходят существенные изменения функционала документооборота и, в частности, его пропорций. На рис. 2 представлена диаграмма распределения функций документооборота предприятия без применения в системе какой-либо автоматизации.

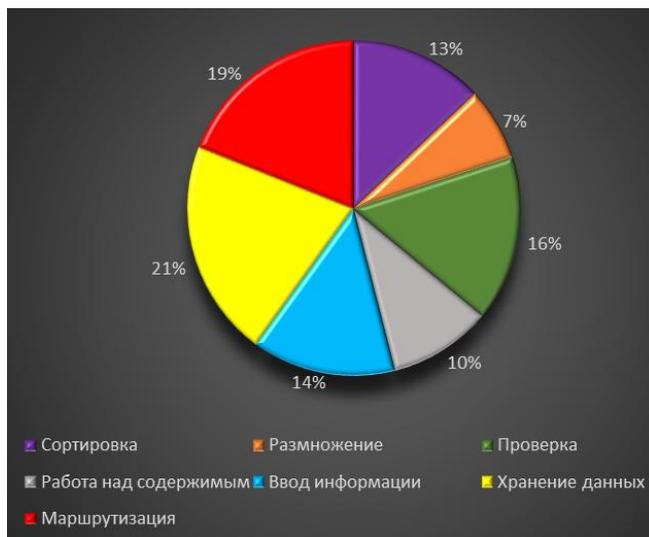


Рис. 2. Диаграмма действий в документообороте без автоматизации

На рис. 3 представлена диаграмма распределения функций документооборота предприятия с использованием автоматизации.

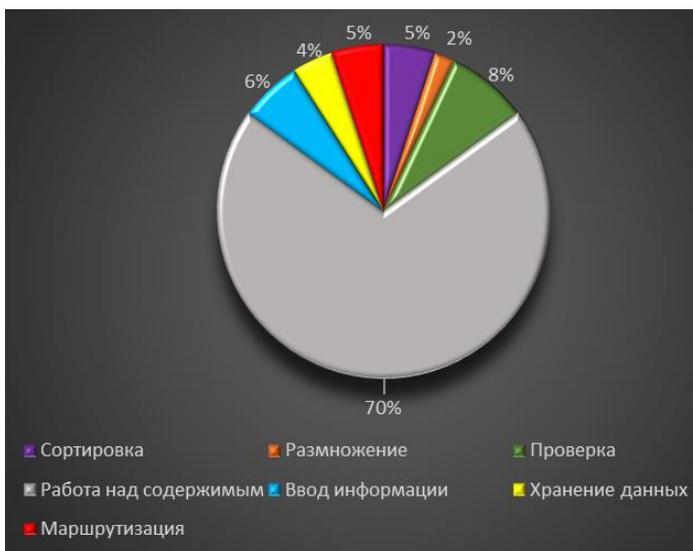


Рис. 3. Диаграмма действий в документообороте с автоматизацией

Как видно из диаграмм при автоматизации процесса документооборота основной задачей работника предприятия является непосредственно работа с содержимым документов, остальные действия с информацией уходят на второй план.

Заключение. Для того чтобы развиваться, каждая организация в тот или иной момент будет переводить свой документооборот в электронный вид. Вместе с тем, получая все большие возможности для развития и улучшения деятельности.

В эпоху электронного бизнеса преуспеют только те предприятия, которые смогут наиболее эффективно управлять своей корпоративной информацией. Внедрение систем электронного документооборота на основании данных исследования после незначительного «проедания» снова будет одной из самых востребованных технологий при ожидании цифровой трансформации в различных областях деятельности.

Библиографический список

1. Жамиев А.А. Система электронного документооборота [Электронный ресурс] // Молодой ученый. – 2020. – № 21 (311). – С. 50–52. – URL: <https://moluch.ru/archive/311/70563/> (дата обращения: 17.12.2022).

2. TADVISER СЭД (рынок России) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/> (дата обращения: 17.12.2022).

Сведения об авторах

Квасов Никита Сергеевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ-19-1бзу, г. Пермь, e-mail: adept6573@gmail.com

Тарутин Анатолий Владимирович – доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: itas-pnpu@yandex.ru

Р.В. Истомин, А.В. Тарутин

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ НАВЫКОВ СОТРУДНИКОВ ИТ-КОМПАНИИ

В этой статье исследуется процесс оценки профессиональных навыков сотрудников ИТ-компании, выявляются его недостатки и пути их устранения, а также анализируется возможность формализации данного процесса и построение на его основе модели информационной системы, сохраняющей достоинства текущего способа проверки компетенций работников и исключающей его недостатки.

Ключевые слова: автоматизация, карта компетенций, оценка компетенций, навык.

R.V. Istomin, A.V. Tarutin

Perm National Research Polytechnic University, Perm

STUDY OF THE PROCESS OF EVALUATION OF PROFESSIONAL SKILLS OF EMPLOYEES OF IT COMPANY

This article examines the process of assessing the professional skills of employees of an IT company, identifies its shortcomings and ways to eliminate them, and analyzes the possibility of formalizing this process and building an information system model based on it that preserves the advantages of the current method of testing the competencies of employees and eliminates its shortcomings.

Keywords: automation, competency map, competency assessment, skill.

Основную часть жизни большинства людей занимает работа. Одни ходят на работу для заработка денежных средств, другие – для реализации своих амбиций или творческого потенциала, а кто-то просто получает удовольствие от трудовой деятельности. Но, так или иначе, работа связана с карьерным ростом, для которого необходимо оценивать умения человека в той или иной сфере.

В процессе оценки есть две заинтересованные стороны: работодатель и сотрудник. Каждая из сторон преследует свои интересы, которые в большинстве случаев различаются. Это означает, что оценка навыков должна быть непредвзятой и прозрачной.

В настоящее время для оценки сотрудников применяется множество способов, таких как тестирование, интервью, оценка экспертами, карты компетенций и др. [1]*. Безусловно, каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, но почти все они предполагают значительное присутствие человека в процессе, а это, в свою очередь, влечет наличие ошибок, от которых нужно избавляться. Одним из решений этой проблемы является разработка информационной системы, в которой был бы представлен процесс оценки навыков.

Проанализируем текущий процесс оценки профессиональных навыков сотрудников в IT-компаниях.

Компания в основном занимается разработкой веб приложений для компаний энергетической отрасли. Структура компании представляет собой дерево. Корнем дерева является руководство, затем идут отделы и подотделы. Отделы делятся на административно-правовые, которые занимаются кадровыми, финансовыми вопросами, продажами и развитием компании. Эта часть компании в рамках данного исследования не представляет интереса. Вторая группа отделов – это отделы информационных технологий, которые можно разделить на отдел аналитики, отдел архитектуры приложений, отдел разработки и отдел контроля качества. Для обозначения уровня компетенций разработчика в компании используется понятие грейда. Грейд складывается из нескольких факторов: направления деятельности сотрудника и уровня его навыков. В свою очередь, уровень навыков сотрудника оценивается с помощью карт компетенций.

В компании карта компетенций является главным объектом в оценке профессиональных навыков сотрудника. Карта компетенций объединяет в себе тестирование и анкетирование. На практике карта компетенций представляет из себя электронную таблицу. В этой таблице содержатся навыки и умения, которые необходимы сотруднику для работы в его направлении.

* Иванова С. Оценка компетенций методом интервью: универсальное руководство. – М.: Альпина Паблишерз, 2011. – 154 с.

Заполнение карты компетенций является основным этапом в процессе оценки профессиональных навыков. В целом этот процесс можно описать следующей последовательностью действий:

- составление карты компетенций;
- заполнение карты компетенций сотрудником;
- проверка карты компетенций комиссией;
- собеседование с сотрудником (если есть разногласия);
- написание обоснования для повышения сотрудника.

Текущий процесс обладает рядом недостатков, среди которых можно выделить следующие:

- неопределенность в наборе компетенций в карте;
- отсутствие четкой структуры;
- отсутствие архивных данных о предыдущих прохождениях карты компетенций сотрудником;
- необходимость заполнять примеры и оценки в разных файлах;
- необходимость ручной проверки карты на предмет прохождения порога баллов для повышения грейда.

Остановимся на некоторых из недостатков подробнее.

Неопределенность в наборе компетенций. Область информационных технологий – это динамично меняющаяся сфера деятельности. Постоянно появляются новые технологии, развиваются старые. Поэтому меняются требования к сотрудникам. А если меняются требования, то необходимо менять карту компетенций. Когда карта компетенций представляет из себя просто электронную таблицу в виде файла, ее изменение может привести к неопределенностям, множеству версий, в которых сложно найти актуальную. Поэтому необходимо доработать процесс так, чтобы была возможность редактировать карты компетенций и сохранять изменения в одном месте, без множества файлов.

Отсутствие четкой структуры процесса. Сейчас весь процесс координируется руководителем через мессенджер. Ему необходимо оповестить сотрудника, выдать ему актуальную карту компетенций, дожидаться заполнения карты, собрать членов комиссии для проверки. На каждом этапе возможны задержки и осечки.

Отсутствие архивных данных о предыдущих прохождениях карты компетенций сотрудником. Руководителю отдела приходится вести учет прошлых прохождений карт компетенций для сотрудников. Это

неудобно, требует дополнительных ресурсов, а также может стать возможным источником ошибок. После анализа процесса оценки профессиональных навыков была разработана модель бизнес процесса для информационной системы, представленная на рисунке.

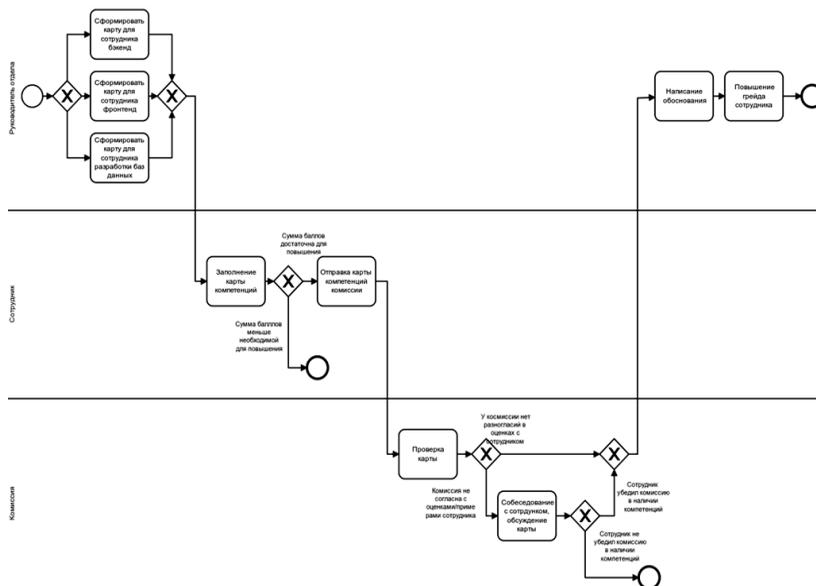


Рис. Модель бизнес процесса

Такая система должна представлять четкую структуру процесса, облегчать прохождение процесса для его участников, забирая часть функций на себя, избавлять от необходимости заполнения и проверки множества файлов, а также нужды постоянных напоминаний для участников.

Сведения об авторах

Истомин Родион Васильевич – студент Пермского национально-исследовательского политехнического университета, гр. АСУ-18-16, г. Пермь, e-mail: istomin.rodion@yandex.ru

Тарутин Анатолий Владимирович – доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: itas-pnpu@yandex.ru

**И.А. Шмидт, Д.Р. Жуков, Д.Ю. Лузянин,
И.А. Попов, А.Ю. Тимков**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

ГЕНЕРАЦИЯ РАЗНОТЕМПОВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

В статье рассматривается механизм генерации временных разнотемповых рядов для тестирования приложений, ориентированных на работу с временными рядами, представляющими информацию о поведении сложных высокотехнологичных изделий. Представлено краткое описание временных рядов, общие формулы, описывающие их функциональные зависимости в мелком, среднем и крупном временных масштабах.

Ключевые слова: зависимость, тренд, временные ряды, масштаб.

**I.A. Shmidt, D.R. Zhukov, D.Yu. Luzyanin,
I.A. Popov, A.Y. Timkov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

GENERATION OF MULTI-TEMPORAL TIME SERIES

In this article, we investigate the time series generation mechanism for testing applications oriented to work with time series, which represent information about the behavior of complex high-tech products. Includes a brief description of time series, general formulas describing their functional dependencies in small, medium and large time scales.

Keywords: dependency, trend, time series, scale.

Современные сложные высокотехнологичные изделия генерируют в процессе испытаний и эксплуатации очень большие объемы трафика [1]. Фактически весь этот трафик представляет временной ряд с параметрами изделия (тренды параметров). Эту информацию нужно сохранить и обработать. Для этого создаются приложения, ориентированные на хранение и обработку временных рядов [2–3].

При разработке приложения для работы с трендами необходимо проводить тестирование на временных рядах, максимально приближенных к реальным временным рядам, генерируемым изделием, в том числе с параметрами, выходящими за границы штатной работы изделия. Кроме того, на этапе разработки и тестирования приложения реальные данные

от изделия могут быть недоступны. Поэтому актуальна задача генерации потока данных, который может быть использован при тестировании приложений, ориентированных на работу с трендами.

Поведение параметров сложных высокотехнологичных изделий, как правило, также отличается сложностью. Процессы, описываемые трендами, характеризуются различными временными масштабами, т.е. одновременно происходят как быстрые, так и медленные процессы. Можно считать, что поведение параметров изделий описывается в трех временных масштабах: мелком, среднем и крупном. Кроме этого, на каждом временном масштабе измерения параметров искажены шумом со спектром, характерным для данного временного масштаба.

Приложение, предназначенное для генерации потока данных, должно воспроизводить все особенности временных рядов реального изделия, при этом возникает возможность получения пробного временного ряда, практически любого размера. Практически имеет смысл получение потока данных длиной до миллиона замеров и шириной до тысячи регистрируемых параметров. Параметры могут храниться в разном формате (целочисленном, с плавающей точкой) и с различной разрядностью. Кроме того, выделяются редко изменяющиеся параметры (например, положения различных переключателей или клапанов) и разряженные параметры, т.е. параметры, которые появляются в замерах время от времени [4]. Для универсальности генерируемый приложением поток данных (тренды) будет представлен как текстовый файл с разделителями. Такой формат удобен, т.к. файл может быть просмотрен программе Excel и просто экспортирован в формат тестируемого приложения [5]. В качестве функциональных зависимостей для генерации временных рядов взяты переходные процессы в виде переходных характеристик звеньев: аperiодического (1) и колебательного (2) [6].

$$h(t) = k \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right), \quad (1)$$

$$h(t) = k \left(1 - \frac{e^{-\alpha t}}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin(\omega_0 t + \varphi) \right). \quad (2)$$

Основная задача при генерации таких последовательностей состоит в том, что реальные временные ряды содержат несколько масштабов: мелкий, на котором прослеживается изменение параметра на большом промежутке, средний – где ряд представляет собой не простую гладкую линию, а линию, также изменяющуюся по определен-

ному закону, и наконец крупный масштаб, на котором различается третья зависимость, по которой изменяется ряд. Это связано с условиями измерений параметров, погрешностями средств измерения, линий связи, вторичных преобразователей, а также с настройками данных устройств. При воспроизведении данного поведения ряда для зависимости среднего масштаба была выбрана функция (3), которая представляет собой обычную синусоиду с коэффициентами, которые были выбраны таким образом, чтобы влиять на график тренда на требуемом масштабе.

$$f(t) = A\sin(\omega t + \varphi_0). \quad (3)$$

На крупном масштабе требуемое поведение ряда реализуется за счет функции генерации псевдослучайных чисел с требуемыми коэффициентами масштабирования.

Основная функция, которая реализует зависимость временного ряда, представлена в листинге 1.

Листинг 1 – типичный вид математического выражения для генерации временного ряда апериодического звена с различными масштабами:

```
(k*(1-Math.exp(current_time/post_time)))+  
(Math.random()*0.5)*Math.sin(2*Math.PI*current  
_time*0.1))+Math.random()*0.1);
```

Аналогично реализовано выражение для колебательного звена на основе формулы (2), а также ряд, значения которого равны сумме значений функций апериодического и колебательного звеньев.

На рис. 1–3 представлено колебательное звено с разной степенью масштабирования с некоторыми случайно полученными параметрами.

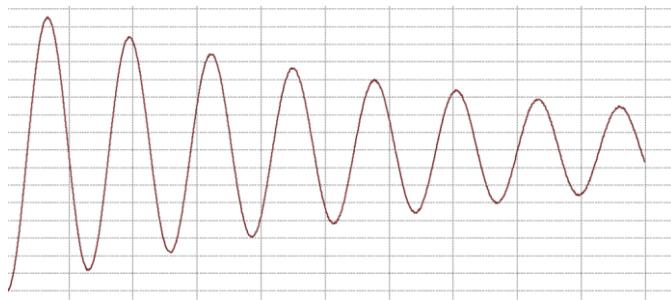


Рис. 1. Колебательное звено, мелкий масштаб

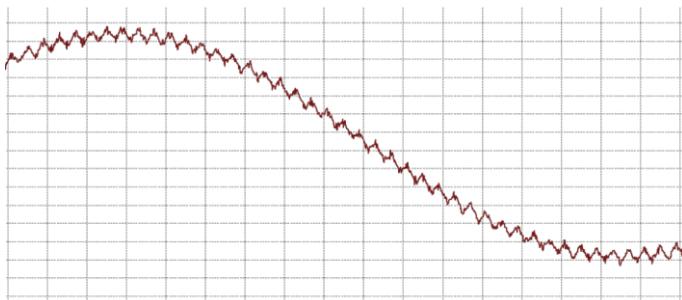


Рис. 2. Колебательное звено, средний масштаб

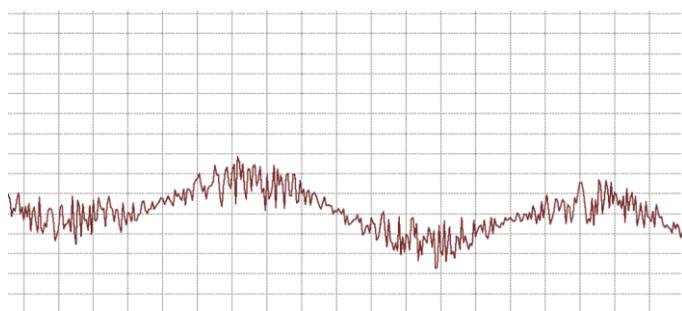


Рис. 3. Колебательное звено, крупный масштаб

Таким образом, можно сделать вывод о том, что генерировать файлы трендов, воспроизводящие особенности процессов реального изделия, можно с помощью обобщенных математических моделей. Сгенерированные приложением временные ряды максимально подобны реальным трендам, описывающим поведение сложных высокотехнологичных изделий.

Библиографический список

1. Сисюков А.Н. Проблематика Big Data в инфраструктуре уровня предприятия // Наука, техника и образование. – 2017. – № 4 (34). – С. 47–50.
2. Шмидт И.А., Петроченков А.Б., Даденков Д.А. Разработка системы хранения временных рядов в документо-ориентированной базе данных // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2019. – С. 5–11.

3. Шмидт И.А., Чалов М.А. Разработка системы регистрации параметров стендовых испытаний в документноориентированной базе данных // Автоматизированные системы управления и информационные технологии. – Пермь. – 2017. – С. 323–327.

4. Шмидт И.А., Желтышев А.С. Автоматизация постэкспериментальной обработки и хранения данных стендовых испытаний // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2020. – С. 102–118.

5. Шмидт И.А., Шергина А.А. Испытательное производство. Уровни испытательного производства. Реализация третьего уровня // Научно-технический вестник Поволжья. – 2017. – С. 248–251.

6. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.

Сведения об авторах

Шмидт Игорь Альбертович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shmidt@msa.pstu.ru

Жуков Дмитрий Романович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-20-16, г. Пермь, e-mail: dimonzhukov1503@gmail.com

Лузянин Даниил Юрьевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-20-16, г. Пермь, e-mail: deducshkindanluz@yandex.ru

Попов Илья Алексеевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-20-16, г. Пермь, e-mail: ilya.popov2801@mail.ru

Тимков Антон Юрьевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-20-16, г. Пермь, e-mail: antontimkov2002@mail.ru

**И.А. Шмидт, Д.Р. Жуков, Д.Ю. Лузянин,
И.А. Попов, А.Ю. Тимков**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

ОПТИМИЗАЦИЯ ХРАНЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ В ДОКУМЕНТООРИЕНТИРОВАННЫХ БАЗАХ ДАННЫХ

В статье рассматривается структура хранения временных рядов технологических процессов в документоориентированной базе данных. Экспериментальным путем исследована зависимость времени доступа к параметру от размера внутренней структуры документа (сегмента). Эта зависимость определена для трендов с различными характеристиками, т.е. числом замеров и количеством параметров. Приведены результаты работы модели, характеризующие оптимальный размер сегмента, обеспечивающий наименьшее время доступа к параметру.

Ключевые слова: сегмент, параметр, время доступа, временной ряд, документоориентированная база данных.

**I.A. Shmidt, D.R. Zhukov, D.Yu. Luzyanin,
I.A. Popov, A.Yu. Timkov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

TIME SERIES STORAGE OPTIMIZATION IN DOCUMENT-ORIENTED DATABASES

In this article, we consider the storing time series structure of technological processes in a document-oriented database. Parameter access time dependence on the size of the internal document structure (segment) is investigated experimentally. This dependence is determined for trends with different characteristics, i.e., measurements and parameters number. The results of the model, showing the optimal segment size, providing the shortest time of access to the parameters, are given.

Keywords: segment, parameter, access time, time series, document-oriented database.

Создание сложного технологического изделия невозможно без его подробного тестирования. В ходе испытательного производства происходит запись информации, представляющая собой временные ряды,

т.е. значения замеров каждого параметра привязаны к временным отметкам. Набор временных рядов для одного испытания называется трендом [1]. Размер таких трендов может достигать значений более 10 терабайт [2]. Информацию об этих трендах нужно сохранить и обработать. Для этого создаются приложения, ориентированные на хранение и обработку временных рядов.

Рассмотрим структуру хранения временных рядов в документо-ориентированной базе данных. Для разработки технологии хранения была выбрана база данных MongoDB, которая представляет из себя кроссплатформенную noSQL БД с открытым ПО. Структура базы данных, а также язык запросов основан на JavaScript и JSON-структурах [3].

В БД содержатся три коллекции: test, root, trend. В коллекции test содержатся документы, включающие информацию об испытаниях, каждый из которых обладает своим идентификационным номером. В коллекции root содержатся документы, в которые внесена информация о параметрах, ссылки на тренды, а также редко измеряемые параметры. В коллекции trend хранятся непосредственно документы, содержащие данные трендов, которые записаны блоками, называемыми сегментами [4].

Такая модель хранения данных подходит для случая, когда к одному временному отсчету привязаны замеры всех присутствующих в тренде параметров. Это соответствует архитектуре испытательного стенда, при котором регистрация всех параметров происходит одновременно и с неизменной частотой опроса.

Для других способов сбора данных, в результате которых накапливаются разряженные или резко изменяющиеся значения замеров, в БД используются другие модели хранения. Рассмотрение таких моделей выходит за рамки данной статьи [5]. Структурная схема хранения трендов в БД представлена на рис. 1.

Сегмент – это фрагмент тренда определенного размера, заданного числом замеров. При обращении к конкретному параметру с данными в БД направляется запрос с указанием номера параметра и строки. Информация об испытании хранится в коллекции test. Каждому испытанию присвоен соответствующий идентификационный номер. По заданному номеру параметра определяется id соответствующего испытания, т.е. заданному номеру параметра соответствует документ с ука-

занным id. Затем из коллекции root извлекается информация о параметре, хранящаяся в документах «trends» с соответствующими id. Наконец, извлекаются непосредственно замеры параметра, расположенные в коллекции trend в документах «trend».

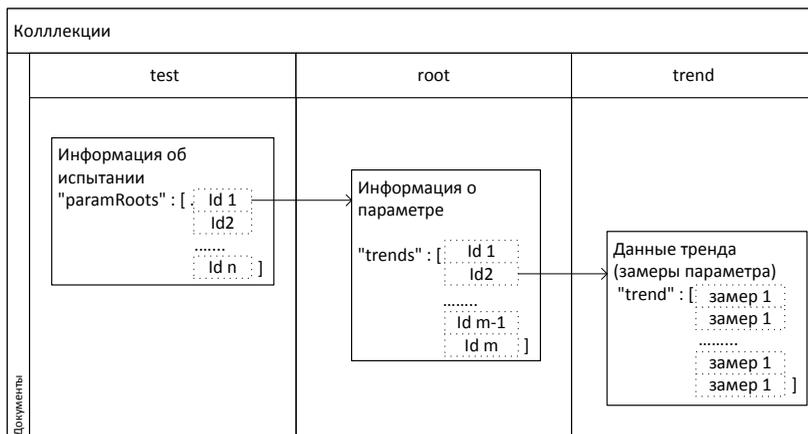


Рис 1. Структурная схема хранения трендов в документоориентированной БД

Весь тренд разделен на сегменты. Это в разы ускоряет выгрузку данных из БД. Однако временные ряды имеют различный размер, варьирующийся в пределах от 10 000 до 1 000 000 измерений, и могут содержать до 1000 различных параметров. Это означает, что доступ к значениям из трендов небольших размеров будет происходить быстрее при малом размере сегмента, а к значениям из трендов больших размеров – при большем размере сегмента. Поэтому была решена задача подбора оптимального размера сегмента, при котором доступ к данным трендов любых размеров будет осуществляться с наименьшим временем [6].

Тесты проводились в четыре этапа. Сперва устанавливался текущий размер сегмента и тренды загружались в БД. Затем при помощи заранее сгенерированных файлов тестов, которые состояли из пар значений «параметр–строка» в количестве 100 тыс. строк происходило чтение значений параметров в следующих режимах: случайный доступ, когда параметр и строка – это сгенерированные случайным образом числа, последовательное чтение блоками по 100, когда первый

параметр был сгенерирован случайно, а следующие шли поочередно, причем изменялись только строки, а параметр не менялся на всем протяжении блока, последовательное чтение блоками по 1000 и последовательное чтение по 10 000 блоков, которые работали аналогично описанному выше принципу последовательного чтения блоками по 100. Тестирование проходило на базе данных, заполненной трендами с размерами от 50 до 500 параметров и от 10 000 до 1 000 000 строк.

На рис. 2–5 представлены результаты тестирования, представляющие собой графики зависимости времени доступа к конкретному значению от размера сегмента. Наименьший размер тренда представлен линией $10\,000 \times 50$, средний – $100\,000 \times 100$, наибольший – $1\,000\,000 \times 500$.

Характерный U-образный вид графиков для тестов последовательного чтения объясняется действием двух разнонаправленных тенденций. С одной стороны, увеличение размера сегмента уменьшает число обращений к диску и делает более эффективным использование кэширования СУБД, с другой стороны увеличение размера сегмента увеличивает объем используемой памяти, что в свою очередь замедляет извлечение данных.

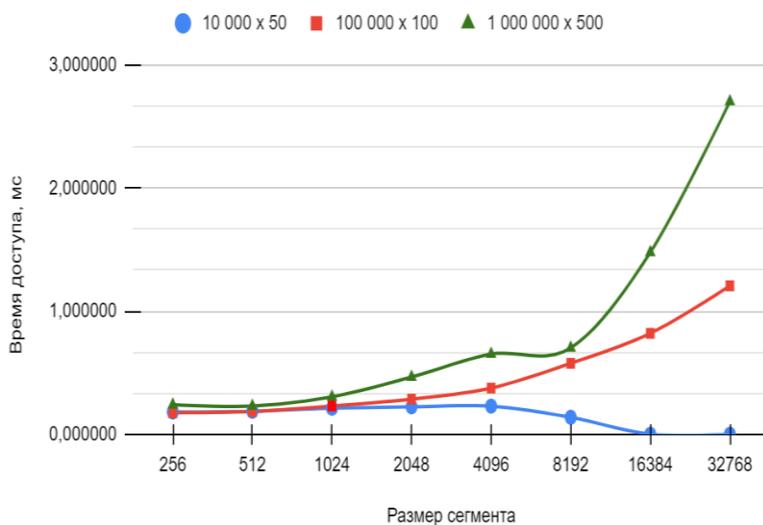


Рис. 2. Зависимость времени случайного доступа от размера сегмента

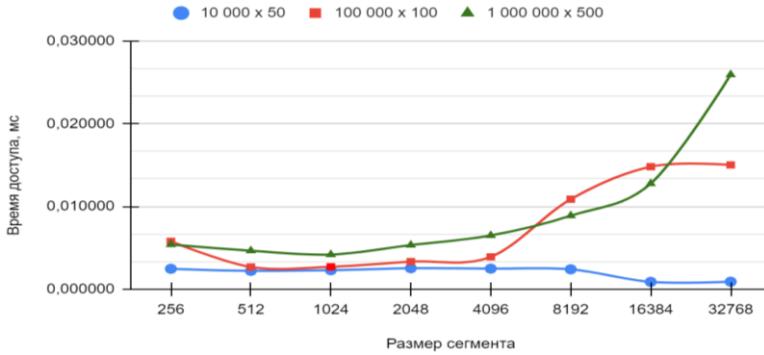


Рис. 3. Зависимость времени последовательного чтения блоками по 100 от размера сегмента

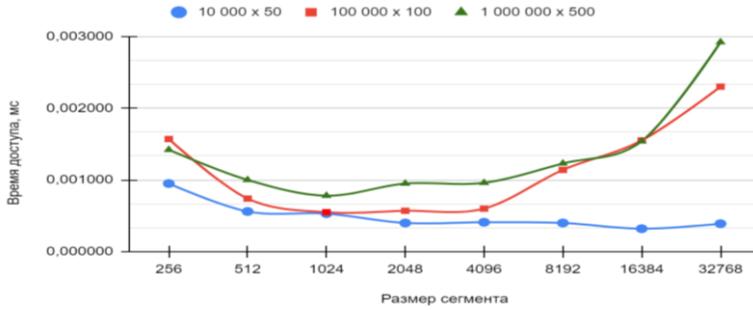


Рис. 4. Зависимость времени последовательного чтения блоками по 1000 от размера сегмента

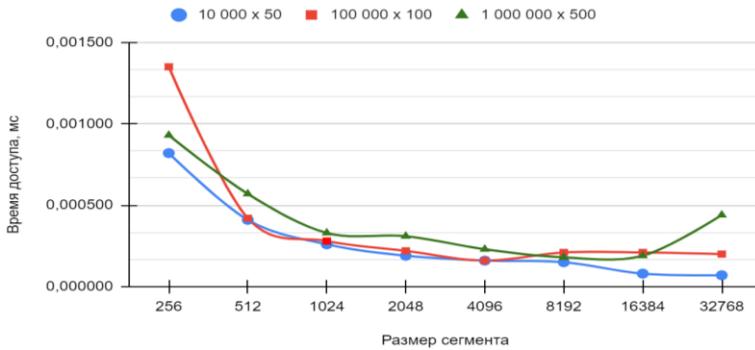


Рис. 5. Зависимость времени последовательного чтения блоками по 10 000 от размера сегмента

Таким образом, исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что для доступа к случайному замеру лучше использовать сегменты малых размеров. При последовательном чтении блоками размером 100 и 1000 лучшие результаты показывает сегмент величиной 1024. Чтение блоками по 10 000 значений показывает следующие результаты: для трендов среднего и малого масштабов наименьшее время показывает сегмент из 4096 замеров, для больших размеров больше всего подходит размер 8192. Однако стоит учитывать, что если тренд целиком помещается в один сегмент, то скорость выполнения всех тестов значительно уменьшается. Выбирая размер сегмента с учетом всех размеров трендов и тестов, можно сделать вывод о том, что оптимальным является сегмент размером 1024 замера.

Библиографический список

1. Шмидт И.А., Чалов М.А. Хранение данных стендовых испытаний // Научно-технический вестник Поволжья. – 2017. – С. 222–225.
2. Сисюков А.Н. Проблематика Big Data в инфраструктуре уровня предприятия // Наука, техника и образование. – 2017. – № 4 (34). – С. 47–50.
3. Шмидт И.А., Васенев Н.В. Выбор оптимальной JSON-модели для хранения результатов испытаний // Фундаментальные исследования. – 2016. – С. 620–625.
4. Шмидт И.А., Попов А.П. Разработка оптимального метода хранения временных рядов в документо-ориентированной базе данных // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. – С. 233–238.
5. Shmidt I.A. Storing Data in the Trial of Complex Technical Products // Proceedings of the 2nd International Conference on Applied Innovations in IT. – 2014. – Vol. 1, I. 2. – P. 85–87. DOI: 10.13142/kt10002.14
6. Шмидт И.А., Попов А.П. Оптимизация хранения данных испытания сложных технических изделий в документо-ориентированной базе данных: XXI Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2018). Т. 1. Секц. 1. – С. 169–172.

Сведения об авторах

Шмидт Игорь Альбертович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shmidt@msa.pstu.ru

Жуков Дмитрий Романович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-20-16, г. Пермь, e-mail: dimonzhukov1503@gmail.com

Лузянин Даниил Юрьевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-20-16, г. Пермь, e-mail: deducshkindanluz@yandex.ru

Попов Илья Алексеевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-20-16, г. Пермь, e-mail: ilya.popov2801@mail.ru

Тимков Антон Юрьевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-20-16, г. Пермь, e-mail: antontimkov2002@mail.ru

И.И. Сухих, Л.Ф. Уразбахтин

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РОССИЙСКОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SMATH STUDIO (SOLVER) ДЛЯ СОЗДАНИЯ МОДУЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В данной статье предлагается осуществлять в российском программном комплексе SMath Solver решение инженерных задач по типовым алгоритмам без использования конкретного языка программирования. К таким задачам относятся: необходимость автоматизации расчетов параметров технических систем; выбора параметров технических систем из реляционных баз данных или справочников. Для решения таких задач достаточно функций и структур программирования SMath Solver.

Ключевые слова: алгоритм, программирование, прикладная программа, инженерная задача, система автоматизированного проектирования, техническая система.

I.I. Sukhikh, L.F. Urazbakhtin

Perm National Research Polytechnic University, Perm

USING THE RUSSIAN SOFTWARE PACKAGE SMATH STUDIO (SOLVER) TO CREATE A MODULE OF AN AUTOMATED DESIGN SYSTEM

In this article it is proposed to carry out in the Russian software package SMath Solver the solution of engineering problems by typical algorithms without the use of a specific programming language. Such tasks include: the need to automate the calculations of technical systems' parameters; to select parameters of technical systems from relational databases or reference books. The functions and programming structures of SMath Solver are sufficient for solving such tasks.

Keywords: algorithm, programming, application program, engineering problem, computer-aided design system, technical system.

Программное обеспечение SMath Studio представляет собой совокупность методов и приемов, а также ряда технического оборудования, в котором можно работать с интегралами, производными, тригономет-

рией и т.д.; программировать новые математические функции; симулировать динамические системы; изменять и уточнять различные параметры, отображаемые в результатах [1].

Цель работы – составление алгоритма проектирования фрезы и разработка по нему модуля САПР концевых фрез.

У фрез хвостовики обладают либо цилиндрической формой, либо конической с конусом типа Морзе. Стандартную фрезу с тремя зубьями можно наблюдать на рис. 1.

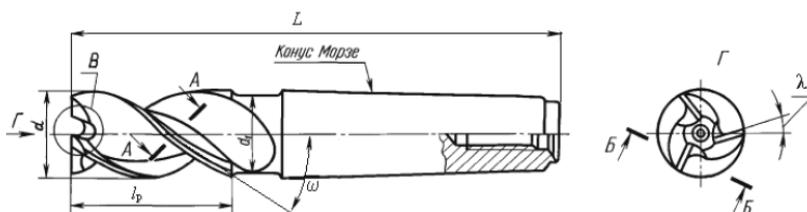


Рис. 1. Конструкция и геометрические параметры фрез [2]

При проектировании концевых фрез цилиндрической формы задача состоит в том, чтобы определить следующие конструктивные элементы: размеры и число зубьев; глубина стружечных канавок; высота зубьев; наружный диаметр фрезы; геометрические параметры хвостовика фрез; углы наклона зубьев.

Далее следует привести словесный алгоритм расчета параметров и их определения для концевых фрез из быстрорежущей стали [3].

1. Ввод данных. Исходными данными являются: обрабатываемый материал; твердость обрабатываемого материала HB (НВ); ширина резания B (мм); код типа зуба Kvz (0 – нормальный зуб, 1 – крупный); запас по длине хвостовика Δl (мм); допустимый прогиб инструмента y_{\max} (мм); коэффициент равномерности фрезерования KP . С учетом исходных данных следует учитывать, что ширина резания B рассматривается в направлении, которое параллельно оси режущей фрезы, а глубина резания t – в направлении, что перпендикулярно к оси фрезы [2].

Обрабатываемый материал вводится в виде кода KM , значение которого нужно выбрать из таблицы, показанной на рис. 2.

| | | | |
|---|------------------------|----|---------------------------|
| 1 | Алюминий | 6 | Молибденовые стали |
| 2 | Бронза | 7 | Кобальтовые стали |
| 3 | Углеродистые стали | 8 | Нержавеющие стали |
| 4 | Малоуглеродистые стали | 9 | Шарикоподшипниковые стали |
| 5 | Легированные стали | 10 | Титановые сплавы |
| | | 11 | Чугуны |

Рис. 2. Кодирование обрабатываемого материала

Введите исходные данные ==>

| | | | |
|---|------------------------|----|---------------------------|
| 1 | Алюминий | 6 | Молибденовые стали |
| 2 | Бронза | 7 | Кобальтовые стали |
| 3 | Углеродистые стали | 8 | Нержавеющие стали |
| 4 | Малоуглеродистые стали | 9 | Шарикоподшипниковые стали |
| 5 | Легированные стали | 10 | Титановые сплавы |
| | | 11 | Чугуны |

Код обрабатываемого материала (1...11)
KM := 3

Введите ширину фрезерования, мм
B := 42

Код типа зуба (0 - нормальный зуб; 1 - крупный)
Kvz := 0

Твердость материала
HB := 800

Допустимый прогиб инструмента ≤ 2 мм
ymax := 0,15

Запас по длине хвостовика и втулки, мм
ΔL := 4

KP – коэффициент равномерности фрезерования, который следует принимать в пределах от 2 до 3
KP := 2,5

Рис. 3. Пример ввода данных в SMath Solver

| Обрабатываемый материал | Марка инструментального материала | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------------------------|---|------|--------|----------|-----|--------|-----|-------|
| | Y129XC | | P6M5 | P6M5K5 | P6M5Ф2K8 | BK8 | BK10-M | BK6 | T15K6 |
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | Баллы | | | | | | | | |
| Алюминий | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Бронза | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Углеродистые стали | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Малоуглеродистые стали | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Легированные стали | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Молибденовые стали | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Кобальтовые стали | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Нержавеющая сталь | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Шарикоподшипниковая сталь | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Титановые сплавы | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Чугуны | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |

Рис. 4. Матрица решения для выбора инструментального материала (1 – инструментальный материал подходит для обработки; 0 – не подходит) [2]

2. Т.к. в данной статье речь идет о примере, то ограничимся программированием двух столбцов из таблицы (рис. 4): материал $MIM = \langle \text{BK6} \rangle$ подходит для обработки материалов с кодами $KM = 5 \dots 11$; материал $MIM = \langle \text{P6M5} \rangle$ подходит для обработки остальных материалов с кодами $KM = 1 \dots 4$, показанных на рис. 5.

```

if (((((KM = 3) ∨ (KM = 1)) ∨ (KM = 2)) ∨ (KM = 4)) = "P6M5"
    MIM := "P6M5"
else
    MIM := "BK6"

```

Рис. 5. Пример программирования выбора марки инструментального материала в SMath Solver

3. Требуется провести расчет высоты зуба h (мм). Чтобы определить высоту зуба, требуется произвести вычисления по следующим зависимостям фрез (упоминаемым ранее эмпирическим формулам с разными единицами измерения) [2]:

– с крупным зубом

$$h = 5,5\sqrt{S_z} \cdot t; \quad (1)$$

– с нормальным зубом

$$h = 4,5\sqrt{S_z} \cdot t, \quad (2)$$

где S_z – подача на зуб фрезы, мм/зуб; t – глубина резания.

4. Определение вылета концевой фрезы из шпинделя станка:

$$l_1 = B + \Delta l + l_{ш}, \quad (3)$$

где B – ширина обрабатываемой поверхности, мм; Δl – запас по длине, мм; $l_{ш}$ – длина шейки, примерно [2] равна $0,2 \cdot 20^{0,63}$.

5. На данном этапе нужно определить наружный диаметр d . Наружный диаметр концевых режущих фрез можно определить, если выполнить решение по следующим эмпирическим зависимостям для фрез [2]:

– с крупным зубом

$$d = 0,207B^{0,26}t^{0,091}l_1^{0,781}y_{\max}^{-0,26}, \quad (4)$$

– с нормальным зубом

$$d = 0,248B^{0,26}t^{0,091}S_z^{0,05}l_1^{0,781}y_{\max}^{-0,26}, \quad (5)$$

где B – ширина фрезерования; t – глубина резания, мм; S_z – подача на зуб; l_1 – величина вылета фрезы из шпинделя станка; y_{\max} – допустимый прогиб инструмента. Ограничение минимального диаметра фрезы d_{\min} по высоте зуба фрезы [2]:

– с крупным зубом

$$d = 3,425h^{1,35}; \quad (6)$$

– с нормальным зубом

$$d = 3,77h^{1,06}. \quad (7)$$

Требуется найти диаметр концевой режущей фрезы, это можно сделать по двум зависимостям. Затем из них следует выбрать наибольшее и целое значение, алгоритм можно наблюдать на рис. 6.

```

Определение d наружного диаметра концевых фрез
if Kvz = 1
    d1 := 0,207 · B0,26 · t0,091 · Sz0,05 · l10,781 · ymax-0,26 = 19,7889
else
    d1 := 0,248 · B0,26 · t0,091 · Sz0,05 · l10,781 · ymax-0,26
if Kvz = 1
    d2 := 3,77 · h1,06 = 4,7433
else
    d2 := 3,425 · h1,35
d := round(max([d1 .. d2]); 0) = 20

```

Рис. 6. Пример расчета в SMath Solver с использованием функций max и round

6. Вычисление радиуса округления дна стружечной канавки для фрез [2]:

– с крупным зубом

$$r_1 = 0,7h^{1,8} \quad (8)$$

– с нормальным зубом

$$r_1 = 0,44h^{1,2} \quad (9)$$

7. Выбор числа зубьев фрезы по таблице (рис. 7).

| D , мм | Для фрез с крупным зубом | Для фрез с нормальным зубом |
|----------|--------------------------|-----------------------------|
| 3–19 | 3 | 4 |
| 20–30 | 3 | 5 |
| 32–55 | 4 | 6 |
| 56–79 | 5 | 8 |
| 80–99 | 6 | 8 |

Рис. 7. Значения чисел зубьев для фрез в зависимости от диаметра [2]

```

Выбор числа зубьев фрезы

if (d ≥ 3) ∧ (d ≤ 19)
  if Kvz = 1
    z := 3
  else
    z := 4
else
  if (d ≥ 80) ∧ (d ≤ 99)
    if Kvz = 1
      z := 6
    else
      z := 8
  else
    "Пустой оператор"

if (d ≥ 20) ∧ (d ≤ 30) = 5
  if Kvz = 1
    z := 3
  else
    z := 5
else
  if (d ≥ 56) ∧ (d ≤ 79)
    if Kvz = 1
      z := 5
    else
      z := 8
  else
    "Пустой оператор"

if (d ≥ 31) ∧ (d ≤ 55)
  if Kvz = 1
    z := 4
  else
    z := 6
else
  "Пустой оператор"

```

Рис. 8. Выбор числа зубьев фрезы в SMath Solver

8. Определим угол наклона винтовых зубьев, который можно рассчитать по следующей формуле [2]:

$$\omega = \operatorname{arctg} \frac{B \cdot Z}{\pi \cdot d \cdot K_p}, \quad (10)$$

где K_p – коэффициент равномерности фрезерования.

9. Следует разобрать значения геометрических параметров, относящихся к режущей части фрез (рис. 9).

```

Назначение геометрических параметров режущей части фрез

a1 := 8 °

if HB < 600
  for i ∈ [3..9]
    if KM = 1
      γ := 20 °
    else
      "Пустой оператор"
else
  if (KM = 10)
    γ := 12 °
  else
    "Пустой оператор"

if d < 10
  α := 25 °
else
  if d > 20
    α := 15 °
  else
    if (d ≤ 20) ∧ (d ≥ 10)
      α := 20 °
    else
      "Пустой оператор"

if (HB ≤ 1000) ∧ (HB ≥ 600)
  for i ∈ [3..9]
    if KM = i
      γ := 15 °
    else
      "Пустой оператор"

if (KM = 11) ∧ (HB < 150)
  γ := 15 °
else
  if ((KM = 11) ∧ (HB ≥ 150)) ∧ (HB ≤ 220)
    γ := 10 °
  else
    if (KM = 11) ∧ (HB > 220)
      γ := 5 °
    else
      if (KM = 2)
        γ := 10 °
      else
        if (KM = 1)
          γ := 25 °
        else
          "Пустой оператор"

```

Рис. 9. Назначение геометрических параметров режущей части фрезы в SMath Solver

10. Выбор типа и размеров хвостовиков производится по таблице с рис. 10.

| Диаметр фрезы d, мм | Хвостовик |
|---------------------|----------------|
| 20 | Цилиндрический |
| 20–26 | Морзе 3 |
| 26–45 | Морзе 4 |
| 45–65 | Морзе 5 |
| 65–80 | Морзе 6 |
| 80–120 | 7:24 № 50 |
| 120–220 | 7:24 № 60 |

```

Выбор типа и размеров хвостовиков
X := "Нет подходящего хвостовика"

if d < 20
  X := "Цилиндрический хвостовик"
else
  if (d < 26) ^ (d ≥ 20)
    X := "Хвостовик конус Морзе 3"
  else
    if (d < 45) ^ (d ≥ 26)
      X := "Хвостовик конус Морзе 4"
    else
      if (d < 65) ^ (d ≥ 45)
        X := "Хвостовик конус Морзе 5"
      else
        "Пустой оператор"
  if (d < 80) ^ (d ≥ 65)
    X := "Хвостовик конус Морзе 6"
  else
    if (d < 220) ^ (d ≥ 120)
      X := "Хвостовик конус 7:24 № 60"
    else
      if (d < 120) ^ (d ≥ 80)
        X := "Хвостовик конус 7:24 № 50"
      else
        "Пустой оператор"
  "Пустой оператор"

```

Рис. 10. Таблица выбора хвостовика фрезы и пример в *SMath Solver*

11. Вывод результатов отображен на рис. 11:

| Результаты расчета | | |
|--|--|--|
| Глубина фрезерования, мм | Скорость фрезерования, м/мин | Подача на зуб, мм/зуб |
| $t = 2$ | $v = 55$ | $S_z = 0,04$ |
| Марка инструментального материала | Высота зуба, мм | Вылет фрезы, мм |
| $MIM = "PM5"$ | $h = 1,2728$ | $l_1 = 47,320$ |
| Наружный диаметр фрезы, мм | Радиус скругления дна стружечной канавки, мм | |
| $d = 20$ | $r_1 = 0,5877$ | |
| Количество зубьев фрезы | Угол ω наклона винтовых зубьев, ° | Диаметр шейки d_{sh}, мм |
| $z = 5$ | $\omega = 53,2036$ | $d_{sh} = 19$ |
| Передний угол | Задний угол фрезы | Выбор хвостовика |
| $\gamma := \gamma \cdot \frac{180}{\pi} = 15$ | $\alpha := \alpha \cdot \frac{180}{\pi} = 20$ | $X = "Хвостовик конус Морзе 3"$ |
| Значения углов $\varphi_1... \varphi_6$, характеризующих неравномерность окружного шага | | |
| $\Omega = \begin{bmatrix} \text{"число зубьев"} & \text{"ф1"} & \text{"ф2"} & \text{"ф3"} & \text{"ф4"} & \text{"ф5"} & \text{"ф6"} \\ 5 & 68 & 72 & 76 & 68 & 76 & 0 \end{bmatrix}$ | | |

Рис. 11. Вывод результатов вычисления

Заключение. Программно-информационный комплекс SMath Solver подходит для решения задач профессионального характера в областях, требующих автоматизации инженерных расчетов и проектирования технических систем.

1. Программно-информационный комплекс SMath Studio успешно применяется при выборе значений, представленных в виде матриц решения, таблиц или справочников.

2. Структурное программирование алгоритмов проектирования объектов различных производств можно реализовывать средствами системы программирования комплекса SMath Studio.

3. Реализация типовых алгоритмов в SMath Studio требует знаний основ матричных вычислений, алгоритмизации и программирования.

Библиографический список

1. Руководство пользователя математической программы SMath Studio [Электронный ресурс]. – 2022. – URL: https://ru.smath.com/docs/SMathStudio_user_tutorial.pdf (дата обращения: 24.10.2022).

2. Папшева Н.Д., Младенцева О.А. САПР режущего инструмента, инструментальной оснастки и технологии их изготовления: практикум [Электронный ресурс]. – Саратов: Профобразование, 2022. – 74 с. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/116294.html> (дата обращения: 23.11.2022).

3. Уразбахтина А.Ю., Юсупов Г.Х., Мормышева А.И. Математическая обработка результатов шлифования перфорированными кругами // Наука Удмуртии. – 2018. – № 2 (84). – С. 101–106.

Сведения об авторах

Сухих Илья Игоревич – аспирант кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: vargostelemax@gmail.com

Уразбахтин Леонид Федорович – студент Чайковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ-20-16ЧФ, г. Чайковский, e-mail: gluckspil@mail.ru

Е.Ю. Дергунова, А.В. Тарутин

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОГНОЗА ПОСТУПЛЕНИЙ НАЛОГОВ (СБОРОВ) В НАЛОГОВОЙ СИСТЕМЕ

В этой статье исследуются основы для определения (и дальнейшего описания) бизнес-процессов налогового администрирования, определена основная цель автоматизируемой задачи – это сбор информации (поступлений налогов, сборов) для улучшения качества деятельности налоговых органов. Обозначено что необходимо сделать для обеспечения должного качества поддержки бизнес-процессов средствами автоматизированной системы. Определены основные критерии, по которым можно оценивать уровень и качество поддержки бизнес-процессов средствами автоматизированной системы в целом. Обозначены разделы по направлениям деятельности, которые будут разработаны для упрощения процесса прогноза поступлений налогов (сборов).

Ключевые слова: бизнес-процесс, налоговая система, автоматизация, информационный ресурс.

E.Yu. Dergunova, A.V. Tarutin

Perm National Research Polytechnic University, Perm

AUTOMATION OF THE FORECAST OF TAX RECEIPTS (FEES) IN THE TAX SYSTEM

This article explores the basics for determining (and further describing) the business processes of tax administration, defines the main purpose of the automated task - the collection of information (tax receipts, fees) to improve the quality of the activities of tax authorities. It is indicated what needs to be done to ensure the proper quality of business process support by means of an automated system. The main criteria by which it is possible to assess the level and quality of business process support by means of an automated system as a whole are determined. The sections on the areas of activity that will be developed to simplify the process of forecasting tax receipts (fees) are indicated.

Keywords: business process, tax system, automation, information resource.

Предназначение налоговой системы – это высокий уровень оказания помощи в виде услуг и создание благоприятных условий для внесения налоговых платежей*.

Одним из главных видов деятельности в сфере налогообложения является совершенствование деятельности в сфере налогообложения, исходя из продуктивности расходов на ее выполнение.

Налоговые органы осуществляют контроль и надзор за соблюдением законодательства о налогах и сборах, контроль за правильностью исчисления, полнотой и своевременностью внесения в соответствующий бюджет налоговых платежей в случаях, предусмотренных законодательством Российской Федерации, контроль за правильностью исчисления, полнотой и своевременностью внесения в соответствующий бюджет иных обязательных платежей.

Главное управление осуществляет контроль и организует работу территориальных налоговых инспекций, а также подготавливает общий свод о поступивших налогах (сборах) в федеральный бюджет.

Территориальные инспекции на своем уровне исполняют главные задачи, поставленные перед ними вышестоящим органом, в части прямого контроля за поступлением соответствующих платежей от физических и юридических лиц в связи с исполнением законодательства о налогах и сборах.

Согласно концепции для установления и впоследствии описания бизнес-процессов в сфере администрирования налоговой системы определяем список функций, составные части которых обозначены в соответствующей нормативной документации. Для того чтобы дать должную оценку полученному результату, необходимо установить разницу между целью и полученным эффектом от выполнения определенных функций.

Соответственно, цель в процессе осуществления функции предусматривает ожидаемые сдвиги (изменения, преобразования). В то время как эффект, полученный от выполнения определенных функций, предусматривает неабстрактный явный информационный ресурс, который предполагается предоставлять для воплощения цели вове.

* Миссия, основные направления деятельности и Стратегическая карта Федеральной налоговой службы. – URL: https://www.nalog.gov.ru/rn77/about_fts/fts/ftsmission/ (дата обращения: 19.12.2022).

Деятельность, которая направлена на достижение явного эффекта, выдаваемого вовне, является функцией рассматриваемой системы налогового органа.

По результатам проведенного анализа нормативной документации был получен перечень функций, по которому также проведен анализ с целью вероятности описания последовательности работ, которые необходимы для ее воспроизведения.

Каждая из данных функций была разделена на цикл предметных (подробных) функций. Разделение функции производится как сортировка функции по входу и результату, который выражался в главном виде, на его составные части.

Результаты разделения имеют внешний вход и выход. По результатам сортировки функций получается их классификация, содержащая несколько уровней иерархии.

Процесс выполнения простой функции, который рассматривается как реализация последовательности работ, необходимых для получения результата данной функции, называется никак иначе как бизнес-процессом.

Главная цель задачи, которая подлежит автоматизации, заключается в своде и прогнозе данных с целью обеспечения высокого уровня выполняемых функций. За основу описания бизнес-процесса берется работа (процедура). Каждый бизнес-процесс состоит из перечня работ, необходимых для достижения необходимого результата.

Для автоматизации в сфере налогообложения характерно создание и управление информационными ресурсами.

Поскольку информационные ресурсы участвуют в бизнес-процессах, все бизнес-процессы можно условно поделить на две основные группы:

1. Бизнес-процессы, в ходе исполнения которых создаются и ведутся информационные ресурсы. Например, работа с декларациями формы № 3-НДФЛ, поступающими от физических лиц и индивидуальных предпринимателей. Такие процессы имеют свой внешний вход и выход, при этом одновременно идет отражение документов и решений в информационных ресурсах.

2. Бизнес-процессы, которые используют информационные ресурсы. Например, формирование информации по определенным критериям, в частности, прогноз поступлений. Такие процессы также имеют свой внешний вход (формирование критерия) и выход (вывод информации

в виде свода). При этом в данном случае информационные ресурсы будут являться источниками информации, используемыми в ходе реализации процесса. В целях выполнения возложенных на налоговые органы функций, в частности, контроля за поступлением соответствующих налогов (сборов), необходима разработка программного обеспечения, которое упростит процесс прогноза поступлений налогов (сборов).

Разработка разделов по направлениям деятельности налоговых органов предполагает включение в себя следующей функциональности (показателей): поступления.

Информация с показателями по поступлениям будет отображаться по следующим подразделам:

- поступления в КБ РФ;
- поступления в федеральный бюджет;
- поступления в КБ субъектов РФ;
- поступления страховых взносов.

Информацию с показателями по соответствующим подразделам предполагается отображать в виде интерактивной карты, а также табличным и графическом виде, с возможностью детализации в разрезе субъекта Российской Федерации, а также с возможностью сортировки по субъектам Российской Федерации. Также должна быть реализована возможность просмотра информации с показателями по поступлениям с возможностью детализации до уровня Федерального округа или субъекта.

Информация для автоматизируемой задачи подготавливается на основе сводных отчетов по различным аспектам деятельности, в частности, информация с показателями по поступлениям.

Частота запросов информации в источники данных носит гибкий характер и может настраиваться в процессе эксплуатации.

Отображение выходных данных осуществляется только для авторизованных пользователей в соответствии с назначенной ролью.

Сведения об авторах

Дергунова Елена Юрьевна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ-19-1бзу, г. Пермь, e-mail: dergunova2407@gmail.com

Тарутин Анатолий Владимирович – доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: itas-pnpu@yandex.ru

И.А. Шмидт, Е.В. Артемов

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

ПОИСК АНОМАЛИЙ ВО ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ МЕТОДОМ TADGAN

В данной статье рассматривается проблема обнаружения аномалий во временных рядах. Рассмотрены виды аномалий во временных рядах, проведена классификация существующих методов обнаружения аномалий и подробно описан принцип действия алгоритма TadGAN. Также метод TadGAN был реализован на языке программирования Python и показана работа данного метода на синтетическом временном ряду.

Ключевые слова: временной ряд, аномалии, методы поиска аномалий, нейронная сеть, TadGAN.

I.A. Shmidt, E.V. Artemov

Perm National Research Polytechnic University, Perm

SEARCH FOR ANOMALIES IN TIME SERIES BY THE TADGAN METHOD

This article deals with the problem of anomaly detection in time series. The types of anomalies in time series are considered, the classification of existing anomaly detection methods is carried out, and the principle of operation of the TadGAN algorithm is described in detail. Also, the TadGAN method was implemented in the Python programming language and the operation of this method on a synthetic time series is shown.

Keywords: time series, anomalies, anomaly search methods, neural network, TadGAN.

Временным рядом называют непрерывную последовательность значений какого-либо параметра или показателя за один или несколько периодов времени. Любой изменяющийся параметр или показатель в технологическом процессе является временным рядом. Поэтому появление аномалий в таких временных рядах могут сигнализировать о проблемах в протекании технологического процесса, таких как неправильная настройка оборудования, скорый выход из строя оборудования

либо о его неисправности. Поэтому методы обнаружения аномалий во временных рядах активно изучаются и применяются на практике [1].

Выделяют три вида аномалий во временных рядах:

- точечные аномалии;
- контекстные (условные) аномалии;
- групповые (коллективные) аномалии.

Точечные аномалии характеризуются отклонением одной определенной точки от группы значений. Как правило, значение точечной аномалии сильно отличается от значения всего ряда, поэтому их нередко называют «вбросами». Такие аномалии проще всего обнаружить, т.к. можно ввести ограничения по минимальному и (или) максимальному значению [2].

Контекстные аномалии связаны с определенными условиями или группой условий, при которых становится ясно, что данное значение аномально. Например, появление отрицательного значения во временном ряду, который в данный отрезок времени должен быть строго положительным.

Групповые аномалии характеризуются аномальным поведением группы точек по отношению к остальному временному ряду. Например, изменением частоты процесса, либо пропуском одного или нескольких периодов в процессе [3].

Выделяют три группы методов поиска аномалий во временных рядах:

- proximity-based;
- prediction-based;
- reconstruction-based.

Proximity-based методы, используя информацию о близости значений или последовательности значений фиксированной длины, определяют, является точка или группа точек аномалией. Недостатком данных методов является то, что они не позволяют выявить изменения в форме временного ряда.

Prediction-based методы используют собранные ранее статистические данные для предсказания дальнейшего поведения временного ряда и построения прогнозной модели. Далее фактические значения временного ряда сравниваются с предсказанными и принимается решение об аномальности или ее отсутствии для точки или группы точек. Могут выявлять как точечные аномалии, так и находить места изменения формы сигнала

Reconstruction-based методы анализируют временной ряд и воссоздают (реконструируют) его. Так же как и с prediction-based методами дальше фактические значения временного ряда сравниваются с реконструированными и принимается решение об аномальности. Выявляют как точечные, так и групповые аномалии [4].

Главная задача методов, которые основываются на реконструкции, это построить качественную модель процесса, чтобы в дальнейшем получить восстановленный временной ряд, в котором отсутствуют аномалии.

Одним из reconstruction-based методов, который дает хороший результат, является Time Series Anomaly Detection Using Generative Adversarial Networks (TadGAN). Данный метод был разработан исследователями из MIT и представлен на конференции IEEE International Conference on Big Data.

Данный метод базируется на генеративных состязательных сетях и использует элементы автокодировщика. Архитектура метода TadGAN представлена на рис. 1.

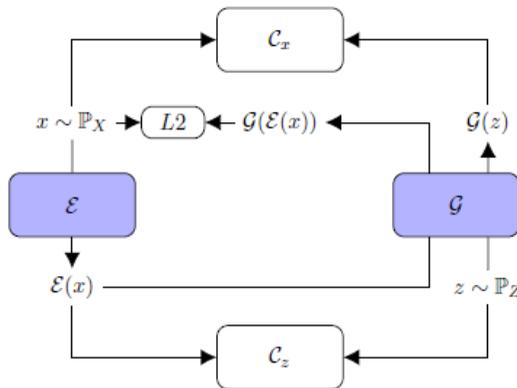


Рис. 1. Структурная схема архитектуры TadGAN

\mathcal{E} действует как автокодировщик, переводящий отрезки временных рядов x в векторы скрытого пространства z , а G – декодер, восстанавливающий из скрытого представления z отрезки временных рядов. C_x – критик, оценивающий качество восстановления $G(\mathcal{E}(x))$, а C_z – критик, оценивающий похожесть скрытого представления $z = \mathcal{E}(x)$ на белый шум [5].

Для реализации данного метода использовался язык программирования Python и библиотека TensorFlow.

Для апробации работы метода был сгенерирован синтетический временной ряд и внесена групповая аномалия на двух участках с нехарактерной частотой процесса. Сгенерированный синтетический временной ряд представлен на рис. 2.

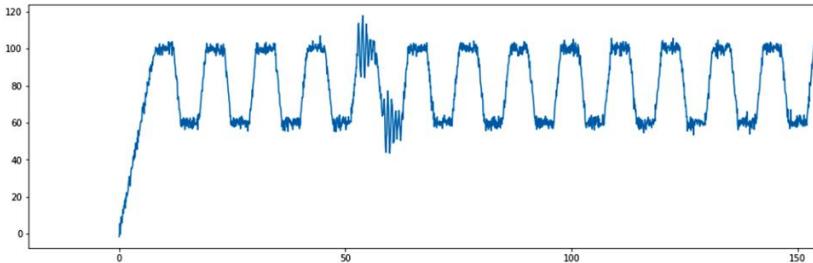


Рис. 2. Сгенерированный синтетический временной ряд

Для оценки работы модели оптимизировались 5 метрик. Средне-квадратичное отклонение между исходным и восстановленным временным рядом (aeLoss), бинарная кросс-энтропия критика C_x (cxLoss), бинарная кросс-энтропия ошибки генератора $G(\mathcal{E}(x))$ (cx_g_Loss), бинарная кросс-энтропия критика C_z (czLoss), бинарная кросс-энтропия, ошибка генератора $\mathcal{E}(x)$ (cz_g_Loss).

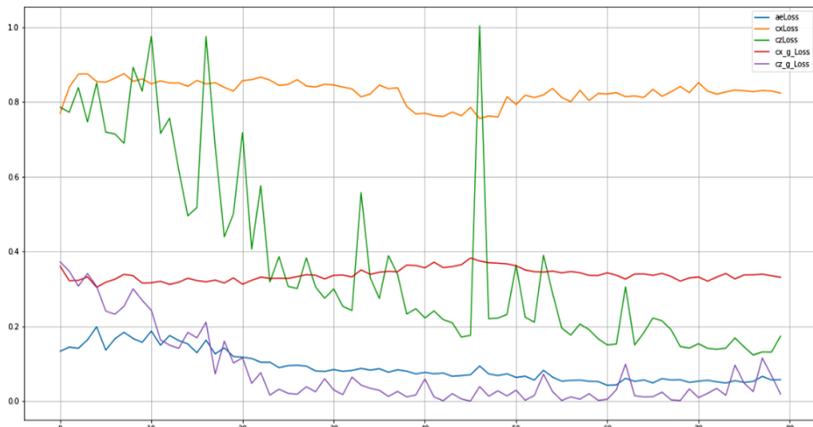


Рис. 3. Процесс обучения модели

Для определения, является ли точка или группа точек аномальной, использовалось среднееквадратичное отклонение (на графике выделено голубым) и модуль расстояния от реального и восстановленного временного ряда (на графике выделено зеленым) (рис. 3).

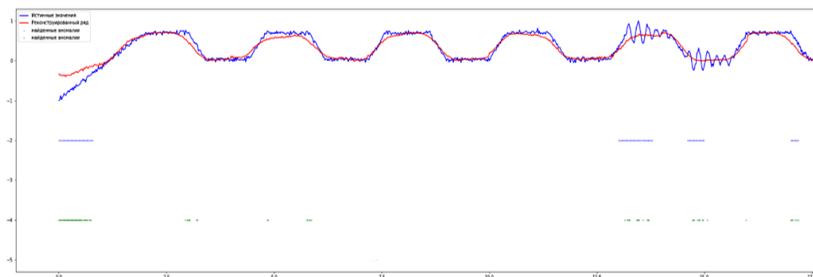


Рис. 4. Синтетический временной ряд и восстановленный ряд с поиском аномалий

Как видно на графике (рис. 4), при использовании метода TadGAN и среднееквадратичного отклонения от группы точек достаточно точно были найдены встроенные в синтетический ряд аномалии, хотя зафиксировано сильное отклонение в начале процесса и выделен как аномалия нормальный небольшой участок.

Метод хорошо подходит для периодических процессов, если технологический процесс не имеет ярко выраженного периода, то качественно реконструировать временной ряд будет весьма проблематично, либо вообще невозможно.

Библиографический список

1. Заварзин Д.В. К вопросу поиска аномалий во временных рядах // *Инновации в науке*. – 2014. – № 29. – С. 59–64.
2. Тельшев А.В., Назарков Д.А. Использование нейросетей типа автокодировщик для обнаружения аномалий во временных рядах // *Дневник науки*. – 2019. – № 4 (28). – 73 с.
3. Выявление аномалий в многомерных временных рядах датчика с использованием машинного обучения / В.О. Артюшин, К.Ю. Дерезузов, М.О. Рябинин, В.П. Плотников // *Наука и бизнес: пути развития*. – 2022. – № 4 (130). – С. 29–35.
4. Research on Time Series Anomaly Detection Algorithm and Application / Z. Zhao, Y. Zhang, X. Zhu, J. Zuo // *IEEE 4th Advanced Infor-*

mation Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC). – 2019. – P. 16–20.

5. TadGAN: Time Series Anomaly Detection Using Generative Adversarial Networks / A. Geiger, D. Liu, S. Alnegheimish, A. Cuesta-Infante, K. Veeramachaneni // IEEE International Conference on Big Data (Big Data). – 2020. – P. 33–43.

6. Lüer Fiete, Mautz Dominik, Böhm Christian. Anomaly Detection in Time Series using Generative Adversarial Networks // International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW). – 2019. – P. 1047–1048.

Сведения об авторах

Шмидт Игорь Альбертович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shmidt-ia@yandex.ru

Артемов Ефим Вадимович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИСУП-21-1м, г. Пермь, e-mail: artemovefimv@gmail.com

С.И. Советов, С.Ф. Тюрин

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

АЛГОРИТМ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ В СХЕМЕ ЛОГИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА ПЛИС

Широкое распространение цифровых устройств и лежащих в основе интегральных схем требует пересмотра и оптимизации внутренней логики с точки зрения энергоэффективности и количества используемых ресурсов. В данной статье рассмотрен алгоритм подключения дополнительных транзисторов в элементе логического устройства таблицы истинности (LUT) для оптимизации выполнения логических функций без использования как дополнительных элементов, так и дублирующих функций, что приводит к более эффективному использованию ресурсов в логических интегральных схемах.

Ключевые слова: ПЛИС, LUT, передающие транзисторы, логическая функция.

S.I. Sovetov, S.F. Tyurin

Perm National Research Polytechnic University, Perm

ALGORITHM FOR DETERMINATION CONNECTING POINTS OF ADDITIONAL TRANSISTOR TREES IN FPGA LOGIC ELEMENT

The widespread use of digital devices and the underlying integrated circuits requires a revision and optimization of internal logic in terms of energy efficiency and the number of resources used. This article discusses an algorithm for connecting additional transistors in the logic element of the look-up table (LUT) to optimize the execution of logical functions without the use of both additional elements and duplicating functions, which leads to more efficient use of resources in logic integrated circuits.

Keywords: FPGA, LUT, transmitting transistors, logic function.

Практически любое современное цифровое устройство состоит из вычислительного элемента, реализованного на кристалле. Одной из используемых интегральных схем специального назначения являются ASIC. Топология данных интегральных схем реализуется на этапе разработки и остается неизменной после производства. Ошибка на этапе разработки может привести к большим финансовым и временным за-

трапам. Поэтому для тестирования разработанных топологий применяют программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Базовым элементом ПЛИС является комбинированное логическое устройство, в состав которого входит таблица истинности (LUT).

Использование LUT для вычисления результата одной логической функции требует $2^{n+1} - 2$ передающих транзисторов для n переменных [1, 2]. Так, например, для реализации логической функции трех переменных используется 38 транзисторов, связанных между собой в виде дерева мультиплексоров, имеющих 3 каскада (рис. 1).

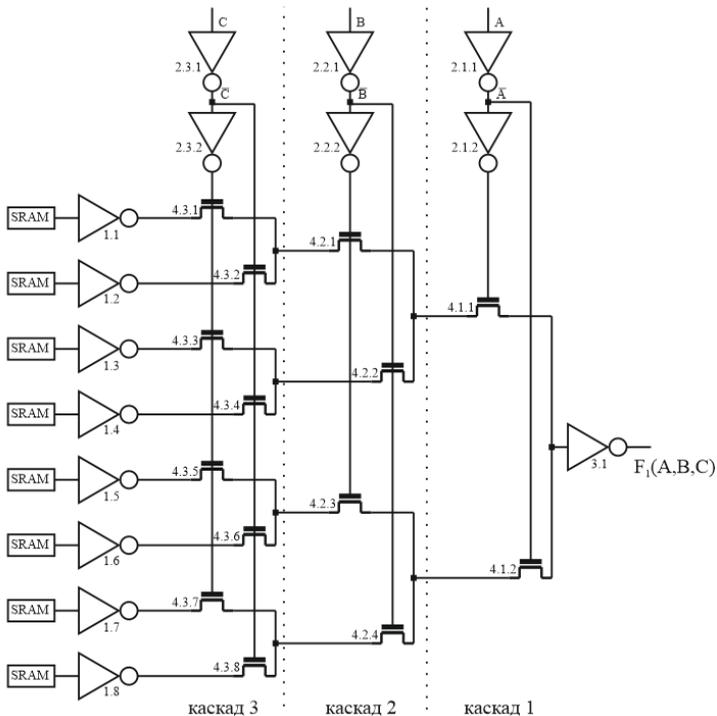


Рис. 1. Дерево LUT трех переменных

Как можно видеть из схемы, в первом каскаде транзисторов всегда включен только один транзистор. Таким образом, половина передающих транзисторов в количестве 7 шт. всегда остаются неактивными [3–7]. Неактивные транзисторы можно использовать для одновре-

менного вычисления других логических функций, если параллельно первому каскаду подключить дополнительные транзисторы, управление которыми инвертировано. В таком случае возможна реализация LUT трех переменных с одновременным выполнением двух функций. Для полной реализации второй функции также необходимо с помощью первой переменной управлять дополнительными транзисторами настройки, чтобы подключить необходимые ячейки статической памяти (SRAM). Управление дополнительными транзисторами настройки инвертировано по половине работающего дерева. Расположение ячеек памяти настройки функции в таком случае сдвигается на половину размерности. На рис. 2 представлено дерево трех переменных с одновременным выполнением двух функций [8, 9].

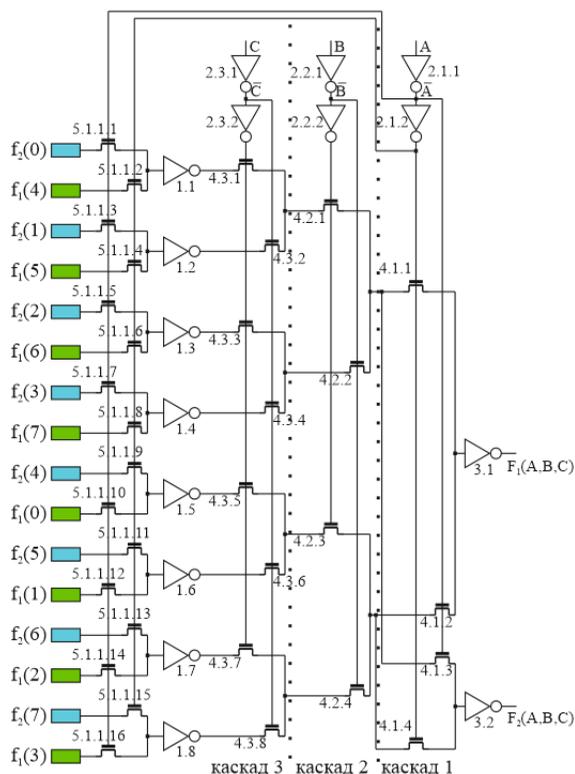


Рис. 2. Дерево LUT трех переменных, которое выполняет две функции одновременно

В результате подключения дополнительных 28 транзисторов на схеме LUT трех переменных возможна реализация двух функций на 66 транзисторах вместо использования двух LUT с 76 транзисторами, что дает выигрыш в использовании меньшего количества транзисторов [10].

Общая формула для расчета количества используемых транзисторов T при n переменных и k функций в стандартном LUT определяется как:

$$T = k \cdot (2^{n+1} - 2 + 2n + 2 \cdot 2^n + 2). \quad (1)$$

Формула расчета подключения дополнительных транзисторов и их общего количества T_v при n переменных для реализации k функций определяется как:

$$T_v = (2^{n+1} - 2 + 2n + 2 \cdot 2^n + 2) + (2^{v+1} - 2)(k - 1 + 2^n) + 2^n + 2k, \quad (2)$$

где v – степень в общем количестве (2^v) реализуемых функций.

В случае LUT трех переменных возможна одновременная реализация четырех функций при подключении двухкаскадных LUT деревьев двух переменных. В этом случае дополнительно вводится каскад транзисторов настройки, управляемый с помощью второй переменной. Количество используемых транзисторов в данном случае равно 118, вместо 152 при дублировании LUT трех переменных.

При увеличении количества переменных возможна реализация максимум 2^{n-1} функций. Рассмотрим общий алгоритм подключения дополнительных транзисторов для одновременной реализации нескольких логических функций.

Входными параметрами алгоритма являются:

- количество переменных n ;
- количество логических функций k , реализуемых в одном LUT одновременно.

1. Проверка нахождения значения k в диапазоне от 1 до 2^{n-1} .

2. Округление k в большую сторону до значения 2^v функций. Например, для реализации пяти функций требуется избыточное подключение восьми функций (2^3).

3. Расчет сложности в реализации LUT при избыточных функциях по количеству используемых транзисторов. Например, сложность LUT четырех функций и дополнительное LUT одной функции меньше избыточных восьми функций в одном LUT.

4. Создание необходимого количества стандартных LUT n переменных, которые вычисляют одну функцию.

5. Подключение к каждому входу инвертора из n переменных одного инвертора n переменной. Например, после входа переменной A последовательно подключены два инвертора, и между инверторами формируется выход инвертированной переменной A .

6. Подключение к каждому стандартному LUT к v каскаду 2^{v-1} деревьев LUT v переменных, в которых подключение затворов передающих транзисторов к управляющей переменной в каскаде v инвертировано в каждом четном LUT v переменных. И в каждом следующем $v - 1$ каскаде (от v до 1) подключение затворов передающих транзисторов осуществляется к $v - 1$ переменной инверсно каждой четной паре групп транзисторов, пара групп транзисторов понимается как объединение нечетной и четной групп транзисторов в v каскаде.

7. Подключение дерева LUT v переменных к каждому из 2^n инверторов настройки, в которых имеется v каскадов. Затворы транзисторов v каскада подключены к v переменной, причем затвор каждого нечетного транзистора в каскаде подключен к инвертированному значению переменной в четных $1/2^v$ частях каскада, а в нечетных $1/2^v$ частях каскада – к неинвертированному значению переменной. Затворы транзисторов $v - 1$ каскада подключаются к $v - 1$ переменной, причем затвор каждого четного транзистора в каскаде подключен к неинвертированному значению переменной в четных $1/2^v$ частях каскада, а в нечетных $1/2^v$ частях каскада – к инвертированному значению переменной.

Приведем демонстрацию работы алгоритма для примера LUT трех переменных $n = 3$, реализующего четыре функции одновременно $k = 4$.

1. Для трех переменных возможна реализация четырех функций $2^{3-1} = 4$.

2. Значение k соответствует степенному 2^2 , $v = 2$.

3. Сложность LUT трех переменных с одновременным выполнением четырех функций составляет 114 транзисторов, а сложность четырех LUT трех переменных составляет 152 транзистора, что демонстрирует выгоду в реализации многофункционального LUT.

4. Вводится выходной инвертор 3.1, выход функции F_1 , подключенный к выходу инвертора 3.1. Дерево передающих транзисторов под № 4 трех каскадов, причем истоки каждого каскада подключены

к объединенным стокам транзисторов каждого следующего каскада. В первом каскаде передающие транзисторы 4.1.1, 4.1.2, во втором – 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4 и т.д. Введены 2^3 инверторов настройки 1.1...1.8, выходы которых подключены к каждому стоку передающих транзисторов последнего каскада. Входы инверторов настройки подключены к соответствующим ячейкам памяти SRAM. Вводится три инвертора 2.1.1, 2.2.1, 2.3.1 трех переменных, входы которых подключены к каждой переменной. Затвор каждого четного транзистора своего каскада подключен к выходу инвертора переменной. Передающий транзистор 4.2.4, 4.2.2 второго каскада подключен к инверсному значению второй переменной. Затвор каждого нечетного транзистора своего каскада подключен к неинверсному значению переменной.

5. Вводится три инвертора переменных 2.1.2, 2.2.2, 2.3.2, вход которых подключен к выходу соответствующего инвертора переменной.

6. Подключение дополнительных деревьев LUT двух переменных ко второму каскаду, стоки транзисторов которых подключаются к соответствующим стокам передающих транзисторов в стандартном LUT 4.2.5 к 4.2.1, 4.2.6 к 4.2.2 и т.д., подключение затворов которых инвертировано в каждом четном LUT двух переменных. Затворы 4.2.5, 4.2.7, 4.2.9, 4.2.11 подключаются к инвертированной переменной. В первом каскаде LUT четные затворы первого и второго дерева функций подключаются к инвертированному значению переменной, а нечетные затворы – к неинвертированному значению переменной. 4.1.2 и 4.1.4 подключаются к инвертированной переменной, а 4.1.1 и 4.1.1 – к неинвертированной. Затворы третьего и четвертого дерева функций первого каскада подключаются инверсно к первому и второму дереву функций, т.е. 4.1.5 и 4.1.7 подключаются к инвертированной переменной, а 4.1.6 и 4.1.8 – к неинвертированной переменной.

7. Вводятся деревья LUT двух переменных к каждому входу инвертора настройки, в которых 2 каскада. Затворы транзисторов второго каскада подключены ко второй переменной, причем затвор каждого нечетного транзистора настройки в каскаде подключен к инвертированному значению в четных четвертях каскада, а в нечетных четвертях каскада – к неинвертированному значению переменной. 5.2.2.1, 5.2.2.3, 5.2.2.9, 5.2.2.11 к инвертированному значению второй переменной, а 5.2.2.2, 5.2.2.4, 5.2.2.10, 5.2.2.12 – к неинвертированному значению второй переменной. Инверсно подключение четных транзисторов вто-

рого каскада. Аналогична ситуация для первого каскада транзисторов настройки.

В результате исполнения алгоритма возможен оптимальный выбор реализации вычисления логических функций в базовом элементе ПЛИС, основанном на таблицах истинности.

Библиографический список

1. Hidden fault analysis of FPGA projects for critical applications / O. Drozd, I. Perebeinos, O. Martynyuk, K. Zashcholkin, O. Ivanova, M. Drozd // 15th Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering. – 2020. – P. 128–132. DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235591

2. Hidden faults in FPGA-built digital components of safety-related systems / O. Drozd, V. Nikul, V. Antoniuk, M. Drozd // 14th Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering. – 2018. – P. 805–809. DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336320

3. Vikhorev R. Universal logic cells to implement systems functions // Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering. – 2016. – P. 404–406. DOI: 10.1109/EIConRusNW.2016.7448197

4. Vikhorev R. Improved FPGA logic elements and their simulation // Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering. – 2016. – P. 275–280. DOI: 10.1109/EIConRus.2018.8317080

5. Skornyakova A.Yu., Vikhorev R.V. Self-Timed LUT Layout Simulation // Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering. – 2020. – P. 176–179. DOI: 10.1109/EIConRus49466.2020.9039374

6. Tyurin S.F. Green Logic: Green LUT FPGA Concepts, Models and Evaluations // Green IT Engineering: Components, Networks and Systems Implementation. – 2017. – № 105. – P. 241–261. DOI: 10.1007/978-3-319-55595-9

7. Пат. 2637462 Российская Федерация, Программируемое логическое устройство / Тюрин С.Ф., Прохоров А.С.

8. Tyurin S.F. LUT's Sliding Backup // IEEE transactions on device and materials reliability. – 2019. – № 19. – P. 221–225. DOI: 10.1109/TDMR.2019.2898724

9. Строгонов А., Цыбин С. Программируемая коммутация ПЛИС: взгляд изнутри [Электронный ресурс] // Компоненты и технологии. –

2010. – № 11. – URL: http://www.kit-e.ru/articles/plis/2010_11_56.php
(дата обращения: 17.11.2022).

10. Строгонов А., Городков П. Современные тенденции развития ПЛИС: от системной интеграции к искусственному интеллекту // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2020. – № 4 (195). – С. 46–56.

Сведения об авторах

Советов Станислав Игоревич – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: fizikoz@gmail.com

Тюрин Сергей Феофентович – доктор технических наук, профессор, Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: tyurinsergfeo@yandex.ru

А.С. Колесников, Н.Н. Дацун

Пермский государственный национальный
исследовательский университет, Пермь

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РАСПОЗНАВАНИЯ UML-ДИАГРАММ: СИСТЕМАТИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛИТЕРАТУРЫ

В этой статье применяется методология систематического картографирования. Данное исследование фокусируется на поиске методов и средств распознавания UML-диаграмм, диаграмм моделей, блок-схем или их элементов. Полученные результаты будут использованы для разработки системы по распознаванию UML-диаграмм и их конвертации в xmi формат.

Ключевые слова: UML-диаграммы, блок-схемы, методы распознавания, систематическое картографирование литературы.

A.S. Kolesnikov, N.N. Datsun

Perm State National Research University, Perm

METHODS AND TOOLS FOR RECOGNIZING UML DIAGRAMS: SYSTEMATIC MAPPING STUDY

This article applies the methodology of systematic mapping. This research focuses on the search for methods and tools for recognizing UML diagrams, model diagrams, flowcharts or their elements. The results obtained will be used to develop a system for recognizing UML diagrams and converting them into xmi format.

Keywords: UML diagrams; flowcharts; methods of recognition; systematic mapping study.

Систематическое картографирование литературы. Согласно методологии [1] систематическое картографирование литературы (Systematic Mapping Study, SMS) состоит из пяти этапов, отраженных в табл. 1.

Определение исследовательских вопросов. На этом этапе SMS были сформулированы три исследовательских вопроса:

1. ИВ1: как выглядит пейзаж научных исследований по распознаванию диаграмм на изображениях?

2. ИВ2: какие методы или программные средства применяются в распознавании текстов на изображениях?

3. ИВЗ: какие методы и программные средства используются для распознавания UML-диаграмм, диаграмм моделей, блок-схем или их элементов?

Таблица 1

Этапы SMS-исследования

| Номер этапа | Название этапа | Результат этапа |
|-------------|--|--------------------------------|
| 1 | Определение исследовательских вопросов | Выделение области обзора. |
| 2 | Проведение поиска | Нахождение всех документов |
| 3 | Скрининг документов | Отбор релевантных документов |
| 4 | Ключевые слова по аннотациям | Создание схемы классификации |
| 5 | Извлечение данных и картографирование | Построение схематической карты |

Проведение поиска. Данное исследование сосредоточено на поиске и анализе статей журналов, книг и материалов конференций, описывающих методы и алгоритмы распознавания диаграмм, а именно UML-диаграмм на изображениях.

Предварительно был выполнен поиск SMS по данной тематике, в результате которого не было найдено ни одного исследования. Поэтому стратегия поиска нашего SMS не имеет ограничения на диапазон лет публикаций. Источниками публикаций являются Scopus [2], IEEE Xplore DL [3], SpringerLink [4], ACM DL [5], ScienceDirect [6] и eLibrary [7].

Для поиска публикаций использовались поисковые запросы, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Поисковые запросы по источникам

| Источник | Поисковый запрос |
|-------------|---|
| Scopus | (TITLE (optical AND character AND recognition) AND TITLE-ABS-KEY (method OR algorithm)) (TITLE (recognition AND diagram AND uml)) (TITLE (recognition AND diagram)) (TITLE (recognition AND uml) AND TITLE-ABS-KEY (method OR algorithm OR software)) |
| IEEE Xplore | («Document Title»:recognition) AND («All Metadata»:uml diagram) («Document Title»:recognition diagram) («Document Title»:recognition uml diagram) |

| Источник | Поисковый запрос |
|---------------|--|
| SpringerLink | Title: optical character recognition AND Discipline: Computer Science Title: uml diagram AND Discipline: Computer Science |
| ACM DL | [Title: recognition] AND [Title: uml] AND [Title: diagram] [Title: recognition] AND [Title: chart] |
| ScienceDirect | Title: recognition uml diagram Title: recognition diagram |
| eLibrary | распознавание uml диаграмм |

В результате экспорта получен корпус первичных публикаций из 150 документов.

Скрининг документов. Процесс скрининга осуществлялся с помощью приложения BibReader [8]. С его помощью удалены дубликаты публикаций, экспортированные из различных источников, и получен корпус уникальных публикаций из 128 документов. Для некоторых публикаций были вручную внесены отсутствовавшие метаданные: количество страниц, номера журналов, аффилиация авторов. Для отбора релевантных публикаций из корпуса уникальных использованы критерии включения:

- описан метод распознавания структурной части UML-диаграмм;
- предложен метод / программное средство распознавания текста на графическом файле;
- использованы методы, основанные на знаниях, для обобщения распознавания различных диаграмм;
- оценено качество методов распознавания;
- публикация является статьей журнала, материалов конференций или книгой.

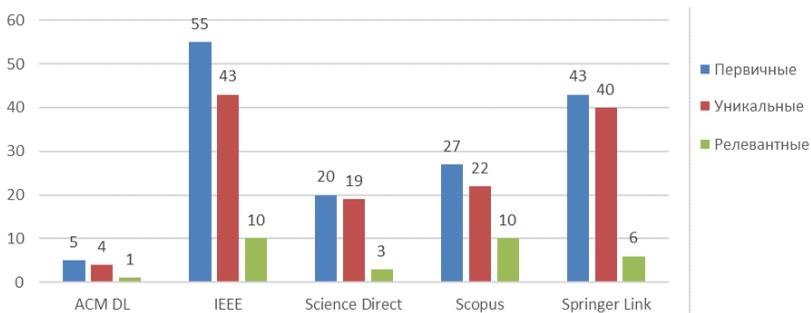


Рис. 1. Распределение корпусов публикаций по источникам

После применения критериев включения получен корпус релевантных публикаций из 30 документов [9], ссылки на публикации которого в тексте этой статьи имеют префикс «И». Распределение количества публикаций по источникам представлено на рис. 1.

Ключевые слова по аннотациям. При формировании частотных словарей и построении облаков слов использовался встроенный инструментарий приложения BibReader. На рис. 2 представлено облако слов, построенное на основе частотного словаря аннотаций корпуса релевантных документов. Затем было произведено разделение аннотаций с учетом контекста исследовательских вопросов и получены соответствующие частотные словари. На рис. 3 представлены облака слов аннотаций публикаций, отвечающих на ИВ2 и ИВ3. По ним определено, что на ИВ2 отвечает одна статья, а 29 отвечают на ИВ3.

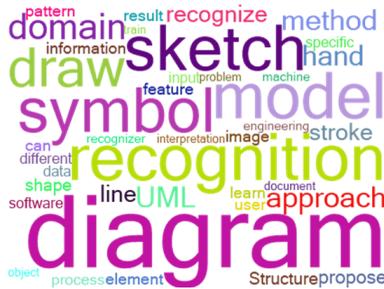


Рис. 2. Облако слов, построенное по аннотациям корпуса релевантных документов

Извлечение данных и картографирование процесса. Распределение корпуса релевантных документов по типу публикаций представлено на рис. 4, более 50 % опубликованы в материалах конференций.

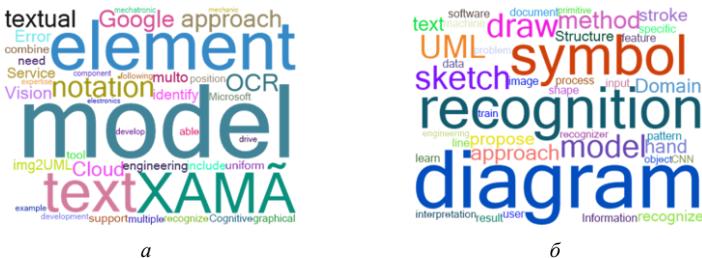


Рис. 3. Облака слов по аннотациям публикаций для ИВ2 (а) и ИВ3 (б)



Рис. 4. Распределение публикаций по типу документа

Распределение документов корпуса релевантных публикаций по годам представлено на рис. 5. Исследования по распознаванию диаграмм проводятся последние 20 лет, больше работ опубликовано в 2018 и 2020 г. (20 % корпуса).

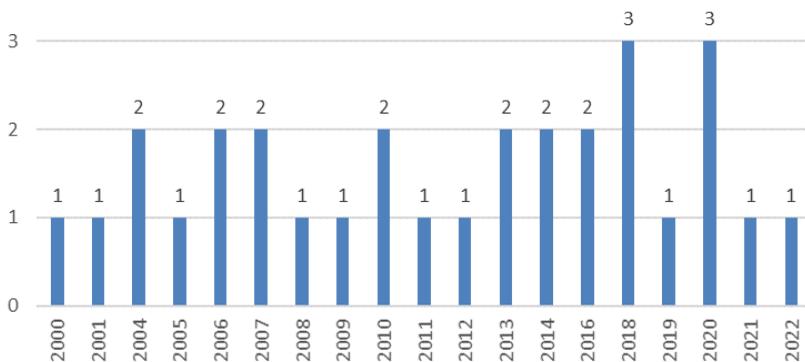


Рис. 5. Распределение корпуса релевантных публикаций по годам

Большинство исследований по тематике нашего SMS выполнено исследователями из Италии и Китая, что иллюстрирует рис. 6.

Наше SMS посвящено поиску методов и алгоритмов по распознаванию UML-диаграмм, их элементов, текста на изображениях.

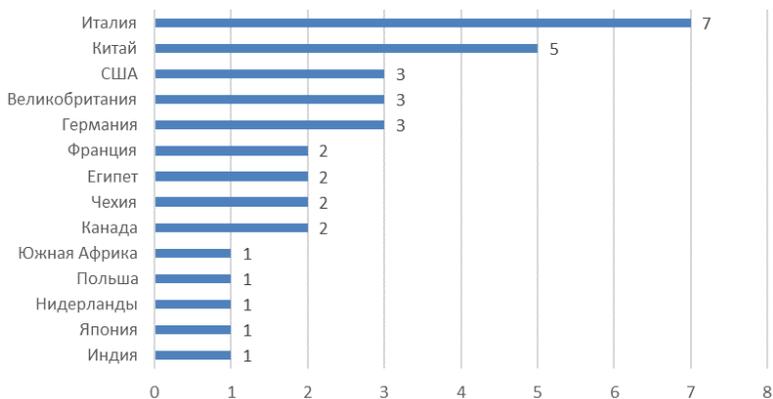


Рис. 6. Распределение учреждений авторов публикаций по странам

Поиск ответа на ИВ2 SMS показал, что в [И1] исследованы Google Cloud Vision и Microsoft Cognitive Services. Первый из них обнаруживает 70 % элементов модели. Допускаемые им ошибки связаны с отсутствием поддержки распознавания текста в формулах.

Для устранения этой ошибки предложен инструмент ХАМÃ, который также превзошел по точности систему img2UML.

При поиске ответа на ИВ3 обнаружено, что только три работы [И6], [И17], [И29] (10 % корпуса релевантных публикаций) посвящены распознаванию UML-диаграмм. Остальные описывают методы и подходы для распознавания диаграмм моделей, блок-схем и их элементов, которые представлены в табл. 3.

Таблица 3

Используемые методы для распознавания диаграмм моделей и их элементов

| Методы | Релевантные публикации |
|-------------------------------|------------------------|
| Мульти-агентные системы | [И3] |
| Метод опорных векторов | [И5], [И15] |
| Сегментация | [И6], [И10], [И16] |
| Марковские случайные поля | [И8] |
| Условные случайные поля | [И9], [И19] |
| Генетические алгоритмы | [И12] |
| Определение контекста символа | [И13], [И14] |
| Искусственные нейронные сети | [И7], [И21]–[И24] |
| Базы знаний | [И25], [И26] |

Из табл. 3 видно, что чаще используются математические методы. Также найдены работы, применяющие искусственные нейронные сети и базы знаний. Последние предоставляют общую систему для распознавания различных типов диаграмм, а также содержат компоненту объяснения. Данный метод включает в себя задачу разработки ядра знаний в области распознавания. В [И25] на основе типа символов, присутствующих на диаграмме, производится классификация диаграмм. В [И26] используют онтологии для распознавания паттернов проектирования на диаграммах.

У выполненного нами SMS существуют ограничения. Во-первых, предвзятость в выборе публикаций для включения в корпус релевантных документов. Разнообразие терминов, используемых в разработке программного обеспечения, означает, что возможно были пропущены некоторые соответствующие исследования. Также были рассмотрены только статьи, написанные на русском и английском языках, из-за чего был сужено рассматриваемое множество релевантных публикаций. Во-вторых, надежность классификации корпуса релевантных публикаций. Она осуществлялась на основе частотных словарей, построенных по аннотациям статей. Поэтому с учетом первого ограничения выполненная классификация не может быть истинно точной.

Заключение. Исследование показало, что среди всех найденных работ по распознаванию диаграмм только три из них посвящены именно моделям UML. Однако получены работы о методах и средствах распознавания других типов диаграмм и их элементов. Следовательно, при разработке информационной системы, целью которой будет распознавание UML-диаграмм, будет полезно использовать результаты публикаций, найденных в нашем SMS.

Библиографический список

1. Kitchenham B. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering: EBSE Technical Report EBSE-2007-01 [Электронный ресурс]. – Keele University&Department of Computer Science University of Durham, 2007. – 57 p. – URL: https://www.researchgate.net/publication/258968007_Kitchenham_B._Guidelines_for_performing_Systematic_Literature_Reviews_in_software_engineering._EBSE_Technical_Report_EBSE-2007-01 (дата обращения: 14.12.2022).

2. Scopus [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.scopus.com/> (дата обращения: 26.11.2022).
3. IEEE Xplore [Электронный ресурс]. – URL: <http://ieeexplore.ieee.org/> (дата обращения: 26.10.2022).
4. Springer Link [Электронный ресурс]. – URL: <https://link.springer.com/> (дата обращения: 26.10.2022).
5. ACM Digital Library [Электронный ресурс]. – URL: <http://dl.acm.org/> (дата обращения: 26.10.2022).
6. ScienceDirect [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.sciencedirect.com/> (дата обращения: 26.10.2022).
7. eLibrary (дата обращения: 26.10.2022). – URL: <https://elibrary.ru/> (дата обращения: 26.10.2022).
8. Скоробогатова М.М., Дацун Н.Н. Адаптация системы BibReader к источникам публикаций и стилям форматирования библиографических описаний для проведения систематического картографирования литературы // Сб. материалов 58-й Научной конф. аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск: Белорусский гос. ун-т информатики и радиоэлектроники, 2022. – С. 281–284.
9. Корпус релевантных документов [Электронный ресурс]. – URL: <https://disk.yandex.ru/i/jfAu2-3cw3QOeA> (дата обращения: 26.10.2022).

Сведения об авторах

Колесников Александр Сергеевич – магистрант Пермского государственного национального исследовательского университета, гр. ПМИ-2-2022 НМ, г. Пермь, e-mail: alex.s.kolesnikov@vk.com

Дацун Наталья Николаевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры МОВС Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, e-mail: nndatsun@inbox.ru

Е.В. Долгова, И.И. Сухих

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

**РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АБИТУРИЕНТОВ,
ПОСТУПАЮЩИХ НА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
ПЕРМСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

В работе описана методика и алгоритм работы информационной системы для абитуриентов, выбирающих направление подготовки при поступлении на электротехнический факультет Пермского национального исследовательского политехнического университета. Проводится попытка найти взаимосвязь результатов прохождения испытаний при поступлении и набором предпочтений, имеющихся у абитуриента при прохождении первичного тестирования. Описываются перспективы развития разрабатываемой системы для получения более точной рекомендации, основанной на опыте абитуриентов прошлых лет.

Ключевые слова: профессиональная ориентация, выбор профессии, задача обучения без учителя.

E.V. Dolgova, I.I. Sukhikh

Perm National Research Polytechnic University, Perm

**RECOMMENDATION SYSTEM FOR APPLICANTS ENTERING
THE FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING, PERM
NATIONAL RESEARCH POLYTECHNIC UNIVERSITY**

The paper describes the methodology and algorithm of the information system for applicants choosing the direction of training when entering the Faculty of Electrical Engineering of Perm National Research Polytechnic University. An attempt is made to find the correlation between the results of the admission tests and the set of preferences available to the applicant during the initial testing. The prospects of developing the developed system to obtain a more accurate recommendation based on the experience of applicants of past years are described.

Keywords: career guidance, career choice, task teacherless learning.

На современном отечественном развивающемся рынке образовательных услуг некоммерческие организации действуют в условиях возрастающего риска, что предполагает тщательный подход к выявлению

своих бизнес-шансов, которые постоянно меняются в современных условиях. Отсюда следует необходимость применения системы поддержки принятия решений в рамках управления вузом, что позволяет избежать зависимости от рыночной ситуации, приспособить к себе основные объективные факторы внешней как макро-, так и микросреды, наиболее полно реализовать основные образовательные цели.

Для реализации стратегического анализа необходима эффективная информационная система, обеспечивающая данными для анализа прошлых, настоящих и будущих ситуаций. Вопрос опережающей подготовки кадров для стремительно меняющихся векторов спроса на специалистов ИТ-индустрии является базой для разработки стратегии в целях повышения его конкурентоспособности.

Актуальность работы заключается в том, что одним из условий повышения конкурентоспособности вуза является определение нужд, потребностей и интересов своих потребителей и приспособление организации к тому, чтобы в полной мере удовлетворять их, что позволит сохранять или увеличивать благополучие как отдельных потребителей, так и общества в целом.

При рассмотрении вопроса последствий некорректного выбора направления обучения, получены данные из деканата электротехнического факультета за последние 3 года, которые отображают данные об отчислении или переводе студентов с I курса по собственному желанию.

Таблица 1

Движение контингента электротехнического факультета в 2021–2022 учебном году

| Направление подготовки / специальность | 2019–2020 | 2020–2021 | 2021–2022 |
|--|-----------|-----------|-----------|
| | уч. год | уч. год | уч. год |
| Отчислились / переведены | | | |
| 09.03.01 Информатика и вычислительная техника (ИВТ, АСУ, КС, ЭВТ) | 7/0 | 6/0 | 3/0 |
| 09.03.04 Программная инженерия (РИС) | 5/0 | 5/0 | 1/0 |
| 10.03.01 Информационная безопасность (КЗИ) | 1/0 | 1/0 | 1/0 |
| 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи (ТК) | 1/0 | 1/0 | 1/0 |
| 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (ЭЭ, ЭС, АЭП, КТЭ, ЭМ) | 1/0 | 3/0 | 1/0 |

Окончание таблицы 1

| Направление подготовки / специальность | 2019– 2020 уч. год | 2020–2021 уч. год | 2021–2022 уч. год |
|--|--------------------------|----------------------|----------------------|
| | Отчислились / переведены | | |
| 15.03.04 Автоматизация технологиче- ских процессов и производств (АТПП) | 1/0 | 0/0 | 2/0 |
| 15.03.06 Мехатроника и робототехника (МИР, СРРС, ПРТ) | 0/0 | 2/0 | 0/0 |
| 27.03.04 Управление в технических системах (АТ) | 0/0 | 2/0 | 0/0 |

Таблица отображает информацию о самом неблагоприятном, для студента исходе. Несмотря на то, что общее количество отчисленных студентов сокращается, система поддержки принятия решения будет способствовать дальнейшему сокращению общего числа отчисления студентов.

Следующим шагом исследования был поиск взаимосвязи единого государственного экзамена (для выпускников школ) либо сдачи вступительных испытаний, проводимых на базе Пермского Политеха (для выпускников средних профессиональных образовательных организаций). Используя данные из открытых источников и систему для получения продвинутой аналитики Deductor Studio Academic, получены следующие данные, представленные в табл. 2*.

Таблица 2

Статистические данные результатов прохождения вступительных испытаний абитуриентами

| Характеристика | Направления подготовки | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------|------------------|-----------------|--|------------------|----------------------------------|----------------|
| | 09.03.01 ИВТ, АСУ, КС, ЭВТ | 09.03.0 4 РИС | 10.03.0 1 КЗИ | 11.03. 02 ТК | 13.03.02 ЭЭ, ЭС, АЭП, КТЭ, ЭМ | 15.03.04 АТПП | 15.03.06 МИР, СРРС, ПРТ | 27.03.04 АТ |
| Средний балл абитуриентов | 246,3 | 254,6 | 246,2 | 204,2 | 214,99 | 210,8 | 225,8 | 199,1 |
| Проходной балл | 215 | 242 | 218 | 149 | 139 | 201 | 183 | 192 |
| Средний балл по русскому языку | 83,9 | 87 | 84,5 | 72,9 | 77,2 | 75,9 | 78,9 | 72,2 |
| Средний балл по математике | 79,3 | 81,2 | 81,5 | 65,8 | 73,7 | 69,8 | 74,1 | 63,3 |
| Средний балл по физике / информатике | 81,6 | 84,5 | 81,5 | 65 | 63 | 64,2 | 72,2 | 64,3 |

*Итоги приема // Абитуриенту Пермского Политеха. – URL: <https://pstu.ru/enrollee/admission/results/> (дата обращения: 10.10.2022).

Окончание таблицы 2

| | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| Диапазон баллов по русскому языку студентов | 73-100 | 76-100 | 73-100 | 69-94 | 69-98 | 64-98 | 67-100 | 62-98 |
| Диапазон баллов по математике | 73-96 | 73-96 | 73-92 | 56-93 | 47-96 | 59-93 | 70-100 | 62-88 |
| Диапазон баллов по физике / информатике | 78-100 | 80-98 | 78-98 | 57-95 | 57-100 | 68-92 | 70-95 | 54-95 |

Исходя из таблицы, можно сделать вывод о том, что:

- абитуриенты с наивысшим средним баллом ЕГЭ предпочитают поступать на направление 09.03.04 «Программная инженерия», следующим в списке идет направление 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника», немного уступив, после которого следует направление 10.03.01 «Информационная безопасность»;

- наивысшие средние баллы по всем трем предметам имеют абитуриенты, поступающие на направление 09.03.04 «Программная инженерия», после которого идут направления 10.03.01 «Информационная безопасность» и 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»;

- лидирующие направления по средним баллам имеют сравнительно одинаковую статистику по диапазону баллов по трем предметам – от 73 до 100;

- наименьший средний балл по математике и русскому имеют абитуриенты, поступающие на направления 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и 27.03.04 «Управление в технических системах», однако балл выше по информатике или физике, чем у 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»;

- абитуриенты направления 15.03.06 «Мехатроника и робототехника» выделяются более высоким баллом по математике, чем абитуриенты, выбравшие направления 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», 27.03.04 «Управление в технических системах», 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

В рамках данной работы предложен подход формирования информации рекомендательного характера на основе прохождения абитуриентом первичного тестирования. В качестве маркеров предположения о предрасположенности абитуриента к тому или иному направлению выступают вопросы трех уровней:

1) вопросы профориентационного характера – вопросы и ответы, которые составлены с учетом психоэмоциональных особенностей, индивидуальных вкусов, талантов и стремлений. При данном типе вопросов стоит учитывать то, что каждый ответ заведомо верен для того или иного абитуриента, который выбирает ответ исключительно на основе собственных суждений;

2) вопросы, имеющие различные интерпретации верного ответа – в данном случае, ответ может быть сформулирован несколькими способами в различных отраслях;

3) вопросы предметной области – вопросы формируются из контекстной области науки, имеющей однозначный ответ.

Базовой сущностью в информационной системе будем рассматривать ответ тестируемого. В рамках данной работы ответ – фрагмент информации в рамках предметной области, выбрав который, абитуриент варьирует вероятность предрасположенности к тому или иному направлению.

Следующей сущностью являются результаты обучения абитуриентов, перешедших в статус студента. В контексте данной работы результаты обучения студентов рассматриваются как дополнительная справочная информация рекомендательного типа – абитуриенту предоставляется возможность просмотра успеваемости студентов с похожими результатами первичного тестирования.

В работе предложен следующий алгоритм формирования информации рекомендательного характера:

1) получение от пользователя ключевых слов, которые по тем или иным причинам имеют более высокий для приоритет для конкретного абитуриента;

2) обработка полученных данных, формирование вопросов для вывода на экран пользователя;

3) обработка результатов первичного тестирования, формирование дендограммы с результатами тестирования пользователей, прошедших тестирование ранее;

4) предоставление информации рекомендательного характера в виде гистограммы вероятностей предрасположенности к направлению и справочной информации в виде файла с результатами обучения студентов с подобными результатами.

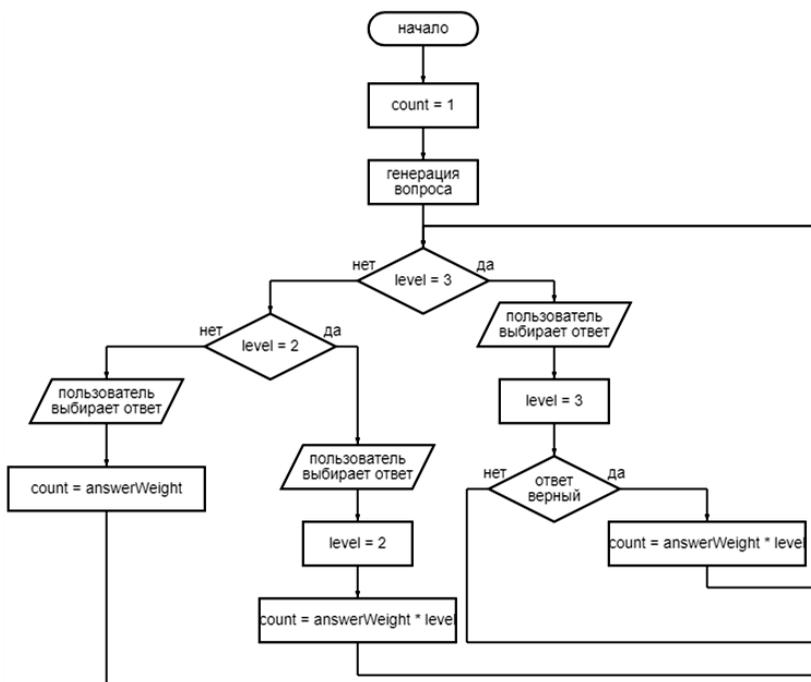


Рис. Блок-схема определения расположенности к направлению

При прохождении тестирования вопросы имеют две важные характеристики:

1) для вопроса – сложность, определяющая дополнительный весовой коэффициент для полученного ответа. Вопросы с профориентационным уклоном имеют по умолчанию сложность, равную 1, и не используют атрибут сложности. В то же время вопросы с уклоном на определенные дисциплины, такие как физика, математика, информатика, имеют увеличенный коэффициент сложности, равный 3, сделано это для того, чтобы увеличить вероятности распределения абитуриента к тому направлению, где та или иная дисциплина играет более важную роль. Существует и третий вариант, при котором сложность будет равна 2, данное условие будет выполняться при постановке такого вопроса, при котором нет однозначно верного ответа. Приведем для примера следующую формулировку вопроса: «Что такое функция?». В данном случае при математическом складе ума ответом будет «Переменная

величина, меняющаяся в зависимости от другой величины», в то же время при склонности к IT-профессии функцией можно считать «Фрагмент программного кода, к которому можно обратиться из другого места программы»;

2) для ответа – весовой коэффициент для конкретной специальности. Коэффициенты расставляются в соответствии с предрасположенностью варианта для того или иного направления обучения.

Исходя из этого, составим блок-схему, отображающую работу алгоритма на базе разработанной методики. Блок-схема изображена на рисунке.

Таким образом, в ходе проведения исследования произведена попытка связать результаты прохождения вступительных испытаний и выбранного направления обучения при поступлении в Пермский Политех. Разработана уникальная модель первичного тестирования, которая учитывает как элементы психолого-педагогических мер, направленных на профессиональное самоопределение, так и имеющийся у потенциального абитуриента набор знаний, умений и предпочтений в выбранных отраслях.

Сведения об авторах

Долгова Елена Владимировна – доктор экономических наук, профессор кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shagrata@mail.ru

Сухих Илья Игоревич – аспирант кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИТТ-22-а, г. Пермь, e-mail: vargostelemax@gmail.com

А.В. Лускало, А.В. Тарутин

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

АВТОМАТИЗАЦИЯ СТРУКТУРНОГО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ, ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КОТОРОГО ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ В СФЕРЕ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

В этой статье исследуется существующий алгоритм деятельности правового отдела, на основании чего устанавливаются недостатки и обосновывается целесообразность внедрения автоматизированной системы в деятельность правового отдела организации. По результатам выработанного оптимального решения (стратегии) автоматизации исследуемого процесса автор делает вывод, что информационные технологии помогают более эффективно осуществлять деятельность в области права.

Ключевые слова: технологии помощи в осуществлении юридических услуг, автоматизация, CRM-решение.

A.V. Luskalo, A.V. Tarutin

Perm National Research Polytechnic University, Perm

AUTOMATION OF A STRUCTURAL UNIT WHOSE ACTIVITIES ARE CARRIED OUT IN THE FIELD OF LEGAL REGULATION

This article examines the existing algorithm of the legal department, on the basis of which shortcomings are identified and the expediency of introducing an automated system into the activities of the legal department of the organization is justified.

Based on the results of the developed optimal solution (strategy) for automating the process under study, the author concludes that information technologies help to carry out activities in the field of law more effectively.

Keywords: technologies of assistance in the implementation of legal services, automation, CRM solution.

На сегодняшний день многие сферы деятельности человека претерпели значительные изменения. Это связано с желанием автоматизировать рутинные процессы, сделать их как можно проще и надежнее, максимально исключить ошибки, связанные с многочисленными повторениями одних и тех же действий.

Несмотря на то, что отрасль права считается достаточно консервативной сферой деятельности, в то же время современный рынок диктует свои требования и условия.

В сегодняшних реалиях риски очень значительны, а конкуренция достаточно велика. И для того чтобы компания оставалась стабильной и приносила максимальную прибыль на рынке правовых услуг, она вынуждена проводить не только экономический анализ деятельности внутри организации, но и анализировать все изменения, происходящие на внешнем рынке, его тенденции, технические составляющие, акцентировать внимание на экономической ситуации на рынке и верно давать оценку на длительный период времени.

Данный анализ позволит не только минимизировать риски компании, связанные с недостаточной клиентской базой, но и повысить качество оказываемых услуг, что, в свою очередь, позволит увеличить прибыль.

Одним из главных решений является модернизация оказания правовых услуг посредством автоматизации повседневных задач, совершаемых юристами, помощниками юристов, руководством. Внедрение автоматизации позволит при минимальных затратах повысить качество и увеличить прибыль компании*.

С целью определения верного подхода для решения поставленных задач необходимо представлять организацию его бизнес-процессов.

Точное изложение и описание модели деятельности, упорядоченной бизнес-процессами, которые содержат основные направления, может стать основой сохранения и развития бизнеса.

Кроме того, основой моделирования бизнес-процессов компании представляется графическая реализация системы деятельности, а также установление оптимальных решений, с помощью которых можно будет определить, как в целом ведется деятельность в структурном подразделении и как налажена деятельность на рабочем месте каждого сотрудника подразделения.

Таким образом, для того чтобы обеспечить повышение качества оказываемых услуг на предприятии, необходимо внедрить систему, которая позволит учесть особенности ведения деятельности в области пра-

* Филиппова О.В. Информационные технологии в нотариальной деятельности // Закон. – 2019. – № 7. – С. 73–81.

ва, свести к минимуму определенные категории рисков и сделать сам процесс оказания юридической помощи устойчивым и рентабельным.

В имеющемся алгоритме деятельности структурного подразделения выявлены существенные недостатки (нет единой базы, трудоемкость в передаче дел от одного юриста к другому, нет наглядного расписания о дате и времени суд. заседаний, сроках подачи исков, апелляций, кассаций, надзорных жалоб в виде всплывающих напоминаний, и др.), которые оказывают влияние на сохранение конкурентоспособности на рынке. Схема процесса оказания услуги (AS-IS) представлена на рисунке.

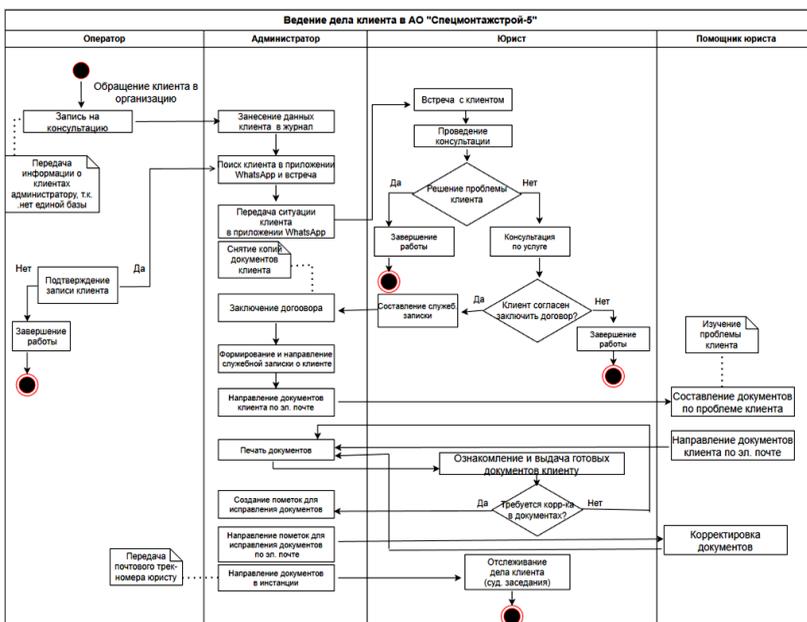


Рис. Модель деятельности (AS-IS)

Автоматизация значительной части работы правового отдела даст преимущество в более эффективном обслуживании клиентов и привлечении нового бизнеса.

Учитывая специфику оказания услуг в сфере права, предполагается наиболее действенным и малозатратным применение инструментов интернет-пространства, в частности, сайт и мобильная версия должны

быть в обязательном порядке, в частности, в целях привлечения новых клиентов, получения возможности взаимодействия между собой круглосуточно. В связи с этим было бы интересным внедрить готовое CRM-решение программу Jeffit, наиболее подходящее под принципы деятельности организации, в частности, правового отдела.

Программное средство дает возможность:

- усовершенствовать повседневную деятельность юриста, помощника юриста, администратора, руководства, в частности, путем внесения в единую базу информации о данных клиентов, обращающихся за квалифицированной юридической помощью, путем ведения статистики о количестве проведенных приемов юристами, составления расписания для юристов, ведения списков судебных заседаний;

- устранить возможность человеческой ошибки, связанной с дублированием ввода данных;

- создать лучший клиентский опыт, когда процессы, с которыми они взаимодействуют напрямую, автоматизированы или доступны для самообслуживания (например, заполнение форм);

- повысить удовлетворенность юристов (помощников юристов), поскольку они смогут тратить больше времени на оплачиваемую работу и другие приносящие доход виды деятельности;

- улучшить коммуникацию и прозрачность между сотрудниками правового отдела и клиентами.

Внедрение CRM-решения программы Jeffit позволит внутри подразделения грамотно разделять обязанности, делегировать полномочия, позволит совершенствовать взаимодействие друг с другом, улучшить их вовлечение в процесс работы, и, что самое главное, снизить количество допускаемых работниками ошибок, пропусков сроков и прочее.

Сведения об авторах

Лускало Андрей Валентинович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ-19-1бзу, г. Пермь, e-mail: luskaloandrei@yandex.ru

Тарутин Анатолий Владимирович – доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: itas-pnpu@yandex.ru

Н.А. Чернышев, С.В. Бочкарев

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАЧ ВНУТРИ КОМПАНИИ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ НЕЙРОННЫХ МОДЕЛЕЙ СОТРУДНИКОВ

Рассмотрены принципы работы нейронных сетей, вопросы распределения заданий между сотрудниками компании. Для оптимизации этого процесса предложен метод представления сотрудников в виде индивидуальных информационных моделей.

Ключевые слова: методы оптимизации, нейронные сети, автоматизированные системы, распределение заданий.

N.A. Chernishev, S.V. Bochkarev

Perm National Research Polytechnic University, Perm

DISTRIBUTION OF TASKS WITHIN THE COMPANY BASED ON THE EVALUATION OF NEURAL MODELS OF EMPLOYEES

The principles of neural networks, the distribution of tasks between employees of the company are considered. To optimize this process, a method of presenting employees in the form of individual information models is proposed.

Keywords: optimization methods, neural networks, automated systems, assignment distribution.

В процессе деятельности компании, при расширении штата сотрудников и увеличении количества выполняемых задач возникает проблема принятия ограниченно-рациональных решений при распределении задач между сотрудниками компании. В частности, в процессе деятельности компании перед руководителем встает вопрос о рациональном распределении задач между своими подчиненными. Решить данную задачу можно с помощью автоматизированных систем, использующих различные алгоритмы работы [1].

Распределение задач по сотрудникам, основанное только лишь на поверхностных представлениях о их профессиональных навыках, может приводить к уменьшению производительности труда и замедле-

нию работы всей компании. В таком случае для учета актуального профессионального опыта каждого сотрудника можно прибегнуть к использованию информационных моделей сотрудников, которые бы могли содержать в себе информацию о реальном профессиональном опыте каждого сотрудника компании. Такой метод позволяет сформировать, хранить и изменять характеристику сотрудника, которая характеризует его опыт выполнения ранее поставленных задач. Тем самым система сможет подобрать сотруднику такие задачи, с которыми он справится лучше всего. Его использование позволяет уменьшить среднее время выполнения задачи в компании, что приводит к увеличению производительности труда.

Для грамотного представления информационной модели сотрудника необходимо учитывать большое количество факторов, которые характеризуют его опыт, т.е. уже выполненные им задачи. Современные средства и технологии позволяют быстро обрабатывать данные, но для этого данные нужно представить в понятной для компьютера форме (к примеру, использовать количественные характеристики каждой выполненной ранее сотрудником задачи), выдавая при этом решение, содержащее расчетную информацию о продолжительности выполнения им очередной задачи. Программе же остается только сравнить результаты для всех сотрудников и распределить задачи таким образом, чтобы достигалось наименьшее значение среднего времени выполнения задачи в компании. Поэтому при решении задачи оптимизации использование новых методов, таких как представление человека в виде информационной модели, актуально на сегодняшний день [2].

Рассмотрим пример применения разрабатываемого метода для Проектной организации, которая занимается проектированием высоковольтных подстанций. Для возможности охарактеризовать сотрудников компании необходимо их разделить на группы по роду деятельности, т.е. все сотрудники одной группы должны решать схожие (типовые) задачи. В нашем случае рассмотрим отдел проектирования систем АСУ ТП для подстанций, в котором работает несколько сотрудников. Будем считать, что данный отдел является одной из многих групп компании.

Задачи для сотрудников будут ставиться и осмысливаться руководителем. Их форма представления будет представлена в виде набора

численных показателей, характеризующих задачу с разных сторон, например, задачу проектирования (реконструкции) системы АСУ ТП для подстанции можно описать с помощью некоторых характеристик:

- уровень автоматизации системы;
- количество присоединений подстанции;
- количество узлов учета электроэнергии;
- наличие дистанционного управления с диспетчерского центра;
- уровень организации каналов передачи информации;
- наличие системы регистрации аварийных событий;
- наличие коммерческого учета на подстанции;
- уровень распределенности системы по подстанции;
- строительство с нуля;
- реконструкция;
- степень новизны существующей подстанции.

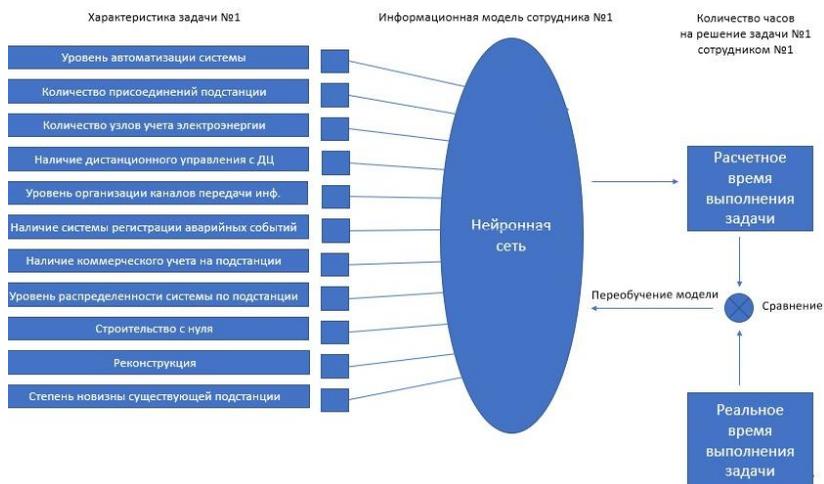


Рис. Структурная схема процесса работы модели

Данные параметры считываются каждой информационной моделью сотрудника, и в результате каждая модель выдает число – расчетное время решения задачи сотрудником. После решения задачи сотрудник оформляет отчет о выполненных работах и отмечает реальное время выполнения задачи. На основе разницы реального времени и рассчитанного происходит переобучение нейронной модели. Тем

самым модель принимает новое состояние, которое характеризует действительный опыт сотрудника, который будет способствовать более точному будущему расчету времени для вновь поставленных задач. Структурная схема процесса работы модели представлена на рисунке.

После последовательного анализа времени выполнения каждой задачи программа сравнивает результаты для всех сотрудников и распределяет задачи таким образом, чтобы достигалось наименьшее значение среднего времени выполнения задач в компании. Таким образом, не может возникнуть ситуации, когда все задачи отдаются только одному «лучшему» сотруднику.

Данный метод хорошо подходит для использования в компаниях, в которых имеется множество типовых задач, которые выполняет большое количество сотрудников схожих должностей.

Библиографический список

1. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / А.А. Барсегенян, М.С. Куприянов, В.В. Степаненко, И.И. Холод. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.

2. Матвейкин В.Н., Дмитриевский Б.С., Ляпин Н.Р. Информационные системы интеллектуального анализа данных. – М.: Перм. гос. техн. ун-т, 2011. – 145 с.

Сведения об авторах

Чернышев Никита Алексеевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИСУП-21-1м, г. Пермь, e-mail: allegedpolecat0@yandex.ru

Бочкарев Сергей Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные системы автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: bochkarev@msa.pstu.ru

А.Е. Старков, А.А. Широков

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОИСКА И ОБМЕНА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

В работе рассматривается методика разработки автоматизированной системы поиска и обмена профессиональными компетенциями пользователей социальных сетей. Описывается метод определения индивидуальных компетенций пользователей, а также методика создания профессиональных сообществ на основе компетенций пользователей.

Ключевые слова: сообщества, социальные сети, компетенции, интересы пользователей, профессиональные навыки, поиск и обмен информацией.

A.E. Starkov, A.A. Shirokov

Perm National Research Polytechnic University, Perm

DEVELOPMENT OF AUTOMATED SYSTEM OF SEARCH AND EXCHANGE OF PROFESSIONAL COMPETENCES

The paper considers a methodology for developing an automated system for searching and exchanging professional competencies of social network users. A method for determining the individual competencies of users is described, as well as a technique for creating professional communities based on the competencies of users.

Keywords: communities, social media, competencies, user interests, professional skills, search and exchange of information.

Социальные сети, такие как ВКонтакте, Instagram, Facebook, Twitter, Telegram и многие другие, занимают значительное время в жизни современных людей [1]. Их всех объединяет возможность создания собственных страниц, в которых имеется описание данных человека и интересующих его тем. В то же время многие системы стали настолько функционально развитыми, что использовать их стало затруднительно. Они содержат множество сведений, с которыми становится трудно взаимодействовать. Нагромождение такой информации противодействует главному – поиску информации для создания сообществ людей со схожими интересами и компетенциями.

Статья посвящена созданию прототипа приложения для поиска и обмена профессиональными компетенциями.

Актуальность темы заключается в том, что при изучении человеком новой предметной области значительные время и ресурсы тратятся на поиск актуальной информации. Существующие методы не оптимизированы для поиска групп людей, которые обладают необходимыми профессиональными компетенциями.

Проблемами являются:

- длительное время поиска актуальной информации;
- устаревшая информация: старые блоги, форумы, группы.

Данные проблемы препятствуют поиску актуальной информации у людей при изучении новой области знаний. Поэтому существует задача актуализации информации и обмена в условиях появления новых систем, разработок, материалов.

Следовательно, создание информационной системы для поиска и обмена профессиональными компетенциями является актуальной темой для исследования и разработки.

Предлагается разработка приложения для создания сообщества, основанного на взаимных интересах пользователей. Данные сообщества смогут объединять людей с похожими интересами для дальнейшего обмена информацией. Этот принцип поиска основывается на нейронных сетях, характеризующих каждое отдельное сообщество различными значениями. Таким образом, разрабатываемое множество моделей (сообществ) будет удовлетворять потребностям людей, которые осуществляют поиск необходимой информации или людей со схожими интересами, компетенциями. Каждая нейронная модель представляет собой связку из нескольких входных параметров.

В качестве входных параметров используются данные, характеризующие тематику текущего сообщества. В процессе поиска определенного сообщества или тематики сравнивается текущее время поиска информации в данной информационной среде с временем, которое мог потратить пользователь на поиск похожей информации в среде Интернет. На основе качества найденного материала за минимальное время происходит переобучение модели и ее корректировка.

Задачами данного исследования являются:

1. Анализ и определение недостатков в существующих методах поиска групп людей с определенными профессиональными компетенциями;
2. Разработка алгоритма поиска информации, которая должна соответствовать запросу пользователя в информационной среде.
3. Разработка прототипа информационной системы поиска групп людей, которые обладают необходимыми профессиональными компетенциями.
4. Проведение апробации прототипа информационной системы среди группы людей, начинающих изучение новой предметной области.
5. Взаимодействие данного программного продукта с SaaS-системами. Применение облачных вычислений для хранения и взаимодействия информации.
6. Сопоставительный анализ прототипа информационной системы с существующими системами поиска в сети Интернет.

Систему поиска и обмена профессиональными компетенциями, как и любой другой программный продукт, можно разместить в облаке при помощи SaaS технологии.

Программой будут создаваться модели в виде нейронных сетей, а также базы данных, хранящие большое количество информации о пользователях, сообществах.

Перечень всех заданных задач содержит в себе много информации, которую необходимо также хранить и обрабатывать. Каждый цикл обучения и переобучения нейронных сетей требует больших средств вычисления. Все это требует сложного оборудования с соответствующими вычислительными мощностями.

Выходом в данной ситуации может являться использование SaaS-систем облачных вычислений.

Такой подход поможет сэкономить время и деньги при реализации данной системы, а также даст возможность дальнейшего расширения системы. Далее рассмотрим таблицу, в ней представлены самые известные социальные сети в Российской Федерации и определены их основные направления [1]. Большинство социальных сетей используются для общения и обмена медиа-контентом [2]. Данные социальные сети не предназначены обмена компетенций между людьми.

Социальные сети

| Название | Направление социальных сетей |
|---------------|--|
| Facebook | Сеть для общения |
| YouTube | Видеохостинг, предоставляющий пользователям услуги хранения показа видео |
| WeChat | Сеть для общения |
| Instagram | Обмен медиа контентом |
| Tik-Tok | Обмен медиа контентом |
| LinkedIn | Сеть для общения. Бизнес-направление |
| Twitch | Обмен медиа контентом |
| Pinterest | Социальный интернет-сервис, фотохостинг, позволяющий пользователям добавлять в режиме онлайн изображения |
| Badoo | Сеть для знакомств |
| Snapchat | Мобильное приложение обмена сообщениями с фото и видео |
| Twitter | Сеть для авторских записей (платформа для стримеров) |
| Tinder | Сеть для знакомств |
| ВКонтакте | Сеть для общения |
| Одноклассники | Сеть для общения |
| Viber | Мессенджер |
| Telegram | Мессенджер |
| Мой Мир | Сеть для общения |
| LiveJournal | Сеть для авторских записей |
| Likee | Обмен медиа контентом |
| Clubhouse | Сеть для общения (в аудиоформате) |

Почти все социальные сети в большей степени используются на мобильных устройствах, для возможности всегда быть на связи. Для создания полноценной системы поиска и обмена профессиональными компетенциями необходимо создание мобильного приложения, а обязательным условием должен быть мессенджер для обмена информацией. Внедрение структурированной системы деления сообществ по интересам и компетенциям позволит людям искать необходимую им информацию с минимальной затратой времени. Обязательно должна быть система оценки (like, dislike) для обучения нейросети, для точного предложения по интересам / компетенциям, комментирование и возможность быстрой пересылки информации своим коллегам / друзьям для дальнейшего обмена. Создание такой информационной системы позволит закрыть вопрос о поиске актуальной информации и людей с профессиональными компетенциями.

Библиографический список

1. Самые популярные соцсети в России: лидеры меняются [Электронный ресурс] // БКС Экспресс. – URL: <https://bcs-express.ru/novosti-i-analitika/samye-populiarnye-sotsseti-v-rossii-lidery-meniaiutsia> (дата обращения: 11.11.2022).

2. Статистика социальных сетей в России 2021 [Электронный ресурс] // LIVEDUNE. – URL: https://livedune.ru/blog/statistika_socsetej_v_rossii/ (дата обращения: 12.11.2022).

Сведения об авторах

Старков Александр Евгеньевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИСУП-21-1м, г. Пермь, e-mail: swix456@gmail.com

Широков Александр Аркадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные системы автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shirokov@pstu.ru

Н.В. Павлович

Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники, Минск

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ STREAMING ETL

В статье рассматривается Streaming ETL на примере Apache NIFI. Показаны преимущества и недостатки данного типа ETL, описаны фундаментальная концепция дизайна, модель проектирования и ключевые функции NIFI. Проанализирован общий алгоритм работы и приведены основы разработки потоков NIFI.

Ключевые слова: Streaming ETL, Apache NIFI.

N.V. Paulovich

Belarusian State University Informatics and Radio Electronics, Minsk

STREAMING ETL MODELS AND ALGORITHMS

The article discusses Streaming ETL using Apache NIFI as an example. The advantages and disadvantages of this type of ETL are shown, the fundamental design concept, design model and key functions of NIFI are described. The general algorithm of work is analyzed and the basics of developing NIFI streams are given.

Keywords: Streaming ETL, Apache NIFI.

Streaming ETL – это обработка и перемещение данных в реальном времени из одного места в другое. Весь процесс происходит с потоковыми данными в режиме реального времени на платформе потоковой обработки. Данный тип ETL очень важен, учитывая скорость, с которой новые технологии генерируют данные. Такие технологии, как Интернет вещей, онлайн-торговля, банковские операции, производят огромные объемы данных с беспрецедентной скоростью. Следовательно, традиционные ETL должны быть более эффективными для обработки этих потоков данных в режиме реального времени.

Архитектура потоковой передачи в реальном времени и традиционная архитектура ETL – это, по сути, одно и то же. Процесс ETL состоит в основном из источника данных, механизма ETL и пункта назначения. В архитектуре потоковой передачи в реальном времени данные поступают из источников данных, а затем служат входными дан-

ными для инструментов ETL для обработки и преобразования данных. Затем преобразованные данные пересылаются в хранилища данных. Все фрагменты данных передаются приложениям и запросам из хранилища данных.

Источники данных передают данные на платформу потоковой обработки, и эти платформы действуют как основа для потоковых приложений ETL. Приложение ETL может извлекать поток данных из источника, либо источник данных может отправлять или публиковать данные в инструмент ETL для преобразования. Затем после обработки данных, они передаются по назначению.

Преимущества потоковой обработки:

1. Всегда актуальные данные, потому что обрабатывается одно событие за один раз в режиме реального времени. Задержка данных будет минимальной.

2. Существенно снижаются затраты, поскольку нет необходимости выполнять операции на небольших серверах.

Отличным инструментом потокового ETL является Apache NiFi. На его примере и будут показаны модели и алгоритмы.

NiFi был создан для разработки потоков данных между системами. Поток данных – это автоматизированный и управляемый объект для загрузки информации из одной системы в другую систему. Проблема потоковой загрузки данных возникла в тот момент, когда крупные предприятия получили больше одной системы хранения данных. Одни системы данные генерировали, другие – потребляли. Это способствовало широкому обсуждению проблемы и поиску путей ее решения [1].

Дизайна NiFi представлен на основе пяти концепций, полностью описывающих идею потокового ETL. Основные концепций NiFi:

1. FlowFile – Информационный пакет. FlowFile представляет собой каждый объект данных, движущийся по потоку. NiFi отслеживает соответствие ключ-значения для каждого FlowFile. Содержание и атрибутивный состав физически хранятся в памяти в разных местах, однако NiFi с легкостью их сопоставляет.

2. FlowFile процессор. Процессор – это ядро ETL в потоках. Процессоры операции чтения, обработки и записи данных. Процессоры имеют доступ к атрибутам FlowFile и его содержимому. Это позволяет

настраивать потоки в NiFi весьма разнообразно, под нужды определенных задач.

3. Connection – ограниченный буфер. Соединения обеспечивают фактическую связь между процессорами. Они действуют как очереди и позволяют различным процессам взаимодействовать друг с другом по средствам передачи файлов. Очереди, как и другие компоненты NiFi, могут быть настроены под определенные ситуации.

4. Flow Controller – Планировщик. Контроллер потока содержит информации о том, в какой последовательности процессы соединены между собой. Обладая этой информацией, планировщик управляет последовательностью исполняемых операций. Контроллер потока выполняет функции посредника, облегчающего обмен файлами между процессорами.

5. Process Group – Подсеть. Группа процессов – это определенный набор процессов и их соединений, которые получают данные через порты ввода, обрабатывают их и отправляют данные через порты вывода. Таким образом, понятие группы процессов позволяет создавать совершенно новые компоненты путем комбинирования других компонентов.

Данная модель проектирования обеспечивает большое количество преимуществ, которые делают NiFi одной из самых эффективных платформ для создания масштабируемых решений. Далее приведены некоторые преимущества этой модели:

1. NiFi визуально приятно оформлен, что облегчает создание и мониторинг потоков данных.

2. NiFi – асинхронный инструмент. Это обеспечивает высокую пропускную способность вне зависимости от просадок скорости обработки данных в потоке.

3. NiFi представляет высококонкурентную модель. Данное свойство позволяет забыть о проблемах, связанных с параллелизмом.

4. NiFi достаточно типизированный инструмент. Это означает, что ранее разработанные компоненты могут повторно использоваться для других задач.

5. Возникновение ошибок обработки данных не нарушают работоспособность потока. Файлы, при обработке которых возникла ошибка, перемещаются в отдельную очередь.

6. Процессы чтения данных из источников, обработки внутри потока и записи в систему-приемник легко поддаются мониторингу, что обеспечивает возможность обнаружения ошибок на ранних этапах.

Ключевые категории функций включают управление потоками, простоту использования, безопасность, расширяемую архитектуру и гибкую модель масштабирования. Далее приведены основные категории:

1. Гарантированная доставка. Основная философия NiFi заключается в приоритизации поставки данных. Это достигается путем механизма упреждающей записи и репозитория содержимого. Таким образом достигается высокая скорость транзакций.

2. Визуальное управление и контроль. Со временем потоки данных становятся довольно сложными. Визуализация позволяет уменьшить сложность потоков и помогает выделить области, нуждающиеся в рефакторинге. NiFi позволяет визуально устанавливать потоки данных в режиме реального времени. При внесении изменений в поток эти изменения немедленно вступают в силу. Изменения являются мелкозернистыми и изолированы от затронутых компонентов.

3. Безопасность. NiFi в каждой точке потока данных обеспечивает безопасный обмен за счет использования протоколов шифрования, таких как двусторонний SSL. Кроме того, NiFi позволяет потоку шифровать и расшифровывать содержимое файлов, используя общие ключи или другие механизмы шифрования.

4. Расширение. NiFi по своей сути создавался для расширений, и поэтому он представляет собой платформу, на которой процессы потока данных выполняются и взаимодействуют довольно предсказуемым образом. К точкам расширения относятся: процессоры, службы контроллера, задачи создания отчетов, приоритизаторы и клиентские пользовательские интерфейсы.

5. Масштабирование. NiFi предназначен для масштабирования за счет использования кластеризации множества узлов. Если один узел подготовлен и настроен для обработки сотен МБ в секунду, то кластер может быть настроен для обработки ГБ в секунду [2].

Apache NiFi обладает богатым графическим веб-интерфейсом, облегчающим создание потоков данных и управление ими, включает в себя более 260 процессоров, что позволяет его использовать с любыми типами источников и приемников данных. Асинхронный ре-

жим работы обеспечивает высокую пропускную способность, удобную обработку ошибок и возможность версионного контроля компонент Apache NiFi.

Библиографический список

1. Шаблоны корпоративной интеграции [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.enterpriseintegrationpatterns.com> (дата обращения: 10.12.2022).

2. Apache NiFi. Документация [Электронный ресурс]. – URL: <https://nifi.apache.org/docs.html> (дата обращения: 11.12.2022).

Сведения об авторе

Павлович Николай Владимирович – магистрант кафедры «ПИКС» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, гр. 115441, г. Минск, e-mail: mpaulovich00@gmail.com

Н.Е. Курилов, П.А. Новикова, Г.И. Борзунов

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, Москва

СОЗДАНИЕ ДИЗАЙН-РЕШЕНИЙ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОЙ ГРАФИКИ

В этой работе исследуется возможность создания раппортов и бесшовных текстур с применением фрактальной графики и фрагментов работ в стиле сюрреализм. Полученные результаты могут быть применены в дизайне, типографике, а также при визуализации в качестве дополнительного элемента и текстуры.

Ключевые слова: фрактальная графика, графический редактор, GIMP, принт.

N.E. Kurilov, P.A. Novikova, G.I. Borzunov

Russian State University named after A.N. Kosygin, Moscow

CREATING DESIGN COMPOSITION BASED ON SURREALISTIC PAINTINGS AND AUTHORIAL FRACTAL GRAPHICS

This work explores the possibility of creating rapports and seamless textures using fractal graphics and fragments of works in the style of surrealism. The results obtained can be applied in design, typography, as well as visualization as an additional element and texture.

Keywords: fractal graphics, graphics editor, GIMP, print.

В современном мире искусство затрагивает все больше аспектов человеческой деятельности и пересекается с другими областями, в том числе и с математикой. Визуализация фракталов имеет большой потенциал в области дизайна. Новое применение созданных фракталов достигается при их сочетании с картинами великих художников.

Фракталы – это фигуры, которым свойственно самоподобие. Каждая отдельная часть фрактала строится по формуле и обладает схожестью с остальными частями фрактала, т.е. часть способна повторить целое и наоборот. Повтор можно моделировать с помощью нелинейных уравнений. Линейные уравнения характеризуются однозначным соответствием переменных: каждому значению x соответствует одно и только одно значение y и наоборот.

В данной работе за основу брались картины сюрреалиста Рене Магритта. Из работ бельгийского художника-сюрреалиста выделялись фрагменты, служащие базовой составляющей для создания привлекающей внимание бесшовной текстуры. Для выделенной текстуры разрабатывались фрактальные элементы, которые по стилистике, цветовому решению и общей композиции соответствовали выделенному фону. Фрактальные элементы создавались в свободно распространяемом графическом редакторе «GIMP».

Процесс создания фрактала проходил в плагине «IFS-фрактал» графического редактора «GIMP». Выбор этой программы обусловлен простотой использования и экспорта фрактальных изображений [1].

Для проведения работы были выбраны 3 работы сюрреалиста Рене Магритта: «На пороге свободы», «Триумфальная арка» и «Голконда». На каждой из картин были выделены фрагменты для создания раппорта, после дальнейшей индивидуальной обработки на текстуры внедрялись элементы фракталов, специально сделанных для каждого изображения.

Первая картина, из которой был выделен фрагмент – «На пороге победы». На картине представлено множество отдельных фрагментов, каждый из которых обрисовывает разные явления и образы, к примеру, языки пламени, гуща леса или облака. Для данной работы был выбран фрагмент, содержащий некие провода или металлические проволоки с выпирающими округлыми шляпками саморезов или болтов. Провода имеют неоднородную структуру и сгибы в разных местах, из-за чего бесшовная текстура на их основе стала трудной задачей. Для создания раппорта фрагмент был разделен на 4 части вдоль центральных вертикальных и горизонтальных осей, после чего каждая из частей была перемещена на противоположное место, таким образом, чтоб посередине образовался крест, в котором текстура обрывается. Далее, с помощью инструмента кисти места соприкосновения текстуры сводились в единую композицию так, чтобы конец фрагмента плавно переходил в начало.

Задумка этой текстуры подразумевает следующее: тематика проводов не прерывается и они «бесконечно» уходят вдаль, так что такой способ несмотря на его сложность идеально подходит для выполнения эффекта бесконечности. После сведения концов текстуры 4 части возвращаются на свои места и вносятся финальные правки, если была нарушена текстура в процессе.

Элемент картины «На пороге победы» представлен на рис. 1, б, созданный фрактал для выделенного фрагмента представлен на рис. 1, а, соединение выделенного фрагмента и созданного фрактала можно увидеть на рис. 1, в.

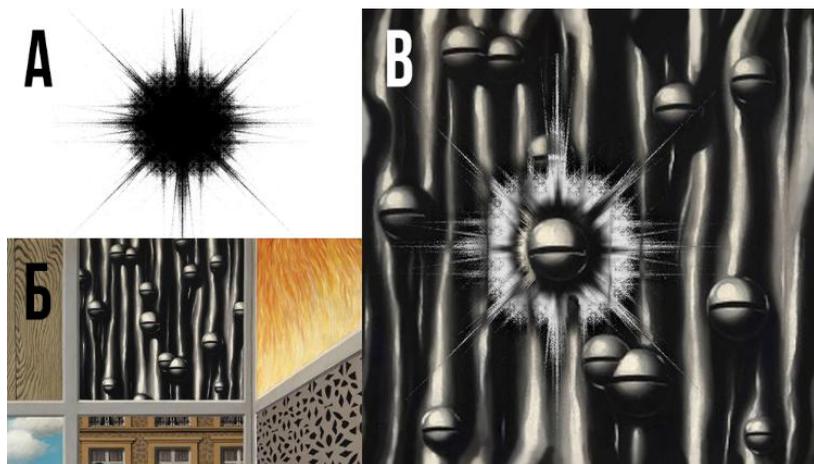


Рис. 1. Преобразования над элементом картины «На пороге победы»: а – изображение фрактала; б – фрагмент картины; в – готовая текстура

Подбор фрактала выпал на изображение, напоминающее звезду. Наличие фрактала на текстуре не должно было нарушить структуру проводов, поэтому с его помощью была выделена одна шляпка самореза.

Для создания данного фрактала потребовалось создание сферической формы из четырех элементов, направленных на 45° по отношению к центру фрактала. Такая структура все еще обладает слишком острыми углами, поэтому для сглаживания были введены еще 2 элемента, находящиеся в центре. Оба подверглись сильным изменениям по параметру «асимметрия», один был «приплюснут», а другой – «вытянут», за счет чего появился эффект свечения звезды и образовались ее выпирающие кончики.

На текстуру фрактальное изображение было нанесено несколько раз, каждый раз все меньше в диаметре, что соответствует самоподобию фракталов. Для выделения под каждой итерацией фрактала была создана тень, а одна из итераций переведена в негатив. Несмотря на то,

что текстура, с первого взгляда, выполнена в градациях серого, при инверсии цвета белые части отдают синим цветом, так что поверх инверсии был применен эффект «черно-белое».

Следующий графический эксперимент – создание фрактальной графики на основе элемента картины «Триумфальная арка».

Картина состоит из дерева в центре и полотна из листьев в качестве фона. Именно оно послужило темой для создания текстуры. В этот раз подход совершенно другой: часть изображения листьев копировалась вокруг центра и отражалась таким образом, чтобы на месте стыка текстуры изображение переходило обратно в себя зеркальным отражением. Издалека такие переходы будут похожи на искажение изображения в калейдоскопе.

Для усиления такого стилизованного вида были подобраны фракталы, напоминающие листья по своей форме. Для их создания было использовано 4 элемента. В местах, где была необходима асимметрия основания листа и его кончика, элементы уплотнялись к одной стороне, в то время как кончик отдалялся от них. Цветовая гамма взята с исходной картины.

Элементы отражения текстуры заметны уже внутри рапорта, но они не выбиваются из общей тематики, т.к. перекрываются фрактальными изображениями. Сами же фракталы обладают осью симметрии, таким образом, они идеально подходят для этого стиля. Поверх фракталов помещена текстура листьев, чтоб они не выбивались из общей тематики. Текстура листьев просвечивает, так что градиент, представленный изначально, сохраняется. Под каждым «лепестком» находится тень, что позволяет фракталам выделиться. Это создает особую загадочность и таинственность.

Элемент картины «Триумфальная арка» сюрреалиста Рене Магритта представлен на рис. 2, б, созданный фрактал для выделенного фрагмента представлен на рис. 2, а, соединение созданной текстуры из выделенного фрагмента и разработанного фрактала можно увидеть на рис. 2, в.

Последний графический эксперимент был проведен над картиной «Голконда». На картине изображены сотни мужчин в пальто и котелках, парящих в воздухе. Фрагмент, на котором мужчины парят на синем однородном небе, был выбран для создания рапорта. Основное отличие этой текстуры от двух предыдущих в ее размере: она в 3 раза

шире. Такой размер обусловлен параметрами исходного изображения. Задумка заключается в том, чтобы соблюсти как можно больше пропорций оригинального изображения при создании текстуры, чтобы как можно более точно передать изначальную идею. Поэтому ориентация размеров идет на положение мужчин в самом ближайшем к наблюдателю ряду.

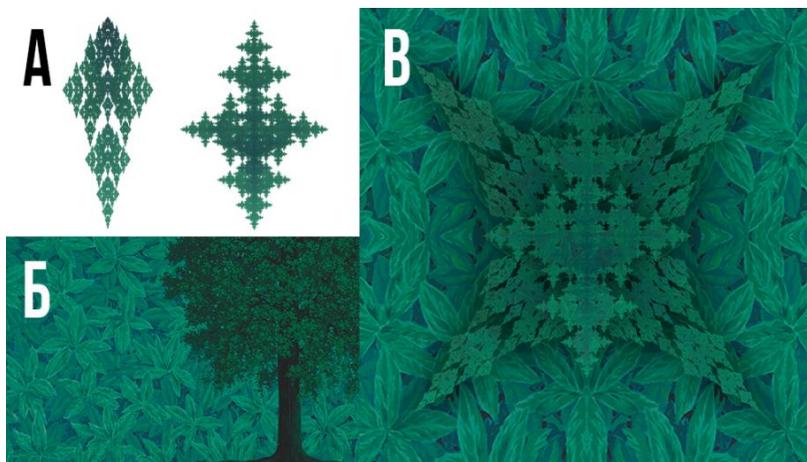


Рис. 2. Преобразования над элементом картины «Триумфальная арка»: *а* – изображение фракталов; *б* – фрагмент картины; *в* – готовая текстура

Для создания бесшовной текстуры из изначального изображения были выделены трое мужчин из ближнего ряда, помещенные на равные расстояния друг от друга. Основная сложность в создании этой текстуры в том, что остальные 2 ряда мужчин, находящиеся за первым, никак не ориентируются друг на друга. При попытке соблюсти их положение, как на изначальном изображении, нарушается бесшовная текстура. Чтобы решить данную проблему и при этом сохранить отношение рядов, были сохранены расстояния между мужчинами в ряду, но их положение ориентировано с первым рядом. Таким образом, положение мужчин на текстуре и на исходном изображении при сравнении кажется одинаковым.

Для такой текстуры были сделаны 2 фрактальных изображения. Первое визуально напоминает котелок. Данный фрактал состоит из 4 элементов, 2 из которых образуют форму полукруга, а 2 других –

основание шляпы. Для основания элементы были сильно искажены по параметру асимметрии, чтобы повторить структуру полей шляпы. Второе фрактальное изображение напоминает ромб с изогнутыми сторонами, он состоит из 5 элементов: 2 для правой и левой сторон, отвернутые основаниями от центра фрактала; 2 для верха и низа соответственно.

Фракталы на текстуре изображены под изображениями людей, чтобы компенсировать пустые пространства на небе. Ромбообразные фракталы находятся прямо за изображениями голов людей в первом ряду, напоминающие собой нимбы. Фракталы выполнены в более насыщенном оттенке голубого, чем у неба, чтобы визуальнo связать эти составляющие и одновременно выделить фрактальные элементы в получившейся работе.

Элемент картины «Голконда» представлен на рис. 3, б, созданные фракталы для выделенного фрагмента представлены на рис. 3, а, соединение выделенного фрагмента и созданных фракталов можно увидеть на рис. 3, в.

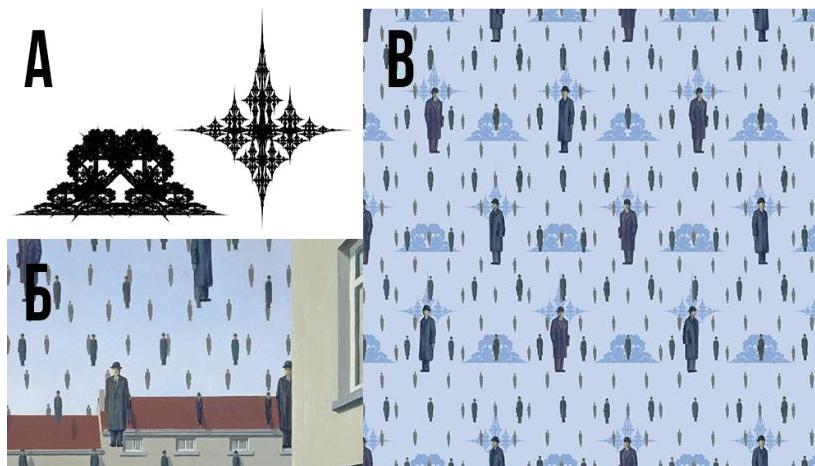


Рис. 3. Преобразования над элементом картины «Триумфальная арка»: а – изображение фракталов; б – фрагмент картины; в – готовая текстура

Похожее исследование проводилось на основе фрактальной графики и картин импрессионистов. Полученные фрактальные элементы прекрасно дополняют картины знаменитого импрессиониста, внося

новизну и современность, заставляя по-новому взглянуть на работы Ван Гога [2].

Прошрое исследование вдохновило и побудило к продолжению развития совмещения фрактальной графики и фрагментов картин известных художников. В этой работе за основу брались не целиком картины, а лишь части, необходимые для создания бесшовных текстур, в раппорты которых внедрялись фрактальные элементы. Выбранный стиль данного исследования – сюрреализм, именно поэтому, помимо фрактальной графики были использованы мотивы живописи этого стиля.

Работа не остановилась на создании раппортов. С помощью онлайн сервиса «Repper» текстуры были наложены на различные объекты (рис. 4) [3].



Рис. 4. Применение текстуры на различных объектах

В результате работы были получены 3 бесшовных текстуры на основе фрагментов картин сюрреалиста Рене Магритта с применением элементов фрактальных изображений.

Фрактальная графика продолжает развиваться в области дизайна. Примеры использования созданных текстур имеют широкое применение. Подобные текстуры могут быть применены при создании плакатов и рекламных объявлений, при оформлении интерьеров и разработке дизайна сайта. Бесшовные текстуры могут быть также применены и при украшении и дополнении объемных моделей для разномасштабных проектов.

Библиографический список

1. Курилов Н.Е., Новикова П.А., Борзунов Г.И. Графический редактор GIMP как инструмент создания авторских фрактальных узоров: сб. материалов Всерос. науч. конф. молодых исследователей с междунар. участием. – Ч. 3. – М.: Изд-во РГУ им. А.Н. Косыгина, 2022. – С. 134–138.

2. Курилов Н.Е., Новикова П.А., Борзунов Г.И. Создание фрактальных элементов на основе картин импрессионистов как поиск решений в разработке принта: сб. материалов Междунар. науч.-техн. конф. – Ч. 2. – М.: Изд-во РГУ им. А.Н. Косыгина, 2022. – С. 221–224.

3. Make seamless patterns like a pro [Электронный ресурс]. – URL: <https://repper.app/> (дата обращения: 23.11.2022).

Сведения об авторах

Курилов Никита Евгеньевич – студент Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина, г. Москва, e-mail: nikitakurilov01@gmail.com

Новикова Полина Александровна – преподаватель кафедры ИТиКД Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина, г. Москва, e-mail povpol@inbox.ru

Борзунов Георгий Иванович – доктор технических наук, доцент кафедры ИТиКД Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина, г. Москва, e-mail: parproc@gmail.com

И.А. Васенин, С.Ф. Тюрин

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

УНИТАРНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ LUT ТАБЛИЦ ДЛЯ ПЛИС

В работе исследуются и рассматриваются преимущества автоматов с одним состоянием. При унитарном кодировании для каждого состояния используется отдельный бит состояния. Это носит название как «одно активное состояние», т.к. только один бит является «активным» или истинным в любое время. Каждый бит состояния хранится в триггере, поэтому для унитарного кодирования требуется больше триггеров, чем для двоичного кодирования. Были спроектированы и смоделированы входные данные с унитарным кодированием и получены выходные данные с унитарным кодированием LUT.

Ключевые слова: унитарное кодирование, таблицы состояния, ПЛИС, компонент.

I.A. Vasenin, S.F. Tyurin

Perm National Research Polytechnic University, Perm

ONE-HOT PROGRAMMING LUT FOR FPGAs

The paper investigates and discusses the advantages of automata with one state. In unitary (one-hot) encoding, a separate state bit is used for each state. It is called one-hot because only one bit is «hot» or true at any time. Each bit of the state is stored in a trigger, so unitary (one-hot) encoding requires more triggers than binary encoding. The input data with unitary (one-hot) encoding was designed and modeled, and the output data with unitary LUT encoding was obtained.

Keywords: unitary coding, state tables, FPGA, component.

Введение. FPGA (Field-Programmable Gate Array – программируемые пользователем вентильные матрицы) обширно применяются в различных устройствах: потребительской электронике, в телекоммуникационном оборудовании, различных платах для применения в дата-центрах, робототехнике, а также при прототипировании микросхем. Логическая емкость в ПЛИС (программируемые логические интегральные схемы) – это характеристика схемы, которая определяет сте-

пень сложности синтеза цифровыми устройствами. Данная характеристика демонстрирует количество того, сколько всего можно уместить в кристалле [1].

ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема) – представляет собой электронный компонент, используемый при разработке и создании цифровых электронных конфигурируемых схем. Принцип логической работы ПЛИС задается не при изготовлении микросхемы, а с помощью дополнительного специального программирования с использованием отдельных средств: программаторов и программного обеспечения. Микросхемы ПЛИС состоит из микропроцессоров и выполняемой последовательной программы. В микросхемах ПЛИС реализуется электронная схема, которая состоит из логических элементов и триггеров.

ПЛИС и FPGA – это аббревиатуры понятий, которые обозначают класс электронных микросхем и компонентов. Данные микросхемы применяются при создании собственных конфигурируемых структур цифровых интегральных схем [6].

LUT. LUT (Look-Up Table или LookUp Table) можно перевести как «справочная таблица» или «таблица поиска». LUT рассматривается как один из методов реализации функции. В данном методе условное вычисление заменяется поиском готовых вариантов по таблице решений. Пример такой системы показан на рис. 1. Применяя такой подход к ПЛИС, появляется возможность реализовать любую логическую функцию в виде памяти SRAM (static random access memory – статическая память с произвольным доступом), где адрес – это аргумент, а содержимое ячейки – значение [2].

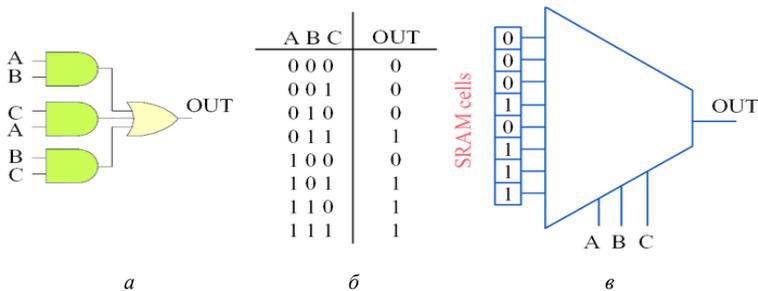


Рис. 1. Комбинационная логическая функция (а); таблица истинности (б); таблица LUT (в)

Реализация LUT. Каждое значение из всех ячеек отправляется на свой вход выходного мультиплексора LUT, а входные аргументы булевой функции используются для выбора определенного значения функции. LUT может реализовать любое уравнение булевой логики. Логические функции показаны на рис. 2. Ограничение есть только в количестве входов. LUT обычно объединяются в цепочку или объединяются последовательно для реализации более крупных логических уравнений [2].

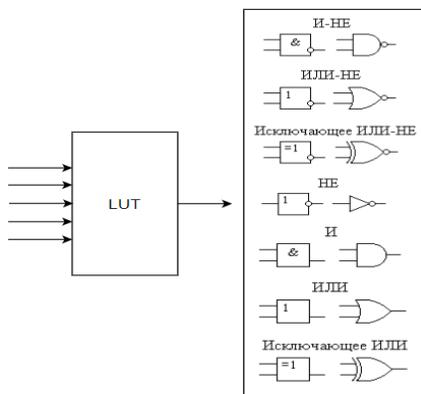


Рис. 2. Примеры логических функций для реализации с помощью LUT

Унитарное кодирование – One-hot. One-hot coding в англоязычной литературе или же унитарный код в русских упоминаниях. Представляет собой двоичный код определенной фиксированной длины. Унитарный код содержит только одну единицу – это обозначает прямой унитарный код или только один ноль – что обозначает обратный (инверсный) унитарный код. Пример: Кодирование цифр 0–5 (табл. 1) [5].

Таблица 1

Кодирование 0–5

| Цифра | Прямой код | Инверсный код |
|-------|------------|---------------|
| 0 | 000001 | 111110 |
| 1 | 000010 | 111101 |
| 2 | 000100 | 111011 |
| 3 | 001000 | 110111 |
| 4 | 010000 | 101111 |
| 5 | 100000 | 011111 |

Такой вид кодирования используется и применяется в сфере схемотехники, теории автоматов, нейронных сетях, в области получения/передачи и преобразования информации. В унитарном кодировании для любого заданного состояния утверждается только один бит вектора состояния. Все остальные биты состояния равны нулю. Таким образом, если существует n состояний, то требуется n провалов состояния.

Преимущества:

- конечные автоматы отличаются быстродействием работы;
- количество состояний не влияет на скорость, она зависит только от количества переходов в определенное состояние;
- конструкции конечных автоматов создаются таким образом, чтобы к минимуму количество триггеров;
- в конструкции конечных автоматов используют один триггер для каждого состояния, поэтому требуют меньше логики декодирования;
- используя данные из диаграммы состояний без кодирования таблиц состояний, код схемы можно вносить в компьютерную память.

В унитарном кодировании для каждого состояния используется отдельный бит состояния. Этот один бит является «активным» или истинным в любой момент времени.

Моделирование с применением кодирования. При проведении моделирования была использована схема, представленная на рис. 3.

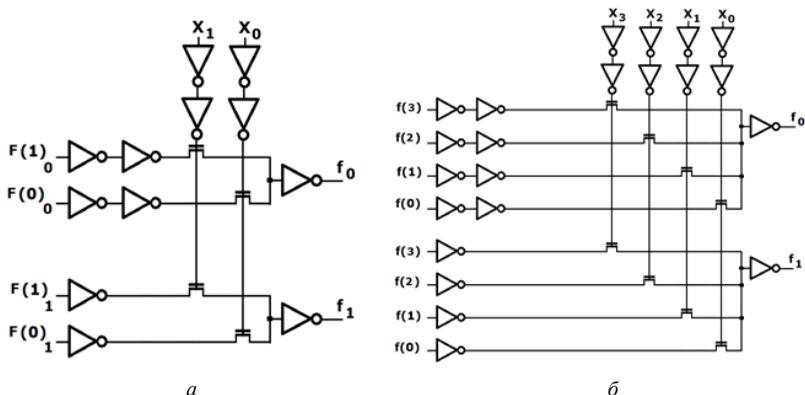


Рис. 3. ЛУТ-1 с унитарным кодированием входной переменной и функции (а); ЛУТ-2 с унитарным кодированием входных переменных и функции (б)

В схеме LUT-1 при моделировании кодирование происходит 1-й переменной. На входе может быть комбинация 01 или 10. А на рисунках 4 входных переменных уже 2, соответственно возможные комбинации 0001, 0010, 0100, 1000.

Для проведения тестирования предлагаемого метода было осуществлено схемотехническое моделирование LUT-схемы с помощью ПО Multisim. Произведено моделирование работы с применением унитарного кодирования входной переменной и функции. На вход подавалась комбинация 01 или 10, с помощью ключей задавались комбинации, чтобы на выходе комбинация функции также равнялась 01 или 10. Моделирование осуществлялось при разных вариантах замыкания ключей. Инвертор был собран также в данной программе на базе транзисторов и представлен на рис. 4, а. На рис. 4, б представлена схема с помощью, которой было произведено моделирование с применением унитарного кодирования [4].

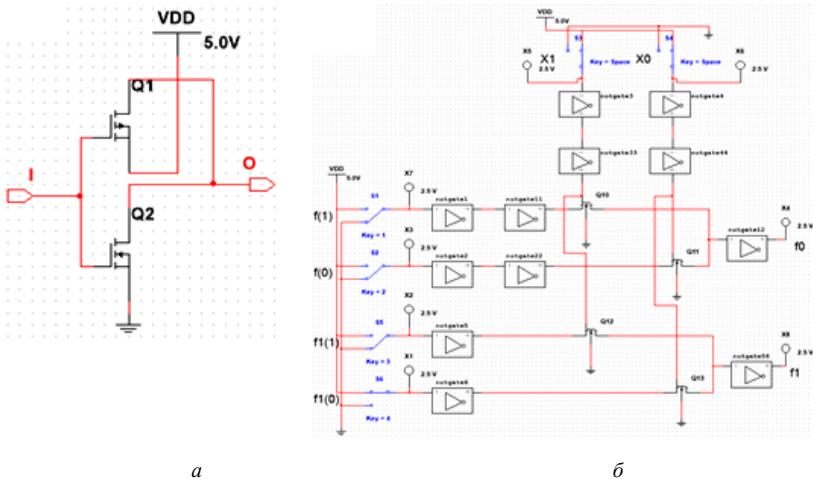


Рис. 4. Инвертор (Not gate) (а), ЛУТ-1 созданный в ПО Multisim (б)

На рис. 5, б представлены примеры моделирования с унитарным кодированием.

На рис. 7 представлена схема, когда при моделировании происходит кодирование 4 входных переменных. Во время проведения вычис-

ления функций большого числа переменных унитарный код становится слишком большим. Данный параметр является дополнительной нагрузкой на систему.

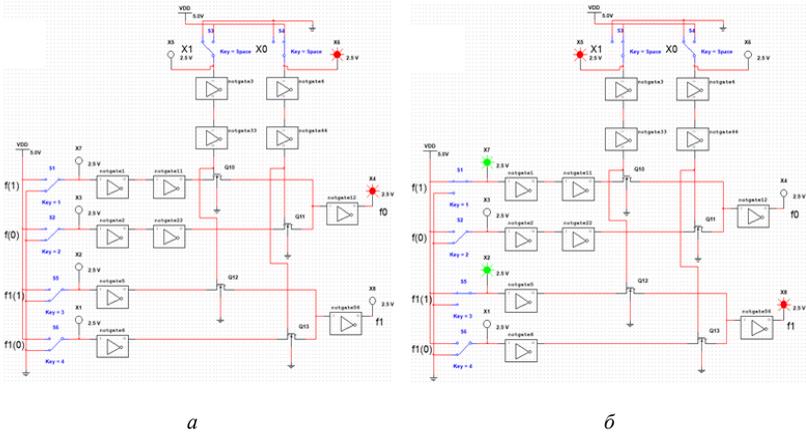


Рис. 5. ЛУТ-1: *а* – комбинация 10, ключи не замкнуты, на выходе комбинация 10; *б* – комбинация 01, ключи замкнуты, на выходе комбинация 01

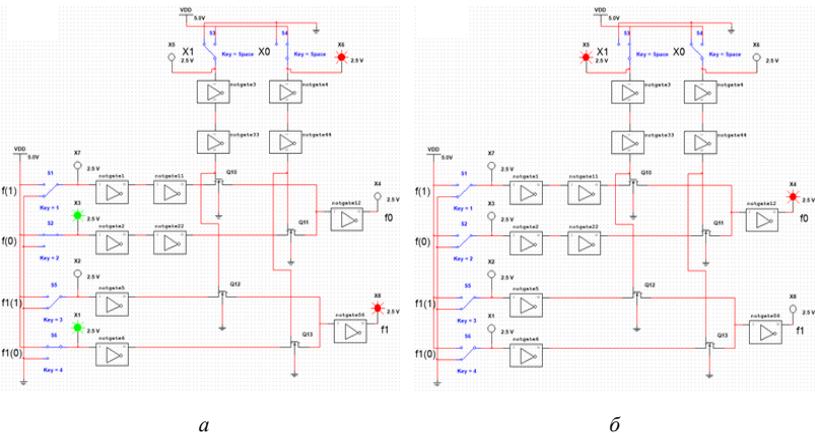


Рис. 6. ЛУТ-1: *а* – комбинация 10, ключи замкнуты, на выходе комбинация 10, *б* – комбинация 01, ключи не замкнуты, комбинация 10 на выходе

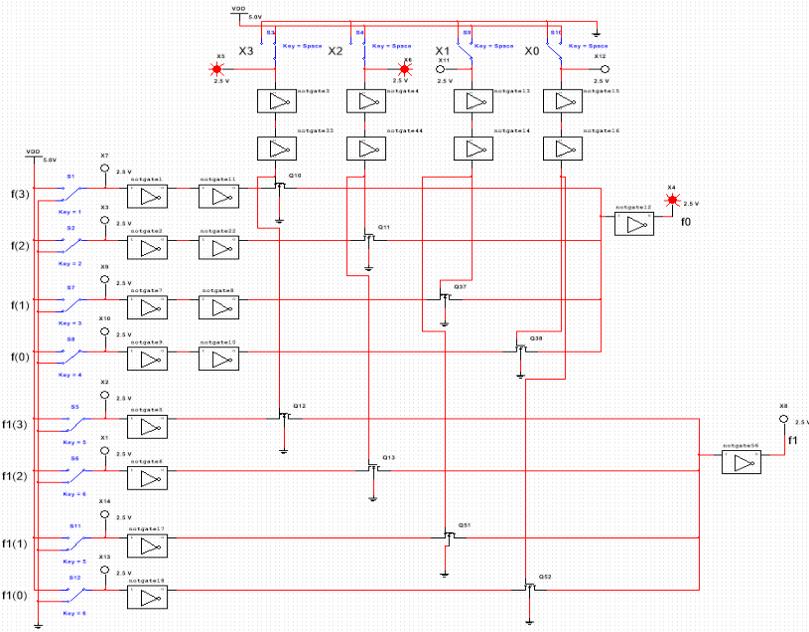


Рис 7. ЛУТ-2 с унитарным кодированием входных переменных и функций

В результате моделирования были получены следующие результаты, представленные в табл. 2, 3.

Таблица 2

Пример кодирования входных переменных и двух функций

| X3 | X2 | X1 | X0 | Z1 = OR | Z2 = XOR | F ₀ | F ₁ | F ₂ | F ₃ |
|----|----|----|----|---------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Таблица 3

Пример кодирования входных переменных и двух функций

| X3 | X2 | X1 | X0 | F ₀ | F ₁ | F(0) ₀ | F(0) ₁ | F(0) ₂ | F(0) ₃ | F(1) ₀ | F(1) ₁ | F(1) ₂ | F(1) ₃ |
|----|----|----|----|----------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Библиографический список

1. FPGA architecture. Part 1. Logic element [Электронный ресурс]. – URL: http://www.labfor.ru/articles/fpga_arch_le (дата обращения: 15.12.2021).
2. FPGA Architecture Basics [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rapidwright.io/docs/FPGA_Architecture.html (дата обращения: 16.12.2021).
3. FPGA [Электронный ресурс]. – URL: <https://xaker.ru/2018/11/15/fpga/> (дата обращения: 17.12.2021).
4. Multisim [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ni.com/ru-ru/support/downloads/softwareproducts/download.multisim.html#452133> (дата обращения: 15.12.2021).
5. One-Hot Encoding [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/one-hot-encoding> (дата обращения: 16.12.2021).
6. МАРСОХОД Open Source Hardware Project [Электронный ресурс] – URL: <https://marsohod.org/11-blog/265-fpga> (дата обращения: 19.12.2021).

Сведения об авторах

Васенин Иван Андреевич – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: vasenin.ioann@yandex.ru

Тюрин Сергей Феофентович – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: tyurinsergfeo@yandex.ru

И.С. Полевщиков, Д.А. Письменный

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ДИСТАНЦИОННОЙ ПРОВЕРКИ УЧЕБНЫХ РАБОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕБ-СИСТЕМЫ

Представлены результаты развития интеллектуальной информационной системы (ИИС) контроля знаний и навыков при подготовке специалистов по информатизации и автоматизации, частично внедренной в учебный процесс ПНИПУ и МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ). Разработанные алгоритмы ИИС позволяют: сократить время на проверку учебных работ; проводить анализ с целью выявления наиболее сложных дисциплин, тем, заданий, совершенствования методики преподавания; определять рекомендуемую итоговую оценку по дисциплине с учетом фактического уровня успеваемости студентов.

Ключевые слова: интеллектуальная информационная система, дистанционные технологии в образовании, контроль знаний и навыков, веб-система.

I.S. Polevshchikov, D.A. Pis'mennyy

Perm National Research Polytechnic University, Perm

IMPROVING THE ALGORITHMS FOR REMOTE VERIFICATION OF EDUCATIONAL WORK USING A WEB SYSTEM

The results of the development of an intelligent information system (IIS) for the control of knowledge and skills in the training of specialists in informatization and automation, partially introduced into the educational process of PNRPU and MSUTU named after K.G. Razumovsky (PKU). The developed IIS algorithms allow: to reduce the time for checking educational work; conduct an analysis in order to identify the most complex disciplines, topics, tasks, improve teaching methods; determine the recommended final grade for the discipline, taking into account the actual level of student performance.

Keywords: intellectual information system, distance technologies in education, control of knowledge and skills, web system.

Применение дистанционных образовательных технологий является одной из составляющих при подготовке специалистов в области информатизации и автоматизации. Следует отметить исследования и разработки ряда авторов по данной тематике [1–3].

Ранее были представлены труды [4–5] в области разработки интеллектуальной информационной системы (ИИС) контроля знаний и навыков при подготовке данных специалистов, частично внедренной в учебный процесс ПНИПУ и МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ).

Отличительными особенностями системы являются возможность многокритериальной экспертной оценки учебных работ, наглядное структурированное представление результатов оценивания, формирование «умной» электронной очереди учебных работ для проверки преподавателю, наличие тренажерно-обучающих компонентов для автоматического формирования и оценки индивидуальных вариантов практических заданий.

Использование ИИС позволяет учесть специфические особенности дисциплин, изучаемых специалистами по информатизации и автоматизации. Актуальным является совершенствование процесса дистанционной проверки учебных работ в условиях большой нагрузки преподавателей с целью снижения трудоемкости педагогической работы. Рассмотрим далее особенности развития некоторых алгоритмов работы ИИС.

1. Управление типовыми замечаниями. В процессе проверки учебных работ (лабораторных, практических, контрольных и др.) преподаватель в ИИС указывает замечания и рекомендации студенту. Схожие замечания встречаются в работах многих студентов. Предложен подход к упрощению проверки учебных работ на основе управления типовыми замечаниями.

На рис. 1 диаграммой Activity UML представлен в общем виде алгоритм настройки и применения типового замечания. Использование типовых замечаний позволяет:

- сократить время на проверку работ;
- проводить анализ с целью выявления наиболее сложных дисциплин, тем, заданий, совершенствования методики преподавания дисциплин на основе этого.

Разработан макет интерфейса для управления типовыми замечаниями (рис. 2). По мере проверки преподавателем учебных работ замечания сохраняются в базе данных и отображаются в интерфейсе как неотсортированные. В интерфейсе на рис. 2 допустимы столбцы с дополнительной информацией (например, название дисциплины, № лабораторной работы и т.д.).

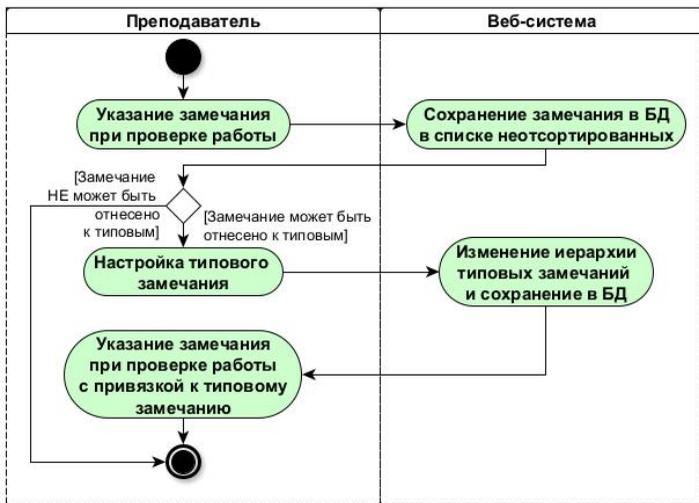


Рис. 1. Алгоритм работы с типовыми замечаниями

| № | Вид / название типового замечания |
|------------------------------|---|
| 1 + \ * x | Неотсортированные замечания |
| 1.1 + \ * x | У Вас в отчете значение $V(G)=3$, число путей получилось 5, а тест-кейсов 2. Данные значения должны совпадать. |
| 1.2 + \ * x | Путаница со знаками $>$, $<$, \geq , \leq в условиях. |
| 1.3 + \ * x | Вместо символа слияния нужны ромбы-объединения, т.к. параллельные действия отсутствуют в данной задаче. |
| 1.4 + \ * x | В нижней части диаграммы много пересечений линий. Нужно использовать ромбы-объединения вместо этого. |
| 1.5 + \ * x | Не увидел условий над всеми стрелками, выходящими из ромбов-решений. |
| 1.6 + \ * x | Составное условие в первом операторе if включает три простых условия. Они должны быть обозначены отдельными номерами. |
| 1.7 + \ * x | В цикле for инициализация переменных, условие, шаг должны быть обозначены тремя отдельными номерами. |
| 1.8 + \ * x | Каждый оператор в линейном участке в начале программы Вы обозначили отдельным номером. Проще было одним номером, граф упростится. |
| 1.9 + \ * x | Значение $V(G)=5$, число путей равно 4, а тест-кейсов 3. Перепроверьте всё, данные значения должны совпадать. |
| 1.10 + \ * x | Перепроверьте знаки в условиях. Где должно быть «больше», где «не менее» и т.д. |
| 1.11 + \ * x | В начале кода расположен большой линейный участок программы. Рекомендуется его обозначить одним номером. |
| 1.12 + \ * x | «Шарка» цикла for обозначена одним номером. Нужно три составляющие обозначить отдельным номером. |
| 1.13 + \ * x | Составное условие оператора if включает два простых. Обозначьте их отдельными номерами (2 отдельных предикатных узла графа). |
| 1.14 + \ * x | Вместо знаков $>$, $<$ Вы использовали \geq , \leq в условиях. |
| 1.15 + \ * x | В постановке задачи не сказано о наличии параллельных действий. Символ слияния использован не корректно. |
| 1.16 + \ * x | Условия должны быть в квадратных скобках. |
| 1.17 + \ * x | Вместо пересечений линий нужны ромбы-объединения. |

Рис. 2. Неотсортированные замечания по результатам проверки работ

Далее, используя символы добавления (+), редактирования (✎), удаления (×), преподаватель может структурировать информацию о типовых замечаниях (рис. 3) на основе начального неотсортированного списка. Далее типовые замечания доступны для упрощения проверки последующих учебных работ.

2. Расчет рекомендуемых весов учебных работ. Каждая учебная работа (лабораторная, контрольная и т.д.) обладает определенным уровнем сложности и, в ряде случаев, важности в рамках изучаемой дисциплины. Данный уровень обозначается количественно в форме весов. Изначально значения весов определяются преподавателем с учетом субъективного мнения, что приводит к неточности оценки уровня знаний и навыков студентов.

| № | Вид / название типового замечания |
|-----------------------------|---|
| 1 + ✎ × | Замечания по диаграммам Activity UML |
| 1.1 + ✎ × | Отсутствие дорожек |
| 1.2 + ✎ × | Ошибки в элементах диаграммы |
| 1.2.1 + ✎ × | Пересечения линий быть не должно. Необходимы символы объединения (ромбы). |
| 1.2.2 + ✎ × | Некорректное использование символа слияния вместо объединения (по причине отсутствия параллельных действий согласно постановке задачи). |
| 1.3 + ✎ × | Ошибки в условиях |
| 1.3.1 + ✎ × | Отсутствие квадратных скобок в условиях. |
| 1.3.2 + ✎ × | Путаница в знаках >, <, >=, <=. |
| 1.3.3 + ✎ × | Отсутствие условий над линиями, выходящими из ромба-решения. |
| 2 + ✎ × | Замечания по тестированию базового пути |
| 2.1 + ✎ × | Линейный участок кода лучше обозначить одним номером для упрощения построения графа. |
| 2.2 + ✎ × | Каждое простое условие, входящее в составное, обозначается отдельным номером (отдельный узел графа). |
| 2.3 + ✎ × | Составляющие цикла for (инициализация переменных, условие, шаг) должны обозначаться отдельными номерами. |
| 2.4 + ✎ × | Значения V(G), числа путей и числа тест-кейсов должны совпадать. |
| 3 + ✎ × | Неотсортированные замечания |

Рис. 3. Структурированный перечень типовых замечаний

Предложен алгоритм расчета весов в зависимости от фактической сложности учебных работ по результатам их оценивания, и вычисления рекомендуемой итоговой оценки по дисциплине на основе данных весов. Алгоритм в общем виде представлен на рис. 4 диаграммой Activity UML. Алгоритм основан на развитии исследований [6–7] по релевантной тематике.

С учетом того, что каждый студент может сдать одну и ту же работу несколько раз, предложена формула на основе скользящего среднего:

$$K_{ij} = \frac{\sum_{h=1}^Z (h \cdot K_{ijh})}{\sum_{h=1}^Z h},$$

где K_{ijh} – комплексная оценка h -го выполнения учебной работы (всего обучаемый отправлял на проверку работу Z раз).

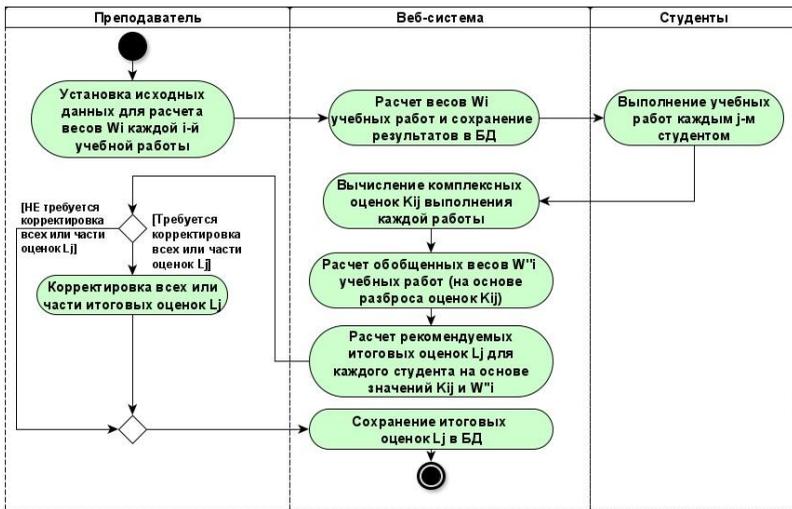


Рис. 4. Алгоритм расчета весов учебных работ и определения итоговых оценок

Алгоритм, аналогичный рис. 4, может быть предложен для вычисления весов отдельных подзадач и критериев оценивания, сопоставленных с учебной работой.

Заключение. Разработанные алгоритмы ИИС контроля знаний и навыков при подготовке специалистов по информатизации и автоматизации позволяют:

1) управлять перечнем типовых замечаний при проверке учебных работ, что способствует: сокращению времени на проверку работ; проведению анализа с целью выявления наиболее сложных дисциплин,

тем, заданий, совершенствования методики преподавания дисциплин на основе этого;

2) производить расчет значений весов учебных работ с учетом фактического уровня успеваемости студентов с целью вычисления рекомендуемой итоговой оценки по дисциплине;

ИИС, основанная на применении разработанных алгоритмов, может быть внедрена в вузах, колледжах, техникумах при подготовке специалистов направлений в области информатизации и автоматизации.

Библиографический список

1. Рычкова А.А. Методические аспекты электронного курса в системе Moodle по дисциплине «Технология и методы программирования» // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием). – 2020. – С. 4269–4272.

2. Карманова Е.В. Автоматизированный контроль при обучении программированию на Python с использованием плагина CodeRunner LMS Moodle // Наука. Информатизация. Технологии. Образование: материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург, 2021. – С. 102–108.

3. Гагарин А.П., Иванов Е.В. UML-спецификация компьютерной среды для преподавания программной инженерии // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2017. – Т. 13, № 3. – С. 61–71.

4. Полевщиков И.С., Боброва И.А. Автоматизация сбора и обработки данных о контроле освоения элементов компетенций с применением теории массового обслуживания // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 12. – С. 277–280.

5. Полевщиков И.С., Сидоров П.А., Письменный Д.А. Автоматизация оценки качества тестовой документации при обучении разработчиков программного обеспечения // Информатизация и автоматизация в пищевой промышленности: сб. науч. докладов Всерос. науч.-техн. конф. (18 мая 2022 г., г. Москва, МГУПП). – Курск: Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2022. – С. 55–61.

6. Файзрахманов Р.А., Полевщиков И.С., Боброва И.А. Совершенствование процесса профессиональной подготовки разработчиков программной документации на основе автоматизированной оценки каче-

ства формирования навыков // XVIII Всерос. науч.-практ. конф. «Планирование и обеспечение подготовки кадров для промышленно-экономического комплекса региона» (20–21 ноября 2019 г.): сб. докладов. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019. – С. 21–25.

7. Полевщиков И.С. Методика обработки данных о формировании сенсомоторных навыков при обучении операторов на компьютерном тренажере // Молодежная наука 2020: технологии, инновации: материалы Всерос. науч.-практ. конф., 10–13 марта 2020 г. [посвящ. 90-летию основания Пермского ГАТУ и 155-летию со дня рожд. акад. Д.Н. Прянишникова: материалы]: В 3 ч. – Ч 2 / науч. редкол. А.П. Андреев [и др.]. – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2020. – С. 247–251.

Сведения об авторах

Полевщиков Иван Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, доцент кафедры «Информационные системы и цифровые технологии» Московского государственного университета технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), г. Москва, e-mail: i.s.polevshchikov@mail.ru

Письменный Дмитрий Александрович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КС-19-1б, г. Пермь, email: stalkercoo@yandex.ru

И.А. Подлесных, В.В. Бахтин

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Проблема реализации нейронных сетей на устройствах с низкой производительностью рассматривалась во многих работах различных авторов. В предыдущих работах был описан способ разделения искусственной нейронной сети на блочную нейронную сеть, а также способ синтеза нейросетевых устройств для туманных вычислений. Целью данной работы является совершенствование метода синтеза устройств искусственной нейронной сети в направлении повышения отказоустойчивости этих устройств. В результате исследования мы улучшили метод синтеза нейросетевых устройств с точки зрения отказоустойчивости.

Ключевые слова: математическая модель, туманные вычисления, нейронная сеть, микроконтроллеры, метод синтеза устройств.

I.A. Podlesnykh, V.V. Bakhtin

Perm National Research Polytechnic University, Perm

ADVANCED FOG NEURAL NETWORK DESIGN METHOD

The problem of implementing neural networks on low-performance devices has been considered in many works by various authors. In previous works, method for dividing artificial neural network into block neural network was described, as well as method for synthesizing neural network devices for fog computing. The purpose of this work is to improve the method of synthesizing artificial neural network devices in the direction of increasing the fault tolerance of these devices. As a result of the research, we improved neural network devices synthesis method in terms of fault tolerance.

Keywords: mathematical model, fog computing, neural network, microcontrollers, device synthesis method.

Повышение отказоустойчивости вычислительной системы всегда необходимо в реальных рабочих задачах на производстве и в цифровой сфере. В нашей предыдущей работе [1] был разработан метод синтеза нейросетевых устройств, но вопрос отказоустойчивости этих устройств не поднимался. Поэтому разработка и внедрение усовершенст-

вованного метода синтеза нейросетевых устройств для реализации блочных нейронных сетей в настоящее время очень актуальны. В результате исследования планируется разработать решения упомянутой ранее проблемы.

Искусственные нейронные сети с определенным количеством скрытых слоев нейронов называются глубокой нейронной сетью, а их обучение называется глубоким обучением [2]. Блочная нейронная сеть – это нейронная сеть, которая была получена путем разделения монолитной нейронной сети на части особым образом. Блочная нейронная сеть предназначена для вычислений на физически разделенных устройствах. Таким образом, все узлы одного блока вычисляются на одном устройстве, но каждый блок выполняется полностью на отдельном вычислительном устройстве. Сеть устройств, на которой вычисляется блочная нейронная сеть, называется каскадом устройств [3]. Декомпозиция монолитной нейронной сети в блочную нейронную сеть может быть осуществлена различными способами и с различными компьютерными каскадными архитектурами.

Распределенные нейронные сети изучаются исследователями по всему миру. В частности, эти нейронные сети были исследованы в работах Пьера-Эммануэля Новака и др. [4], Ту У и др. [5], Николас Дж. Коттон и др. [6] и в ряде других трудов ученых, работающих над этой темой. В настоящее время существует множество приложений для нейронных сетей, которые рассчитываются на распределенных и (или) беспроводных вычислительных системах: домашняя автоматизация, медицина, лингвистика [7], экономика [8], безопасность, управление предприятием и искусство.

Моделирование работы нейросетевого устройства для туманных вычислений. В нашей предыдущей работе [1] моделирование различных конфигураций каскадов нейросетевых устройств проводилось в САПР Proteus. В качестве устройства в этом исследовании был выбран микроконтроллер ATMEL ATmega32. Это 8-разрядный микроконтроллер общего назначения с RISC-ядром [9]. Важным для нас было то, что микроконтроллер имеет программируемый USART. Это позволило нам передавать результаты блочной нейронной сети с одного устройства на другое. Важно было настроить UART так, чтобы он разрешал передачу, прием, прерывания передачи и прерывания приема. В первую очередь нас интересовал прием прерываний, поскольку они активно использовались для приема данных из канала UART.

В нашей работе были микроконтроллеры, работающие на частоте 8 МГц. Генератор слов использовался для генерации входных сигналов, которые передавались на контакты PB1-8, сконфигурированные в качестве входных сигналов. Для случая одного микроконтроллера контакты PA1-8 были сконфигурированы в качестве выходов. Они передавали информацию о результате вычислений, выполненных нейронной сетью, на светодиоды. На рис. 1 можно наблюдать функциональную электрическую схему монолитной нейронной сети одного экземпляра микроконтроллера, описанного выше.

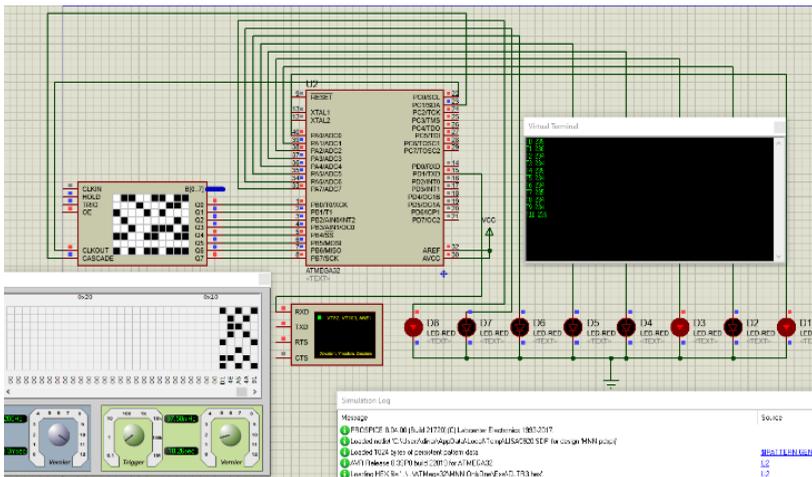


Рис. 1. Функциональная электрическая схема монолитной нейронной сети на одном микроконтроллере

В первом эксперименте монолитная нейронная сеть была разделена на 3 блока. Каждый из блоков был выполнен на отдельном микроконтроллере. Функциональность была частично разделена между микроконтроллерами. Итак, первый контроллер остался подключенным к генератору слов, получил от него вектор данных и сигнал синхронизации. Последний микроконтроллер передавал результат каскадной работы как на массив светодиодов, так и на виртуальный терминал через UART. Соединение между первым и вторым микроконтроллерами было установлено аналогичным образом с помощью UART. Для случаев пяти и семи микроконтроллеров схема была собрана аналогичным образом.

Дополнительные микроконтроллеры были добавлены между существующими микроконтроллерами. Обратите внимание, что количество микроконтроллеров не обязательно должно быть нечетным.

Предлагаемые усовершенствования. Представленный способ имеет определенный недостаток – если одно из устройств, включенных в каскад, выходит из строя, то выходит из строя и вся вычислительная система. Чтобы предотвратить это, необходимо модифицировать предлагаемый способ. Существует два подхода к повышению отказоустойчивости: физическое резервирование и логическое резервирование.

Суть физического резервирования заключается в добавлении дополнительного устройства в каскад параллельно с основным. Таким образом, дополнительное устройство дублирует вычисления, выполняемые основным. Положительный эффект этого метода заключается в том, что неисправное устройство заменяется другим и не происходит перераспределения вычислительной нагрузки между другими узлами каскада. Отрицательный эффект этого метода заключается в том, что происходит значительное увеличение стоимости системы, поскольку требуется ввести в систему дополнительные вычислительные узлы.

Второй подход – это логическая избыточность. Суть этого метода заключается в том, что между узлами создаются дополнительные соединения. Это означает, что соединение устанавливается не только с соседними узлами каскада, но и со следующими узлами, кроме одного. Прошивка каждого вычислительного устройства включает в себя не только программу его собственной блочной нейронной сети, но и блочные нейронные сети соседних с ним устройств. Серийный номер узла отправляется вместе с данными, передаваемыми подключенным узлам. Если узел перестает получать информацию от соседнего в течение определенного количества циклов, то этот узел принимает входные данные от предпоследнего узла. Затем узел подключает другую блочную нейронную сеть в программе и начинает вычислять свою собственную блочную нейронную сеть и блочную нейронную сеть своего соседа по каскаду. Очевидной положительной стороной этого метода является то, что он не требует покупки и установки дополнительных узлов для дублирования каскадных элементов. Отрицательной стороной является то, что это увеличивает вычислительную нагрузку на определенные узлы. Чтобы сбалансировать это, могут быть введены

обратные связи. Это позволило бы пользователю выбирать, должен ли предыдущий вычислительный узел или следующий взять на себя функции неисправного.

Результаты. Рассмотрев оба варианта, мы отдаем приоритет варианту с логическим резервированием, поскольку он позволяет добавить отказоустойчивость практически без изменения стоимости системы. Чтобы нивелировать недостатки этого подхода, потребуется система балансировки нагрузки.

На рис. 2 видно, что добавлено дополнительное соединение. Соединение представляет собой ярко-красную линию от первого устройства к третьему в каскаде. Более того, добавлена обратная связь от второго устройства к первому (бордовая линия). Отсутствие информации, передаваемой по линии обратной связи, определяет момент, в который первое устройство должно взять на себя дополнительные функции второго устройства.

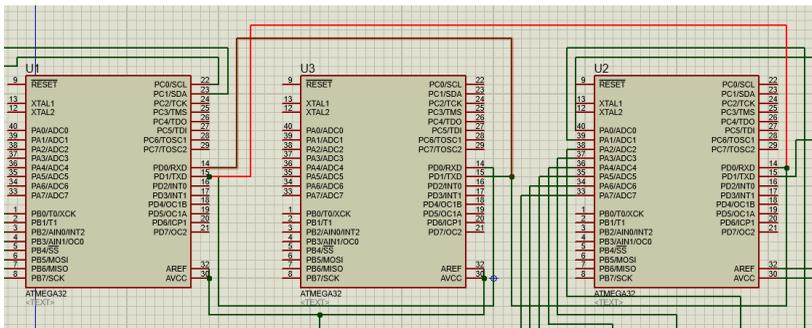


Рис. 2. Функциональная электрическая схема блочной нейронной сети на каскаде из трех микроконтроллеров с добавленной логической избыточностью

Заключение. Представленный усовершенствованный метод моделирования нейросетевых устройств вычислительного блока fog позволяет использовать результирующие нейросетевые устройства в системах с высоким риском и повышенной опасностью. Полученные в результате нейросетевые устройства обеспечивают высокий уровень надежности.

В перспективе требуется оценка скорости работы продвинутых нейросетевых устройств, поскольку она может оказаться непригодной для некоторых задач, чувствительных ко времени.

Рассмотренные подходы не являются исчерпывающим перечнем вариантов повышения отказоустойчивости. Продолжаются исследования в направлении разработки альтернативных вариантов.

Библиографический список

1. Тюрин С.Ф., Бахтин В.В., Подлесных И.А. Метод синтеза устройств нейросетевого распознавания на программируемой логике для реализации режима fog computing // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2022. – № 41. – С. 168–188.

2. Akhmetzyanov K.R., Yuzhakov A.A., Kokoulin A.N. Neural Network Development Based on Knowledge about Environmental Influence // 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). – IEEE, 2020. – P. 218–221.

3. Бахтин В.В., Подлесных И.А. Алгоритм построения графа совместной работы каскадов устройств нейросетевого распознавания, реализующих блочные нейронные сети // М340 Математическое и компьютерное моделирование: сборник. – 2021. – С. 277.

4. Quantization and deployment of deep neural networks on microcontrollers / P.E. Novac [et al.] // Sensors. – 2021. – Vol. 21, № 9. – P. 2984.

5. A power efficient neural network implementation on heterogeneous FPGA and GPU devices / Y. Tu [et al.] // 2019 IEEE 20th International Conference on Information Reuse and Integration for Data Science (IRI). – IEEE, 2019. – P. 193–199.

6. Cotton N.J., Wilamowski B.M., Dundar G. A neural network implementation on an inexpensive eight bit microcontroller // 2008 International Conference on Intelligent Engineering Systems. – IEEE, 2008. – P. 109–114.

7. Bakhtin V.V., Isaeva E.V., Tararkov A.V. TSMIner: from TSBuilder to Ecosystem // 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). – IEEE, 2021. – P. 221–224.

8. Yasnitsky L.N., Yasnitsky V.L. Technique of design for integrated economic and mathematical model for mass appraisal of real estate property. Study case of Yekaterinburg housing market // Journal of Applied Economic Sciences. – 2016. – Vol. 11, № 8. – P. 1519–1530.

9. Mostafa G. Design of a single chip Digital Weighing Machine using ATmega32 microcontroller architecture // 2015 International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE). – IEEE, 2015. – P. 93–96.

Сведения об авторах

Подлесных Иван Александрович – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, математик, АО «Новомет-Пермь», г. Пермь, e-mail: podlesnihwork@gmail.com

Бахтин Вадим Вячеславович – соискатель кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, старший преподаватель кафедры «Информационной безопасности и систем связи» Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, e-mail: bakhtin_94@bk.ru

Г.И. Борзунов, П.А. Новикова, С.В. Крамской

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, Москва

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦВЕТОВЫХ РЕШЕНИЙ РОСПИСИ «ХОХЛОМА» В СОВРЕМЕННЫХ ДИЗАЙН-ПРОЕКТАХ

В данной статье выявляются оптимальные цвета минимальной и максимальной палитры для росписи «Хохлома». Выявленная палитра применяется к изображениям с целью их перекрашивания и достижения визуального колористического сходства с одной из самых популярных росписей. В статье иллюстрируются различные варианты применения выявленных палитр на изображения для достижения наиболее красивого результата.

Ключевые слова: GIMP, дизайн-проект, графический редактор, Хохлома, обработка изображений.

G.I. Borzunov, P.A. Novikova, S.V. Kramskoy

Russian State University named after A.N. Kosygin, Moscow

USE OF TRADITIONAL COLOR SOLUTIONS OF «KHOKHLOMA» PAINTING IN MODERN DESIGN PROJECTS

This article reveals the optimal colors of the minimum and maximum palette for painting «Khokhloma». The revealed palette is applied to the images in order to recolor them and achieve a visual color similarity with one of the most popular murals. The article illustrates various options for applying the identified palettes to images to achieve the most beautiful result.

Keywords: GIMP, design project, graphic editor, Khokhloma, image processing.

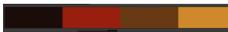
Существует невообразимое множество различных росписей и их сочетаний. У каждой росписи есть своя уникальная цветовая палитра, свои неповторимые элементы и узоры. Ярким самобытным явлением русского народного декоративно-прикладного искусства является хохломская роспись.

Выявление основных цветов, характеризующих определенную роспись, позволит получить палитру для дальнейших исследований. При перекрашивании изображения в полученные цвета можно добиться эффекта «переноса» традиционной росписи на выбранную картин-

ку. Появляется возможность создания нового дизайн-решения. Человек, посмотрев на исследуемую роспись «Хохлома», увидит, что преобладают черные, красные, желтые оттенки. Есть примеры, в которых применяются и некоторые другие цвета.

Благодаря описанной методике выявления цветовой палитры для не менее популярной русской традиционной росписи – Гжели [1] было проведено аналогичное исследование с целью выявления палитры «Хохлома». Для исследования были взяты 10 изображений с хохломской росписью, для каждого из которых выявлены цветовые палитры индексированных изображений (таблице).

Результаты эксперимента для хохломы

| Оригинал | Индексированное изображение до min палитры | Цветовая палитра индексированного изображения | Коды цветов |
|---|---|---|--|
|  |  |  | #362917 #9e0b10 #ef3623 #dfb417 |
|  |  |  | #140701 #8e441d #c2a66f #f0b92c |
|  |  |  | #1a0c09 #981e0d #683a13 #cf892c |
|  |  |  | #0b0a08 #784f25 #f14126 #e8c240 |
|  |  |  | #040600 #93020e #e51510 #c1cc09 |

Окончание табл.

| | |
|--|--|
| | #0f0c04 #9c1e1b #f3a407 #f8e400 |
| | #3b2712 #b7261b #ec3623 #f3ce1a |
| | #d50c0d #49432c #e1c327 #f8f9f5 |
| | #194550 #a5240e #ea5813 #eee917 |
| | #11140b #9b3024 #ea7030 #7eaf47 |

На следующем этапе исследования были найдены усредненные цвета с выделением наиболее часто встречающихся (основные) и встречающихся, но в меньшей степени (дополнительные), а также сформирована палитра для «Хохломы». Результаты усреднения (11 цветов в получившейся палитре) характеризуют роспись (рис. 1). Для удобства работы определены коды цветов.

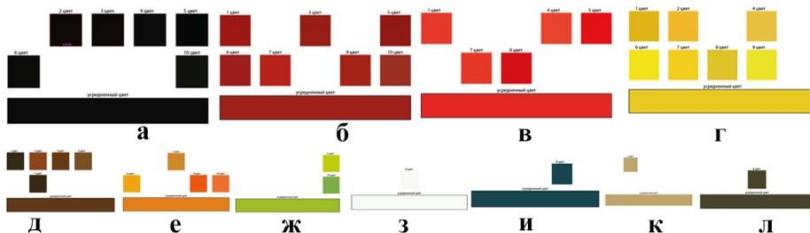


Рис. 1. Выявленная палитра для хохломской росписи. Основные цвета (а, б, в, г) и дополнительные цвета (д, е, ж, з, и, к, л)

Так, к основным цветам относятся: черный (код 0b0b0b), бордовый (код a11f1b), красный (код e42822), желтый (код e8ca24). Основная палитра представлена на рис. 1 (а–з). К дополнительным цветам относятся: коричневый (код 60391a), оранжевый (код e67e19), зеленый (код a0be25), белый (код f9fbf8), синий (код 184550), бежевый (код c1a56f), бурый (код 49432c). Дополнительная палитра представлена на рис. 1 (д–л).

Используя выявленную палитру, можно произвести перекрашивание оригинального изображения и индексированного. Индексация изображений производилась в свободно распространяемом графическом редакторе GIMP [2].

В качестве объекта для исследования была выбрана картина в стиле импрессионизм «Закат в Венеции» французского живописца Клода Моне. Яркие голубые, желтые и красные цвета были использованы Моне, чтобы изобразить закат в Венеции [3]. Картина красочная, содержащая много оттенков, поэтому результаты могут быть удивительными. Картина удобна и для научной демонстрации связи стилистики импрессионистов с колористикой национального народного промысла.

В результате применения палитры основных цветов (см. рис. 1) на оригинальное изображение все цвета палитры были задействованы. При применении этой же палитры на индексированное изображение один цвет (желтый) пропал. Изображение выглядит почти двухцветным и не ассоциируется с «Хохломой». Применение данной палитры на индексированное изображение нецелесообразно. Результаты эксперимента представлены на рис. 2.

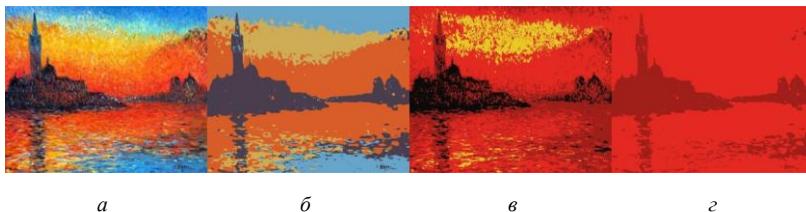


Рис. 2. Оригинал (а), индексированное изображение до 4 цветов (б), перекрашивание оригинала (в), перекрашивание индексированного (з)

В результате применения палитры из основных и дополнительных цветов (см. рис. 1) на оригинальное изображение все цвета задейство-

ваны, однако узор напоминает негативный фильтр с шумом. При применении этой же палитры на индексированное изображение пропали цвета: черный, красный и желтый. Само же изображение также напоминает негативный фильтр, но с меньшим шумом. Применение данной палитры нецелесообразно: изображение не напоминает «Хохлому». Результаты эксперимента представлены на рис. 3.

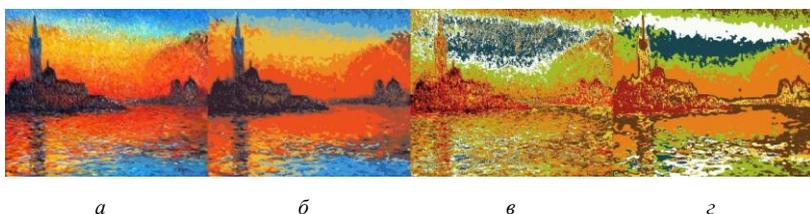


Рис. 3. Оригинал (а), индексированное изображение до 11 цветов (б), перекрашивание оригинала (в), перекрашивание индексированного (г)

Был также проведен эксперимент перекрашивания оригинального и индексированного изображений в палитры, состоящие из основных цветов и 2 дополнительных. Дополнительные цвета выбирались по предпочтениям автора. Новые палитры, содержащие 6 цветов, представлены на рис. 4–6.



Рис. 4. Палитра из 4 основных цветов и 2 дополнительных



Рис. 5. Палитра из 4 основных цветов и 2 дополнительных



Рис. 6. Палитра из 4 основных цветов и 2 дополнительных

Результаты применения палитры (см. рис. 4) на оригинальное и индексированное до 6 цветов изображение представлены на рис. 7. Аналогичные результаты для палитры (см. рис. 5) представлены на рис. 8. И для палитры (см. рис. 6) результат представлен на рис. 9.

Во всех трех случаях в результате применения палитр на оригинальное изображение все цвета различимы и читаемы. При применении палитр на индексированное изображение пропадает часть цветов: черный и зеленый для рис. 4 и рис. 7, черный и оранжевый для рис. 5 и рис. 8, черный и оранжевый для рис. 6 и рис. 9. Результаты отчасти напоминают «Хохлому» при перекрашивании и оригинального изображения, и индексированного. Палитру можно использовать в обоих случаях, но лучше применять на оригинальное изображение для предотвращения исчезновения задействованных цветов.

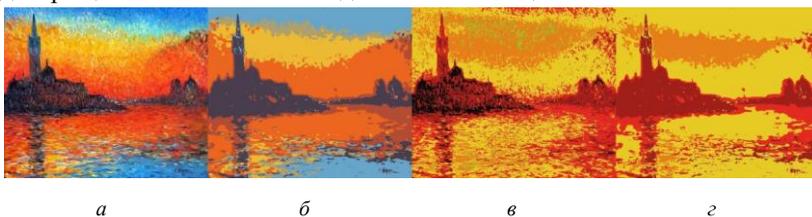


Рис. 7. Оригинал (а), индексированное изображение до 6 цветов (б), перекрашивание оригинала (в), перекрашивание индексированного (г)

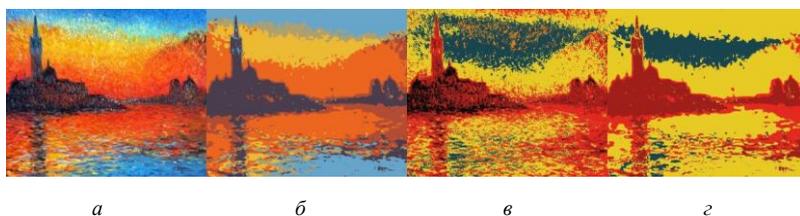


Рис.8. Оригинал (а), индексированное изображение до 6 цветов (б), перекрашивание оригинала (в), перекрашивание индексированного (г)

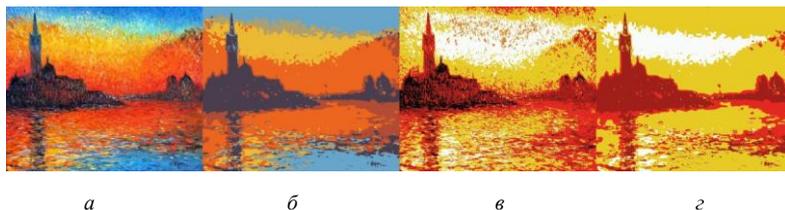


Рис. 9. Оригинал (а), индексированное изображение до 6 цветов (б), перекрашивание оригинала (в), перекрашивание индексированного (г)

В результате исследования были выявлены несколько палитр, которые можно использовать для создания цветового эффекта «Хохломы» на изображении.

Дальнейшее исследование проводилось с перекрашиванием реальной фотографии. В качестве изображения для эксперимента была выбрана фотография с фейерверками.

Результат применения палитры из 4 основных цветов (см. рис. 1) представлен на рис. 10. Перекрашивание индексированного изображения не выполнялось, т.к. ранее было выявлена нецелесообразность данного действия. Все цвета используемой палитры сохранились, изображение напоминает «Хохлому» и по цветам, и по удачному узору, который воспроизвели фейерверки.



Рис. 10. Оригинал (а), перекрашивание оригинала (б)

Следующие результаты перекрашивания для ранее выявленных палитр, содержащие основные цвета и несколько дополнительных, представлены ниже. Для палитры с рис. 4 результат изображен на рис. 11, для палитры с рис. 5 результат изображен на рис. 12, для палитры с рис. 6 результат изображен на рис. 13.

При перекрашивании и оригинала, и индексированного изображения результаты напоминают хохломскую роспись, однако при перекрашивании индексированных изображений во всех трех случаях исчезли некоторые цвета, что можно было предвидеть, ориентируясь на результаты исследования выше.



Рис. 11. Оригинал (а), индексированное изображение до 6 цветов (б), перекрашивание оригинала (в), перекрашивание индексированного (г)



Рис. 12. Оригинал (а), индексированное изображение до 6 цветов (б), перекрашивание оригинала (в), перекрашивание индексированного (з)



Рис. 13. Оригинал (а), индексированное изображение до 6 цветов (б), перекрашивание оригинала (в), перекрашивание индексированного (з)

Полученные результаты могут быть применены при создании коллекции «под хохлому», при декорировании элементов среды, при дизайнерском решении, при подготовке печатной продукции.

Получение новых колористических решений на основе традиционной русской росписи – перспективное направление. Работа, посвященная выявлению цветов «Гжели» была проделана ранее [1], эта работа является продолжением исследования. Предлагаемый метод поддерживается средствами автоматизации и обеспечивает возможность сохранения и развития традиционных цветовых решений прикладного искусства.

Библиографический список

1. Новикова П.А., Борзунов Г.И. Использование традиционных цветовых решений росписи «Гжель» в современных дизайн-проектах // Всероссийская научная конференция молодых исследователей с международным участием «Социально-гуманитарные проблемы образования и профессиональной самореализации» (Социальный инженер-2022): сборник материалов. Ч. 10. – М.: Изд-во РГУ им. А.Н. Косыгина», 2022. – 335 с.
2. The Free & Open Source Image Editor [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gimp.org/> (дата обращения: 15.07.2022).

3. Закат в Венеции – Клод Моне [Электронный ресурс]. – URL: <https://kartiny.rus-lit.com/mone-klod/zakat-v-venecii-klod-mone/> (дата обращения: 20.12.2022).

Сведения об авторах

Борзунов Георгий Иванович – доктор технических наук, доцент кафедры «ИТиКД» Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина, г. Москва, e-mail: parproc@gmail.com

Новикова Полина Александровна – преподаватель кафедры ИТиКД Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина, г. Москва, e-mail: povpol@inbox.ru

Крамской Сергей Валерьевич – студент Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина, г. Москва, e-mail: serganaftina@mail.ru

В.К. Калинин, С.Ф. Тюрин

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

АВТОМАТИЧЕСКОЕ СОЗДАНИЕ ТЕСТОВЫХ ФАЙЛОВ САПР QUARTUS

Распространение цифровых устройств, в том числе ПЛИС требует упрощения тестирования внутренней. В данной статье представлен алгоритм создания тестовых файлов в формате «.vwf» для проверки автоматов-распознавателей в представлении State Machine File в САПР Quartus.

Ключевые слова: ПЛИС, тестирование, САПР, автомат-распознаватель.

V.K. Kalinin, S.F. Tyurin

Perm National Research Polytechnic University, Perm

AUTOMATIC CREATION OF QUARTUS CAD TEST FILES

The proliferation of digital devices, including FPGAs, requires simplifying internal testing. This article presents an algorithm for creating test files in the “.vwf” format for testing automat recognizers in the State Machine File representation in Quartus CAD.

Ключевые слова: FPGA, testing, CAD, automat recognizer.

В настоящее время программируемые логические интегральные схемы все шире используются в аппаратуре, в том числе критического назначения с высокими требованиями к надежности. Для подобных систем актуальным является полное тестирование, которое выполняется вручную в САПР Quartus.

Разработаны и реализованы алгоритмы высокоуровневого задания работы ПЛИС с помощью конечного автомата-распознавателя по входной последовательности цифр [1]. Подготовка к тестированию любых автоматов в САПР Quartus заключается в ручной генерации файлов проверок. Данную проблему решает данная работа.

University Program VWF (Simulation Waveform Editor) – средство отладки в САПР Quartus, представляющий собой временные диаграммы. VWF имеет функции отслеживания, задания определенных параметров, а также настройку отображения данных.

Должен быть сгенерирован файл VWF для САПР Quartus для функциональной проверки автомата распознавателя по входной последовательности цифр, алфавит которых ограничен ($\{0, 1, \dots, \max\}$) и количеству бит, необходимых для записи в двоичном виде максимального числа. Количество бит необходимо для возможного задания неправильных значений для автомата, иницируя нераспознанную последовательность.

Для иллюстрации работы разработанной программы были созданы схемы алгоритмов основной программы, генерации сигналов, переходов (значений сигналов), отображений, изображенные на рисунках 2, 3, 4, 5 соответственно. Схемы алгоритмов разработаны по [2].

Конечный результат работы программы для распознавания последовательности 0 1 3, отображенный в САПР Quartus II, представлен на рис. 1–5.

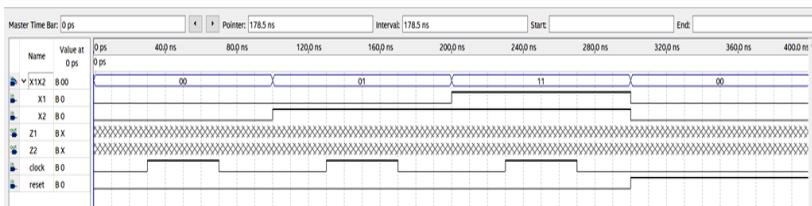


Рис. 1. Требуемый результат работы программы

Генерация самого файла VWF состоит из записи массивов полученных сигналов, переходов и отображений. Подпрограмма по генерации сигналов принимает на вход N – количество битов в двоичной записи максимального числа в последовательности и S – входная последовательность цифр. Генерируются N входных сигналов с именами $\{X1, X2, \dots, XN\}$, два выходных сигнала с именами $\{Z1, Z2\}$, два служебных сигнала – $\{clock, reset\}$. Создается группа сигналов, куда входят все входящие сигналы с именем «X1X2...XN».

К входной последовательности S прибавляется число таким образом, чтобы последнее и предпоследнее число после добавления не были равны. Данное число добавляется специально, чтобы в итоге добавилось дополнительное поле, на котором вычисление окончится. В дополнительном поле не будет включаться clock, а reset наоборот будет активен.

Массив из $(N + 2 + 2)$ сигналов является результирующим.

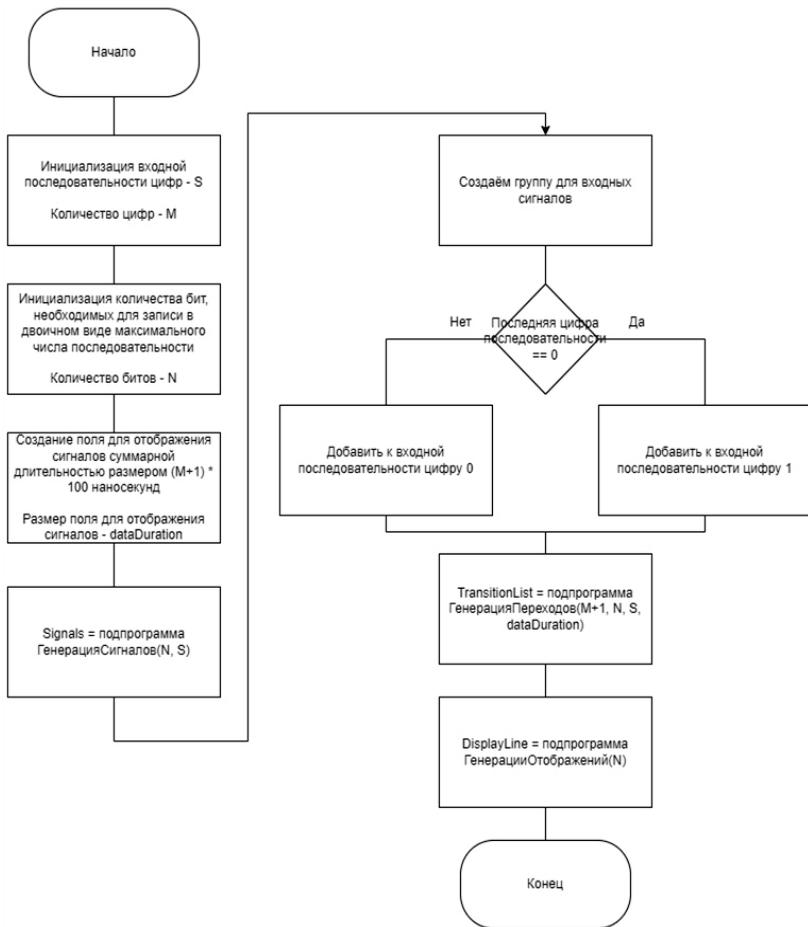


Рис. 2. Схема основной программы

Подпрограмма по генерации переходов принимает на вход M – количество цифр в заданной последовательности, – количество битов в двоичной записи максимального числа в последовательности, S – входная последовательность цифр, $dataDuration$ – размер поля для отображения сигналов.

Все числа из S переводятся в двоичную систему, записываясь в массив `binary`.

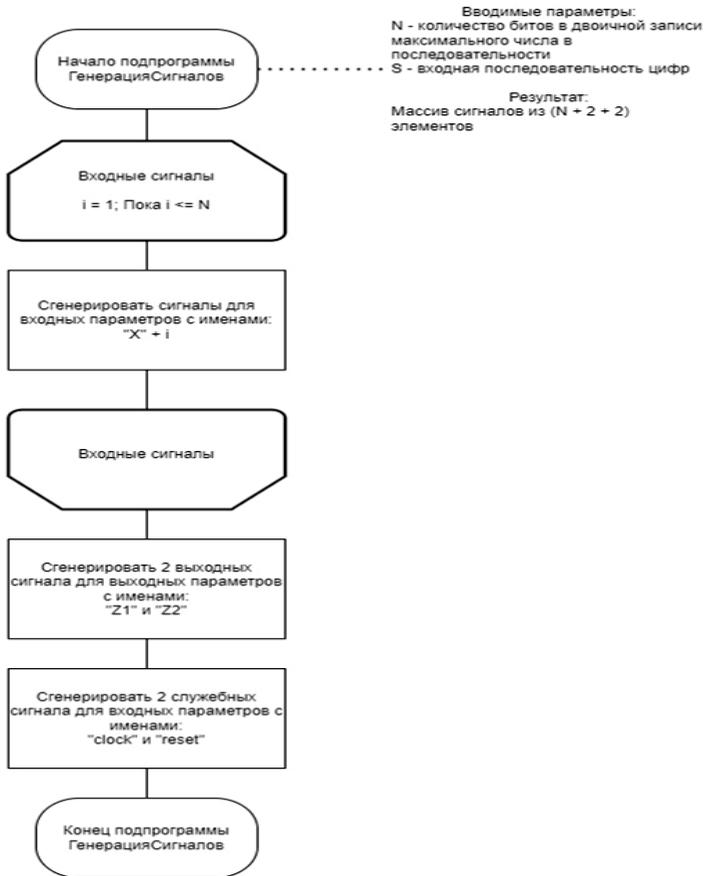


Рис. 3. Схема подпрограммы генерации сигналов

Генерируются N переходов для входных сигналов с именами $\{X_1, X_2, \dots, X_N\}$. Для перехода X_i необходимо пройти по массиву binary, формируя значение сигнала во все промежутки времени (один промежуток = 100 наносек). Для значения с $[100 \cdot K; 100 \cdot (K + 1))$ наносекунд формируется строка: «LEVEL» + значение в массиве для обрабатываемого перехода X_i , то есть $\text{binary}[K][i]$.

Генерируются 2 перехода для выходных сигналов с именами $\{Z_1, Z_2\}$. Оба перехода задаются как неизвестные / вычисляемые на всем поле для отображения сигналов.

Генерируются 2 перехода для служебных сигналов с именами {clock, reset}. Переход clock должен принимать значение «1» ровно один раз за промежуток $[100 \cdot K; 100 \cdot (K + 1)]$ наносек, где K принадлежит $[0; M - 2]$. В промежутке $[100 \cdot (M - 1); 100 \cdot M]$ наносек clock принимает значение 0.

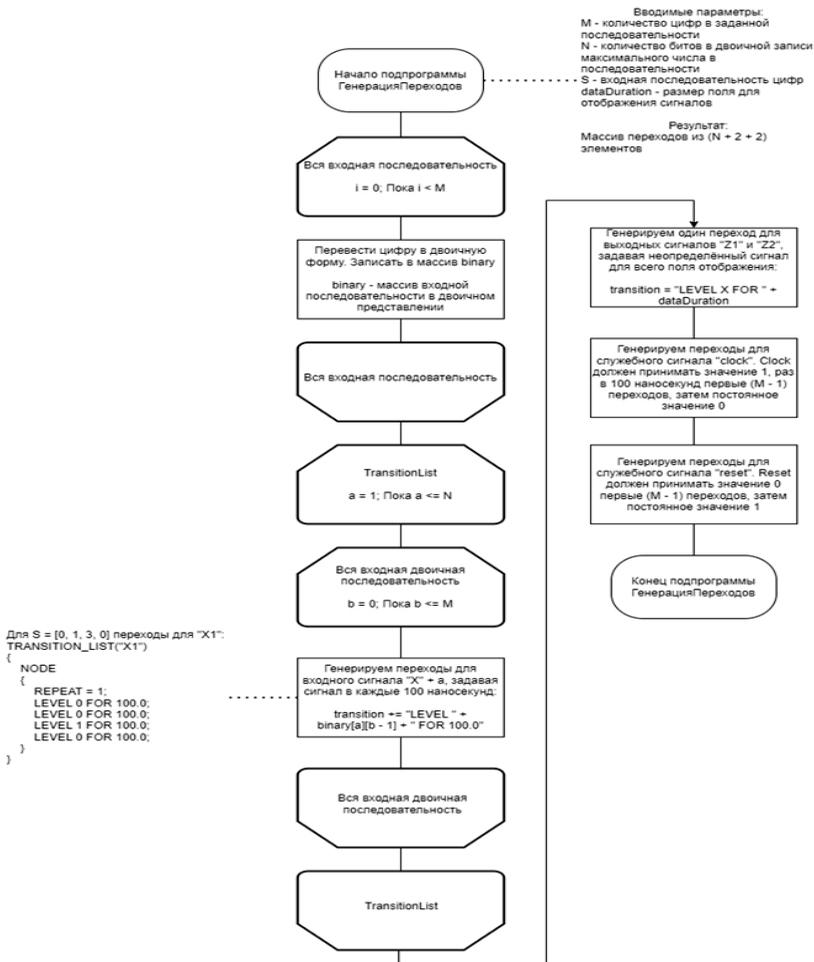


Рис. 4. Схема подпрограммы генерации переходов

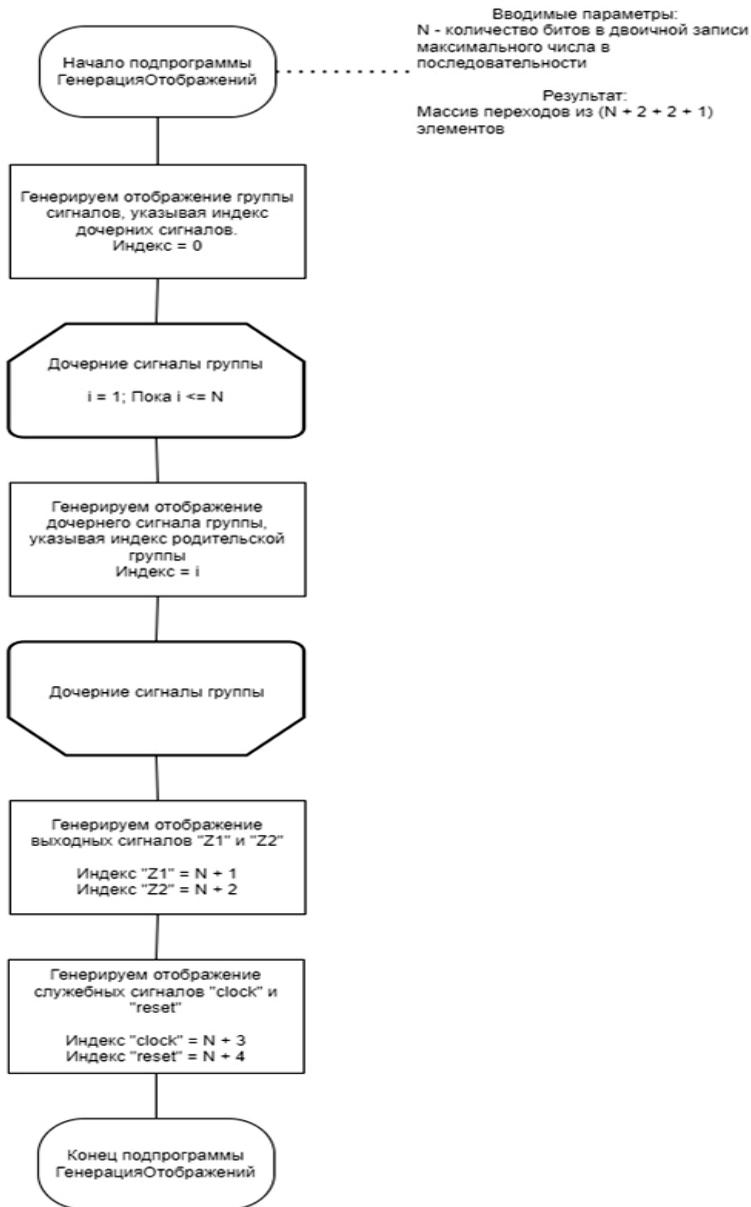


Рис. 5. Схема подпрограммы генерации отображений

Переход `reset` в промежутке $[0; 100 \cdot (M - 2)]$ принимает значение 0, после чего переходит в 1.

Массив из $(N + 2 + 2)$ переходов является результирующим.

Подпрограмма по генерации переходов принимает на вход N – количество битов в двоичной записи максимального числа в последовательности.

Генерируется:

1) отображение группы с указанием индексов дочерних элементов. Индекс группы 0;

2) N отображений входных сигналов с указанием индекса родительской группы. Индекс i -го отображения = i . Все выходные сигналы занимают индексы $[1; N]$,

3) 2 отображения выходных сигналов с индексами $(N + 1)$ и $(N + 2)$,

4) 2 отображения служебных сигналов с индексами $(Z + 3)$ и $(N + 4)$.

Массив из $(N + 2 + 2 + 1)$ отображений является результирующим.

В результате исполнения алгоритма образуется тестовый файл для проверки автомата-распознавателя в формате State Machine File.

После компиляции автомата-распознавателя, импортируем файл проверки в САПР. Запускаем функциональное тестирование, получая результат работы средства отладки University Program VWF, где все неизвестные/вычисляемые переменные означились, что продемонстрировано на рис. 6.

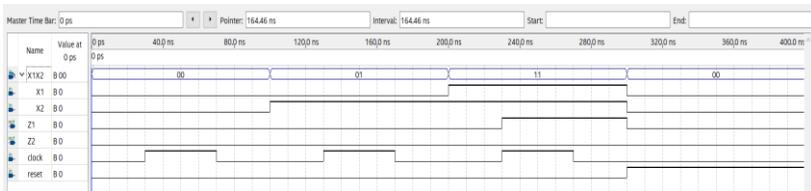


Рис. 6. Результат тестирования автомата-распознавателя 0 1 3 на сгенерированном файле проверки

Результат выходных сигналов после функционального тестирования соответствует ожиданиям.

В дальнейшем целесообразно рассмотреть возможность полной проверки автомата, путем генерации резервных копий, используя файлы проверки со всеми возможными вариантами последовательности.

Библиографический список

1. Калинин В.К. Разработка программы автоматического формирования автомата в формате State machine file по заданной последовательности. – 2022.

2. ГОСТ 19.701-90 (ИСО 5807-85). Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения: Межгос. стандарт. – Введ. 01.01.1992 // Единая система программной документации / Сост. А.А. Мкртумян, А.Л. Щерс, А.Н. Сироткин, Л.Д. Райков, А.В. Лобова. – М., 1993. – 14 с.

Сведения об авторах

Калинин Владимир Константинович – студент Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, e-mail: kalininkg@psu.ru

Тюрин Сергей Феофентович – доктор технических наук, профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: tyurinsergfeo@yandex.ru

Секция 2

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

А.В. Андриевский

Воронежский государственный технический университет, Воронеж

БАЗОВАЯ ПРОБЛЕМАТИКА ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СУЩЕСТВУЮЩИЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ РФ

В статье рассматривается проблема внедрения системы искусственного интеллекта для управления существующими энергосистемами крупных районов и городов. Рассматривается вопрос увеличения сложности расчетов, имитации деятельности человека, условий возможности и невозможности применения искусственного интеллекта для управления энергосистемой в различных режимах работы. Описана проблема безопасности при внедрении систем искусственного интеллекта.

Ключевые слова: энергосистема, искусственный интеллект, удаленное управление, безопасность энергосистем.

A.V. Andrievskii

Voronezh State Technical University, Voronezh

BASIC PROBLEMS OF INTRODUCING ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS IN THE EXISTING POWER SYSTEMS OF THE RUSSIA

The article deals with the problems of introducing an artificial intelligence system to manage the existing power systems of large regions and cities. The issue of increasing the complexity of calculations, simulating human activity, the conditions for the possibility and impossibility of using artificial intelligence to control the power system in various operating conditions is considered. The problem of security in the implementation of artificial intelligence systems is described.

Keywords: power system, artificial intelligence, remote control, power system security.

Любой ИИ является алгоритмом с функцией саморазвития. С другой стороны, сейчас в энергосистемах присутствует огромное количество алгоритмов без функции саморазвития, либо с сильно ограниченной функцией. В вопросе применения ИИ и в частной стороне этого вопроса – электроэнергетике, существует проблема так называемой

«мощности», т.е. на одно действие с энергосистемой может быть предпринято сразу несколько дополнительных действий. Давайте рассмотрим пример на рис. 1.

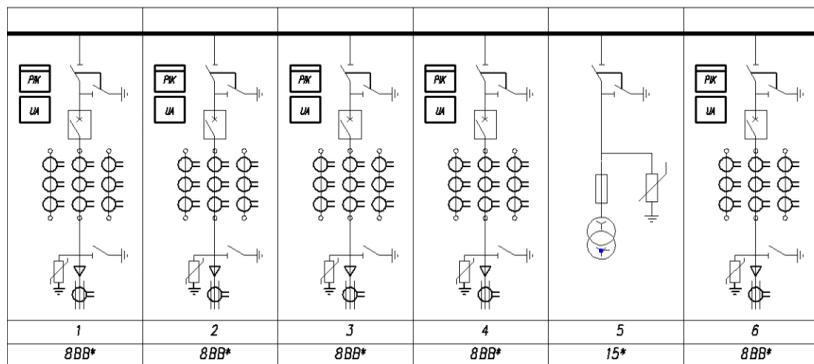


Рис. 1. Секция I распределительного устройства 6 кВ центра ремонта силовых установок терминала Т2 аэропорта Шереметьево, г. Химки Московской области

Рассмотрим секцию I. В РП-6кВ (не отражено в схеме) применена телемеханика и телесигнализация, применена функция удаленного управления вакуумными выключателями через реле АЕТ. Сигналы управления формируются на диспетчерском пункте, управлять которым может в том числе и ИИ.

Какой же алгоритм может быть реализован по состоянию на написание этой работы? Компьютерная программа должна уметь:

- следить за появлением сверхтоков в случае появления короткого замыкания на линии;
- следить за перекосом фаз;
- осуществлять учет электроэнергии в ячейках 1, 2, 3, 4 и 6.

К каждому вышеописанному пункту можно добавить фразу «осуществлять ХХХ и уметь УУУ», после построения вопроса «уметь УУУ» начинает раскрываться глубина проработки алгоритма.

Распишем один из сценариев работы ИИ:

Листинг 1 – Образец работы ИИ без привязки к языку программирования

Шаг 1:

Запрос: опрос трансформаторов тока фазы А ячейки 1 схема 8ВВ

Действие: величина тока 250А из 680А максимально допустимых

Вывод: система работает нормально.

Шаг 2:

Запрос: опрос трансформаторов тока фазы В ячейки 1 схема 8ВВ.

Действие: величина тока 5А из 680А максимально допустимых

Вывод: величина тока ниже расчетной величины тока нагрузки, сигнал об аварии и потери фазы.

Аварийный запрос: опрос трансформаторов тока фазы С ячейки 1 схема 8ВВ.

Действие: величина тока 275 А из 680 А максимально допустимых.

Вывод: система фазы С работает нормально.

Действие: сигнал о потере фазы В, опрос остальных ячеек, сигнал на контрольный пункт диспетчерской.

Разовьем события и поставим алгоритм ИИ на более высокий уровень принятия решений.

Листинг 2 – Проработка ИИ в случае нестандартной ситуации без привязки к языку программирования

Шаг 3 (итерация I):

Запрос: по линии связи потребителей ячейки 1 РП-6 кВ об их состоянии с целью подтверждения пропадания фазы.

Ответ: фаза А – 253А, фаза В – 251А, фаза С – 264 А.

Итерация шага 3 сделана так намерено, ведь она явно заставит алгоритм ИИ функционировать ненормально. Применим причину – неисправность датчика, опрашивающего трансформатор тока.

Выше описана проблема трудоемкости решения технических проблем в ЭЭ с применением ИИ. Если человек может просто встать и пойти физически обследовать ячейку, то ИИ обязан опираться только на показания датчиков, тем самым на косвенные устройства контроля параметров ЭЭ, что существенно сказывается на возможности его функционирования. Как же можно избежать таких ситуаций? Только дублированием датчиков, причем как прямым дублированием, так и косвенным.

Листинг 3 – Альтернативная итерация шага 3 работы ИИ с ЭС, без привязки к языку программирования.

Шаг 3 (итерация II):

Запрос: по линии связи потребителей ячейки 1 РП-6 кВ об их состоянии с целью подтверждения пропадания фазы.

Ответ: фаза А – 258А, фаза В – 4А, фаза С – 274 А.

Вывод ИИ: факт «пропадания» фазы В в ячейке 1 схемы 8ВВ подтвержден.

Из вышеописанного следует, что уже на третьем шаге ИИ в ЭС будет «бесполезен» и о самостоятельной работе речи тоже, к сожалению, идти уже не может. Вышеописанная ситуация может быть записана уравнением:

$$N = C \cdot V^i, \text{ шт.}, \quad (1)$$

где N – число вариантов проработки ИИ для устранения неисправности в ЭС; V – число вариантов решения проблемы, которую должен проработать ИИ; i – число итераций решения, назовем величину «глубиной» решения; C – вероятность правильного определения события, например, вероятность правильной работы датчиков.

Выводы из вышеописанного уравнения: число V всегда конечно, и это упрощает задачу применения ИИ в энергосистеме. *Каким бы не было количество вариантов решения проблемы, это количество не может быть бесконечным числом с неизвестными величинами.*

Вероятность ошибочности события тоже не стоит «списывать» со счетов, поскольку такая вероятность растет с ростом сложности системы. *Вероятность ошибочности событий складывается из вероятностей неправильной работы устройств контроля параметров ЭЭ и, к сожалению, может достигать значений выше 100 %.*

$$S_C = \sum_{k=1}^{k=m} S_k, \text{ о.е.} \quad (2)$$

Произведем анализ уравнения (1). Очевидным является факт, что если вероятность правильной работы приборов косвенного контроля ИИ равна нулю, то какие бы значения не принимала функция $V^i = \text{const}$, число вариантов проработки так же будет стремиться к нулю. В случае, если вероятность правильной работы косвенных приборов контроля отлична от нуля функция $V^i = \text{const}$ будет иметь вид:

Вывод по графикам рис. 2, 3: во первых, *сложность и количество итераций для решения задачи расчет лавинообразно и на определенном этапе задачи по решению неисправности системы ЭЭ становятся нерешаемыми с применением ИИ.*

Во вторых, в случае 100 % вероятности работы всех устройств косвенного контроля для ИИ «отсекаются» сразу несколько вариантов

решения проблемы, которые являются неправильными. Такие варианты назовем «шумом», и они имеют прямую зависимость с вероятностью точной работы приборов косвенного контроля.

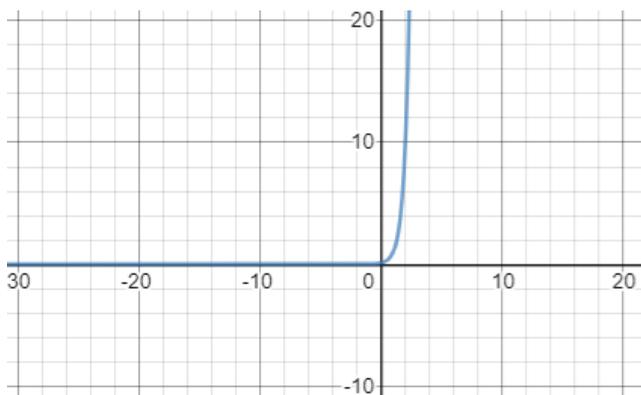


Рис. 2. График функции $N = C \cdot V^i$ для $C = 10\%$

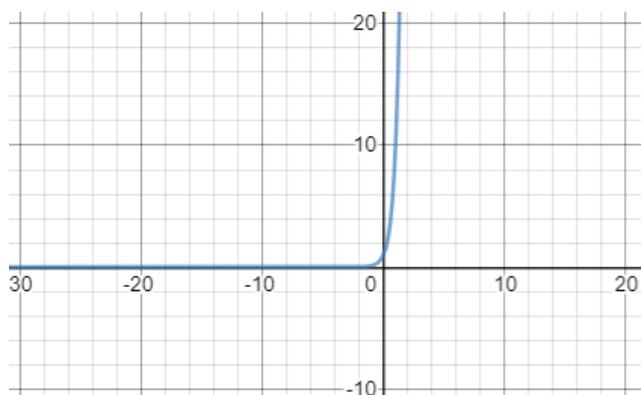


Рис. 3. График функции $N = C \cdot V^i$ для $C = 100\%$

Вопрос наличия шума при принятии решений ИИ в ЭС крайне важен: всегда существует вероятность ложного срабатывания любого из устройств ЭЭ, математическое описание ложного срабатывания вполне можно уместить в уравнение:

$$P(\sum A) = \sum(P(A)). \quad (3)$$

Из формулы (3) для ИИ в ЭС можно вывести аксиому: *вероятность ложного принятия решений ИИ в ЭС напрямую зависит от вероятности ложного срабатывания устройств косвенного и прямого контроля энергосистемы*. Купировать полностью наличие шума невозможно, но купировать ложные срабатывания в энергосистеме допустимо, для улучшения экономического эффекта имеет смысл рассмотреть возможность купирования прямых методов измерения параметров ЭС косвенными методами.

Пусть количество дублирующих линий колеблется в пределах функции D от 0 до 100 % (не будем рассматривать особые объекты ЭС, где количество дублирующих линий может превышать 100 %, такие потребители особой категории надежности зачастую не применяют ИИ для управления энергосистемой).

Для разных устройств ЭС, подстанций и станций функция D может принимать различные величины, формула (3) примет вид:

$$dP(\sum A) = \frac{\sum P(A)}{P(D(t))} \quad (4)$$

Из формулы 4 следует основная аксиома явления шума ИИ в ЭС – *дублирование функции ЭС существенно снижает шум при работе ИИ в ЭС, но не устраняет его*.

На основании вышеописанного можно сделать вывод, что *при применении ИИ в ЭС всегда будет иметь место явление шума*. График зависимости уровня шума в ЭС будет иметь вид (рис. 4).

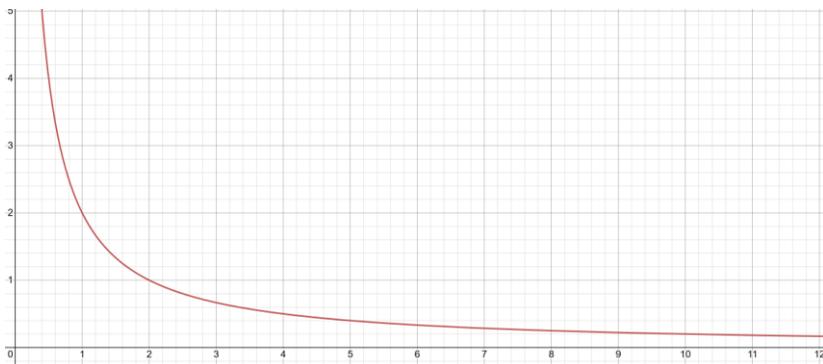


Рис. 4. Снижение уровня шума при дублировании устройств контроля ИИ в ЭС

Наличие такого эффекта, как шум, ставит под вопрос безопасность систем ЭС, применяющих ИИ на любом этапе его развития. Все современные системы имеют устаревшую структуру безопасности, которую можно описать условно «пароль – отзыв». Любой оператор системы имеет пароль доступа и идентификатор. Идентификатор описывает права оператора при работе с системой, а пароль служит лишь подтверждением личности оператора.

Все устройства безопасности направлены на пресечение попыток подбора/сброса/замены идентификатора или пароля с целью получения доступа к системе. Наличие эффекта шума открывает другую дверь, «не закрытую» для входа в систему с «заднего двора». Шум ИИ в ЭС является хаотичным набором сигналов, выявить логику и последовательность этих сигналов очень сложно. С применением теории управляемого хаоса можно разработать алгоритмы, которые путем точечного воздействия на органы контроля смогут управлять энергосистемой, применяя ИИ в качестве основного органа управления. Построение системы безопасности для противодействия эффекту шума ИИ в ЭС – крайне трудоемкий процесс – тут уже не получится применить свод разработанных правил, запретить ИИ выполнять определенные действия либо бездействовать. Механические и электрические блокировки, установленные на одной подстанции / станции питания ЭС, могут легко быть обойдены на другой подстанции / станции, на РП. Направленная РЗА сложных подстанций может быть «обманута» путем подачи обратного потока мощности.

Одним из возможных способов решения вышеуказанной проблемы является применение многослойных перцептронов обратного порядка. Реагирующие элементы многослойного перцептрона заранее известны, это рабочие элементы устройств ЭС, на которые должен, а иногда и воздействует ИИ. Рецепторные элементы X не могут быть просчитаны численными методами, поскольку представляют собой хаотические структуры. Однако путем просчета ассоциативных элементов перцептрона можно получить наборы воздействия на рецепторные элементы, которые могут привести к несанкционированному и ложному срабатыванию реагирующих элементов.

Путем перебора последствий срабатывания рабочих элементов можно легко обучить многослойный перцептрон к выявлению в хаосе шума попыток воздействия на ИИ в ЭС.

Следует отметить, что задача с применением перцептрона является сложной, но решаемой.

Последствиями такого применения может быть существенное снижение уровня шума ИИ в ЭС, даже с уменьшением функции D элементов контроля энергосистемы.

Сведения об авторе

Андриевский Александр Валерьевич – старший преподаватель кафедры ЭМСЭС Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж, e-mail: ander.al@mail.ru

П.В. Лыкасов, К.А. Лейзгольд, С.В. Бочкарев

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ ОБОРУДОВАНИЯ

В статье приводится краткое описание методов прогнозирования состояния оборудования, на основе которых можно разработать автоматизированную систему управления техническим обслуживанием и ремонтом оборудования. Произведен детальный разбор одного из методов – управление рисками. Данная методология является одной из перспективных для анализа состояния оборудования.

Ключевые слова: отказ оборудования, прогнозирование отказов, мониторинг состояния, управление рисками.

P.V. Lykasov, K.A. Leyzgold, S.V. Bochkarev

Perm National Research Polytechnic University, Perm

ANALYSIS OF METHODS FOR PREDICTING EQUIPMENT FAILURES

The article provides a brief description of the methods for predicting the state of equipment, on the basis of which it is possible to develop an automated system for managing the maintenance and repair of equipment. A detailed analysis of one of the methods – risk management – was made. This methodology is one of the promising ones for analyzing the state of equipment.

Keywords: equipment failure, failure prediction, condition monitoring, risk management.

В процессе эксплуатации установок, у различных компаний растет интерес к снижению затрат на техническое обслуживание без ущерба для надежности и безопасности. Ведь любому типу оборудования присуще такое явление, как отказы. Очевидно, что оборудование, которое частично или полностью не в состоянии выполнять свой функционал, ведет к полной неработоспособности всей системы.

Характер изменения параметров установок подразумевает два вида отказов: параметрический отказ, причинами возникновения которого являются старение материалов, износ деталей. Например, снижение

подачи топлива насосом. А также мгновенный отказ, проявляющийся в виде самопроизвольных повреждений (например, трещины и пробои оборудования), ведущий к остановке всей системы.

Параметрический отказ, в отличие от мгновенного, не подразумевает полную остановку работы оборудования, но ведет к возникновению последней. Причины проявления данных явлений заключаются в перегрузках установок, некачественных материалах комплектующих и др. Следовательно, данные факторы увеличивают необходимость детального рассмотрения для оценки возможностей воздействия на них и противодействия их негативному влиянию на работу установок.

Для решения данной проблемы возникает необходимость использования определенной методологии, с помощью которой можно было бы произвести диагностику состояния оборудования заблаговременно до поломки последнего и на ее основе разработать автоматизированную систему управления техническим обслуживанием и ремонтом оборудования.

Анализ опубликованных научных работ зарубежных ученых позволяет выделить три группы различных методов, описание которых приведено ниже [1, 2]. Данные группы методов, а именно управление рисками, мониторинг состояния, расчет надежности (рис. 1), позволяют прогнозировать отказы оборудования до того, как они произойдут.



Рис. 1. Процентное соотношение методов выявления и предотвращения проблем отказов оборудования, используемых за рубежом

Под управлением рисками подразумевается процесс принятия и выполнения управленческих решений, направленных на снижение вероятности возникновения отказов и минимизацию возможных последствий отказа. Данная методика позволяет использование рисков в

качестве основы для определения приоритетов и управления программами проверок, технического обслуживания и эксплуатации [3].

С помощью методологии оценивается влияние инспекции, технического обслуживания и эксплуатации на риск, и моделируются варианты результирующего снижения риска.

Мониторинг состояния – это наблюдение за состоянием объекта с целью выявления и прогнозирования момента перехода в предельное состояние.

Данный метод позволяет значительно снизить затраты на техническое обслуживание [4]. Используя мониторинг состояния, можно заблаговременно обнаруживать потенциально катастрофические неисправности и осуществлять техническое обслуживание на основе условий, а не отказов. Вместо того чтобы выполнять ревизии и капитальные ремонты посредством планового технического обслуживания через фиксированные промежутки времени, эти трудоемкие и дорогостоящие операции можно отложить до тех пор, пока это не будет удобно или необходимо.

Т.е. для практического применения данного метода необходимо наличие цифровой системы сбора данных о состоянии оборудования, которые, в свою очередь, можно будет проанализировать и предпринять определенные действия для предотвращения поломки последнего.

Понятие надежность – это сложное свойство, которое включает в себя безотказность, долговечность, сохраняемость и ремонтпригодность. Например, одним из таких способов расчета надежности является RCM (Reliability-centered maintenance), направленный на взаимосвязь между техническим обслуживанием и ремонтпригодностью [5].

Самым популярным и простым способом расчета надежности является коэффициентный. При коэффициентном методе расчета надежности используются не абсолютные значения λ_i интенсивностей отказов элементов, а их коэффициенты надежности K_i , которые определяются согласно (1):

$$K_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_0}, \quad (1)$$

где λ_i – абсолютное значение интенсивностей отказов элементов; λ_0 – интенсивность отказов базового элемента.

Показатели надежности находятся согласно уравнениям (2) и (3):

$$P(t) = e^{-\lambda_0 \sum_{i=1}^r N_i K_i t_i}, \quad (2)$$

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda_0 \sum_{i=1}^k N_i K_i}, \quad (3)$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы; $T_{\text{ср}}$ – средняя наработка на отказ; N_i – общее число элементов; K_i – коэффициент надежности.

При исследовании опубликованных научных работ ученых Российской Федерации (РФ) также можно выделить три основные группы различных методов, способствующих заранее производить диагностику оборудования – надежность и эффективность, управление рисками, мониторинг состояния (рис. 2) [6, 7].

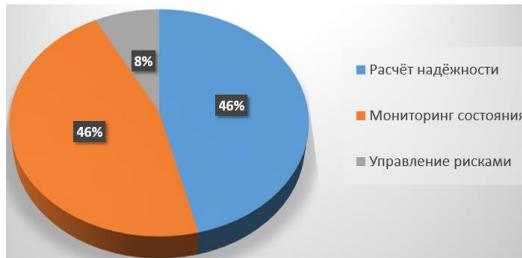


Рис. 2. Процентное соотношение методов выявления и предотвращения проблем отказов оборудования, используемых в РФ

Анализ рис. 1, 2 позволяет прийти к выводу, что свой процентный вклад в методологию исследования предотвращения отказов оборудования среди зарубежных коллег вносит управление рисками, в то время как в России он не пользуется популярностью.

Данный метод является одним из наиболее эффективных в использовании различными компаниями и предприятиями. Он включает в себя несколько направлений.

Одним из методов по оценке рисков является метод «Bow-Tie» (галстук-бабочка). Преимуществом данного метода является его наглядность. Основная идея заключается в том, чтобы отобразить определенный риск, а также все его источники, возможные последствия и прочие связанные с ним сущности [8]. Он позволяет показать связь источников риска «опасность-событие-последствия» и меры управления.

Другим подходом является метод экспертных оценок. Самым известным является метод «Дельфи». Он ориентирован на получения согласованного мнения группы экспертов. Т.е. оценка риска сводится к получению общего мнения экспертов, и как результат, получение

качественного решения проблемы. При оценке степени согласованности используют коэффициент парной корреляции Пирсона.

Еще одним направлением является количественная оценка рисками, которая используется в промышленности. Она применяется при оценке возникновения аварийного состояния конкретного объекта, для которого необходимо определить вероятность отказа с использованием информации о его техническом состоянии

Данную оценку риска применяют в атомной промышленности, в частности для АЭС, где объектом исследования могут являться атомный реактор или трубопроводы контура охлаждения. Производится расчет (таблица), с помощью которого можно оценить риски эксплуатируемого оборудования, и предотвратить возникновение мгновенного отказа всей системы, который влечет за собой негативные последствия.

Параметры, применяемые при количественной оценке рисков

| Параметр | Выражение | Пояснение |
|-------------------------------------|---|--|
| Вероятность разрушения объекта | $P_{\text{факт}}(a) = P(\hat{a}) \cdot P(a_p)$ | $P(a_p)$ – вероятность разрушения корпуса; $P(\hat{a})$ – распределение ошибок измерения |
| Распределение ошибок измерения | $P(\hat{a}) = \frac{1}{2} [1 - \operatorname{erf}(\frac{\hat{a} - \mu}{\sqrt{2\sigma^2}})]$ | $\operatorname{erf}(\hat{a}, \mu, \sigma^2)$ – функция ошибок; μ – среднее значение дефекта; σ^2 – дисперсия измерения размера дефекта; \hat{a} – измеренный размер дефекта |
| Вероятность необнаруженного дефекта | $PnD = 1 - PoD(a)$ | PoD – вероятность обнаруженного дефекта, характеризует неразрушающий контроль (НК). Зависит от качества проведения НК |

В процессе проведения исследования производится расчет вероятности разрушения при обнаружении критического дефекта (4) и при необнаружении (5):

$$P_{\Sigma 2} = 1 - [1 - PoD(a_m)][1 - PoD(a_{lbb})], \quad (4)$$

$$P_{\Sigma 2} = 1 - [1 - PoD(a_m)][1 - PoD(a_c)], \quad (5)$$

где $P_{\Sigma 2}$ – суммарная вероятность отказа технического устройства; a_m – обнаруженный дефект максимального размера; a_{lbb} – пропущенный дефект, в виде сквозного отверстия; a_c – пропущенный дефект критического размера.

Как уже было сказано выше, анализ данных и все расчеты производит АСУ, в основе которой лежит структура используемого метода. На рис. 3 представлена обобщенная блок-схема [9], на которой строится структура АСУ, используемая для оценки и управления рисками. Приведенная на рис. 3 схема автоматизированной системы управления универсальна, поэтому подходит для большинства объектов.

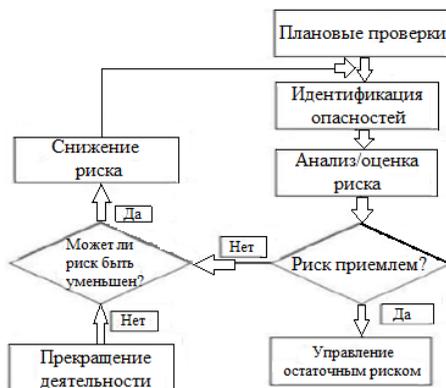


Рис. 3. Обобщенная блок-схема, лежащая в основе АСУ управления рисками

Стоит отметить, что метод управления рисками является очень перспективным, т.к. он позволяет рассмотреть и проанализировать все возможные риски, а также предусмотреть последующие шаги по их предотвращению. Таким образом, использование данного метода позволяет снизить затраты на ремонт оборудования, предотвратить как его поломку, так и выход из строя всей системы производства.

Библиографический список

1. Srimongkolkul V. Why a proactive maintenance program for hydraulic oil is part of statistical process control // Lubrication Engineering. – 1997. – Vol. 53 (4). – P. 10–14.
2. Oberwinkler C., Stundner M. From real-time data to production optimization // SPE Production and Facilities. – 2005. – Vol. 20, № 3. – P. 229–239.
3. Risked Based management – new approaches for safer and more effective operations // 15 th World Petroleum Congress Proceedings. – 1997. – P. 562–564.

4. Rughooputh H.C.S., Rughooputh S. A Computer-Vsion Based Technique for Condition Monitoring of Power Transformers // Proceedings of the Joint Conference on Information Sciences. – 2000. – Vol. 5, № 2. – P. 273–275.

5. Allen R.R. Importance of maintainability in maintenance cost management // Proceedings of the ASME/JSME International Conference on Nuclear Engineering., ICONE. – 1996. – Vol. 4. – P. 83–87.

6. Ефимов П.В., Щербатов И.А. Алгоритм идентификации явных дефектов технологического оборудования в энергетике на основе нейросетевой модели // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер. Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2018. – Т. 8, № 2 (27). – С. 32–40.

7. Байков И.Р., Китаев С.В., Файрушин Ш.З. Оценка показателей надежности насосов типа НК, НКВ и НПС // Надежность. – 2016. – № 4. – С. 11–16. DOI: 10.21683/1729-2646-2016-16-4-11-16

8. Методы оценки риска: диаграмма «галстук-бабочка» [Электронный ресурс]. – URL: <https://upravlenie-riskami.ru/метод-галстук-бабочка-в-оценке-риска/> (дата обращения: 30.11.2022).

9. Bochkarev S., Leyzgold K., Shilova S. Application of the «bow-tie» method to assess the risk of incapacitation of the sucker rod pump. Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – 1886 (1). DOI:10.1088/1742-6596/1886/1/012012

Сведения об авторах

Лыкасов Павел Владимирович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: lykasov.pavel@mail.ru

Лейзгольд Карина Анатольевна – старший преподаватель кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: leizgold_ka@pstu.ru

Бочкарев Сергей Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: bochkarev@msa.pstu.ru

А.Ю. Агапов, Н.В. Сорокина, А.В. Васильков

Пензенский государственный технологический университет, Пенза

ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ОСУШКИ ГАЗА

В статье сравниваются два метода осушки природного газа: абсорбционный и адсорбционный. Приводятся их преимущества и недостатки, на основании которых выстраиваются требования к проектированию и внедрению автоматизированной системы управления технологическим процессом осушки природного газа.

Ключевые слова: абсорбция, адсорбция, осушка газа, проектирование, автоматизированная система управления.

A.Yu. Agapov, N.V. Sorokina, A.V. Vasilkov

Penza State Technological University, Penza

FEATURES OF GAS DRYING AUTOMATION

The article compares two methods of natural gas drying: absorption and adsorption, provides their advantages and disadvantages, based on which the requirements for the design and implementation of an automated control system for the technological process of natural gas drying are built.

Keywords: absorption, adsorption, gas drying, design, automated control system.

Путь энергетических ресурсов от далеких недр к нашей розетке или баку автомобиля сложный, многоступенчатый процесс, включающий в себя: добычу, хранение, транспортировку и использование ресурсов. На всех этапах производства энергоресурсов требуется соответствующий уровень автоматизации технологического процесса, т.к. высоки риски взрывов, отравлений, техногенных катастроф.

На этапе использования топлива как энергоресурса, например, на теплоэлектроцентралях после транспортировки газа, актуально применение осушителей.

Осушка газа – это технологическая операция, которая приводит к удалению влаги (конденсата, паров) из газов и газовых смесей, и позволяет повысить качество топлива и коэффициент полезного действия (КПД) процесса горения. Ввиду высокой взрывоопасности процесс автоматизации осушки газа требует особых подходов. Важно отметить,

что влагу и другие примеси из газа можно удалить физическим и химическим методами или их сочетаниями в зависимости от требований технологического процесса (ТП), что также влияет на сложность разработки и внедрения автоматизированной системы управления (АСУ).

В настоящее время существуют две большие группы технологий осушки газов:

- абсорбционная – технология с применением жидких поглотителей;
- адсорбционная – технология с применением твердых поглотителей.

Абсорбционный метод применяют для умеренного удаления влаги из газа для дальнейшей его транспортировки. Самым распространенным методом абсорбции влаги из природного газа является гликолевая осушка (рис. 1), она позволяет достичь показателей ТТР (температуры точки росы) в пределах $-10\dots-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

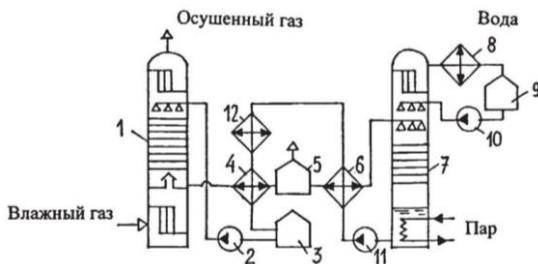


Рис. 1. Функциональная схема абсорбционной осушки газа

Установка для абсорбционной осушки газа состоит из абсорбера 1, насосов 2, 10, 11, емкостей 3, 9, теплообменников 4, 6, выветривателя 5, десорбера 7, конденсатор-холодильника 8 и холодильника 12.

Стоит отметить, что существуют модификации гликолевых осушек с показателями ТТР до $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, но оборудование для таких модификаций стоит в разы дороже [1]. Преимущества и недостатки применения абсорбционного метода осушки природного газа приведены в табл. 1.

Удаление влаги из газов методом адсорбции применяется в основном для глубокой осушки при дальнейшем сжижении газов, в том числе при низких температурах или при использовании в качестве топлива (рис. 2). Преимуществом данного метода осушки является то, что попутно возможно удаление и других примесей (углеводородов, кислых газов и пр.).

Преимущества и недостатки адсорбционного метода осушки

| Преимущества | Недостатки |
|--|--|
| Низкие перепады давления | Необходимость повышения температуры газа до 40 °С |
| Низкие эксплуатационные расходы | Осушка газа средней степени. ТТР –10...–20 °С |
| Возможность осушения газов и газовых смесей, содержащих высокие концентрации веществ, разрушающих твердые сорбенты | Работа с жидкими средами, в результате чего появляется высокая вероятность вспенивания поглотителей влаги, появления протечек или образования твердых отложений в системе циркуляции |
| Возможность многокомпонентной очистки газа | Дорогостоящая модернизация и модификация оборудования |

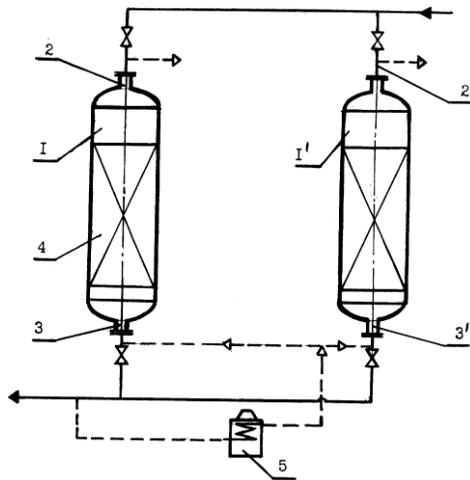


Рис. 2. Функциональная схема адсорбционной осушки газа

Установка для адсорбционной осушки состоит из адсорбера *I*, работающего в режиме адсорбции, со штуцерами подачи сырого газа *2*, выхода осушенного газа *3* и с размещенным в нем слоем сорбента *4*, адсорбера *I'*, работающего в режиме регенерации, со штуцером подачи осушенного подогретого газа *3'*, штуцером выхода насыщенного потока газа *2'* и подогревателя осушенного газа *5*.

Адсорбционный метод осушки природного газа предполагает использование в качестве адсорбента цеолита, силикагеля или активированного алюминия. Такой метод позволяет достичь показателей ТТР без дополнительных модификаций $-40\dots-100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Преимущества и недостатки применения адсорбционного метода осушки природного газа приведены в табл. 2.

Таблица 2

Преимущества и недостатки адсорбционного метода осушки

| Преимущества | Недостатки |
|---|--|
| Продолжительный срок службы адсорбента | Большие капитальные вложения и эксплуатационные затраты |
| Качество осушки не снижается при перепадах температуры и давления | Периодическая осушка, очистка или замена самого адсорбента |
| Сам процесс осушки достаточно простой | Необходимость обеспечения высокой надежности непрерывного технологического процесса |
| Низкая точка росы и высокая ее депрессия ТТР $-40\dots-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ | Также нецелесообразна многокомпонентная очистка газа с высокими концентрациями удаляемых веществ |

При проектировании АСУ ТП следует определиться с методом осушки газа, который планируется применять на предприятии. Необходимо учитывать плюсы и минусы обоих методов, например, при применении абсорбционного метода потребуется оборудование для работы с жидкими средами, а также при этом должны учитываться природные факторы, т.к. поддерживается температура газа в $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и его ТТР в пределах $-10\dots-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однако абсорбционным методом помимо влаги можно удалять сопутствующие примеси при больших концентрациях. Напротив, у адсорбционного метода ТТР в пределах $-40\dots-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и не требуется дополнительно подогревать газ, но таким методом нельзя удалять сопутствующие загрязнения при их больших концентрациях.

Рассматривая применение технологии осушки газов для автомобильной газонаполнительной компрессорной станции, предпочтение следует отдать адсорбционному методу, исходя из условий эксплуатации и фактически достаточно очищенного газа от посторонних примесей. Ввиду того, что осушка проводится для взрывоопасных газов, и в процессе осушки возникают перепады давления и температуры,

оборудование, применяемое для автоматизации процесса осушки природного газа, должно быть надежным, взрывозащищенным и взрывобезопасным. Отсюда появляются следующие требования к проектированию АСУ ТП и используемому оборудованию:

- процесс регенерации осуществляется в закрытом контуре;
- в состав включаются логические схемы автоматического типа по контролю и управлению всей системой;
- надежность и безопасность станции осушки должна быть достаточно высока;
- обслуживание и использование такой установки не должно быть усложненным;
- процесс и оборудование должны быть рассчитаны на функционирование на максимальной мощности в условиях изменчивости окружающей среды [2].

Следовательно, оборудование при проектировании АСУ ТП нужно разделить на три зоны по месторасположению:

1. Вне взрывоопасной зоны размещаются автоматы защиты и источники бесперебойного питания, вспомогательное оборудование (НМИ-панели).

2. Внутри взрывоопасной зоны размещаются датчики, электродвигатели, нагревательные элементы, ресиверы.

3. Вблизи взрывоопасной зоны внутри взрывозащищенных шкафов размещаются блоки питания, реле, модули аналогового входа/выхода, автоматы защиты, панели оператора.

Также для снижения финансовых расходов и улучшения обратной связи оператора с системой целесообразно использовать сенсорные графические панели оператора (НМИ-панели) и серверные устройства по типу Weintek. Преимуществами данного оборудования являются:

- невысокая стоимость;
- качественное и надежное оборудование;
- бесплатное программное обеспечение;
- высокая адаптивность оборудования под особенности АСУ ТП;
- простота установки, настройки и работы [3].

В результате автоматизированная система управления технологического процесса осушки газа после внедрения должна выполнять качественно и безопасно задачу по осушке газа в заданных параметрах с минимальными энергетическими и материальными затратами.

АСУ ТП учитывает внешние воздействия и нивелирует их в автоматическом режиме, при этом качество технологического процесса не снижается. Разделение оборудования по зонам обеспечивает доступность обслуживания и ремонта, безопасность работы сотрудников, исключает техногенные аварии и уменьшает риски появления аварийных ситуаций.

Библиографический список

1. Тараканов Г.В., Мановян А.К. Основы технологии переработки природного газа и конденсата: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2010. – 192 с.
2. Блочно-модульное оборудование для газопереработки [Электронный ресурс]. – URL: <https://gazsurf.com/ru/>
3. Сенсорные операторские панели Weintek [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.weintek.ru/>

Сведения об авторах

Агапов Александр Юрьевич – студент кафедры «Автоматизация и управление» Пензенского государственного технологического университета, г. Пенза, e-mail: agapoww@inbox.ru

Сорокина Надежда Викторовна – инженер-программист 2-й категории проектного офиса АО «НПП Рубин», г. Пенза, e-mail: n3s5v7@rambler.ru

Васильков Александр Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация и управление» Пензенского государственного технологического университета, г. Пенза, e-mail: vassilkov@mail.ru

Д.А. Самарин, А.А. Широков

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

МОДЕРНИЗАЦИЯ РОТАЦИОННОГО ТАБЛЕТОЧНОГО ПРЕССА MODUL S ФИРМЫ GEA С ПРИМЕНЕНИЕМ СТРАТЕГИИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ

В работе рассматривается методика модернизации электроники ротационного таблеточного пресса путем импортозамещения структурных элементов системы, получение которых затруднено из-за санкций. Описывается метод определения характеристик элементов системы российского производства, наиболее соответствующих используемым в оборудовании.

Ключевые слова: импортозамещение, методы исследования аналогов структурных элементов системы, ротационный таблеточный пресс, система автоматического управления таблеточным прессом, фармацевтическая промышленность.

D.A. Samarin, A.A. Shyrovok

Perm National Research Polytechnic University, Perm

MODERNIZATION OF A GEA MODUL S ROTARY TABLET PRESS USING THE ELECTRONICS IMPORT SUBSTITUTION STRATEGY

The paper considers a technique for modernizing the electronics of a rotary tablet press by import substitution of the structural elements of the system, which are difficult to obtain due to sanctions. A method for determining the characteristics of Russian-made system elements that are most appropriate for those used in equipment is described.

Keywords: import substitution, methods for studying analogues of the structural elements of the system, rotary tablet press, tablet press automatic control system, pharmaceutical industry.

Интенсивное использование зарубежной техники, в том числе в области фармакологии, неизбежно приводит к проведению технического обслуживания и ремонта этой техники. При этом, если механическая часть оборудования имеет большой ресурс и возможности изготовления деталей на местах, то замена оригинальной электроники

представляет серьезную проблему. Проблема усугубилась в связи с введением санкций на поставку такого оборудования.

Наверное, есть возможность наладить поставки по альтернативным маршрутам, но, во-первых, это значительно дольше и, во-вторых, дороже. Остается выход: наладить собственное производство, либо подобрать наиболее подходящие по параметрам выпускаемые у нас электронные устройства.

Для рассматриваемого в данной статье объекта – ротационного таблеточного пресса Modul S фирмы GEA важным аспектом по предотвращению простоя установки во время ремонта является сокращение затрат ресурсов, направленных на мероприятия по замене неисправного оборудования.

На сегодняшний день ротационный таблеточный пресс Modul S фирмы GEA состоит полностью из бельгийских компонентов, которые при отказе должны быть заменены на компоненты бельгийских же производителей [1]. Использование оригинальных запчастей, элементов, приборов поставщика позволяет правильным образом обслуживать установку, что способствует корректному исполнению требуемых от пресса функций. Процесс импортозамещения не должен привести к ухудшению технологического процесса и конечного продукта.

Выделим компоненты электронного оборудования таблеточного пресса Modul S, для которого необходимо выбрать российские аналоги [1]:

- блокировочные (импульсные) реле;
- индуктивные датчики положения;
- энкодеры;
- тензометрические датчики;
- датчики смещения;
- индуктивные датчики;
- фотоэлектронные датчики;
- контроллер;
- частотно-регулируемые приводы.

Анализ структурных элементов системы позволяет определить характеристики оригинальных компонентов, являющихся критериями при выборе оборудования отечественных производителей.

В методике подбора отечественных аналогов оцениваются два основных компонента.

Первый компонент – схожесть характеристик. В идеале пределы измерений, класс точности, частота преобразования, формат выходных сигналов должны соответствовать оригиналу. При отсутствии датчиков с такими параметрами целесообразно выбирать устройства, перекрывающие эти параметры.

Целесообразно также проанализировать технологический процесс с целью уточнения этих характеристик. Вполне вероятно, это позволит улучшить технологические процессы и повысить качество продукции. Оценить это можно путем моделирования и проверки натурными экспериментами.

Функционал устройства, подбираемого на замену, должен обеспечивать должное исполнение возложенных на него задач. Например, фотоэлектронный датчик, выполняющий функцию детектора взвесей пыли, которые могут оказаться в компрессионном отделе, в оригинальной сборке функционирует с применением диффузного принципа действия [2]. Таким образом, заменяющий элемент в целях оптимального управления процессом необходимо подбирать с подобным методом измерения. Частота срабатывания у блокировочного реле в оригинальной сборке достигает 5000 Гц. Подбираемое на замену реле должно обеспечивать ближайшее к нему значение частоты, иначе процесс производства снизится в качестве, т.к. не будет успевать обрабатывать сигналы с заданной скоростью [3].

Вторым критерием выбора является конструктивное исполнение датчиков. Способы подключения датчиков, габаритные размеры и другие конструктивные особенности могут ограничить их применение из-за невозможности их установки. Конструктивное исполнение прибора – проблема, с которой может столкнуться работник, осуществляющий монтажные работы по интеграции аналогов в систему. Несоблюдение конструктивного исполнения устройства нарушает его внедрение в систему, что противоречит целям и задачам импортозамещения элементов.

Оригинальный емкостной датчик имеет электрическое присоединение кабелем PVC и монтируется в установку незаподлицо. Таким образом, некорректный подбор датчика на замену не позволит интегрировать элемент в систему, т.к. он не подойдет в отведенный для него разъем [4].

При разработке методики импортозамещения необходимо оценить влияние отказа каждого элемента на работоспособность всей системы. Результаты анализа позволят выделить наиболее подходящие замены приборы.

Для поиска отечественных аналогов структурных элементов были использованы открытые источники с информацией о приборе, его назначении и характеристиках. Подобранные аналоги должны обеспечивать измерение в требуемых для элемента границах, соответствие конструктивного исполнения элементу, находящемуся в системе, корректную связь с системой управления процессом с соответствующим протоколом, логическими уровнями и питанием устройства.

Произведя анализ по найденным в открытых источниках характеристикам структурных элементов, выполняется подбор аналогов отечественного производства, отображенный в таблице.

Соответствие оригинальных датчиков и российских аналогов

| Название элемента | Оригинал (Бельгия) | Аналог (Россия) |
|--|--|--|
| Блокировочное реле | SCHMERSAL AES1235 (24VDC) | РИО-2 АСДС24В УХЛ4 |
| Индуктивный датчик положения | Balluff BES 516-3005 | ВБИ-Д06-45У-1112-3 |
| Датчик положения (энкодер) № 1 | KUEBLER 5870 | ЛИР-ДА190К |
| Датчик положения (энкодер) № 2 | KUEBLER 5882 | ЛИР-ДА190К |
| Тензометрический датчик (финальной компрессии) | LOAD CELL 50.000LBS WITH CONNECTOR E-EO2L290050KAL1G | АЭМЗ ДСТЦ-09 |
| Тензодатчик (силы выброса таблетки) | HONEYWELL SENSOTEC LFH-71 2000 | К-О-10В |
| Датчик смещения | Sentech 75DC-050 | ТС 75, Датчик смещения/хода 75 mm 5 kΩ |
| Емкостный датчик | Effector KD-3060 | ВВЕ-Ц30-96С-2121-3А |
| Фотоэлектронный датчик № 1 | Balluff BOS 12M-PS-1QA-S4-C | ВБО-М18-76В-7113-СА |
| Фотоэлектронный датчик № 2 | Balluff BOS 12M-PS-1PD-S4-C | ВБО-М18-76К-5113-СА |
| Фотоэлектронный датчик № 3 | Balluff BOS 5K-PO-IX10-S75 | ВБО-М18-76В-9113-СА |
| Контроллер | Siemens S7 300 CPU 6ES7317-2ЕК14-0АВ0 | FASTWEL CPM704 (PROFIBUS DP-V1) |
| Частотно-регулируемый привод | Danfoss FC-302 | Erman E-VC-800 |
| Не подходящие под импортозамещение элементы | | |
| Индуктивный датчик № 1 | Balluff BES 516-324 | |
| Индуктивный датчик № 2 | Balluff BES 516-325 | |

Анализ характеристик импортных и отечественных датчиков позволяет сделать вывод, что большинство датчиков могут быть заменены отечественными аналогами.

Библиографический список

1. Руководство пользователя для ротационного таблеточного пресса типа ModulTMS с интерфейсом MC5: Руководство пользователя, ModulTMS версии V0x00x06 / переведенный оригинал инструкции – апрель 2018 г. – © GEA.

2. BOS0045 Оптические щупы [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.balluff.com/ru-ru/products/BOS0045> (дата обращения: 09.11.2022).

3. Schmersal. Микропроцессорные контроллеры безопасности (Series AES) – AES 1235 [Электронный ресурс]. – URL: <https://schmersalgroup.ru/product/schmersal-mikroprocessornye-kontrollery-be-52/> (дата обращения: 09.11.2022).

4. KD5022 KD-3060-BPKG/NI KD-3060-BPKG/NI [Электронный ресурс]. – URL: http://www.kubtrade.ru/ifm_description.php?id=4689 (дата обращения: 09.11.2022).

Сведения об авторах

Самарин Дмитрий Александрович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИСУП-21-1м, г. Пермь, e-mail: samar.dima@mail.ru

Широков Александр Аркадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные системы автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shirokov@pstu.ru

П.Ю. Шмелев, Е.В. Долгова, И.А. Мальцев

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ГРАФА
ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПУТИ С УЧЕТОМ
ПРИРОДЫ ПРЕПЯТСТВУЮЩИХ ОБЪЕКТОВ**

В этой статье исследуется возможность и один из способов определения коэффициентов вершин графа для решения задачи поиска оптимального пути с учетом природы препятствующих объектов. В качестве параметров для расчета коэффициента были рассмотрены такие физические величины, как: «Плотность», «Вязкость», «Масса», «Площадь», «Объем», «Высота» и «Кривизна» объекта. Были проанализированы возможности их применения и выдвинута формула для расчета коэффициента, эффективность которой будет опробована в последующих исследованиях.

Ключевые слова: построение оптимального пути, коэффициенты графа, характеризующие параметры объекта, формула расчета коэффициента.

P.Yu. Shmelev, E.V. Dolgova, I.A. Maltsev

Perm National Research Polytechnic University, Perm

**DETERMINATION OF THE COEFFICIENTS OF THE OBJECT
IDENTIFICATION GRAPH FOR SOLVING THE PROBLEMS
OF DETERMINING THE OPTIMAL PATH, TAKING INTO
ACCOUNT THE NATURE OF THE OBSTRUCTING OBJECTS**

This article explores the possibility and one of the ways to determine the coefficients of the vertices of the graph to solve the problem of finding the optimal path, taking into account the nature of the obstructing objects. As parameters for calculating the coefficient, such physical quantities as: "Density", "Viscosity", "Mass", "Area", "Volume", "Height" and "Curvature" of the object were considered. The possibilities of their application were analyzed and a formula for calculating the coefficient was put forward, the effectiveness of which will be tested in subsequent studies.

Keywords: optimal path construction, graph coefficients characterizing object parameters, coefficient calculation formula.

С развитием цифровых технологий развивается индустрия программного обеспечения. Эту возможность используют компании для создания приложений-тренажеров, чтобы снизить вероятность поломки сотрудником в силу своей неопытности. Данные системы должны не только имитировать реалистичность проходящих процессов, но и демонстрировать пользователю траекторию оптимального пути. Обучать построению оптимального пути необходимо на этапе тренажера, потому как если этого не сделать – дополнительное обучение и практика может отразиться на бюджете компании. Впоследствии обученный на данном тренажере сотрудник, основываясь на полученном опыте, самостоятельно будет принимать решение о траектории оптимального пути. Это позволит снизить затраты и повысит КПД работника сразу же после прохождения им тренажера, а автоматизация процесса обучения позволит обучать систему без непосредственного участия человека.

Из сказанного выше можно сделать вывод, что для создания подобной системы необходимо реализовать два инструмента – имитация реалистичности проходящих процессов и построение оптимального пути с учетом природы препятствующих объектов. Первый инструмент успешно реализован во многих «движках», в частности игровых, таких как Unity и Unreal Engine. Второй же инструмент реализован частично. Уже давно известны алгоритмы решения задачи построения оптимального пути, но они решаются на основе имеющихся данных. Грубо говоря – для решения задачи должны быть известны параметры графа. Таким образом, решение задачи построения оптимального пути с учетом природы препятствующих объектов сводится к поиску коэффициентов препятствующих объектов для заполнения графа, который можно будет подсчитать уже известными методами.

Актуальность работы заключается в предложенной методике определения коэффициентов вершин графа, основываясь на свойствах объекта и имеющейся базе знаний. Данная методика будет применяться для тренажеров. На основе данного метода в дальнейшем планируется разработать систему построения оптимального маршрута, которая будет учитывать природу препятствующих объектов.

Для того, чтобы перейти непосредственно к решению задачи построения оптимального пути, необходимо определить параметры графа. Для вычисления параметров графа необходимо определиться с критериями. Данные критерии должны отражать сущность объекта,

его структуру, а также однозначно его идентифицировать. Еще Архимед в своих работах писал, что «зная массу некоторого тела и его объем, можно сделать вывод, из какого материала сделано это тело». Здесь речь идет о плотности. Исходя из определения «Плотность – скалярная физическая величина, определяемая как отношение массы тела к занимаемому этим телом объему или площади (поверхностная плотность)» [1], получается, что первый параметр, который будет участвовать в расчете критериев – **«плотность»**. Но стоит отметить, что не всегда тело является однородным. Поэтому необходимо ввести определение «средней плотности». Средняя плотность – масса единицы объема материала в естественном состоянии (вместе с порами и пустотами) [2]. При определении плотности необходимо определить – однородно тело, или нет. Если оно неоднородно, то в качестве показателя «плотность» будет выступать «средняя плотность».

Если судить по опыту, плотность нефти выше плотности воды, но преодолеть препятствие из нефти будет сложнее, чем из воды. Введем показатель **«вязкость»**, который будет использоваться для жидкостей.

Однако недостаточно просто знать плотность объекта. Очевидно, что два тела могут иметь одинаковую плотность, но иметь разные размеры и, соответственно, объем. Поэтому в качестве второго параметра будет выступать **«масса»**. «Объем» брать не будем, потому как данный параметр будет излишним в силу того, что его можно вычислить на основе двух предыдущих. К тому же, в большинстве случаев, легче вычислить «массу», чем объем, в силу того, что в большинстве случаев объект может иметь произвольную форму. В исключительных ситуациях, можно «массу» представить через объем. Например, в случае, если объект имеет большие размеры (водоем, туман и т.д.).

Стоит обратить внимание, что объекты одинаковыми параметрами «плотность» и «масса» – могут отличаться. С помощью формулы плотности можно идентифицировать всего лишь материал объекта, но не сам объект. В качестве примера можно сравнить «стекло» и «стакан», из которого он сделан. Можно ввести параметр «кривизна», но к сожалению, в большинстве случаев будут попадаться сложные объекты, для которых вычисление параметра определения его формы будет сводиться к уровню задачи на несколько порядков выше. В качестве альтернативы возьмем параметр **«площадь»**, которую занимает объект на местности. Если объект будет находиться в воздухе, то в качестве параметра будет использоваться площадь его проекции на местность.

Пористость – важный показатель. Чем больше в объекте пустот, тем меньше его плотность и, соответственно, его легче пройти. Но если меняется пористость, то меняется и плотность, поэтому данный параметр не учитывается.

Так же необходимо знать «**высоту**» объекта. «Площадь» и «высоту» объединять в показатель «объем» не будем, потому как объекты одинакового объема могут иметь разную протяженность, что должно показывать разные коэффициенты сложности. Для этого каждый параметр должен иметь собственный коэффициент, который в дальнейших вычислениях будет подбираться. Добавим показатель «высота» в общий перечень параметров. Конечно же, это не полный список. В процессе дальнейшего исследования и проведения экспериментов данный список будет пополняться.

Таким образом, можно сделать вывод, что идентифицировать объект можно по таким параметрам, как: «плотность», «масса» и занимаемая «площадь» объектом.

Показатели определены. Теперь необходимо их связать в виде формулы, чтобы получился коэффициент.

Введем обозначение k_s , которая будет обозначать сложность прохождения данного препятствия. Так же введем обозначения ρ – «плотность», m – «масса», S – «площадь», v – «вязкость» (для жидкостей), h – «высота» объекта.

Как известно, чем выше плотность, тем сложнее будет пройти объект. Чем больше масса, тем сложнее будет пройти объект. Чем больше занимаемая площадь, тем сложнее будет пройти объект (или обойти его). Если один из показателей окажется нулевым, то, соответственно, результат так же должен быть нулевым ($k_s = 0$). Следовательно, между показателями должны быть операторы «умножение». В качестве основы систем исчисления возьмем систему «Си». Таким образом, получим формулу

$$k_s = \rho \cdot m \cdot S \cdot v \cdot h.$$

Т.к. нет никаких доказательств в достоверности полученных результатов, вычисленных с помощью данной формулы, – необходимо это определить практическим путем. Для примера возьмем водоем, наполненный обычной водой, и овраг, который, предположим, будет наполнен мазутом. Введем допущение, что занимаемая площадь

(30 м²) и высота (1 м) в обоих случаях одинакова. В табл. 1 представлен расчет коэффициента сложности прохождения. Для нормирования результатов умножим результат на 10⁻⁶.

Таблица 1

Вычисление коэффициента сложности k_s для примера с водоемом

| Наименование показателя | Вода | Мазут |
|--------------------------------------|--------|-----------|
| Плотность (кг/м ³) | 1000 | 990 |
| Масса (кг) | 30 000 | 29 700 |
| Площадь (м ²) | 30 | 30 |
| Высота (м) | 1 | 1 |
| Вязкость (10 ⁻³ кг/(с·м)) | 1,05 | 38,7 |
| Результат: k_s | 945 | 34 136,88 |

Как и следовало ожидать, через мазут будет пройти сложнее. О том, что сложнее пройти в 35 раз подтверждается тем, что вязкость мазута больше в 38 раз, что примерно сопоставимо с полученными результатами.

Полученные коэффициенты могут сильно отличаться от реальных значений. Необходимо провести эксперименты по определению точности, чтобы говорить о работоспособности определения коэффициентов. Сейчас же, решив данную задачу с полученными коэффициентами, мы можем на основе собственного опыта судить не о точности, а о результате выбора оптимального пути. На рис. 1 представлен граф с заполненными коэффициентами вершин графа.

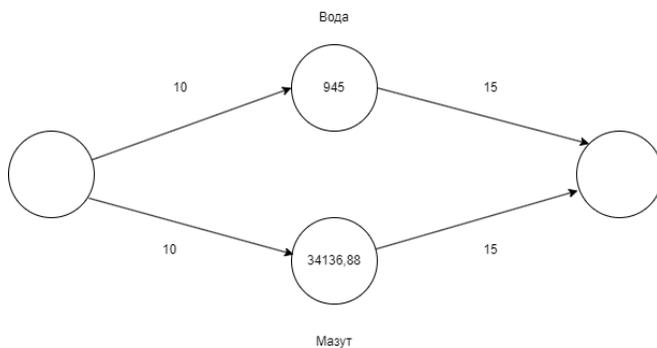


Рис. 1. Заполненный граф полученными коэффициентами для примера 1

Теперь для наглядности возьмем другой пример. Будем сравнивать воду и металл. В предыдущем примере действие, которое выполнялось над обоими объектами – «преодоление». Здесь же будет применяться действие «перемещение». В перспективе дальнейшего исследования планируется ввести показатель, отражающий вид действия над объектом. Для того чтобы переместить объект, такой параметр, как «вязкость», для жидкости нам не нужен. Для сравнения возьмем три объекта: вода, которая занимает большую площадь (предположим, что она находится в большом невесомом полиэтиленовом пакете), кусок металла, лист металла. В табл. 2 представлен расчет коэффициента для трех объектов.

Таблица 2

Расчет коэффициента сложности для трех объектов

| Наименование показателя | Вода | Кусок металла | Лист металла |
|--------------------------------|------|---------------|--------------|
| Плотность (кг/м ³) | 1000 | 7900 | 7900 |
| Масса (кг) | 10 | 10 | 10 |
| Площадь (м ²) | 0,1 | 0,013 | 0,253 |
| Высота (м) | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Результат: k_s | 100 | 102,7 | 1998,7 |

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы. В то время, как плотность воды меньше – из-за огромной площади проекции пакет с водой (30×30 см) было переносить сложно так же, как и кусок металла. Кусок металла имеет меньшую площадь проекции, а это значит, он более собран и его легче переносить, чем лист металла толщиной 5 мм. Так же как и в предыдущем случае, вычислив коэффициенты, можно построить граф.

На рис. 2 представлен граф с заполненными вершинами.

Полученные результаты пока еще не говорят о работоспособности формулы и могут отличаться от реальных. При последующем дополнении модели данные будут приближаться к достоверным. Пока что данные результаты позволяют выбрать оптимальный путь не количественно, а только лишь качественно. Для достоверности необходимо провести эксперименты по определению точности на практике.

В качестве перспективы дальнейшего проведения исследования намечено дополнение выдвинутой формулы такими параметрами, как: «действие над объектом», потому как воздействовать на объект воз-

можно тремя способами: «преодолеть» (пересечь его), «перемещение», «обход». При введении данного показателя сравнивать сложности преодоления препятствия с разным характером воздействия.

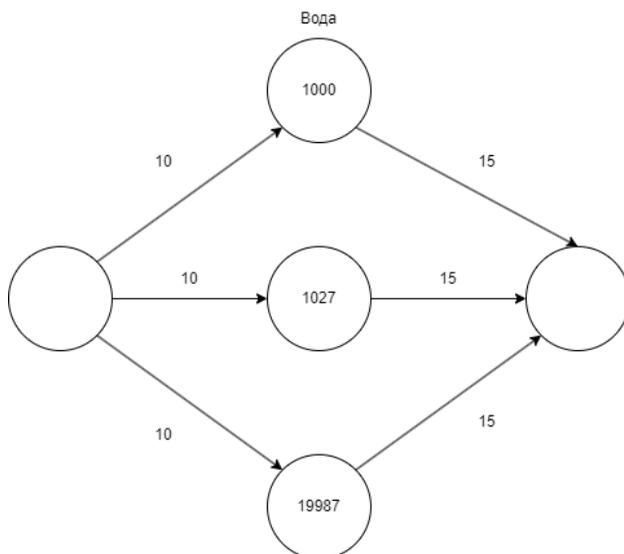


Рис. 2. Готовый граф для решения задачи поиска оптимального пути

Также планируется разработать информационную систему с применением нейронных сетей для определения выявленных ключевых показателей идентификации объекта.

Таким образом, в ходе проведения исследования были выделены ключевые показатели идентификации объектов, выдвинули формулу расчета коэффициента сложности преодоления препятствия, намечены дальнейшие перспективы исследования.

Библиографический список

1. Плостность. Большая советская энциклопедия. – Т. 1. – 303-е изд. Глав. ред. А.М. Прохоров. – М.: Сов. энциклопедия, 1969. – 432 с.
2. Свойства строительных материалов и изделий: метод. указания к лабораторным работам / Ф.Л. Капустин, А.М. Спиридонова, В.Л. Жулидов, В.Б. Ежов. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2005 – 35 с.

Сведения об авторах

Шмелев Павел Юрьевич – аспирант кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИТТ-22-а, г. Пермь, e-mail: schmelev.pacha.kz@yandex.ru

Долгова Елена Владимировна – доктор экономических наук, профессор кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shagrata@mail.ru

Мальцев Илья Анатольевич – аспирант кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, инженер-конструктор Пермской научно-производственной приборостроительной компании, г. Пермь, e-mail: malcevilia18.08.1997@mail.ru

О.А. Билоус, В.И. Бельчик

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

СИНТЕЗ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ РЕАГЕНТА НА УЧАСТКЕ ФЛОТАЦИИ

В работе рассматривается математическое описание элементов системы управления подачей реагента на участке флотации и расчет параметров регулятора. Показаны результаты моделирования для ручного и автоматического регулирования положения задвижки.

Ключевые слова: система автоматического управления, регулирующие клапаны, ПИ-регулятор.

O.A. Bilous, V.I. Belchik

Perm National Research Polytechnic University, Perm

SYNTHESIS OF AN AUTOMATIC REAGENT SUPPLY CONTROL SYSTEM AT THE FLOTATION SITE

The paper considers the mathematical description of the elements of the reagent supply control system at the flotation site and the calculation of the regulator parameters. The simulation results for manual and automatic adjustment of the valve position are shown in the article.

Keywords: automatic control system, control valves, PI-regulator.

Одна из основных задач, решаемых путем автоматизации процесса на участке флотации отделения обогащения сильвинитовой обогатительной фабрики, – правильная дозировка реагентов, используемых при флотации. Это, в свою очередь, влияет на качественные показатели: чистоту продукта, степень выхода, производительность оборудования и т.д. В настоящий момент реагенты дозируются в соответствии с режимными картами при помощи механических задвижек. Измерение объемного расхода осуществляется электромагнитными датчиками.

Процесс обогащения непрерывный, поэтому дозирование реагента КСМФ также происходит непрерывно. Оператор отделения обогащения передает данные о мгновенном расходе руды (в тоннах в час) на

обогащение аппаратчику участка флотации. Аппаратчик по известному расходному коэффициенту вычисляет необходимый мгновенный расход реагента КСМФ (в литрах в час). Для регулирования расхода предусмотрены ручная задвижка (шаровый кран) и расходомер, которые установлены в поле непосредственно в районе флотомашин. Аппаратчик следует к шаровому крану и регулирует его положение, параллельно контролируя расход по показаниям расходомера. Точность регулирования полностью определяется профессиональными навыками аппаратчика.

Для регулирования расхода реагентов необходимо установить вместо ручных задвижек регулирующие клапаны с позиционерами.

Произведем математическое описание системы и расчет параметров регулятора.

САР расхода – это поддержание заданного расхода реагента КСМФ, осуществляемое за счет регулирования положения регулирующего органа клапана. Напор в системе создается насосом с постоянной производительностью.

Передачная функция насоса может быть представлена аperiодическим звеном первого порядка, с передачной функцией [1]:

$$W_n = \frac{K_n}{Tp + 1},$$

где $K_n = 1,2$ – коэффициент, преобразующий эффективное сечение трубопровода в объем расхода, $T = 0,4$ с – постоянная времени.

Датчик расхода также представлен в виде аperiодического звена [2]:

$$W_d = \frac{K_d}{T_d p + 1} = \frac{1}{0,0035p + 1},$$

где $T_d = 0,0035$ с – постоянная времени, характеризующая длительность измерения физических величин; K_d – коэффициент передачи, преобразующий расход реагента КСМФ в выходной сигнал.

Время, которое проходит с момента приема данных о расходе до начала регулирования? можно считать транспортным запаздыванием. Транспортное запаздывание по эмпирическим данным составляет от 3 до 5 мин. Таким образом, систему ручного регулирования можно представить сочетанием следующих звеньев: генератора ступенчатого воздействия, звена транспортного запаздывания (устанавливаем среднее значение 4 мин), дискретного ПИ-регулятора (функцию регулятора

выполняет опытный аппаратчик, ошибка регулирования минимальна), а также объекта регулирования. Система охвачена отрицательной обратной связью с помощью датчика расхода.

Результат моделирования показан на рис. 1.

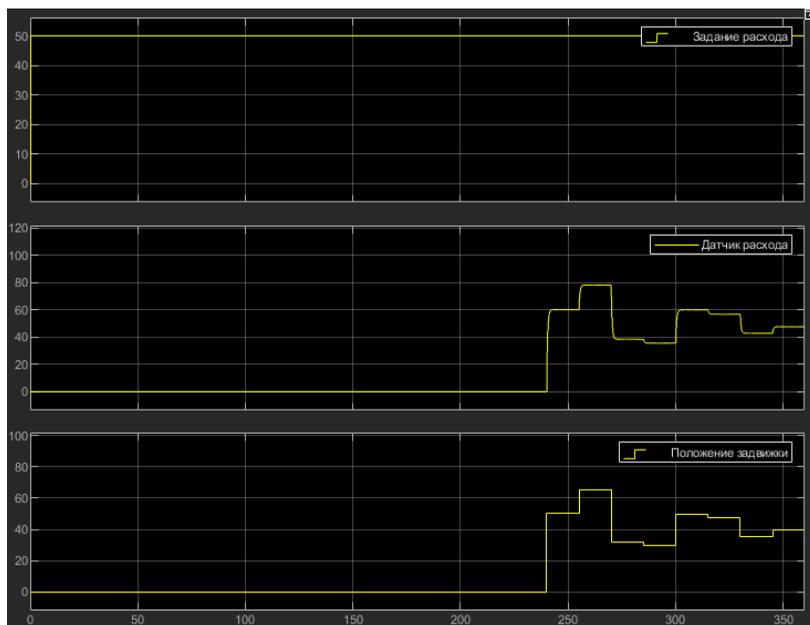


Рис. 1. Результат моделирования при ручном регулировании задвижки

Время с 0 до 240 с занимает расчет нового мгновенного расхода и путь к вентилю. Начиная с 240 с, аппаратчик изменяет положение вентили и регулирует расход. К 350 с расход установлен на новом значении.

После внедрения алгоритмов автоматического регулирования расхода в систему добавляется автоматический регулирующий клапан: позиционер клапана принимает сигнал от регулятора от 0 до 100 % и преобразует его в степень открытия клапана от 0 до 100 %. Клапан является быстродействующим, поэтому временем перехода из одного состояния в другое можно пренебречь и тогда передаточную функцию клапана можно представить безынерционным звеном:

$$W_{\text{кл}} = K_{\text{кл}} = \frac{100 [\%]}{100 [\%]} = 1.$$

Расчет передаточной функции регулятора расхода произведен путем настройки на технический оптимум [3].

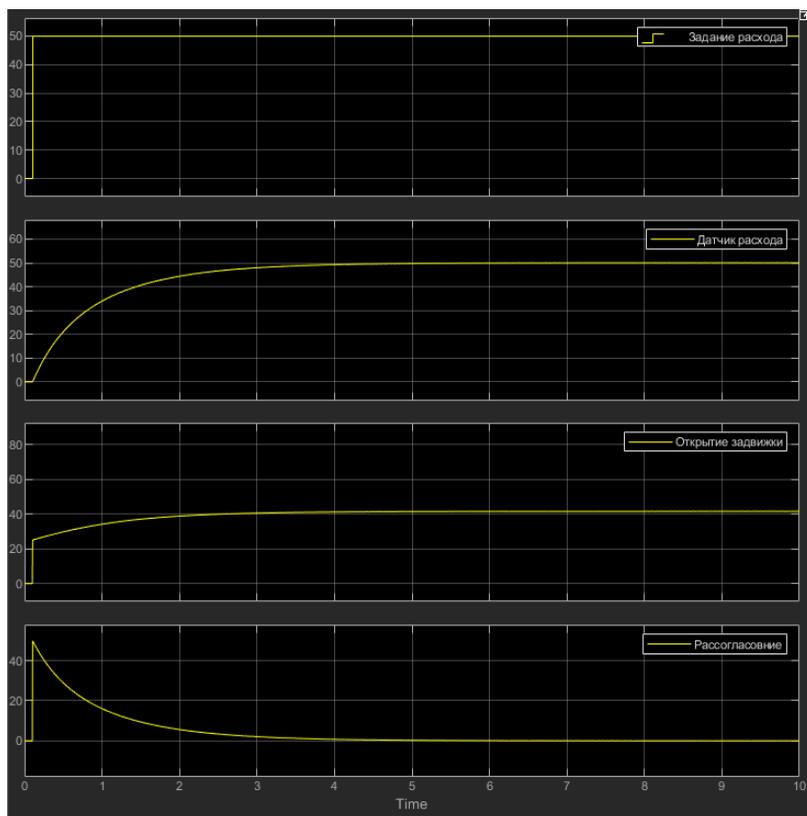


Рис. 2. Результат моделирования синтезированной системы

В результате синтеза была получена передаточная функция ПИ-регулятора, где коэффициенты регулятора: $K_p = 47,6$ $K_i = 120$. Результат моделирования показан на рис. 2. Видно улучшение качества переходного процесса и установившегося режима работы системы.

Библиографический список

1. Пантелеев В.Н., Прошин В.М. Основы автоматизации производства. – М: Академия, 2011. – 192 с.

2. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 296 с.

3. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.

Сведения об авторах

Билоус Ольга Анатольевна – старший преподаватель кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: bilous_oa@pstu.ru

Бельчик Вадим Ильич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТПП-19-1бзу, г. Пермь, e-mail: duivel32@gmail.com

УДК 338.364.2

**А.М. Беляева, Е.Р. Русских, С.С. Федотов,
П.Ю. Сокольчик**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

**ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ КУРСОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ СРЕДСТВ
АВТОМАТИЗАЦИИ В РАМКАХ СПЕЦИАЛЬНОСТИ
«АВТОМАТИЗАЦИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ»**

Рассматриваются возможности по поддержанию лабораторных курсов, практикумов, связанных с изучением физических приборов и средств автоматизации, режимов их работы в рамках специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» и «Системный анализ и управление». Рассматривается возможность по применению 3D-печати с целью модернизации и ремонта лабораторного оборудования

Ключевые слова: аддитивные технологии, средства автоматизации и управления, модернизация, ремонт.

**A.M. Belyaeva, E.R. Russkih, S.S. Fedotov,
P.Yu. Sokolchik**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

THE USE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES TO SUPPORT COURSES ON THE STUDY OF AUTOMATION TOOLS WITHIN «AUTOMATIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MANUFACTURING»

Analyzing a variety of options in order to maintain laboratory and practical courses tied to studying physical devices and automatization tools and their operating conditions within «Automatization of technological processes and manufacturing» and «Systems analysis and control» programs. 3D-printing technologies are being studied in order to modernize and renovate laboratory equipment.

Keywords: additive technologies, automation and control tools, modernization, renovation.

При подготовке специалистов, бакалавров, инженеров для промышленных предприятий предусмотрено достаточное количество практикумов и лабораторных работ, на которых студенты должны получать компетенции по работе с реальными физическими устройствами, приборами, установками. Так, например, при подготовке специалистов по «Автоматизации технологических процессов и производств» (15.03.04), дисциплины, на которых студенты получают компетенции по работе с реальными приборами и системами: «Технические измерения и приборы», «Средства автоматизации и управления», «Комплектация монтаж и наладка средств автоматизации», целью которых является подготовка студентов по работе со средствами получения информации, воздействия на процесс, микропроцессорными средствами автоматизации и др. Использование программных модулей, в том числе 3D (с применением виртуальной реальности) не позволит в полной мере заменить реальные производственные объекты.

К тому же нельзя исключать элементы психологического воздействия – во время физического взаимодействия с изучаемыми объектами задействуется мелкая моторика рук, играющая в обучении, по мнению ученых, важную роль. Всестороннее представление об окружающем мире у человека не может сложиться без тактильно-двигательного восприятия, т.к. оно является основой чувственного познания. Мелкая моторика рук взаимодействует с такими высшими свойствами сознания, как внимание, мышление, оптико-пространственное восприятие (координация), воображение, наблюдательность, зрительная и двигательная память, речь. Движения рук возбуждают мозг, заставляя его развиваться [1].

При работе с реальными физическими устройствами и системами в рамках учебных заведений возникают задачи, связанные с ремонтом, обслуживанием, модернизацией лабораторных установок. Такие задачи обычно связаны с физическими поломками устройств, необходимостью получения новых функций, доработкой и адаптацией средств автоматизации, в том числе передаваемых предприятиями-работодателями будущих специалистов для учебного процесса. Так, например, реальное физическое исполнительное устройство, ранее установленное на трубопроводе предприятия и обеспеченное соответствующими промышленными конструкциями при передаче в учебное заведение для подготовки специалистов, требует монтажа дополнительного

вспомогательного оборудования. Закупка готовых решений иногда невозможна по причинам экономического характера, либо эти решения не удовлетворяют узкоспециализированным требованиям промышленных предприятий.

В современных условиях большое количество задач по созданию, ремонту и/или модернизации можно решить с помощью аддитивных технологий (3D-печати). В статье в качестве примера рассматривается модернизация учебных лабораторных установок, связанных с изучением исполнительных устройств АСУ ТП. В работе рассматривается модернизация установки по изучению дозирующего исполнительного устройства на основе частотного привода и дроссельных исполнительных устройств на основе электрического прямоходного исполнительного устройства с клапаном и мембранного исполнительного устройства с клапаном.

Структурная схема исполнительного дозирующего устройства на основе частотного привода приведена на рис. 1.

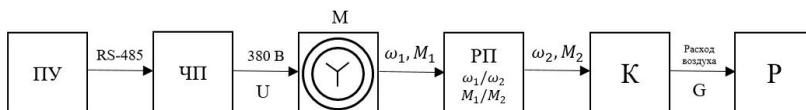


Рис. 1. Структурная схема установки по изучению дозирующего ИУ

Установка включает в себя (см. рис. 1): ПУ – панель управления; ЧП – частотный преобразователь; РП – ременная передача; К – компрессор; Р – ротаметр; М – асинхронный двигатель (соединение звезда);

Для пуска установки и ее использования в учебном процессе необходимо подобрать параметры системы «частотный привод – электродвигатель – механическая передача – компрессор». При варьировании основных параметров подбора: мощности на валу, диапазонов частот вращения, крутящих моментов, оказалось, что согласовать работу существующих физических устройств можно, изменив параметры механической ременной передачи от асинхронного двигателя к компрессору. Для этого достаточно установить один из шкивов с требуемыми характеристиками. Такое решение экономически более целесообразно, чем менять электродвигатель или компрессор. Чтобы обеспечить требуемое передаточное число, диаметры шкивов должны быть:

на ведущем валу – $d_1 = 50$ мм; на ведомом валу – $d_2 = 245$ мм; требуемое передаточное число – $i = 0,206$.

Разработан шкив с требуемыми характеристиками и нужным посадочным местом с помощью 3D-печати.

Проведен подбор пластика для 3D-печати. С учетом свойств пространственных пластиков выбран пластик PETG (имеет высокую температуру размягчения, стоек к ультрафиолету).

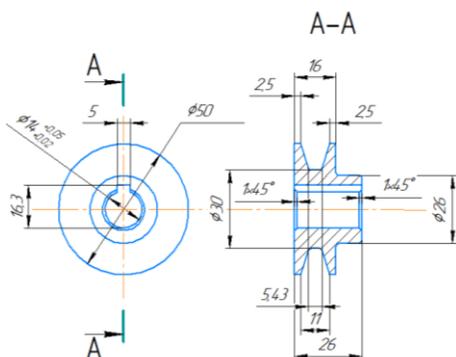


Рис. 2. Чертеж детали «шкив»

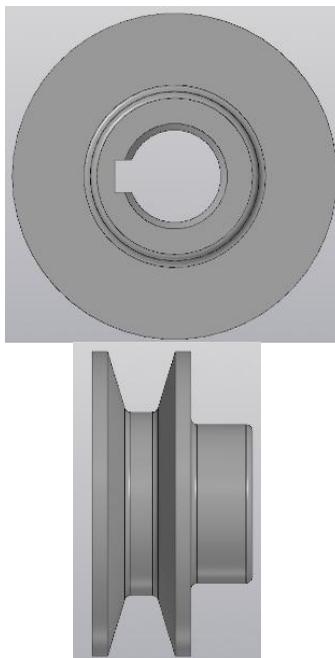


Рис. 3. 3D-модель детали «шкив»

Разработанная модель (рис. 2, 3), распечатана пластиком PETG и смонтирована на лабораторной установке как ведущий шкив ременной передачи. После установки проведены испытания, которые показали, что шкив работает в требуемом диапазоне частот, с необходимым крутящим моментом. Испытания проведены в течение часа. Нагрева, деформации формы и разрушения не наблюдалось. Разработан лабораторный стенд, предназначенный для изучения дроссельных исполнительных устройств. Структурная схема лабораторного стенда приведена на рис. 4.

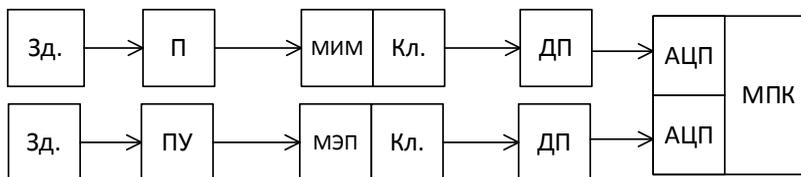


Рис. 4. Структурная схема лабораторного стенда для изучения дроссельных исполнительных устройств: Зд. – датчик; П – позиционер; ПУ – пусковое устройство; МИМ – мембранный исполнительный механизм; МЭП – механизм электрический прямоходный; Кл. – клапан; ДП – датчик положения; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; МПК – микропроцессорный контроллер

Для анализа характеристик необходимо согласовать сигналы всех элементов схемы. Основную проблему представляет система определения и ввода в микропроцессорный контроллер положения клапана. Исполнительное устройство и микропроцессорный контроллер обладают сравнительно высокой стоимостью и изменить их характеристики не представляется возможным.

Можно разработать и установить сравнительно простой и дешевый датчик указателя положения, согласованный как с диапазоном перемещения клапана, так и с аналоговым входом контроллера. В качестве чувствительного элемента датчика положения с характеристиками, идентичными с промышленными, принято решение использовать резистивные чувствительные элементы. При этом необходимо использовать два чувствительных элемента на каждом из исполнительных механизмов.

В качестве чувствительного элемента определен резистор ползунковый СПЗ-23а 0,25 Вт номинальным сопротивлением 680 Ом (рис. 5).

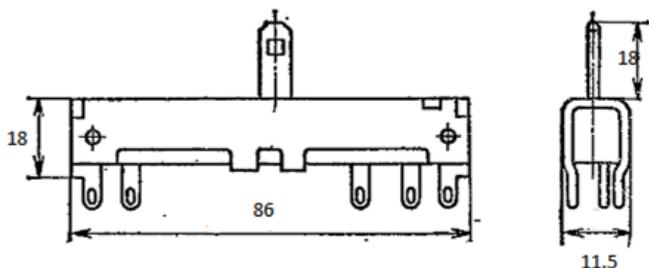


Рис. 5. Внешний вид СПЗ-23а 0,25 Вт

В соответствии с этим необходимо разработать кронштейн, который позволит закрепить чувствительный элемент на исполнительном механизме. С учетом свойств и габаритных размеров, существующих чувствительного элемента и исполнительных устройств разработан кронштейн датчиков (рис. 6, 7).

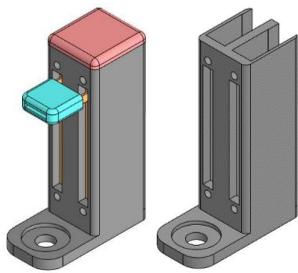


Рис. 6. Внешний вид модели кронштейна датчика положения мембранного исполнительного механизма

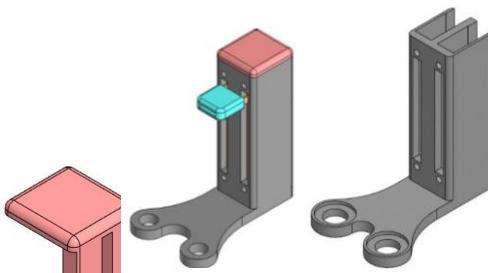


Рис. 7. Внешний вид модели кронштейна датчика положения электродвигательного исполнительного механизма

Разработанная модель (см. рис. 6, 7), распечатана пластиком PETG и смонтирована на лабораторной установке.

Программное обеспечение для разработки 3D-моделей должно удовлетворять требованиям: специализация по проектированию моделей механических устройств, доступность лицензии, поддержка общесистемных форматов представления данных. Рассмотрены среды разработки трехмерных моделей с поддержкой формата STL (формат, описывающий только геометрию поверхности без представления о цвете, текстуре, других атрибутах). Среди систем автоматизированного проектирования (САПР) наибольшую популярность приобрели следующие САПР.

1. «Blender» (компания «Blender Foundation»). Профессиональное свободное, открытое ПО для создания трехмерной компьютерной графики, включающее в том числе средства моделирования.

2. «Компас 3D» (компания «АСКОН», Российская Федерация). Универсальный САПР для широкого перечня отраслей промышленности: машиностроение, приборостроение, авиастроение и др. Существует бесплатная версия для студентов.

3. «SolidWorks» (компания «Dassault Systèmes»). САПР для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструктор-

ской и технологической подготовки производства. Существует бесплатная версия для студентов.

4. «Autodesk Inventor» (компания «Autodesk», США). Система трехмерного твердотельного и поверхностного параметрического проектирования для создания цифровых прототипов промышленных изделий. Официально недоступна на территории Российской Федерации.

В работе использован САПР «Компас 3D».

Библиографический список

1. Бородатова М.А., Киселева И.В. Мелкая моторика и влияние действий рук на развитие головного мозга [Электронный ресурс] // Электронный журнал «Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс». – 2021. – URL: <https://interactive-plus.ru/e-articles/774>.

2. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. – 3-е перераб. изд. – М.: Энергоиздат, 1982. –216 с.

3. Азбука КОМПАС-3D [Электронный ресурс] // Аскон. – URL: <https://kompas.ru>

4. Бошняк В.А., Языков А.В. Оценка возможности применения изделий из пластмасс, созданных посредством послойной наплавки материала, в силовой оснастке лабораторных установок // Наука и образование. МГТУ им. Баумана. – 2016. – № 12. – С. 311–320.

Сведения об авторах

Беляева Алена Михайловна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТП-19-16, г. Пермь, e-mail: bel.alena2001@gmail.com

Русских Елизавета Романовна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТП-19-16, г. Пермь, e-mail: elizavetarusskikh@outlook.com

Федотов Степан Сергеевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТП-19-16, г. Пермь, e-mail: mr.and776@gmail.com

Сокольчик Павел Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: htfz@pstu.ru

П.В. Иванов, И.А. Шмидт

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ХРАНЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

В данной статье исследуются модели хранения временных рядов стендовых испытаний высокотехнологичных производств. В ходе эксплуатации испытательные стенды генерируют огромный поток значений параметров, которые подлежат хранению с последующей обработкой. Как правило, способ организации хранения таких данных не позволяет корректно использовать данные после проведения испытаний, а объемы этих данных могут достигать сотен гигабайт. В статье рассматриваются модели хранения данных с использованием РСУБД, колоночной СУБД и noSQL СУБД. Проведено тестирование предложенных моделей на скорость доступа к случайным данным.

Ключевые слова: временные ряды, хранение, данные, модели хранения.

P.V. Ivanov, I.A. Schmidt

Perm National Research Polytechnic University, Perm

COMPARISON OF TIME SERIES STORAGE MODELS

This article explores models for storing time series of bench tests of high-tech industries. During operation, test benches generate a huge stream of parameter values that are subject to storage and subsequent processing. As a rule, the method of organizing the storage of such data does not allow the correct use of data after testing, and the volume of this data can reach hundreds of gigabytes. The article deals with data storage models using RDBMS, columnar DBMS and noSQL DBMS. The proposed models were tested for the speed of access to random data.

Keywords: time series, storage, data, storage models.

В нынешних реалиях высокотехнологичные производства не обходятся без испытательной базы своих изделий. Количество испытательных стендов может измеряться десятками, а количество испытываемых изделий на одном стенде сотнями и даже тысячами. Подобные испытания сопровождаются измерением большого количества параметров. Как правило, измерения записываются информационной измерительной системой в хранилище в виде бинарных файлов. Эти данные можно рассматривать как временные ряды.

Временной ряд – набор значений какого-либо параметра, индексированный по времени (набор пар значение – временная отметка). Таким образом, каждое испытание сопровождается сохранением нескольких временных рядов, их количество соответствует количеству измеряемых параметров в испытании.

Также в отдельные файлы могут быть записаны дополнительные сведения об испытании (информация об «окружении»). В дальнейшем такие данные малопригодны для использования, это осложняется также тем, что файлы могут располагаться в разных каталогах. В таком случае будет затруднителен даже просмотр данных, не говоря уже об анализе таких объемов данных – человек попросту не сможет обработать такое количество информации.

Помимо этого, данный способ организации хранения данных имеет и ряд других недостатков:

- дублирование данных – из-за того, что данные хранятся в разных файлах, необходимо повторять некоторую информацию, чтобы не терялся контекст;

- зависимость от данных – в файловых системах все данные и их структура жестко прописаны, поэтому любое изменение в данных требует значительных усилий для внесения изменений;

- человеческий фактор – из-за чего может быть нарушена установленная структура каталогов и правила именования файлов.

Данная проблема решается внедрением единой системы хранения данных об испытаниях.

Обзор методов хранения данных. Предлагается рассмотреть способы хранения данных в различных СУБД.

Реляционные СУБД – основаны на реляционной модели, табличном способе представления данных. Данные в таблицах хранятся построчно и представляют собой записи с уникальным идентификатором [1]. Преимуществом РСУБД можно назвать простоту использования реляционной модели, которая может обслуживать самые различные информационные потребности: отслеживание товарных запасов, обработка транзакций, хранение данных заказчиков в магазинах и т.д. Из наиболее популярных РСУБД можно выделить PostgreSQL, MySQL, Oracle, My SQL Server.

Колоночные СУБД – работают с пространствами ключей, в этом пространстве находятся колоночные семейства, которые содержат ко-

лонки с записями (рис. 2). Здесь можно провести некоторые аналогии – пространство ключей похоже на схему РСУБД, колоночное семейство на таблицу, а данные хранятся не построчно, а по колонкам [2]. Подобные СУБД преимущественно используются там, где требуются операции объединения таблиц с большим количеством столбцов или где требуется быстрый доступ к данным таблицы с большим количеством колонок, но лишь по некоторым столбцам [3]. На базе колоночных СУБД зачастую строятся высокопроизводительные системы, обрабатывающие огромные потоки информации. Одними из популярных являются ClickHouse, Apache Cassandra, InfluxDB, MonetDB.

Альтернативой колоночным могут выступить документоориентированные СУБД. Такие СУБД предназначены для хранения иерархических структур данных – документов. Структура каждого документа начинается с корневого узла и может содержать в себе несколько внутренних узлов. Здесь также можно провести некоторые аналогии с реляционными СУБД – документы объединяются в коллекции (аналог таблицы) и могут в себе содержать другие документы (аналогично отношениям между сущностями). При этом в отличие от хранилищ типа «ключ-значение», выборка может производиться без полной загрузки всех вложенных документов в оперативную память [4].

Однако до сих пор нет единого мнения, какие СУБД больше пригодны для хранения временных рядов. Это подтверждается достаточно большим количеством публикаций на данную тематику [5–8]. Существует даже отдельная категория СУБД, специализированных именно на хранении подобных данных. Они реализуются как на базе РСУБД, так и на базе колоночных и документоориентированных СУБД. Предлагается реализовать три модели хранения данных в различных СУБД – реляционной, колоночной, документоориентированной, и сравнить их между собой.

Реализация модели в РСУБД MySQL. В качестве РСУБД была выбрана MySQL. Хранимыми данными выступают предварительно сгенерированные файлы с некоторым количеством временных рядов. Это представляется, как данные различных испытаний, т.е. в каждом испытании имеется несколько параметров, параметры, в свою очередь, имеют некоторое количество замеров-значений, а каждое значение имеет временную отметку.

Реляционная модель представлена на рис. 1.

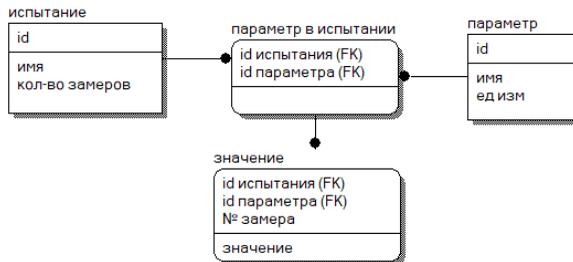


Рис. 1. Реляционная модель хранения временных рядов

Всего в данной модели 4 сущности:

- испытание – хранит информацию о всех испытаниях;
- параметр – хранит информацию о параметрах, которые когда-либо были измерены в испытаниях;
- параметр в испытании – хранит информацию о параметре в конкретном испытании и реализует связь Many-To-Many между испытанием и параметром (каждый параметр может быть в одном или нескольких испытаниях и каждое испытание имеет один или несколько параметров);
- значение – хранит информацию о значении параметра в испытании в какой-то момент времени.

Реализация модели в СУБД временных рядов InfluxDB. В качестве колоночной СУБД была выбрана СУБД временных рядов InfluxDB (рис. 2).

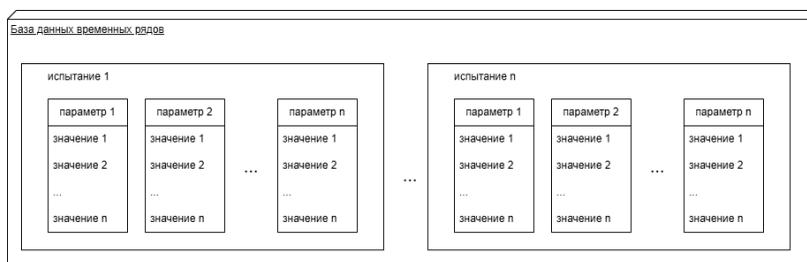


Рис. 2. Модель хранения временных рядов в InfluxDB

В данном случае для каждого испытания создается семейство колонок (временные ряды параметров испытания) и ключ в пространстве ключей. По данному ключу обеспечивается доступ к семейству колонок.

нок, относящихся к данному испытанию. В колонках хранятся пары значение параметра – временная отметка.

Реализация модели в документоориентированной СУБД MongoDB. В качестве документоориентированной СУБД предлагается взять одну из наиболее популярных – MongoDB. В качестве модели данных предлагается использовать структуру, приближенную к сетевой модели данных (рис. 3).

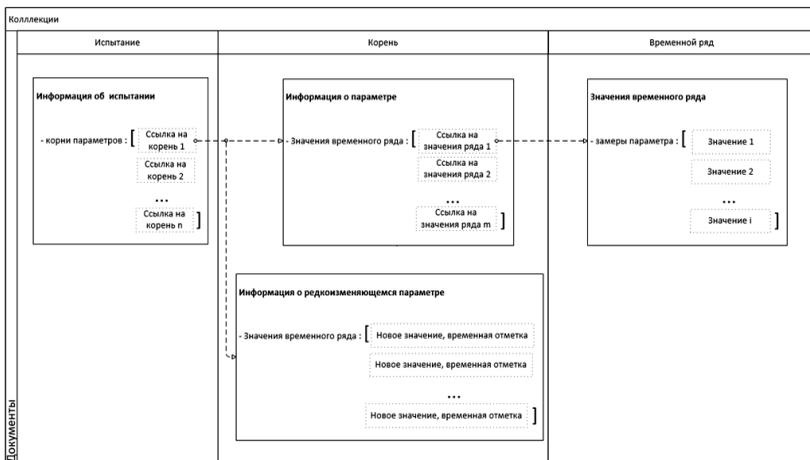


Рис. 3. Модель хранения в MongoDB

Коллекция «испытание» хранит документы, содержащие информацию об испытании, каждый документ содержит набор ссылок на документы коллекции «корень», количество ссылок соответствует количеству параметров в испытании.

В коллекции «корень» хранятся документы, содержащие информацию о параметре в испытании, имеется 2 вида документа:

- содержащие информацию об обычном параметре – такой документ содержит набор ссылок на документы коллекции «временной ряд»;

- содержащие информацию о редко изменяющемся параметре (например, управляющие дискретные сигналы задвижек, заслонок, кнопки «пуск», «стоп» и т.д.) – хранят набор пар новое значение – временная отметка (моменты изменения значения и обновленные значения параметра).

Коллекция «временной ряд» содержит в себе документы, которые хранят сами временные ряды (значения параметров).

Оценка эффективности предложенных моделей хранения временных рядов. Для оценки эффективности предложенных моделей проводилось тестирование на скорость доступа случайных данных. В качестве тестовых данных выступали предварительно сгенерированные временные ряды (количество замеров каждого параметра от 10 тыс. до 1 млн, количество параметров от 50 до 500 шт.). В качестве теста использовались 4 последовательности по 100 тыс. пар – номер замера, номер параметра:

- получение случайного замера;
- получение случайной серии из 100 подряд идущих замеров;
- получение случайной серии из 1000 подряд идущих замеров;
- получение случайной серии из 10 000 подряд идущих замеров;

Тест проводился на девяти испытаниях в каждой СУБД, в таблице приведены усредненные значения времени доступа к данным.

Результаты тестирования

| Тест | Среднее время доступа к 1 записи | | |
|---|----------------------------------|---------|----------|
| | MongoDB | MySQL | InfluxDB |
| Случайный замер | 1,8 мс | 150 мс | 8 мс |
| Случайная серия из 100 подряд идущих замеров | 0,02 мс | 1,6 мс | 0,11 мс |
| Случайная серия из 1000 подряд идущих замеров | 0,002 мс | 0,28 мс | 0,02 мс |
| Случайная серия из 10 000 подряд идущих замеров | 0,0002 мс | 0,17 мс | 0,02 мс |

Таким образом, исходя из результатов тестирования, можно сделать вывод, что реляционные СУБД менее пригодны для хранения временных рядов, нежели колоночные и документоориентированные СУБД.

Значительный прирост в скорости доступа к данным при использовании колоночной СУБД объясняется тем, что имеется возможность сразу обратиться к нужной колонке конкретного колоночного семей-

ства и перебирать гораздо меньше данных, нежели при использовании реляционной модели, где необходимо оперировать записями со всех испытаний.

Но документоориентированная СУБД с использованием структуры данных, приближенной к сетевой модели, оказывается еще более эффективной. Это объясняется самой структурой данных. После загрузки документа из коллекции «корень» данный документ сразу же имеет ссылки на документы из коллекции «временной ряд» и, соответственно имеет доступ ко всем значениям этого временного ряда.

Библиографический список

1. Осипов Д.Л. Технологии проектирования баз данных. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 498 с.

2. Иванова Е.В., Соколинский Л.Б. Колоночный сопроцессор баз данных для кластерных вычислительных систем // Вестник ЮУрГУ. Сер. Вычислительная математика и информатика. – 2015. – № 4.

3. The Design and Implementation of Modern Column-Oriented Database Systems / D.J. Abadi, P.A. Boncz, S. Harizopoulos, S. Idreos, S. Madden // Foundations and Trends in Databases. – 2013. – Vol. 5, № 3. – P. 197–280. DOI: 10.1561/19000000024

4. Брэдшоу Ш., Брэзил Й., Ходоров К. MongoDB: полное руководство. Мощная и масштабируемая система управления базами данных / пер. с англ. Д.А. Беликова. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 540 с.

5. Махмудов Е.Р., Яблочкина К.А. Альтернативный подход к сжатию и хранению исходных временных рядов // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: тр. Четвертой науч.-техн. конф.; Петропавловск-Камчатский, 29 сентября – 05 октября 2013 года / отв. ред. В.Н. Чебров. – Петропавловск-Камчатский: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геофизическая служба Российской академии наук, 2013. – С. 344–346.

6. Абалов Н.В. Об организации и формате хранения моделетехи структурных компонент временного ряда // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. – 2015. – № 1. – С. 128–130.

7. Прохоров А.Ю. Алгоритмы, методы хранения, поиска и анализа временных рядов в промышленных СУБД: специальность 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)»: дис. ... канд. физ.-математ. наук. – М., 2001. – 121 с.

8. Волкова С.В. Сравнительный анализ возможностей реляционных, графовых и циклических СУБД для хранения и обработки данных временных рядов // Вестник современных исследований. – 2020. – № 1–7 (31). – С. 19–23.

Сведения об авторах

Иванов Павел Вадимович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИСУП-22-1м, г. Пермь, e-mail: ivanov@pavel-vad.ru

Шмидт Игорь Альбертович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shmidt@msa.pstu.ac.ru

Д.А. Щербинин, Г.А. Килин

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Любое оборудование когда-нибудь выходит из строя и элементы энергосистемы не являются исключением. Такая ситуация является крайне нежелательной для промышленных предприятий, т.к. приводит к финансовым потерям, связанным с простоем оборудования, его заменой или ремонтом. Одним из способов избежать такой ситуации является диагностика состояния оборудования с использованием технологий искусственных нейронных сетей.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, диагностика, надежность, мониторинг.

D.A. Shcherbinin, G.A. Kilin

Perm National Research Polytechnic University, Perm

PROSPECTS OF NEURAL NETWORK DIAGNOSTICS OF POWER SYSTEM ELEMENTS

Any equipment ever fails and the elements of the energy system are no exception. This situation is extremely undesirable for industrial enterprises, as it leads to financial losses associated with equipment downtime, its replacement or repair. One of the ways to avoid such a situation is to diagnose the condition of the equipment using artificial neural network technologies.

Keywords: artificial neural network, diagnostics, reliability, monitoring.

На данный момент экономическое положение в энергетической отрасли России вынуждает повысить надежность и срок эксплуатации электрооборудования. Решения данную проблему можно путем постоянного мониторинга и диагностики электрооборудования. Такие решения дают возможность заранее выявить возможные неисправности, определить оценку текущего состояния оборудования и предотвратить его назревающую поломку. Такие решения способствуют повышению надежности работы и предотвращения выхода из строя электрооборудования, а также повышают остаточный ресурс и увеличивают срок его службы [1].

Надежность и срок службы электрооборудования, в первую очередь, зависят от следующих факторов:

- 1) конструктивные особенности оборудования;
- 2) качества его изготовления;
- 3) условия эксплуатации.

По причине продолжительной эксплуатации и различных внешних воздействий на электрооборудование происходит естественный процесс старения материалов, снижаются его прочностные характеристики, из-за чего возрастает вероятность выхода из строя электрооборудования и возникновения различных аварийных режимов работы [2].

В результате аварий требуется проведение ремонтных работ, приобретение нового электрооборудования, а также необходимо учитывать восполнение ущерба недоотпущенной электроэнергии. Один из способов решения проблемы – замена устаревшего оборудования. К сожалению, из-за высокой стоимости электрооборудования данная проблема не всегда в полной мере решается промышленными предприятиями. Альтернативное решение этой проблемы заключается в необходимости диагностического контроля, которое можно обеспечить с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС) [3, 4].

Нейронные сети для энергетики. Искусственные нейронные сети [4] широко используют в эксплуатации электроэнергетических систем (ЭЭС). Они применяются для диагностики и мониторинга электрооборудования, предупреждая о возникновении аварийных ситуаций, а также позволяют осуществлять анализ последствий аварийных режимов. Кроме того, ИНС позволяют прогнозировать энергопотребление и распределять нагрузку по генерирующим мощностям [5].

Один из примеров решения задачи диагностики электротехнического оборудования с использованием искусственных нейронных сетей заключается в синтезе нейросетевой модели (НСМ) элемента энергосистемы [6–8] или всей энергосистемы в целом. Такая НСМ будет использоваться в качестве эталона, и любое отклонение параметров реального оборудования от параметров эталона будет зафиксировано, и определено их потенциально опасное воздействие с использованием диагностических (решающих) правил [9, 10].

Альтернативным вариантом использования искусственных нейронных сетей для решения задачи диагностики является непосредственно синтез решающих правил [11]. Данный подход потенциально можно использовать без эталонной модели элемента энергосистемы,

синтезированной с использованием ИНС или традиционных подходов [12], но даже в этом случае обучение такой ИНС будет происходить на основе данных функционирования эталонной модели. Только такая ИНС требует дальнейших научных исследований.

Заключение. Таким образом, использования ИНС в диагностике энергосистемы необходимо, потому что нейронная сеть обладает множеством преимуществ, таких как высокая точность и большая вероятность последующих изменений в динамике системы, владение быстродействием, способность обрабатывать крупные массивы данных, адаптация в условиях изменчивой информационной среды с помощью процесса обучения [13].

Применительно к решению задачи диагностики преимущество использования ИНС, заключается в том, что мы можем дообучать или переобучать синтезированную ИНС как эталонную модель, так и нейросетевую модель диагностических правил в случае, когда параметры элемента энергосистемы изменились с течением времени, например, вследствие старения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта № 19-48-590012.

Библиографический список

1. Вдовико В.П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования. – Новосибирск: Наука, 2007. – 155 с.
2. Диагностика внешней изоляции электроэнергетического оборудования: учеб. пособие. – М.: Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 70 с.
3. Тихонов В.А., Игнатьев И.В. Диагностика высоковольтного электрооборудования в рабочем режиме // Тр. Братск. гос. ун-та: сер. Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири: в 2 т. – Братск: Изд-во БрГУ. – 2010. – Т. 1. – С. 202.
4. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
5. Авдеева Н.Л., Коган Ю.М., Романов А.Е. О прогнозах потребления электроэнергии в условиях рыночной экономики России // Энергетик. – 2003. – № 7. – С. 9–12.
6. Modeling gas turbine electro power station typical operating modes using pre-trained artificial neural network / G.A. Kilin [et al.] // IOP Con-

ference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2022. – Vol. 990, № 1. – P. 012028.

7. KavaleroV B.V., Kilin G.A., Suslov A.I. Neural network architecture choice for modelling various configurations power system // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Vol. 1886, № 1. – P. 012007.

8. Stand for automation of control systems tests for electric power gas turbine installations using neural network models / G.A. Kilin [et al.] // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2021. – Vol. 2402, № 1. – P. 030023.

9. Метод синтеза математических моделей прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний работников предприятий электроэнергетики / Н.А. Кореневский [и др.] // Известия Юго-Западного гос. ун-та. Сер. Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2019. – Т. 9, № 2. – С. 127–143.

10. Алексеев В.А., Корсунский Н.А., Макашин В.А. Применение методов мягких вычислений для моделирования сложных технических систем // Программная инженерия: современные тенденции развития и применения. – 2019. – С. 8–14.

11. Каширина И.Л., Федудинов К.А. Построение решающих правил с помощью нейронной сети ARTMAP // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т. 7, № 3. – С. 140.

12. Кавалеров Б.В., Казанцев В.П. Математическое моделирование электрической системы в задачах испытания и настройки средств управления газотурбинных энергетических установок // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2011. – № 1. – С. 2–8.

13. Преимущества нейронных сетей [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.aiportal.ru/articles/neural-networks/advantages.html> (дата обращения: 02.12.2022).

Сведения об авторах

Щербинин Денис Анатольевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ЭМ-19-16, г. Пермь, e-mail: denis.2001.sh@mail.ru

Килин Григорий Александрович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: thisisforasm@rambler.ru

А.В. Лубянский, А.И. Тур

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

ОПТИМАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ СРЕДИ КОНСТРУКЦИЙ КОПТЕРОВ С M -М КОЛИЧЕСТВОМ ЛУЧЕЙ

В этой статье исследуется возможность построения универсальной конструкции беспилотного летательного аппарата типа коптер с оптимальной грузоподъемностью. Математические расчеты и теоретические методы моделирования были основой работы. Они должны выявить достоинства и недостатки уже существующих типов конструкций коптеров. Математические методы помогли построить модели для расчета тяги (полезной нагрузки) от времени. В статье рассматриваются самые популярные конструкции квадрокоптеров. Построены графики модели полета и характеристик мотора для оптимальной конструкции.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, грузоподъемность, винтомоторная пара, модель полета, математический метод, теоретический метод.

A.V. Lubyanskii, A.I. Tur

Perm National Research Polytechnic University, Perm

OPTIMAL LOAD CAPACITY INDICATORS AMONG THE DESIGNS OF COPTERS WITH THE M TH NUMBER OF RAYS

This article explores the possibility of constructing a universal design of a copter-type unmanned aerial vehicle with an optimal load capacity. Mathematical calculations and theoretical modeling methods were the basis of the work. They should identify the advantages and disadvantages of existing types of copter designs. Mathematical methods helped to build models for calculating thrust (payload) from time. The article discusses the most popular designs of quadcopters. Graphs of the flight model and motor characteristics for optimal design are constructed.

Keywords: unmanned aerial vehicle, payload, propeller pair, flight model, mathematical method, theoretical method.

В современном мире идея использования беспилотников для доставки грузов набирает обороты с каждым днем. Вопреки существующим административным барьерам, энтузиасты и корпорации вкладывают деньги в развитие данного направления, и это дает свои плоды.

Сервис доставки различных вещей из магазинов и товаров первой необходимости выходит на новый уровень. Беспилотники увеличивают площадь доставки и уменьшают ее время. Люди в самых отдаленных уголках планеты могут получать жизненно необходимые товары и лекарства.

Сейчас задача состоит в том, чтобы оптимизировать существующие процессы, а точнее оптимизировать грузоподъемность и скорость коптеров с n -м количеством лучей. Будут рассмотрены основные типы конструкций: трикоптер, квадрокоптер, гексакоптер и октокоптер.

При моделировании использовали формулу для расчета зависимости тяги (полезной нагрузки) от времени полета:

$$T = (n \cdot T_v) - \left((M_{vp} + (M_v \cdot n)) + \frac{N_{av} \cdot M_b \cdot n}{5} \right) M_b \cdot \exp(t_p \cdot n \cdot I)$$

где n – винтомоторные пары, шт.; T_v – тяга винтомоторной пары, кг; N_{av} – токопотребление винтомоторной пары, А/ч.; M_v – масса винтомоторной пары, кг; I – максимальный потребляемый ток, А; M_b – масса батареи, кг; M_{up} – снаряженная масса – масса БПЛА, кг; t_p – время.

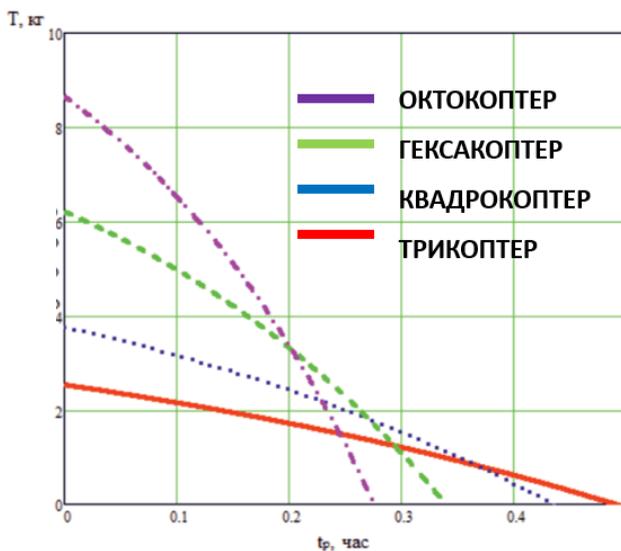


Рис. 1. Зависимость полезной нагрузки от времени полета

Исходя из общих теорем динамики получена система нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих изменение обобщенных координат октокоптера под действием внешних сил:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{v}_c^x = \frac{(\sin \psi \sin \varphi + \cos \psi \cos \varphi \sin \theta) \cdot (\sum F_i + R_x)}{m} \\ \dot{v}_c^y = \frac{(\cos \varphi \sin \psi \sin \theta + \cos \psi \sin \varphi) \cdot (\sum F_i + R_y)}{m} \\ \dot{v}_c^z = \frac{\cos \varphi \cos \theta \cdot (\sum F_i + R_z)}{m} - g \\ \dot{\omega}_{X_1} = \frac{[(F_1 + F_3) \cdot l_0 \cdot \sin 60^\circ] - \omega_{Y_1} \omega_{Z_1} (J_i^{Z_1} - J^{Y_1}) - \omega_{Y_1} \sum J_i^Z \omega_i + M_{X_1}^c}{J^{X_1}} \\ \dot{\omega}_{Y_1} = \frac{[-(F_1 + F_3) \cdot l_0 \cdot \sin 30^\circ + F_{2z} \cdot l_0] - \omega_{X_1} \omega_{Z_1} (J_i^{X_1} - J^{Z_1}) - \omega_{X_1} \sum J_i^Z \omega_i + M_{Y_1}^c}{J^{Y_1}} \\ \dot{\omega}_{Z_1} = \frac{[-(F_1 + F_3) \cdot d] - J_i^z \dot{\omega}_i - \omega_{X_1} \omega_{Y_1} (J^{Y_1} - J^{X_1}) + M_{Z_1}^c}{J^{Z_1}} \\ \dot{\varphi} = \omega_{X_1} - (\omega_{Z_1} \cos \varphi + \omega_{Y_1} \sin \varphi) \operatorname{tg} \theta \\ \dot{\theta} = \omega_{Y_1} \cos \varphi - \omega_{Z_1} \sin \varphi \\ \dot{\psi} = \frac{1}{\cos \theta} (\omega_{Z_1} \cos \varphi + \omega_{Y_1} \sin \varphi) \end{array} \right.$$

где m – вес объекта; Xyz, C, CC, v, vv – проекции скоростей центра масс октокоптера на оси OX, OY, OZ ; JTP – сумма моментов инерции вращения вокруг оси винта; IX, IY, IZ – осевые моменты инерции; d – аэродинамическая постоянная; l_0 – расстояние между центрами октокоптера и пропеллера; ψ, θ, φ – углы, задающие положение аппарата в пространстве; X_1, Y_1, Z_1 – проекции угловой скорости тела на оси подвижной системы координат.

На основе описанной выше математической модели октокоптера проведем компьютерное моделирование на конкретной модели октокоптера DJI S1000 Premium + A2. Его основные характеристики: 8 винтов; вес модели – 4,2 кг; размер рамы – 723 мм; аккумулятор LiPo 16000mAh, вес аккумулятора – 0,378 кг.

На рис. 2 показана модель полета октокоптера.

На рис. 3 показаны характеристики мотора.

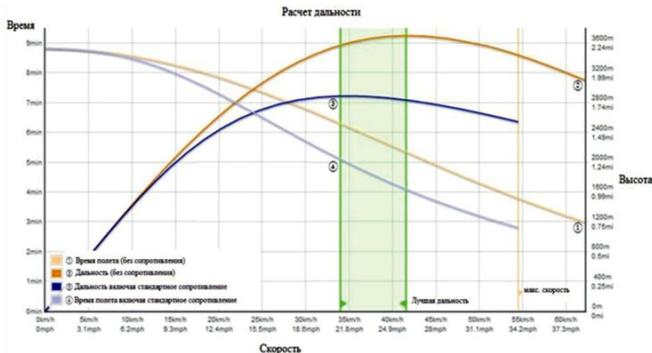


Рис. 2. Модель полета октокоптера

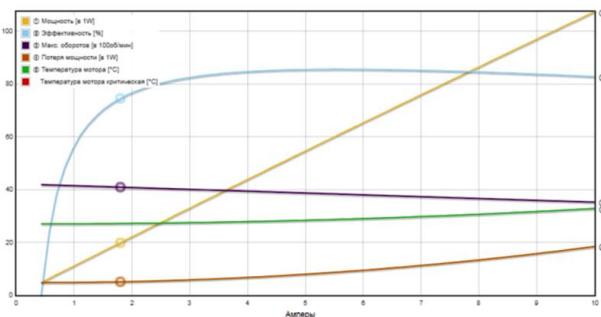


Рис. 3. Характеристики мотора

Моделирование показало, что оптимальный диапазон скорости полета октокоптера составляет 35–40 км/ч, а критическая скорость 55 км/ч. Максимальная высота полета 3600 м. Наилучшие показатели грузоподъемности октокоптер достигает при скорости 35–40 км/ч.

Сведения об авторах

Лубянский Антон Валерьевич – студент Пермского национально-исследовательского политехнического университета, гр. CPPC-20-6, г. Пермь, e-mail: antonvl02@yandex.ru

Тур Александр Игоревич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: tur.aleksander93@mail.ru

К.И. Каплина, А.И. Тур

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СВОЕВРЕМЕННОГО
РАСПОЗНАВАНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ АВТОМОБИЛЬНОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ
BLUETOOTH И ЗВУКОВОГО ДАТЧИКА**

В статье рассматривается проблема отсутствия в большинстве транспортных средств системы своевременного распознавания неисправностей автомобильного двигателя. В настоящее время нет устройства компактного размера с доступным интерфейсом для любого пользователя. Разрабатываемая нами система будет содержать 3 пары звуковых и вибрационных датчиков, прикрепленных к двигателю. Система будет опрашивать датчики и сводить информацию в 3 графика. Изменение одного из графиков означает изменение в работе определенных деталей двигателя. Таким образом, с помощью графиков можно определить область двигателя, в которой появилась неисправность.

Ключевые слова: автомобильный двигатель, система распознавания неисправности, анализатор шума, звуковые датчики, контроллер Arduino, частотный анализ, технология Bluetooth.

K.I. Kaplina, A.I. Tur

Perm National Research Polytechnic University, Perm

**SYSTEM OF TIMELY RECOGNITION ABOUT CAR ENGINE
MALFUNCTIONS USING BLUETOOTH TECHNOLOGY
AND A SOUND SENSOR**

The article deals with the problem of the lack of a system for timely recognition of automobile engine malfunctions in most vehicles. Currently, there is no compact-sized device with an accessible interface for any user. The system we are developing will contain 3 pairs of sound and vibration sensors attached to the engine. The system will poll the sensors and summarize the information in 3 graphs. A change in one of the schedules means a change in the operation of certain engine parts. Thus, with the help of graphs, it is possible to determine the area of the engine in which the malfunction appeared.

Keywords: car engine, fault recognition system, noise analyzer, sound sensors, Arduino controller, frequency analysis, Bluetooth technology.

Для предупреждения неисправностей следует регулярно контролировать работу двигателя и вовремя устранять возникшие неполадки. Именно на двигатель в процессе эксплуатации приходится повышенные нагрузки, что и приводит к различного рода неисправностям силового агрегата. Опытные автовладельцы знают, что многие такие проблемы можно выявить на раннем этапе, необходимо лишь прислушиваться к нестандартным звукам, доносящимся из мотора, но лучше выявить путем вычисления на приборах (удары металла или стук, грохот пружин клапанов, шум в кольцах поршней, свист, а также шум «швейной машины»). Данные шумы возможно проанализировать с помощью устройств виброакустическим методом. В наше время существует по меньшей мере 3 таких устройства.

– стетоскоп – профессиональный прибор для диагностики автомобиля на слух;

– Sonoscout 2.0 – портативный анализатор сигналов шума и вибраций;

– ассистент – анализатор шума и вибрации, прибор нового поколения для измерения и анализа инфразвука, звука, ультразвука, общей и локальной вибрации в соответствии с установленными стандартами. К сожалению, данное устройство является довольно громоздким, поэтому не подходит для наших целей.

В связи с этим ставится задача разработки определенной системы на основе датчиков, которая будет способна собирать данные и контролировать их. Важно создать систему, имеющую возможность получать виброакустические сигналы работы двигателя и анализировать их. В отличие от вышеперечисленных средств диагностики и анализа, разработанное устройство не будет занимать много места, поэтому может располагаться под капотом. Кроме того, запрограммированный контроллер будет преобразовывать получаемый с датчиков сигнал в дискретный и передавать на монитор при помощи технологии Bluetooth, что сделает использование более комфортным для пользователя.

На начальном этапе анализа шума мы возьмем готовый микрофон с встроенным АЦП. Предлагается подключать 3 микрофона к контроллеру на платформе Arduino и передавать сигнал по Bluetooth. Система автоматической регулировки усиления за долю секунды подстраивается под уровень окружающего звука, обеспечивая высокую разборчивость стука вне зависимости от расстояния до микрофона. Удобная

регулировка чувствительности позволяет легко выставить усиление для любого варианта использования.

Низкоомная схема включения микрофонного капсуля и сбалансированные детекторы уровня позволяют микрофону передавать точную звуковую картину без малейших искажений. Ниже представлена таблица с основными характеристиками используемого микрофона (таблица).

Основные характеристики используемого микрофона

| | |
|---------------------------------|-----------------|
| Максимальная полоса пропускания | 100...7200 (Гц) |
| Уровень выходного сигнала | 1В |
| Потребляемый ток | 3 мА |

Программируем Arduino или любой удобный контролер под выбранный микрофон. На этапе экспериментальной работы берем время от 100–300 с с отставанием в 100 тактов.

Рассмотрим обработку сигналов. Переход от аналоговых методов обработки к цифровым позволяет улучшить качество передачи информации, реализовать недоступные ранее алгоритмы, например, сжатие сигнала и его последующее восстановление.

Дискретный сигнал может быть результатом измерения аналогового сигнала. Он представляет собой набор оцифрованных отсчетов в заданные моменты времени. На выходе монитор порта получаем сигнал в виде цифры. Анализ полученных данных удобнее проводить в аналоговом виде, поэтому с помощью Matlab мы преводим цифру обратно в аналог. Полученный дискретный сигнал сохраняем в Excel и с помощью программы Matlab формируем функцию для восстановления аналогового сигнала из дискретного. Точное восстановление аналогового сигнала из его дискретных отсчетов возможно, если сдвинутые копии спектра не перекрываются, согласно теореме Котельникова [1].

Т.к. полученные значения сложно анализировать в связи с нечеткостью линий (рис. 1), с помощью функции в программе MatLab находим спектр аналогового сигнала.

Удобнее всего ввести понятие спектра периодической функции на примере ряда:

$$u(t) = \sum Ak \cos(\omega_0 kt + \varphi_k) \quad \infty k = 0$$

в этом случае интерпретация будет наиболее наглядной (рис. 2).

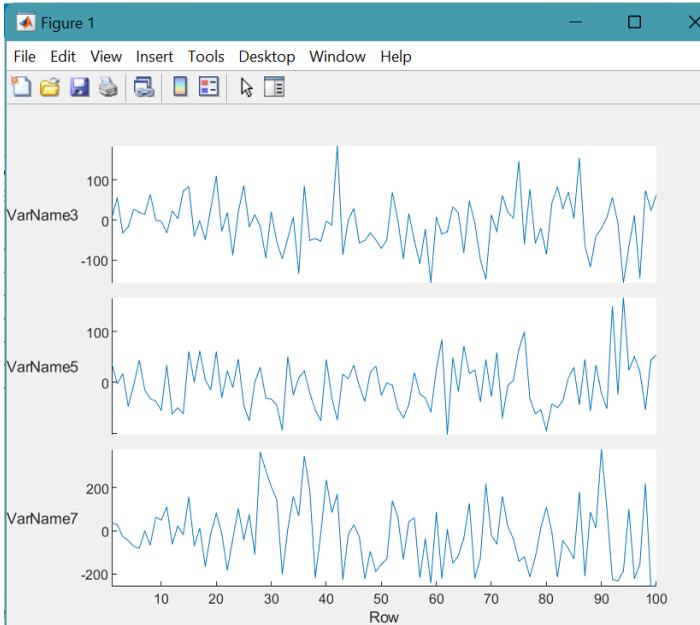


Рис. 1. Результат эксперимента

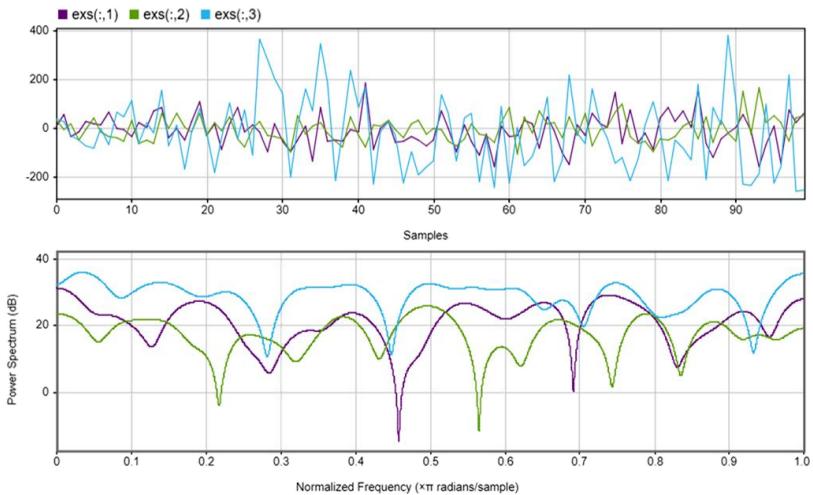


Рис. 2. Получение спектра сигнала: exs 1 – с головкой блоков цилиндра при нажатии на акселератор; exs 2 – у приводящего вала ремня ГРМ; exs 3 – с головкой боков цилиндра

Как мы видим по рис. 2, амплитуда и частота у головки блока цилиндра и приводящего ремня разные, а длина волны выше, чем у головки блока цилиндра при нажатии на акселератор. Это означает наличие возможности обнаружения изменением поведения двигателя в различных ситуациях.

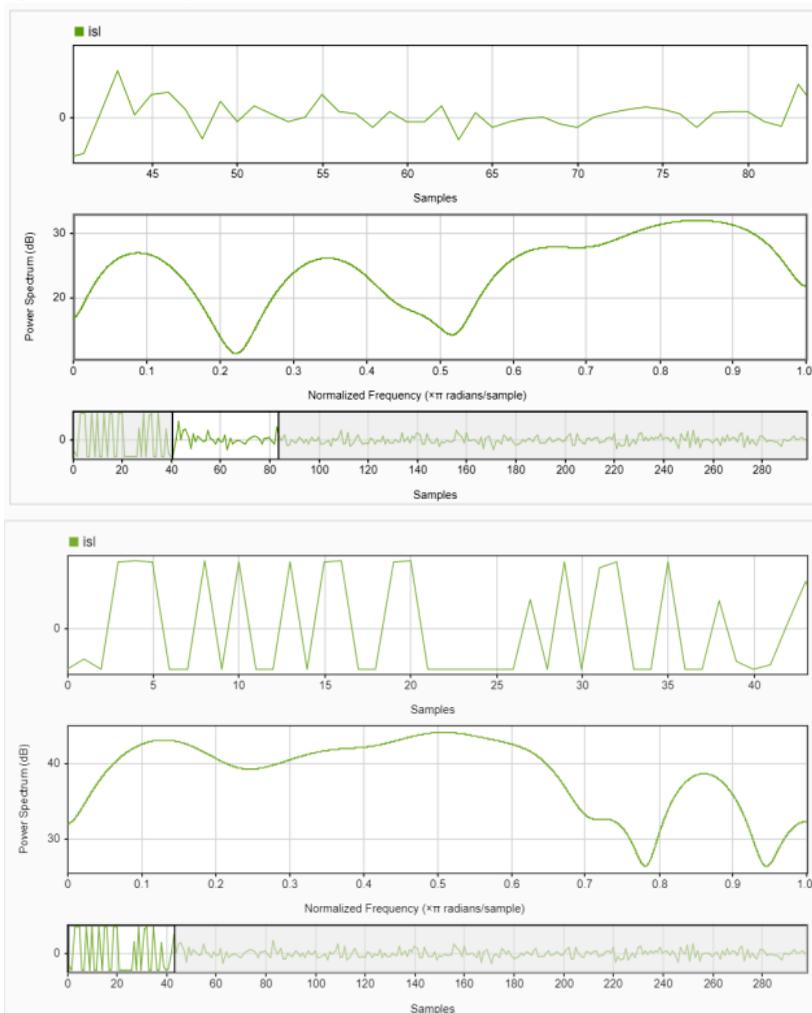


Рис. 3. Сопоставление спектров сигнала исправного двигателя и двигателя с неисправностью

Как видно на графиках (рис. 3) при исправной работе двигателя, видно преобладание высоких частот, а при неисправных – низких. Изменение амплитуды тоже может быть сигналом о нештатной работе узла. Измерения сигнала проводились при нормальных погодных условиях, под капотом исправного автомобиля.

На рис. 4 представлена обобщенная принципиальная схема датчика шума:

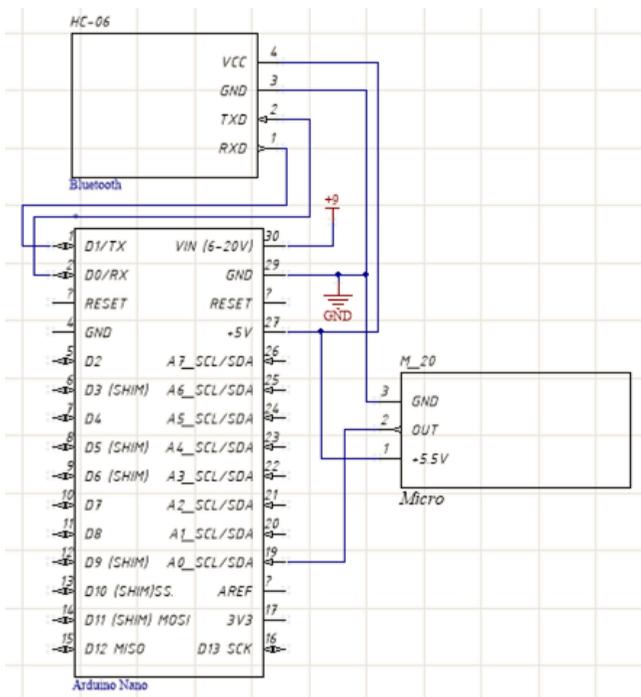


Рис. 4. Принципиальная схема подключения

В ходе исследований собрана схема датчика шума для контроля работоспособности компонентов двигателя автомобиля. В работе были исследованы результаты эксперимента и построена модель датчика. По полученным данным видим сходимость модели и эксперимента и можем говорить о применимости датчика в реальных условиях. В продолжение исследований планируется разработка компактной реализации схемы датчика.

Библиографический список

1. Виды сигналов, применяемые в телекоммуникации [Электронный ресурс]. – URL: <http://celnet.ru/typesig.php> (дата обращения: 12.05.2022).
2. MatLab Documentation [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mathworks.com/help/matlab/> (дата обращения: 14.05.2022).
3. Направленные микрофоны с шумоподавлением [Электронный ресурс]. – URL: <https://stelberry.ru/> (дата обращения: 10.04.2022).
4. Спектральные характеристики аналоговых и дискретных периодических электрических сигналов [Электронный ресурс]. – URL: https://dspace.spbu.ru/bitstream/11701/17190/1/%232_%D0%BB%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D1%8B.pdf (дата обращения: 28.05.2022).
5. Теорема Котельникова [Электронный ресурс]. – URL: <https://siblec.ru/radiotekhnika-i-elektronika/radiotekhnicheskie-tsepi-i-sig-naly/3-diskretnye-i-tsifrovye-sig-naly/3-1-teorema-kotelnikova> (дата обращения: 28.05.2022).

Сведения об авторах

Каплина Каролина Игоревна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. СРРС-20-1б, г. Пермь, e-mail: maja_9992@mail.ru

Тур Александр Игоревич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: tur.aleksandr93@mail.ru

Секция 3

**ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ.
ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

С.В. Хорошев, А.В. Кухарчук

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

**РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ЛАБОРАТОРНЫХ
ПРАКТИКУМОВ «ВЛИЯНИЕ ПЕРВИЧНОГО ДВИГАТЕЛЯ
И УСТРОЙСТВ АВТОМАТИКИ ГЕНЕРИРУЮЩЕГО
ОБОРУДОВАНИЯ НА ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»**

В этой статье представлены результаты работы по разработке комплекса лабораторных практикумов для изучения влияния первичного двигателя и устройств автоматики генерирующего оборудования на переходные процессы в электроэнергетических системах. Выполнена разработка базовых экспериментов позволяющих студентам оценить и закрепить полученные теоретические сведения относительно влияния первичного двигателя и автоматики генераторов на переходные процессы в электроэнергетических системах. Выбран программный пакет для проведения моделирования и разработки базовых моделей элементов электроэнергетической системы.

Ключевые слова: RastrWin3, RusTab, переходные процессы, первичный привод.

S.V. Horoshev, A.V. Kukharchuk

Perm National Research Polytechnic University, Perm

**DEVELOPMENT OF A COMPLEX OF LABORATORY WORK-
SHOPS «THE INFLUENCE OF THE PRIMARY ENGINE AND AU-
TOMATION DEVICES OF GENERATING EQUIPMENT
ON TRANSIENTS IN ELECTRIC POWER SYSTEMS»**

This article presents the results of work on the development of a set of laboratory workshops to study the influence of the primary engine and automation devices of generating equipment on transients in electric power systems. The development of basic experiments has been carried out that allow students to evaluate and consolidate the theoretical information obtained regarding the influence of the primary engine and generator automation on transients in electric power systems. A software package has been selected for modeling and developing basic models of elements of the electric power system.

Keywords: RastrWin3, RusTab, transients, primary drive.

В процессе изучения технических дисциплин, напрямую связанных с трудовой деятельностью у студентов, возникают проблемы с освоением материала по причине отсутствия наглядности и, как следствие, недостаточной заинтересованности. Этот недостаток частично устраняется при применении компьютерного моделирования режимов работы различных энергообъектов и их присоединений. Результаты моделирования позволяют получить представление о процессах, протекающих в зависимости от множества факторов.

Моделирование электрических режимов энергообъектов и их присоединений является важным вопросом в сфере электроэнергетики. Создано множество удобных и многофункциональных программ, таких как RastrWin, Модус, Matlab, PowerFactory, обладающих собственными областями применения, преимуществами и недостатками.

Важным аспектом является расчет, анализ, оптимизация режимов электрических сетей и систем. Моделирования переходных процессов в программном комплексе RastrWin позволяет решать следующие задачи:

- 1) изучение динамики изменения режима электроэнергетической система при возмущениях;
- 2) формирование сценариев характеристик возмущающих воздействий;
- 3) моделирование действия защит в сети сложной конфигурации.

Влияние релейной защиты на переходные процессы в электроэнергетических системах на примере ступенчатых максимальных токовых защит.

В работе были использованы тестовые схемы (рис. 1) с данными (рис. 2, 3).

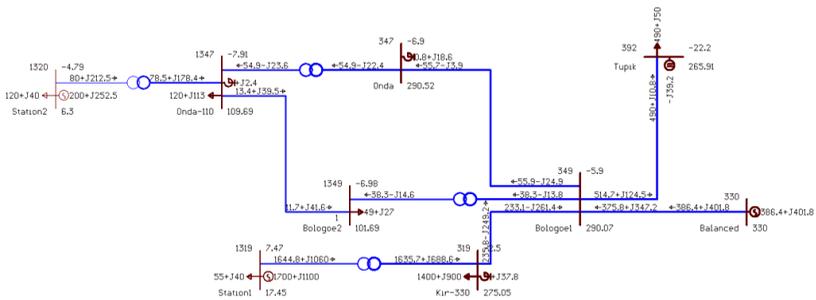


Рис. 1. Модель электроэнергетической системы

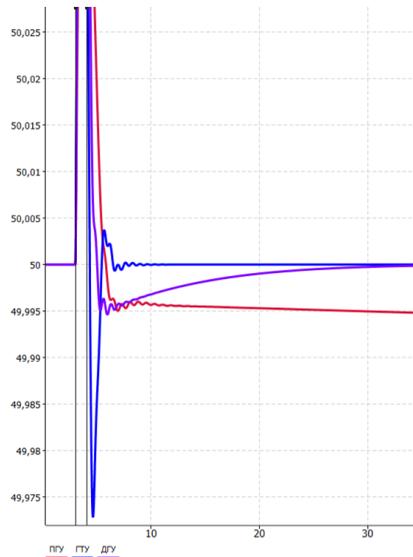
| | O | S | Тип | Номер | Название | U_ном | N... | Район | P_н | Q_н | P_г | Q_г | V_д | Q_min | Q_max | B_ш | V | Delta | Терр... |
|---|--------------------------|---|------|-------|----------|-------|------|---------|-------|---------|---------|------|---------|---------|-------|--------|--------|--------|---------|
| 1 | <input type="checkbox"/> | | Нагр | 1 347 | Onda-110 | 110 | 0 | 120,0 | 113,0 | | | | | | | 200,0 | 109,67 | -7,91 | |
| 2 | <input type="checkbox"/> | | Нагр | 1 349 | Bologoe2 | 110 | 0 | 49,0 | 27,0 | | | | | | | | 101,67 | -6,98 | |
| 3 | <input type="checkbox"/> | | Нагр | 319 | Kr-330 | 330 | 0 | 1 400,0 | 900,0 | | | | | | | 500,0 | 274,98 | -2,90 | |
| 4 | <input type="checkbox"/> | | Нагр | 347 | Onda | 330 | 0 | | | | | | | | | 220,0 | 290,48 | -6,90 | |
| 5 | <input type="checkbox"/> | | Нагр | 349 | Bologoe1 | 330 | 0 | | | | | | | | | | 290,02 | -5,90 | |
| 6 | <input type="checkbox"/> | | Нагр | 392 | Tuplk | 330 | 0 | 490,0 | 50,0 | | | | | | | -555,0 | 265,85 | -22,21 | |
| 7 | <input type="checkbox"/> | | Нагр | 1 319 | Station1 | 21 | 0 | 55,0 | 40,0 | 1 700,0 | 1 100,0 | 21,2 | 1 100,0 | 1 100,0 | | | 17,44 | 7,48 | |
| 8 | <input type="checkbox"/> | | Нагр | 1 320 | Station2 | 6 | 0 | 120,0 | 40,0 | 200,0 | 252,5 | 6,3 | 252,5 | 252,5 | | | 6,30 | -4,80 | |
| 9 | <input type="checkbox"/> | | База | 330 | Balanced | 330 | 0 | | | 386,5 | 402,3 | | | 401,8 | 401,8 | | 330,00 | | |

Рис. 2. Данные узлов

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|------|------|------|---|---------------------|------|-------|--------|-------|--|--|-------|------|--|-------|--|--|--|
| 1 | <input type="checkbox"/> | Тр-р | 319 | 1319 | 1 | Kr-330 - Station1 | 0,22 | 8,92 | | 0,058 | | | 1 636 | 688 | | 3 726 | | | |
| 2 | <input type="checkbox"/> | Тр-р | 347 | 1347 | | Onda - Onda-110 | 0,80 | 27,00 | | 0,375 | | | -55 | 22 | | 118 | | | |
| 3 | <input type="checkbox"/> | ЛЭП | 349 | 319 | | Bologoe1 - Kr-330 | 1,79 | 18,24 | -192,0 | | | | 233 | -262 | | 721 | | | |
| 4 | <input type="checkbox"/> | ЛЭП | 349 | 330 | | Bologoe1 - Balanced | 3,53 | 29,30 | -344,0 | | | | 376 | 348 | | 1 019 | | | |
| 5 | <input type="checkbox"/> | ЛЭП | 349 | 347 | | Bologoe1 - Onda | 4,14 | 25,30 | -261,0 | | | | -56 | 25 | | 122 | | | |
| 6 | <input type="checkbox"/> | ЛЭП | 349 | 392 | | Bologoe1 - Tuplk | 7,29 | 41,11 | -465,0 | | | | -515 | -125 | | 1 064 | | | |
| 7 | <input type="checkbox"/> | Тр-р | 349 | 1349 | | Bologoe1 - Bologoe2 | 1,50 | 41,20 | | 0,348 | | | -38 | 14 | | 81 | | | |
| 8 | <input type="checkbox"/> | Тр-р | 1347 | 1320 | | Onda-110 - Station2 | 0,48 | 10,80 | | 0,049 | | | 78 | 178 | | 1 026 | | | |
| 9 | <input type="checkbox"/> | ЛЭП | 1347 | 1349 | | Onda-110 - Bologoe2 | 9,90 | 17,70 | -449,0 | | | | -13 | -39 | | 245 | | | |

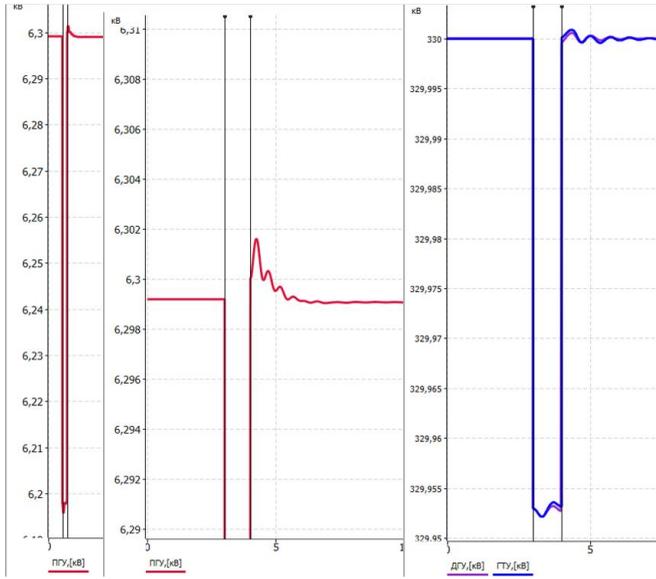
Рис. 3. Данные ветвей

Увеличение нагрузки, согласно заданному сценарию, показывает особенности протекания переходных процессов в зависимости от типа первичного двигателя. Графики изменения частоты узла и напряжения представлены на рис. 4.



а

Рис. 4. Графики частоты узла (а), график напряжения в узле (б)



б

Рис. 4. Окончание

Динамика изменения мощности представлена на рис. 5.

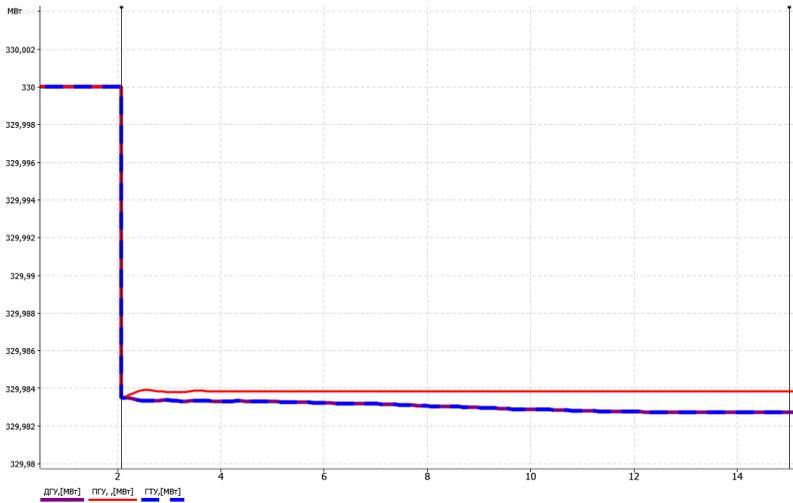


Рис. 5. Графики изменения мощности

Динамика изменения скольжения и мощности при коротком замыкании представлена на рис. 6.

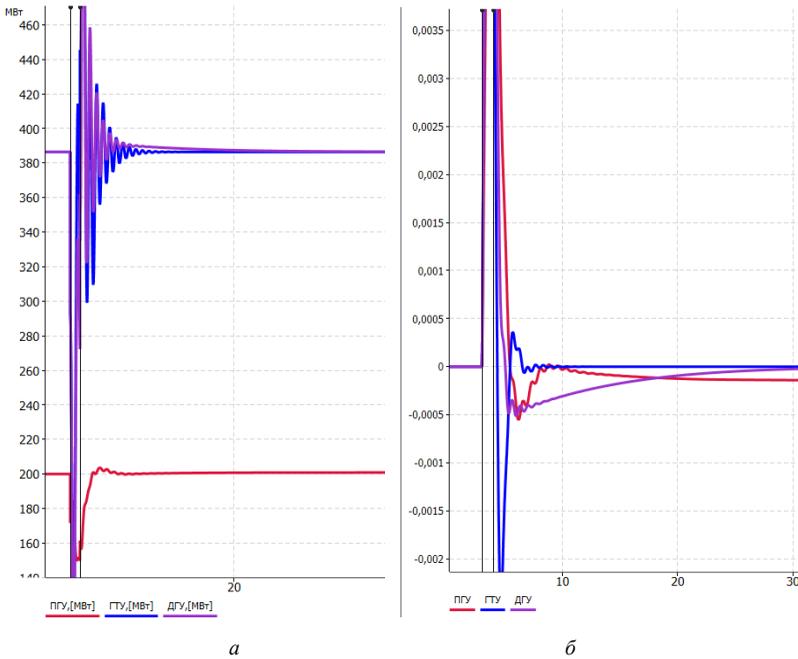


Рис. 6. Графики изменения мощности (а), изменения скольжения (б)

Отключение короткого замыкания происходит по действию максимальной токовой защиты с выдержкой времени, графики напряжения узла при срабатывании защиты и график частоты в узле представлены на рис. 7.

Влияния автоматического регулятора возбуждения (АРВ) на переходные процессы в электроэнергетических системах представлено на графиках напряжения и мощности при работе АРВ сильного действия по сравнению с АРВ пропорционального действия (рис. 8).

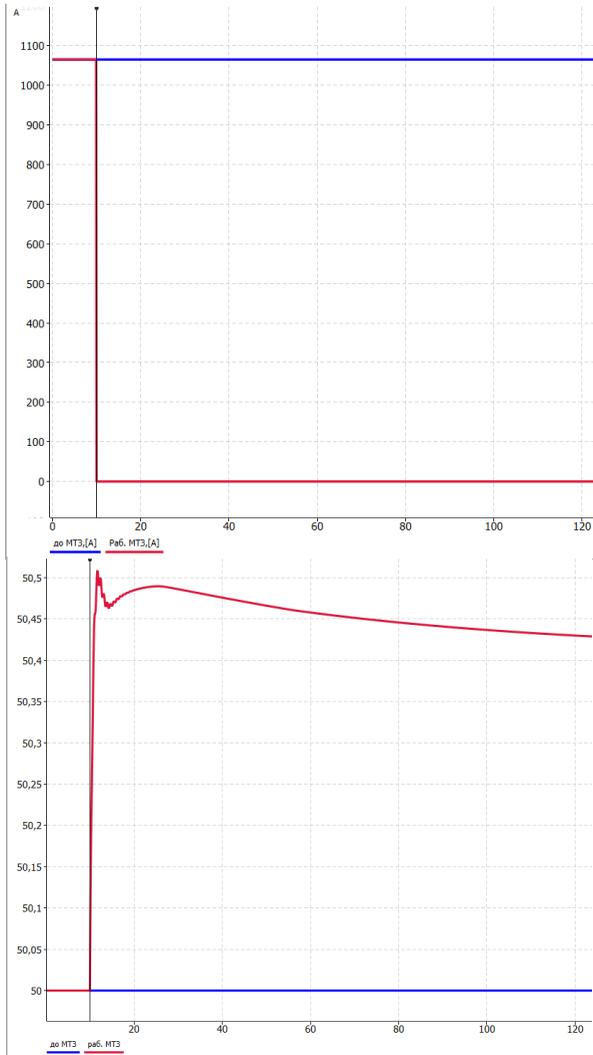
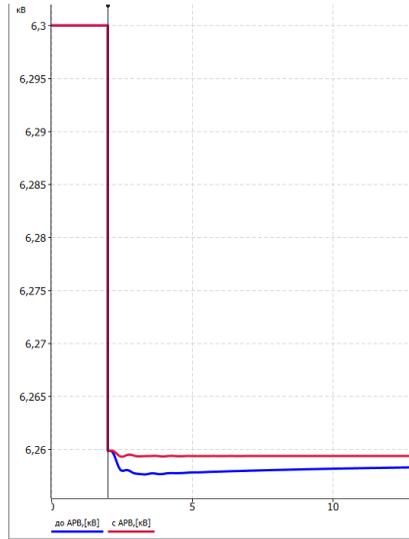
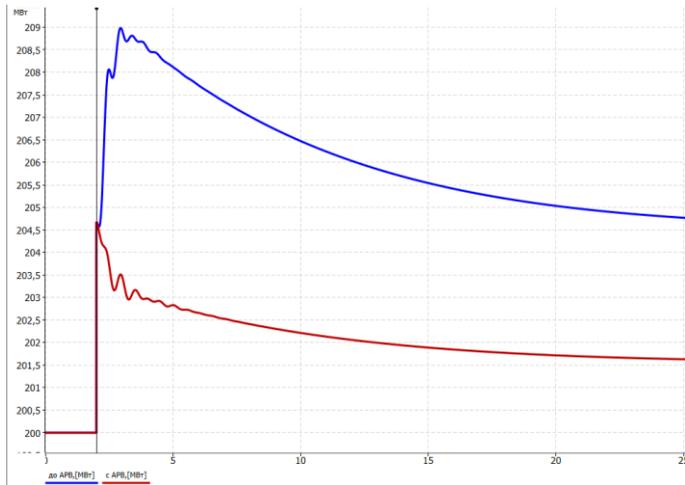


Рис. 7. Графики тока ветви/частоты узла при срабатывании МТЗ



a



б

Рис. 8. Графики напряжения в узле (*a*), изменение мощности при работе АРВ (*б*)

Таким образом, проведение учебных занятий с использованием программного пакета RastrWin позволяет рассмотреть вопросы влияния устройств автоматики и релейной защиты на переходные процес-

сы в электроэнергетических системах при различных возмущающих воздействиях, а именно коротких замыканиях, обрывах ветвей, увеличение и снижение нагрузки, изменения параметров настройки регуляторов с учетом совместной работы всех комплексов защит и автоматика, а также с учетом особенностей первичного привода генерирующего оборудования. Графический способ представления данных с возможностью выгрузки в табличный процессор и формат файлов регистрации аварийных процессов (Comtrade-формат) позволяет расширить инструменты анализа и обработки результатов экспериментов.

Подготовленный комплект моделей программного пакета RastrWin составили основу лабораторных работ «Влияние первичного двигателя и устройств автоматики генерирующего оборудования на переходные процессы в электроэнергетических системах». Применение подготовленных моделей позволяет показать наиболее важные аспекты протекания процессов в электроэнергетической системе.

Библиографический список

1. Программный комплекс «RastrWin3» Руководство пользователя / В.Г. Неуймин, Е.В. Машалов, А.С. Александров, А.А. Багрянцев [Электронный ресурс]. – 2012. – URL: https://www.rastrwin.ru/download/Files/HELP_RastrWin3_29_08_12.pdf (дата обращения: 25.11.2022).

2. «Газотурбинные установки. Конструкции и расчет»: справочное пособие / под общ. ред. Л.В. Арсеньева и В.Г. Тырышкина. – Л.: Машиностроение, 1978. – С. 37–41.

3. Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования. – М.: Академия, 2012. – 352 с.

4. Киреева Э.А., Цырук С.А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2014. – 288 с.

Сведения об авторах

Хорошев Степан Васильевич – студент Пермского национально-исследовательского политехнического университета, гр. ЭЭ-21-16, г. Пермь, e-mail: stepan.horochev@yandex.ru

Кухарчук Александр Васильевич – старший преподаватель кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: r805@mail.ru

Г.Ф. Козлов

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

ОБЗОР ПРИМЕНЯЕМЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИКЕ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

В данной статье рассматриваются виды и методы неразрушающего контроля в приложении к отраслям электромеханики и электроэнергетики, рассмотрены методы неразрушающего контроля и мониторинга состояния электрических машин и линий электропередач. Отдельно рассматриваются перспективные методы неразрушающего контроля и оценки состояния элементов электрооборудования и электросетей с применением приборного анализа спектров их инфракрасных и ультрафиолетовых полей.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, виды, методы классификация, приборный анализ в электротехнике, спектральный анализ, электромеханика, электроэнергетика.

G.F. Kozlov

Perm National Research Polytechnic University, Perm

REVIEW OF APPLIED AND PROMISING METHODS OF DISTURBING CONTROL IN ELECTROMECHANICS AND ELECTRIC POWER ENGINEERING

This article discusses the types and methods of non-destructive testing as applied to the branches of electromechanics and electric power industry, considers methods of non-destructive testing and monitoring the state of electrical machines and power lines. Separately, promising methods of non-destructive testing and assessment of the state of electrical equipment and electrical networks using instrumental analysis of the spectra of their infrared and ultraviolet fields are considered.

Keywords: non-destructive testing, types, classification methods, instrument analysis in electrical engineering, spectral analysis, electromechanics, electric power industry.

Современный уровень научно-технического прогресса предоставляет широкие возможности для создания систем диагностики и мониторинга состояния электротехнического оборудования, которые,

в первую очередь, основаны на различных видах неразрушающего контроля (НК).

Ключевым преимуществом группы методов НК в электромеханике и электроэнергетике является возможность оценки и прогнозирования технического состояния электрооборудования и установок без выведения из эксплуатации.

Согласно действующему ГОСТ Р 56542-2019 [1] методы НК классифицируются по видам, которые включают группы методов, объединенных по физическому принципу положенному в их основу.

Виды неразрушающего контроля:

1. Акустический НК.
2. Вихретоковый НК.
3. Магнитный НК.
4. НК проникающими веществами.
5. Оптический НК.
6. Радиационный НК.
7. Радиоволновой НК.
8. Тепловой НК.
9. Электрический НК.

Каждый вид включает в себя широкий спектр методов, которые призваны удовлетворить потребности всех отраслей промышленности.

В сфере электромеханики одно из центральных мест занимает метод спектрального анализа (СА) потребляемых токов по фазам, который входит в группу электрических видов НК.

Физический принцип данного метода основывается на изменении магнитного потока в воздушном зазоре между ротором и статором при неисправности в электрической или механической части двигателя и связанной с ним нагрузки [2]. Изменение магнитного потока, в свою очередь, приводит к модуляции питающего тока и возникновению паразитной переменной ЭДС. При этом спектр потребляемого тока обогащается паразитными гармониками.

Для снятия спектра токов используется программно-аппаратный комплекс, который включает датчики тока, аналогово-цифровой преобразователь и вычислительное устройство, которое с помощью математических операций разложений Фурье производит расчет амплитудно-частотного спектра тока. Метод СА токов позволяет диагностировать межвитковые короткие замыкания статора, дефекты в подшипниках

вала ротора, прецессия оси ротора и его дисбаланс, обрыв стержней короткозамкнутой обмотки ротора [2].

Вторым распространенным методом НК в электротехнике является метод вибродиагностики (ВД), относящийся к группе акустических видов НК [3]. Данный метод основан на оценке спектра механических колебаний (пульсирующих моментов), которые возникают при вращении двигателя как вследствие дефектов поверхностей трения, качения или различного рода дисбалансов ротора.

Величина дефекта определяется амплитудой пульсирующего момента и оценивается по спектру вибрации. Многие дефекты ротора асинхронного двигателя приводят к модуляции вибрации и легко обнаруживаются даже по однократным измерениям вибрации.

Подвид ВД метода, основанный на снятии спектра высокочастотных гармоник, позволяет локализовать место дефекта, располагая измерительный датчик непосредственно около исследуемого узла, т.к. волны высокой частоты имеют свойство при распространении в среде быстро затухать.

Данный метод позволяет определить дефекты короткозамкнутой «беличьей клетки», неравномерность воздушного зазора между ротором и статором, дефекты подшипников и пар зацепления. У исправных машин пульсирующие моменты отсутствуют [3].

Рассмотренные методы успешно решают вопросы диагностики, мониторинга и прогнозирования состояния электрооборудования, зачастую имеющего очень высокую цену, и позволяют значительно повысить его ресурс за счет принятия превентивных мер, таких как планово-предупредительный ремонт, не приводя оборудование к предаварийным состояниям. Однако при всех своих преимуществах и возможности получения широчайшего спектра данных о состоянии оборудования спектральные методы имеют высокую сложность расшифровки и интерпретации результатов измерений.

Наиболее перспективным путем решения данного противоречия является применение мобильных автоматизированных устройств и систем, которые осуществляют различные виды НК состояния оборудования дистанционно и с минимальным количеством технологических операций [4].

К такому виду НК относится тепловой контроль, который является одним из ключевых методов первичной оценки состояния оборудо-

вания, т.к. зачастую повышенная температура оборудования или его элементов прямо свидетельствует о возможных неисправностях. В настоящее время осуществление теплового контроля производится портативными тепловизионными системами или тепловизорами, которые позволяют дистанционно оценивать температурные поля оборудования, различные распределительные и коммутационные высоковольтные устройства, состояния электрических контактов и т.п.

На рис. 1 представлен кадр тепловизионной съемки места соединения высоконагруженных токоведущих шин, высокий нагрев свидетельствует о неудовлетворительном состоянии контакта одной из шин.

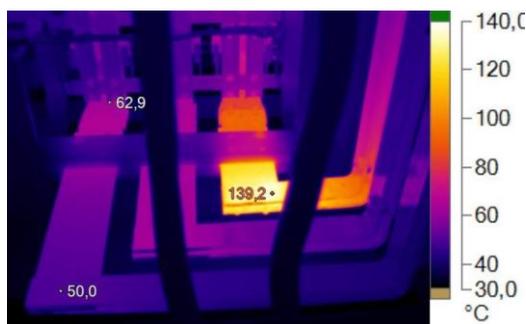


Рис. 1. Тепловизионная картина электрического контакта токоведущих шин

Тепловой вид НК позволяет диагностировать неисправности, связанные с ухудшением электрического контакта токоведущих частей, межвитковых коротких замыканий, замыканий фазных проводов на корпус электроустановки.

Отдельного внимания заслуживает стремительно развивающийся в последнее время метод оценки состояния электрической изоляции по уровню интенсивности ультрафиолетового излучения, который входит в группу оптических видов контроля. С помощью спектроанализатора ультрафиолетового (УФ) спектра оценивается интенсивность УФ-излучения от электрических разрядов, стекающих с высоковольтных частей электроустановок или возникающих на поверхности изоляции [4].

На рис. 2 представлено изображение разряда на верхней секции изолятора, что свидетельствует о его неисправности.



Рис. 2. Вид УФ-излучения на экране прибора

Данный метод позволяет производить дистанционную оценку состояния изоляции кабелей, изоляторов ЛЭП, состояния изоляции роторов и статоров электрических машин.



Рис. 3. Комплексные изображения в различных спектрах

Таким образом, комплексное применение методов первичной оценки состояния электрооборудования тепловым и оптическим методами позволяет диагностировать большинство распространенных неисправностей при достаточно низких финансовых и трудовых затратах [4].

Огромнейшим преимуществом данных методов является удаленность персонала, выполняющего данные работы от зон воздействия опасных и вредных производственных факторов. Вторым немаловажным преимуществом является универсальность данных методов НК и простота их осуществления.

Дальнейшие перспективы развития и совершенствование методов НК в электромеханике и электроэнергетике сопряжены со значительным объемом научно-технической работы и изысканий в сфере компьютерного программирования и вычислений. Так, возможным выходом для увеличения точности диагностики и прогнозирования экс-

платационных циклов оборудования является использование искусственных нейронных сетей.

С другой стороны, с развитием методов первичной приборной диагностики снижается цена приборов, расширяется функционал и повышается точность, что ведет к более качественному и своевременно обслуживанию оборудования и снижению ситуаций, в которых необходимо применение сложных методов диагностики неисправностей.

Библиографический список

1. ГОСТР56542-2019. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. – М.: Стандартиформ, 2019.

2. Новоселов Е.М. Разработка метода функциональной диагностики обмотки ротора асинхронных электродвигателей собственных нужд электростанций по внешнему магнитному полю: дис. ... канд. техн. наук / Ивановский государственный энергетический университет. – Иваново, 2018.

3. Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации: учеб: пособие. – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2000.

4. Орехов Э.А., Абрамов В.В. Методы неразрушающего контроля электротехнического оборудования // ЭнергоЭксперт. – 2020. – № 2. – С.10–13.

Сведения об авторе

Козлов Григорий Федорович – студент, лаборант кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национально исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: vavetta77@mail.ru

А.А. Лебедева, В.А. Гурко

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕСТРАНСФОРМАТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

В этой статье рассматривается DC/DC преобразователь с целью создания стенда для лабораторных работ по дисциплине «Электроника».

Ключевые слова: DC/DC преобразователь, выходное напряжение, ток нагрузки, скважность.

A.A. Lebedeva, V.A. Gurko

Perm National Research Polytechnic University, Perm

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR THE STUDY OF A BOOST CONVERTER

This article discusses a DC/DC converter in order to create a stand for laboratory work in the discipline «Electronics».

Keywords: DC/DC converter, output voltage, load current, duty cycle.

Исследование бестрансформаторного преобразователя

Цель – разработка стенда для лабораторной работы по исследованию характеристик повышающего DC/DC преобразователя, работающего по принципу широтно-импульсной модуляции.

Задачи:

1. Разработать методики выполнения лабораторной работы.
2. Построить модели бестрансформаторного преобразователя для изучения.

Бестрансформаторные преобразователи позволяют повысить КПД и значительно уменьшить массу, габариты устройства и его стоимостные показатели. Благодаря этим преимуществам бестрансформаторные преобразователи чаще других используются в электроснабжении. Это обуславливает актуальность изучения принципов их функционирования и построения [1]. Для подробного изучения преобразователей необхо-

димо разработать лабораторную работу «Исследование преобразователя постоянного напряжения» в рамках дисциплины «Электроника. Расширенный курс, раздел по электропитанию устройств» для знакомства студентов с принципами работы устройства. Для разработки модели преобразователя использована среда Multisim, которая позволяет моделировать и тестировать схемы, что подходит для исследования.

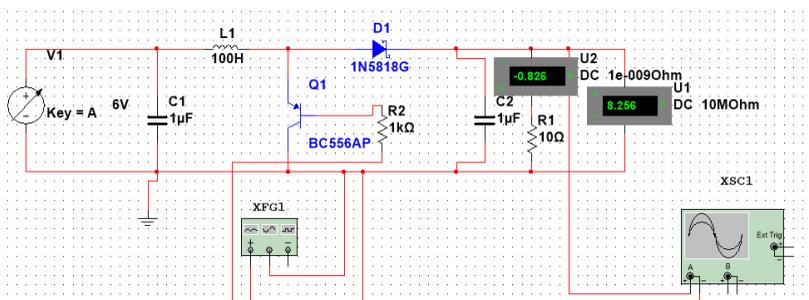


Рис. 1. Исходная схема повышающего преобразователя

В результате ранее проведенной исследовательской работы была построена модель повышающего DC/DC преобразователя [2]. Схема состоит из транзистора $Q1$ (BC556AP), дросселя ($L1$), конденсаторов ($C1$, $C2$), диода (1N5818G) и сопротивлений ($R1$, $R2$). Модель позволяет изучить зависимость выходного напряжения от скважности управляющих импульсов, получить выходные характеристики, а также дать оценку эффективности преобразования в зависимости от выбранных параметров.

Предлагается методика:

1) Рассмотреть принцип широтно-импульсной модуляции на примере модели, созданной в Multisim. Основной принцип данной модуляции – напряжение подается не одним потоком, а короткими импульсами с большой частотой. Меняя ширину импульсов, можно менять напряжение от нуля до максимума с любым шагом. В этом случае входным параметром является скважность управляющих импульсов, которая определяется как $Q = T/t$, где T – период следования импульсов, t – длительность импульса. Для изменения этого параметра при постоянной частоте будем изменять длительность импульса t . Она устанавливается в процентах по отношению к периоду T .

2) Найти зависимость выходного напряжения от скважности управляющих импульсов. Для этого в настройках системы управления последовательно изменять длительность импульса (в процентах) и фиксировать значения напряжения на выходе. Пример такой зависимости представлен на рис. 2.

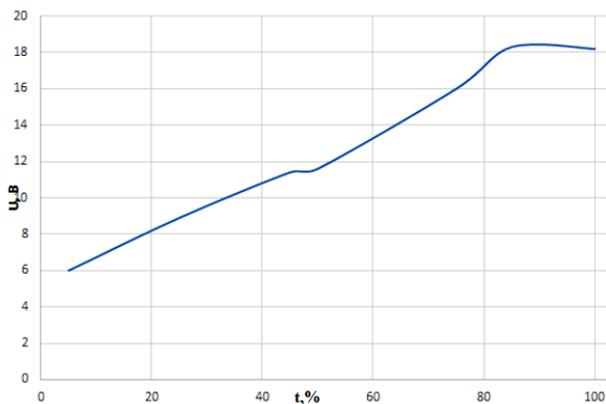


Рис. 2. Зависимость напряжения на выходе от длительности

3) Найти нагрузочную (выходную) характеристику преобразователя. Для этого измерить ток нагрузки и напряжение на выходе, изменяя сопротивление нагрузки. По полученным данным построить график зависимости (рис. 3).

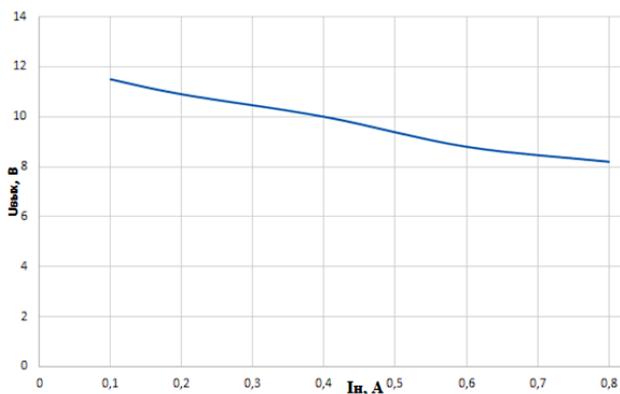


Рис. 3. Зависимость напряжения на выходе от тока нагрузки

4) Оценить эффективность такого преобразования. Для этого определить коэффициент полезного действия схемы (КПД) по следующим формулам (1), (2), (3):

$$P_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ}} \cdot I_{\text{H}}, \quad (1)$$

$$P_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ}} \cdot I_{\text{ВХ}}, \quad (2)$$

$$\eta = (P_{\text{ВЫХ}} / P_{\text{ВХ}}) \cdot 100. \quad (3)$$

Исходя из полученных измерений, получаем зависимость КПД от тока нагрузки, пример которой показан на рис. 4.

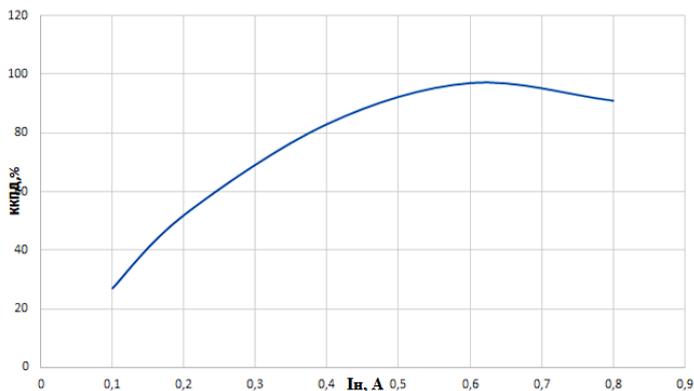


Рис. 4. Зависимость КПД от тока нагрузки

В результате можно сделать выводы, что построенная модель бестрансформаторного преобразователя в среде Multisim подходит для наглядного изучения принципов работы такого устройства студентами вузов в рамках дисциплины «Электроника».

Заключение. В данной работе была построена модель повышающего DC/DC преобразователя для создания лабораторной работы по дисциплине «Электроника. Расширенный курс, раздел по электропитанию устройств».

Данная модель позволяет изучить принцип широтно-импульсной модуляции и ознакомиться с работой подобных бестрансформаторных преобразователей. Разработанную методику изучения преобразователя планируется ввести в список лабораторных работ, выполняемых студентами.

Библиографический список

1. Браун Марти. Источники питания. Расчет и конструирование: пер. с англ. – К.: МК-Пресс, 2007.
2. Образцов А., Образцов С. Схемотехника DC/DC преобразователей [Электронный ресурс]. – URL: https://elwo.ru/_fr/9/_DC-DC_.pdf

Сведения об авторах

Лебедева Алена Андреевна – студентка Пермского национально-исследовательского политехнического университета, гр. АТ-20-1б, г. Пермь, e-mail: happystars13@yandex.ru

Гурко Владимир Алексеевич – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: vlgurko@gmail.com

Я.В. Мироненко

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В статье проводится сравнительный анализ различных методов оценки остаточного ресурса электрооборудования на этапе эксплуатации жизненного цикла. Рассматриваются такие методы, как анализ параметров наработки и рабочего цикла нагрузки, экстраполяционный метод, экстраполяционный метод с корректировкой временного ряда по методу Эйлера, линеаризованный учет влияния изменения режима эксплуатации на результат измерения диагностического параметра, метод линейного суммирования повреждений, использование нейронной сети для прогноза матрицы временных рядов. По результатам анализа делается вывод о наибольшей перспективности методов из предложенного списка.

Ключевые слова: электрооборудование, жизненный цикл, оценка остаточного ресурса, временной ряд, экстраполяция, задача прогнозирования, диагностический мониторинг, нейронные сети.

Ya.V. Mironenko

Perm National Research Polytechnic University, Perm

ANALYSIS OF METHODS FOR ASSESSING THE RESIDUAL LIFE OF ELECTRICAL EQUIPMENT FROM THE RESULTS OF DIAGNOSTIC MONITORING

The article provides a comparative analysis of various methods for assessing the residual life of electrical equipment at the stage of operation of the life cycle. The following methods are considered: analyzes of operating time and load duty cycle parameters, extrapolation method, extrapolation method with time series correction using the Euler method, linearized accounting for the impact of operating mode changes on the result of measuring a diagnostic parameter, the method of linear damage summation, the use of a neural network to predict the matrix of temporary rows. Based on the results of the analysis, a conclusion is made about the most promising methods from the proposed list.

Keywords: electrical equipment, life cycle, residual life estimation, time series, extrapolation, forecasting problem, diagnostic monitoring, neural networks.

Электрооборудование (ЭО) функционирует в условиях непрерывного потока воздействий самых разных факторов окружающей среды, под воздействием которых в соответствии с базовыми физическими законами изменяются его характеристики и свойства [1]. Эти факторы прямо формируют физический и косвенно моральный износ – ЭО перестает надлежащим образом осуществлять требуемые функции и отвечать новым требованиям. Изменения работоспособности ЭО при его создании, использовании (эксплуатации) и ликвидации в условиях названных разнонаправленных процессов составляют конечное множество состояний и режимов, которое называют жизненным циклом [2, 3]. При рассмотрении ЭО наиболее длительным процессом из составляющих жизненного цикла является этап эксплуатации. В рамках управления жизненным циклом должны быть решены вопросы, затрагивающие эффективность, экономичность, допустимость и безопасность эксплуатации конкретной единицы ЭО. Одним из параметров, позволяющих оценить данные аспекты эксплуатации, является остаточный ресурс.

Под остаточным ресурсом исправного ЭО принимается промежуток времени его работы от текущего момента до перехода в предельное состояние при заданных режимах работы ЭО и условиях его эксплуатации. Задача оценки остаточного ресурса (ООР) эксплуатируемого объекта относится к классу задач индивидуального прогнозирования и включает решение таких задач, как оценка текущего состояния, прогнозирование этого состояния в будущем, оценка вероятностей наступления отказов, оценка риска аварийных ситуаций. На основе этого прогноза устанавливается предельно-допустимый срок эксплуатации оборудования или назначается срок очередного контроля состояния исследуемого объекта [4].

Наиболее простыми методами решения задачи ООР являются анализ параметров наработки для оборудования непрерывного цикла и параметров рабочего цикла нагрузки для ЭО с циклическим графиком работы. В качестве основы этих методов выступают вероятностные модели. Так, ООР для оборудования непрерывного цикла происходит по следующей формуле:

$$T = Y \cdot C \cdot k_{\text{восст}} - t, \quad (1)$$

где T – остаточный ресурс, ч, Y – предельный срок службы, лет, C – количество рабочих часов в г, $k_{\text{восст}}$ – коэффициент восстановления [1, 2] вследствие ремонтов, t – наработка оборудования, ч.

При использовании данных методов необходимо учитывать, что статистические данные о наработке на отказ ЭО, лежащие в основе вероятностного метода прогнозирования, не могут отражать фактические условия для конкретной единицы ЭО, для которой существует уникальная комбинация как эксплуатационных факторов, так и, вероятно, производственных, обуславливающих запас прочности. Логичным представляется использование для индивидуальных прогнозов методов, в основе которых лежат данные, полученные в ходе диагностического мониторинга отдельных параметров ЭО.

Одним из простых, и в то же время понятных методов ООР является экстраполяционный метод прогнозирования. В рамках данного метода анализируется последовательность измеренных значений контролируемого параметра ЭО, который регистрируется через некоторые промежутки времени, в идеале стремящиеся к нулю. Эта последовательность называется временным рядом. Решение задачи прогнозирования в этом случае строится на предположении, что изменение контролируемого параметра во времени подчиняется некоторому детерминированному закону, который сохраняется неизменным как на интервале наблюдений за ЭО (базовом прогнозном периоде), так и на интервале прогнозирования [5]. Производится идентификация данного закона посредством построения математической модели временного ряда в наибольшей мере приставляющей процесс изменения параметра при минимальном количестве атрибутов.

Сама по себе ООР представляет собой измерение промежутка времени от момента оценки до достижения контролируемым параметром предельного значения на экстраполированной части функции. Предполагается, что неизбежные случайные флуктуации ВР можно довести до приемлемого уровня дисперсии применением известных операторов сглаживания, таких как операторы математического ожидания, текущего среднего, экспоненциального сглаживания, и менее известных – интегральных [6]. Распространенным является механизм аппроксимации функции ВР по критерию минимума квадратов отклонений:

$$\sum_{j=1}^m \Delta_j^2 = \sum_{j=1}^m [X(t_j) - \tilde{X}(t_j)]^2 \rightarrow \min. \quad (2)$$

где $X(t_j)$ – временной ряд значений измеренного диагностического параметра, $\tilde{X}(t_j)$ – временной ряд значений аппроксимирующей функции, j – номер измерения, m – количество измерений диагностического параметра при $m \rightarrow \infty$.

Как правило, точность совпадения аппроксимирующей функции с реальными результатами наблюдения не велика, но, в целом, метод позволяет получить приближенную ООР. Главным недостатком экстраполяционного метода является то, что в обычном своем виде он применим только для одного параметра, имеющего наиболее сильную связь с деградацией состояния ЭО, и не учитывает режим работы ЭО. В отношении многорежимного ЭО используется корректировка временного ряда с использованием метода Эйлера. Алгоритм предусматривает выявление заведомо неадекватных результатов измерений, выполненных на неработающем объекте, путем их сравнения с предыдущими полноценными измерениями и замену их на значения, вычисленные по методу Эйлера (т.е. с использованием тренда, вычисленного по предыдущим замерам) [5]. Данный подход является эффективным для ЭО, работающего в одном из двух состояний: «включено» – «выключено», но не позволяет в полной мере учитывать зависимость некоторых диагностических параметров от загрузки оборудования.

На практике для многорежимных объектов используются алгоритмы линеаризованного учета влияния аналогового изменения режима объекта на результат измерения диагностического параметра (путем построения номограмм) или линейного суммирования повреждений (создание аналитической зависимости темпа развития дефекта от параметров, определяющих режим эксплуатации объекта).

В рамках метода линейного суммирования повреждений создается функция зависимости диагностического параметра Y от множества параметров X , вида $Y = f[X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)]$. Ожидаемое достижение предельного значения параметра, т.е. остаточный ресурс, в этом случае прогнозируется при наработке T :

$$Z(T) = \int_0^T [X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)] dt. \quad (3)$$

В конечном счете указанные алгоритмы позволяют дать ООР при одном диагностическом параметре и множестве параметров нагрузки и условий функционирования. Точность по-прежнему определяется аппроксимирующими функциями и не является сильной стороной указанных методов. При введении в задачу, помимо множества параметров условий эксплуатации, дополнительного множества диагностических параметров решение задачи прогнозирования может быть получено принципиально другими методами при условии выбора одного из предположений на первом этапе.

Если мы предполагаем, что диагностические параметры взаимно не зависимы, а зависимы только от условий функционирования, то ООР может быть проведена методом линейного суммирования повреждений для каждого рассматриваемого диагностического параметра по формуле (3) с определением наработки T . В этом случае минимальное значение T для рассматриваемых рядов будет искомым величиной остаточного ресурса.

Однако, не всегда можно говорить о независимости диагностических параметров друг от друга. Так, может наблюдаться явление возрастания интенсивности ЧР при повышении температуры изоляции. Но допустимо и обратное явление, когда происходит повышение температуры изоляции вследствие активности ЧР. И в том и в другом случае исходный параметр может не достичь предельной величины, но повлиять на достижение предельной величины зависимым параметром. Основная сложность заключается в том, что априорно эти зависимости не известны и уникальны для каждой рассматриваемой ситуации.

В этом случае невозможно использовать метод линейного суммирования повреждений независимо для каждого параметра. Необходимо прогнозировать уже несколько временных рядов для каждого диагностического параметра, связанных между собой и связанных с другими рядами, относящимися к другим единицам ЭО такого же типа.

Эффективным является решение задач такого типа с использованием методов искусственного интеллекта (ИИ), а именно искусственных нейронных сетей. В этом случае входными параметрами будут

временные ряды по всем диагностическим параметрам, условиям функционирования, нагрузки и наработки.

Для решения задачи указанным методом необходимо выбрать математическую модель для нейронной сети, произвести ее обучение на тестовых данных, загрузить результаты наблюдений и получить на выходе экстраполированную матрицу временных рядов.

Нейронная сеть, полученная таким образом, сможет произвести ООР с учетом взаимозависимости наблюдаемых диагностических параметров, а вместо аппроксимирующей функции используются более точные алгоритмы машинного обучения, т.е. дается наиболее точный прогноз в реальных условиях эксплуатации и развития дефектов. ООР в этом случае можно также проводить по параметру, достигающему предельного показателя в наиболее короткий срок, а можно оценивать совокупность признаков и воспользоваться алгоритмом нечеткой логики для комплексной оценки по совокупности признаков. Для этого необходимо фазсифицировать значения каждого параметра по заданным функциям принадлежности, подготовить лингвистические продукты для каждого параметра и предельных значений, сформировать и произвести логический вывод по алгоритму Мамдани и дефазсифицировать результат.

Значение ООР можно получить в процентах от определенного ранее минимального значения достижения предельного состояния. Сведения по всем описанным методам ООР представлены в таблице.

Сравнительный анализ методов оценки
остаточного ресурса ЭО

| Метод ООР | Преимущества | Недостатки |
|--|--|---|
| Анализ параметров наработки и рабочего цикла нагрузки для ЭО | Простейшая математическая формула, быстрая скорость оценки | Наименьшая точность прогнозирования, отсутствие влияния факторов эксплуатации на результат прогноза |
| Экстраполяционный метод | Точность, достаточная для инженерных расчетов, возможности сглаживания влияния эксплуатационных факторов | Оценка только одного диагностического параметра, отсутствие влияния факторов эксплуатации и режимов работы ЭО |

Окончание таблицы

| Метод ООР | Преимущества | Недостатки |
|--|--|---|
| Экстраполяционный метод с корректировкой временного ряда по методу Эйлера | Точность, достаточная для инженерных расчетов, возможность учета времени работы ЭО | Оценка только одного диагностического параметра, отсутствие влияния факторов эксплуатации |
| Линеаризованный учет влияния изменения режима эксплуатации на результат измерения диагностического параметра | Точность, достаточная для инженерных расчетов, возможность учета факторов эксплуатации ЭО | Оценка только одного диагностического параметра, учет только линейной зависимости, сложность построения и интерпретации номограмм |
| Метод линейного суммирования повреждений | Точность, достаточная для инженерных расчетов, возможность учета нескольких факторов эксплуатации ЭО в одной модели, оценка по нескольким временным рядам отдельных параметров | Отсутствие учета взаимного влияния различных диагностических параметров |
| Использование нейронной сети для прогноза матрицы временных рядов | Наибольшая точность, возможность учета нескольких факторов эксплуатации ЭО в одной модели, оценка по нескольким параметрам с учетом их взаимозависимости, возможность комплексной ООР с учетом комбинации факторов | Абстрактная информационная модель, необходимость обучения модели. |

Таким образом, наиболее перспективным методом ООР ЭО является использование нейронной сети для прогноза матрицы временных рядов. Дальнейшее развитие метода определяется точностью выбираемых математических моделей и алгоритмов ИИ.

Библиографический список

1. Косорлуков И.А. Прогнозирование жизненных циклов электроустановок 6–35 кВ на основе математического моделирования и оценки рисков отказов: автореф. дис. ... кан. наук. – Самара, 2013. – 20 с.

2. Бердников Р.Н. Основные положения концепции интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью // Энергия единой сети. – 2012. – № 4 (4). – С. 4–11.

3. Андреев Д.А., Назарычев А.Н. Управление жизненным циклом электроустановок при эксплуатации по техническому состоянию // Надежность и безопасность энергетики. – 2013. – № 3 (22). – С. 32–36.

4. Лукьяненко В.И., Воробьева Н.В., Воробьев Ю.В. Оценка остаточного ресурса технического оборудования в единичном исполнении // Вестник ТГТУ. – 2012. – Т. 18, № 4. – С. 1039–1043.

5. Равин А.А., Хруцкий О.В. Инженерные методы прогнозирования остаточного ресурса электрооборудования // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2018.– № 1. – С. 33–47.

6. Соболев Л.Г. Операционные методы в задачах идентификации экспериментальных функций тренда // Автоматика и телемеханика, – 1997. – № 2. – С. 100–107.

Сведения об авторе

Мироненко Ярослав Владимирович – заместитель генерального директора АО «РЭС Групп», г. Владимир, e-mail: yaroslav.mironenko@inbox.ru

А.С. Литвин, Е.А. Чабанов, Е.В. Чабанова

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

ВИБРАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Данная статья посвящена актуальной теме оценки возможности определения ресурса эксплуатируемых электрических машин переменного тока с помощью вибрационных методов диагностики и контроля их технического состояния.

Ключевые слова: вибрационный метод, электрические машины переменного тока.

A.S. Litvin, E.A. Chabanov, E.V. Chabanova

Perm National Research Polytechnic University, Perm

VIBRATION METHODS FOR DIAGNOSING AND MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF AC ELECTRICAL MACHINES

This article is devoted to the actual topic of assessing the possibility of determining the resource of operated AC electrical machines using vibration methods for diagnosing and monitoring their technical condition.

Keywords: vibration method, AC electrical machines.

Детали и узлы электрических машин (ЭМ) и оборудования должны быть надежными. Они должны выполнять свои функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в пределах заданной нормы и в течение всего установленного срока эксплуатации [1].

Повышение надежности производится на основе прогнозирования работоспособности. В свою очередь, прогнозирование работоспособности может осуществляться за счет контроля и диагностирования параметров ЭМ. Чем больше контролируемых параметров и чем точнее их результаты, тем выше точность определения отклонения от нормальной работы ЭМ. При наличии результатов формируются выводы о состоянии ЭМ в текущий момент времени и делается заключение о вероятности выхода ее из строя в ближайший момент времени, а

также о необходимости и сроках проведения планового технического обслуживания. Все вышесказанное позволяет предотвратить внеплановые и дорогостоящие нарушения производственных циклов предприятий по причине выхода из строя ЭМ.

Существует несколько методов диагностики технического состояния ЭМ. В настоящей статье рассмотрены вибрационные методы контроля. Данные методы относятся к методам неразрушающего контроля (это те методы, которые позволяют без разборки и остановки ЭМ проводить ее диагностику).

Вибрация – механическое колебание тела относительно состояния покоя. Конструкция ЭМ любой конструкции должна характеризоваться низким уровнем вибрации. По причине естественного износа ЭМ и используемого с ними оборудования происходит износ деталей, а, следовательно, повышение вибрации. Элементы ЭМ, взаимодействуя друг с другом, через элементы конструкции рассеивают энергию в виде механических колебаний.

Внутренние вынуждающие силы являются источником вибрации элементов ЭМ. Они зависят от технического состояния ЭМ, а именно от допусков, зазоров, соприкосновения контактных поверхностей, сил, возникающих при вращательном и возвратно-поступательном движениях неуравновешенных элементов. Механические колебания даже с небольшой амплитудой являются источником вибрации и акустического шума. Они могут вызвать резонансные колебания других элементов ЭМ [2].

Основными методами мониторинга и диагностики ЭМ являются:

- анализ общего уровня вибрации;
- метод ударных импульсов;
- частотный анализ и метод спектрального анализа огибающей высокочастотной вибрации.

Самый простой и доступный метод диагностики – измерение общего уровня вибрации. В соответствии с ним следует в достаточно широких диапазонах частот производить измерения среднеквадратичных значений виброускорения механических колебаний. Также можно фиксировать их пиковые значения. Анализу подвергаются не сами измеренные величины, а их спектры, т.к. практически все составные части ЭМ вращательного типа обладают сопоставимыми величинами составляющих вибраций на всех диапазонах частот.

Максимальный вклад при спектральном анализе составляют лишь некоторые основные составляющие, либо одна доминирующая, обычно составляющая по частоте вращения, которая имеет наибольшее значение. Дефекты, возникающие в ЭМ, приводят к росту других составляющих, уровень которых, тем не менее, все же остается ниже уровня доминирующей [2].

Для приблизительной (грубой) оценки состояния ЭМ достаточно осуществлять измерение общего уровня вибрации. В настоящее время при мониторинге и диагностике ЭМ используется именно такой метод, при котором выполняется сравнительный анализ общего уровня вибрации ЭМ с пороговыми значениями, установленными различными нормативными документами. Хотя данный метод позволяет оценивать лишь в первом приближении скорость изменения состояния ЭМ, однако он может быть использован для постоянных оценки и контроля технического состояния ЭМ.

Второй метод – метод ударных импульсов предназначен для оценки отношения пикового и среднеквадратичного значений виброускорений.

В отличие от ранее рассмотренных методов последний имеет преимущества, связанные с тем, что в нем нет необходимости отслеживать ударные импульсы. Однако этот метод не позволяет выявить те дефекты, начинающие появляться в ЭМ, которые не приводят к появлению ударных импульсов. Зачастую выходящий из строя элемент ЭМ может начать проявлять себя лишь незадолго до отказа двигателя. При этом развивается целая последовательность дефектов, каждый из которых может стать источником вибраций. Вследствие чего может значительно увеличиться частота появления ударных импульсов, а роста пикфактора происходить не будет. В этом случае также затруднительно определить сам тип дефекта, а значит, невозможно с высокой вероятностью оценить состояние всей ЭМ и определить ее ресурс. По указанной причине данный метод целесообразно использовать для контроля состояния элемента ЭМ, дефект в котором был предварительно определен.

Несмотря на такую особенность метода, он применяется достаточно часто в совокупности с другими методами, например, совместно со спектральным анализом огибающей высокочастотной вибрации [3] или вейвлет-анализом [4].

Спектральный анализ позволяет разделить сигнал на набор (спектр) гармонических составляющих определенной частоты и амплитуды, анализ которых дает возможность оценить степень вибрации на каждом отдельном частотном уровне.

Спектральный анализ ЭМ обычно осуществляется по гармоническим составляющим низкой частоты, потому что подавляющее большинство дефектов, оказывающих существенное влияние на ЭМ, проявляются именно на низкочастотной вибрации. Однако в этом случае могут возникнуть некоторые недостатки:

- на низкой частоте оказывается затруднительным отделение гармонических составляющих друг от друга по причине их слабого затухания;

- сигнал низкой частоты может приходиться сразу от нескольких элементов ЭМ, поэтому проблематично определить источник такого сигнала и его вид;

- амплитуда сигнала низкой частоты может оказаться соизмеримой с уровнем сигнала помехи;

- затруднено выявление вновь появляющихся дефектов, потому что на таких частотах ЭМ может вибрировать как целое устройство.

Исследование гармонических составляющих на средних частотах не может существенно увеличить эффективность мониторинга и диагностики ЭМ. Даже при незначительном изменении параметров работы ЭМ, свойств ее элементов, нагрузки или же свойств окружающей среды может существенно измениться диапазон частот гармонических составляющих. Это может привести к неверной идентификации дефектов ЭМ.

Известно, что по огибающей высокочастотного сигнала вибрации [2] можно определить текущее техническое состояние ЭМ с достаточной высокой степенью достоверности. Как отмечалось по частотам и амплитудам гармоник, входящих в спектр исследуемого сигнала, можно определить, в том числе, дефекты, возникающие в узлах ЭМ, которые испытывают силы трения. При отсутствии дефектов гармонические составляющие спектра проявляться не будут. При этом частота модуляции определяет вид, а глубина модуляции – величину дефекта.

Достоинства спектрального анализа:

- возможность определения конкретного места возникновения дефекта;

- локализоваться будет тот дефект, который окажется на наименьшем расстоянии от датчика вибрации;
- дефекты, расположенные на удалении от датчика вибрации, будут оказывать наименьшее воздействие на гармонический состав спектра, а следовательно, не будут наводить дополнительный шум на исследуемый сигнал, что значительно повысит качество диагностики;
- высокая чувствительность;
- возможность локализации дефектов на разных стадиях их жизни от момента появления, на протяжении всего развития и до критического состояния;
- достоверность определения вида и величины каждого из дефектов обусловлена тем, что они проявляются практически одинаково при разных настройках математического аппарата исследований;
- постановка диагностического результата с выработкой рекомендаций может осуществляться по однократным измерениям вибраций;
- позволяет определять вид и степень развития любого дефекта и прогнозировать ресурс контролируемого узла без предварительного построения эталонов по предельным глубинам модуляции всех возможных сильных дефектов и скоростей развития каждого вида дефекта [3].

Библиографический список

1. Носов В.В. Диагностика машин и оборудования: учеб. пособие. – 2-е изд., испр. И доп. – СПб.: Лань, 2012. – 384 с.
2. Баркова Н.А., Дорошев Ю.С. Неразрушающий контроль технического состояния горных машин и оборудования: учеб. пособие. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2009. – 157 с.
3. Седунин А.М., Афанасьев Д.О., Сидельников Л.Г. Методы вибродиагностики асинхронных электродвигателей. – Пермь. Научные исследования и инновации, 2011. – № 2. – С. 191–194.
4. Колпакова М.А., Заборовцев Е.А., Чабанов, Е.А. Оценка технического состояния синхронных машин на основе вейвлет-анализа // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2021. – № 38. – С. 195–220. DOI 10.15593/2224-9397/2021.2.10

Сведения об авторах

Литвин Артем Сергеевич – аспирант кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: litvinarts@yandex.ru

Чабанов Евгений Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: ceapb@mail.ru

Чабанова Евгения Владимировна – кандидат педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой «Специальности водного транспорта и управления на транспорте» Пермский филиал Волжского государственного университета водного транспорта, г. Пермь, e-mail: jentosina@yandex.ru

К.А. Конев, Е.А. Чабанов

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИНЕЙНОГО ПРИВОДА В ОТБойНОМ МОЛОТКЕ

Развитие науки способствует развитию новых технологий. Их внедрение позволяет упростить выполняемые работы и увеличить уровень безопасности задействованного при этом рабочего персонала. В жизни люди достаточно часто сталкиваются с выполнением строительных работ. В строительной сфере технологии постоянно обновляются, в том числе при производстве строительного инструмента. В данной статье рассматривается возможность использования линейного привода в отбойном молотке. Оценочный расчет и эскизный чертеж показывают, что использование линейного привода намного эффективнее и практичнее, чем применение электропривода на основе двигателя вращательного типа.

Ключевые слова: цилиндрический линейный двигатель, отбойный молоток, замена двигателя, принцип работы, особенность.

K.A. Konev, E.A. Chabanov

Perm National Research Polytechnic University, Perm

USING A LINEAR ACTUATOR IN A JACKHAMMER

The development of science contributes to the development of new technologies. Their implementation makes it possible to simplify the work performed and increase the level of safety of the working personnel involved. In life, people quite often encounter construction work. In the construction industry, technologies are constantly updated, including in the production of construction tools. This article discusses the possibility of using a linear drive in a jackhammer. Estimated calculation and sketch drawing show that the use of a linear actuator is much more efficient and practical than the use of an electric actuator based on a rotary type motor.

Keywords: cylindrical linear motor, jackhammer, engine replacement, operating principle, feature.

Ломать – не строить, но, тем не менее, для выполнения этой работы необходим специализированный инструмент. Времена, когда крушили стены кувалдой или подвешенной на специальный кран гирей,

давно прошли. Цивилизованным стал даже процесс разрушения. По сути, современный демонтаж не предусматривает полный разгром чего-либо – сегодня все разбирают с целью переработки ненужного материала с целью повторного его использования. В этой статье мы рассмотрим такой инструмент, как электрический отбойный молоток, и возможности его усовершенствования. Ознакомимся с его устройством и принципом работы.

Анализ статьи [5] позволяет отметить, что эффективным и достаточно удобным будет применение цилиндрического линейного вентильного двигателя (ЦЛВД) в электроприводе отбойного молотка для создания нужной ударной силы (рис. 1).

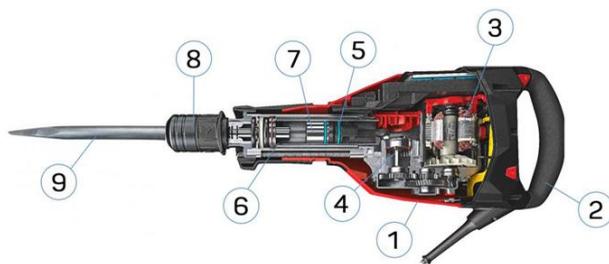


Рис. 1. Стандартный отбойный молоток в разрезе: 1 – корпус; 2 – рукоятка; 3 – электродвигатель; 4 – шатун; 5 – поршень; 6 – цилиндр; 7 – ударник; 8 – патрон; 9 – пика

Согласно принципу действия отбойного молотка с коллекторным двигателем, при нажатии на пусковую кнопку электрический двигатель начинает вращаться, и присоединенный к двигателю шатун начинает выполнять возвратно-поступательное движение. Это приводит в движение поршень, который сжимает воздух в камере. Повышение давления в камере смещает цилиндр, который бьет по неподвижному ударнику. От него энергия передается на пике, пика вибрирует, тем самым создается разрушительная сила. В это время шатун уже тянет поршень назад, засасывая воздух. Это возвращает цилиндр в исходное положение. После чего цикл повторяется.

Для рассмотрения принципа работы отбойного молотка с применением ЦЛВД необходимо учесть особенности:

1. Линейный двигатель питается напряжением 220 В, а значит, он является однофазным. Поэтому для создания второй фазы будут при-

меняться 2 конденсатора. Электродвигатель в рабочем состоянии для движения вторичного элемента использует обмотки, а в момент пуска для создания первоначального сдвига обычных усилий двигателя будет недостаточно, и без использования дополнительных средств он начнет вибрировать. Таким образом, первый конденсатор будет использоваться при пуске двигателя. Второй, он же рабочий, конденсатор будет применяться на постоянной основе для организации сдвига фаз обмоток электродвигателя для того, чтобы двигатель работал стабильно без прерываний.

2. Для обеспечения возвратно-поступательного движения в линейном приводе могут быть рассмотрены 2 варианта:

а) с помощью пружины. Вторичный элемент будет выполнять движение, и сжимать пружину. Пружина же своими физическими свойствами будет возвращать вторичный элемент в первоначальное положение;

б) с помощью переключения фаз обмотки. Когда вторичный элемент достигает положение пики, включается один из датчиков, находящийся на конце индуктора, он посылает сигнал станции управления, которая переключает фазы, когда же слайдер достигает другого конечного положения, магнитное поле снова переключается, тем самым цикл повторяется.

Анализ двух вариантов показал, что предпочтение целесообразно отдать варианту с помощью переключения фаз обмотки, т.к. пружина будет постоянно испытывать деформацию при частом растяжении и сжатии, а значит, срок службы будет малым. Принцип действия отбойного молотка с применением ЦЛВД с учетом вышеперечисленных особенностей (рис. 2).

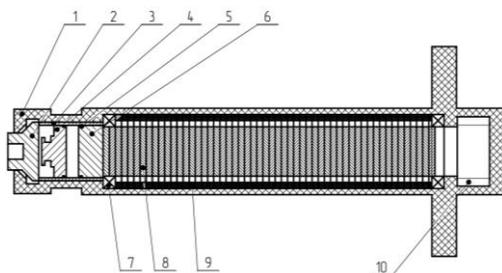


Рис. 2. Отбойный молоток с применением ЦЛВДв разрезе: 1 – корпус; 2 – патрон; 3 – воздушная камера; 4 – боек; 5 – уплотнительное кольцо; 6 – поршень; 7 – подшипник скольжения; 8 – вторичный элемент; 9 – индуктор; 10 – конденсатор

При нажатии на пусковую кнопку приводится в возвратно-поступательное движение линейный двигатель. Вторичный элемент доходит до своего конечного положения, тем самым создавая давления в камере, цилиндр начинает движение и ударяется об боек. Боек передает импульс на пику, и возникает разрушительная сила. Как только вторичный элемент заканчивает свое движение, срабатывает датчик и дает сигнал системе управления для смены фаз, в результате чего магнитное поле меняет свое направление и движется в противоположную сторону. Цикл повторяется, когда пусковая кнопка нажата. Таким образом, возникает возвратно-поступательное движение, которое нам и необходимо при использовании данного агрегата.

Расчет параметров ЦЛВД. При расчете параметров линейного электродвигателя применим те же размеры, что и у стандартных отбойных молотков с коллекторным двигателем:

- ширина корпуса (b) отбойного молотка равна 0,14 м;
- длина корпуса (a) отбойного молотка равна 0,8 м;
- длину индуктора (a') примем равной 0,6 м;
- ход вторичного элемента (s) примем равной 0,1 м.

Также возьмем за основу ЦЛВД, разработанный на кафедре «Электротехника и электромеханика», исследования которого выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по государственному заданию FSNM-2020-0028.

Основными параметрами являются: начальная скорость (V_0), тяговое усилие (F), сила удара (A).

Начальная скорость будет определена по формуле (1):

$$V_0 = 2 \cdot \tau \cdot f = 2 \cdot 0.03 \cdot 50 = 3 \text{ м/с}, \quad (1)$$

где τ – полюсное деление [3]; f – частота питающей сети [3].

Двигатель, изготовленный на кафедре, длиной 240 мм развивает тяговое усилие 250 Н. Следовательно, с каждых 10мм длины двигателя можно получить тяговое усилие 25 Н. Следует применить те же данные и для рассматриваемого привода и определить тяговое усилие по формуле (2):

$$F = \frac{a'}{10} \cdot 25 = \frac{600}{10} \cdot 25 = 1500 \text{ Н}. \quad (2)$$

Сила удара (A) при известном тяговом усилии и перемещение вторичного элемента определяется по формуле (3):

$$A = F \cdot S = 1500 \cdot 0,1 = 150 \text{ Дж}. \quad (3)$$

Сравнивая итоговую силу удара при внедрении данного ЦЛВД с электродвигателями коллекторного типа [6] при одинаковых размерах, разрушительная сила первого превосходит в 3 раза. Однако для нормального функционирования предложенного ЦЛВД используются 2 конденсатора, что снижает КПД этого двигателя, его тяговое усилие и разрушительную силу. Также при изготовлении индуктора ЦЛВД необходимо учитывать, что чашки, из которых он состоит, требуется делать шихтованными, т.к. частота питающей сети превышает 10 Гц [4].

Заключение. Замена коллекторного двигателя на цилиндрический линейный вентильный позволяет получить ряд преимуществ. Однако при достаточно простой конструкции ЦЛВД появляются сложности в изготовлении его отдельных деталей. Для более подробного анализа и сравнения необходимо выполнить ряд дополнительных расчетов, которые будут учитывать все сложности предложенной конструкции.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по государственному заданию FSNM-2020-0028.

Библиографический список

1. Шулаков Н.В. Электрические машины: конспект лекций. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 325 с.
2. Ключников А.Т., Коротаев А.Д., Шутемов С.В. Моделирование цилиндрического линейного асинхронного двигателя // Электротехника. – 2013. – № 11. – С. 14–17.
3. Цилиндрический линейный вентильный двигатель для добычи нефти бесштанговым методом / К.А. Конев, А.О. Фурина, А.Д. Коротаев, Е.А. Чабанов // Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2021. – № 39. – С. 150–168.
4. Коротаев А.Д., Шулаков Н.В., Шутемов С.В. Экспериментальные исследования цилиндрического линейного вентильного электродвигателя // Актуальные проблемы энергосберегающих электротехнологий: материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф.; 17–20 марта 2014 г. – Екатеринбург, 2014. – С. 198–200.

5. Конев К.А., Фурина А.О., Чабанов Е.А. Замена электрического двигателя в отбойном молотке // InnoTech-2021 – XIII Междунар. науч.-практ. конф.; 15.11–24.12 2021 г. – Пермь, 2021.

6. Размеры инфо, размеры отбойных молотков [Электронный ресурс]. – URL: razmery.info (дата обращения: 14.05.2022).

Сведения об авторах

Конев Константин Андреевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ЭМ-21-1м, г. Пермь, e-mail: looking_99@mail.ru

Чабанов Евгений Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: searb@mail.ru

Б.М. Кушнин

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ
В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ТОЧКИ
ЗРЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА**

В данной статье показано, что использование возобновляемых источников энергии таких, как солнечная и ветровая энергия, не является исключительно экологически безопасным с точки зрения образования углеродного следа, т.к. выработка электрической энергии включает работу, процесс создания электроустановок, а также их утилизацию. В работе проанализированы способы снижения углеродного следа при утилизации данных электроустановок, а также количество двуокиси углерода, которое выделяется при выработке электроэнергии электроустановками ВИЭ.

Ключевые слова: углеродный след, возобновляемые источники энергии, солнечные панели, ветровые установки, утилизация.

B.M. Kushnin

Perm National Research Polytechnic University, Perm

**ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF THE USE OF RENEWA-
BLE ENERGY SOURCES IN POWER SUPPLY SYSTEMS
FROM THE POINT OF VIEW OF THE CARBON FOOTPRINT**

This article shows that the use of renewable energy sources such as solar and wind energy is not exclusively environmentally safe from the point of view of the formation of a carbon footprint, since the generation of electric energy includes not only work, but also the process of creating electrical installations, as well as their disposal. The paper analyzes ways to reduce the carbon footprint during the utilization of these electrical installations, as well as the amount of carbon dioxide that is released during the generation of electricity by renewable energy installations.

Keywords: carbon footprint, renewable energy sources, solar panels, wind turbines, recycling.

С каждым годом численность населения мира увеличивается. Это приводит к увеличению потребления различных видов энергии: традиционной и возобновляемой. Возобновляемые источники энергии

(ВИЭ) все чаще используются в энергосекторе, и поэтому их взаимодействию с окружающей средой уделяется большое внимание. ВИЭ являются одним из самых экологически чистых видов энергии. Хотя в прошлом использовались возобновляемые источники, вопросу экологического аспекта их использования уделялось мало внимания, т.к. они считались вредными для окружающей среды.

На сегодняшний день большая часть мировых энергетических и производственных технологий не является декарбонизированной. Даже самые чистые технологии по-прежнему содержат так называемый углеродный след. Углеродный след – это количество парниковых газов и загрязняющих веществ, выбрасываемых в воздух во время выработки электроэнергии, которые затем экстраполируются на производимый продукт.

Исследователи из компании Bernstein Research при использовании данных таких компаний, как Vestas, Siemens Gamesa, по возобновляемым источникам энергии, а также при анализе, проведенном самой Bernstein Research, обнаружили, что сталь, алюминий и эпоксидные смолы, связывающие детали, вносят наибольший вклад в «углеродный след» ветряных турбин. Стальной корпус башни обеспечивает 30 % выброса CO₂, бетонный фундамент – 17 %, а лопасти из углеродного волокна и стекловолокна – 12 %.

Согласно докладу МГЭИК [3] под названием «Возобновляемые источники энергии и смягчение климатических изменений», удельные выбросы CO₂ (на единицу произведенной энергии) в течение всего цикла использования солнечных и ветряных турбин в 10 раз ниже, чем при производстве угля, дизельного топлива и газа. Средний эквивалент CO₂ на кВт·ч выбросов парниковых газов в солнечной энергетике составляет 46 г, в ветровой – 12 г, для производства природного газа – 469 г, для нефти – 840 г, а для угля – 1001 г.

Согласно данным из работы [1], при производстве солнечных панелей выброс углекислого газа на единицу мощности (1 кВт) составляет 45,7 кг. Объем выбросов оксида углерода от тепловой электростанции, работающей на традиционном угле, в 10 раз меньше.

В таблице представлены данные выбросов парниковых газов от различных электростанций за весь цикл выработки электроэнергии.

Выбросы парниковых газов от различных электростанций
за весь цикл выработки электроэнергии

| Электростанции | Выбросы парниковых газов, $\frac{\text{г}}{\text{кВт}\cdot\text{ч}}$ | | |
|----------------------|--|-----------------|-----------------|
| | CO ₂ | SO ₂ | NO _x |
| СЭС | 25–39 | 0,13-0,27 | 0,06–0,13 |
| ВЭС | 14,7 | 0,01-0,08 | 0,01–0,05 |
| ЭС на угле | 1026 | 1,2 | 1,8 |
| ЭС на природном газе | 402 | 0,2 | 0,3 |

Согласно приказу [7], определение объема косвенных энергетических выбросов по региональному методу при потреблении электрической энергии выполняется по формуле:

$$E_{CO_2, \text{элек}, k, y}^{\text{рег}} = EC_{k, y} \cdot EF_{CO_2, \text{элек}, k, y}^{\text{рег}} \cdot 10^{-3},$$

где, $E_{CO_2, \text{элек}, k, y}^{\text{рег}}$ – объем косвенных энергетических выбросов CO₂ при потреблении организацией, расположенной в энергосистеме k , электрической энергии за период времени y , МВт · ч; $EC_{k, y}$ – потребление ЭЭ организацией, расположенной в энергосистеме k , за период времени y , МВт · ч; $EF_{CO_2, \text{элек}, k, y}^{\text{рег}}$ – региональный коэффициент косвенных энергетических выбросов CO₂, определенный при потреблении организацией, расположенной в энергосистеме k , электрической энергии, за период времени y , кгCO₂/МВт·ч.

Следует отметить, что воздействие на окружающую среду обеспечивается не только начальными этапами всего жизненного цикла ветровой и солнечной энергии, но и этапом утилизации устройств ВИЭ. Сегодня лидером этого процесса можно считать французскую компанию Veolia и итальянскую компанию Sasil. Солнечные батареи содержат такие химические элементы, как свинец (Pb), кадмий (Cd) и т.д., которые очень опасны для здоровья человека и окружающей среды. На сегодняшний день наиболее широко используемой технологией утилизации солнечных панелей является их утилизация на свалках, что довольно опасно, поскольку вредные химические элементы могут просачиваться и попадать в почву, тем самым загрязняя источники питьевой воды. Также используется технология сжигания солнечных панелей, аналогичная сжиганию обычных бытовых отходов. Этот тип обработки всех видов электронных отходов может привести

к выбросу токсичных тяжелых металлов в атмосферу. Современный промышленный алгоритм обработки фотоэлектрических панелей на основе кремния представлен в работе [2]. Данный алгоритм начинается с их разборки, в процессе которой отделяются алюминиевые (рама) и стеклянные детали (покрытие). Остальные материалы подвергаются термической обработке при температуре 500 °С, в процессе которой инкапсулирующий пластик испаряется, оставляя кремниевые элементы готовыми для дальнейшей переработки.

На данный момент разрабатываются такие технологии, как: технология растворения ламинирующей пленки в органическом растворителе, технология растворения с дополнительным ультразвуковым воздействием, горячая резка, пиролиз, технология растворения в азотной кислоте и некоторые другие. Для тонкопленочных модулей, разрабатываются технологии лазерного воздействия, вакуумной обработки и флотации. Эта технология позволит сократить выбросы CO₂ при утилизации солнечных батарей.

Что касается энергии ветра, то сегодня существует только одна проблема, связанная с утилизацией лопаток ветряных турбин, т.к. они изготовлены из стекловолокна, которое закапывается в землю и является неэффективным с экологической точки зрения. Компания Global Fiberglass Solutions разработала метод переработки лопастей ветряных турбин в гранулы и древесноволокнистую плиту, которые используются для изготовления полов и стен. На рисунке представлен результат переработки лопастей ветряных турбин в гранулы и древесноволокнистую плиту.



Рис. Переработка лопастей ветряных турбин в гранулы и древесноволокнистую плиту

Компания начала производство стеклопластиковых панелей на заводе в Суитуотере, штат Техас, недалеко от крупнейшего на континенте скопления ветряных турбин.

По мере роста доли возобновляемых источников энергии углеродный след солнечной и ветровой энергии будет продолжать сокращаться, поскольку экологически чистая энергия используется во все больших количествах в производственных процессах. В статье [4] авторами работы было рассчитано, что каждый киловатт-час электроэнергии, вырабатываемой ветряной электростанцией (в зависимости от жизненного цикла) в модельной энергетической системе 2050 г., имеет выбросы, эквивалентные 4 г $\text{CO}_2/\text{кВт} \cdot \text{ч}$, а в фотоэлектрической солнечной энергии – 6 г $\text{CO}_2/\text{кВт} \cdot \text{ч}$. Это в 10 раз ниже, чем на газовых и угольных электростанциях, которые оснащены технологиями улавливания и хранения углерода. Угольная генерация с CCS – это 109 г $\text{CO}_2/\text{кВт} \cdot \text{ч}$, газовая (так же с CCS) – 78 г $\text{CO}_2/\text{кВт} \cdot \text{ч}$. Совокупные выбросы, связанные с увеличением масштабов низкоуглеродной энергетики, отличной от гидроэнергетики, невелики по сравнению с прямыми отраслевыми выбросами ископаемого топлива и общим углеродным бюджетом. Полный учет выбросов парниковых газов в течение жизненного цикла оказывает лишь незначительное влияние на масштабы и структуру производства электроэнергии в сценариях смягчения последствий, оптимальных с точки зрения затрат.

Как показывает анализ существующих в настоящее время технологий переработки использованного генерирующего оборудования для производства энергии ветра и солнца, заключительный этап жизненного цикла установок возобновляемой энергии может оказать значительное воздействие на окружающую среду. Таким образом, выбор технологии производства энергии, который будет осуществляться при планировании развития энергетической системы на определенной территории (регион, муниципалитет), должен осуществляться с учетом общего воздействия на окружающую среду в период всего цикла выработки ЭЭ.

Выработка электроэнергии источниками альтернативной энергетики является экологически чистой по сравнению с ТЭЦ, работающих на газе и угле. Поэтому, использование ВИЭ в системах электроснабжения с точки зрения углеродного следа является эффектив-

ным решением. Но стоит отметить, что необходимо учитывать не только этап жизненного цикла данных установок, но и их производство и утилизации.

Библиографический список

1. Челогаева А.С., Гапонов В.Л., Кузнецов Д.М. Про углеродный след солнечной энергетики // Техника и технология современных производств: сб. статей III Всерос. науч.-практ. конф. / под научной редакцией В.А. Скрябина, А.Е. Зверовщикова. – Пенза, 2022. – С. 123–130.

2. Ратнер С.В. Экологические и экономические аспекты утилизации солнечных панелей и ветровых турбин // Управление инновациями – 2020: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Р.М. Нижегородцева, Н.П. Горидько. – 2020. – С. 69–74.

3. Доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_ru.pdf (дата обращения: 03.12.2022).

4. Understanding future emissions from low-carbon power systems by integration of life-cycle assessment and integrated energy modelling / M. Pehl, A. Arvesen, F. Humpenöder [et al.] // Nat Energy. – 2017. – № 2. – P. 939–945.

5. Применение солнечных и ветровых энергетических установок в городской среде / П.В. Беляев, Д.А. Подберезкин, В.С. Мищенко, Р.А. Эм // Наука, техника и образование. – 2016. – № 11 (29). – С. 42–45.

6. ГОСТ Р 56267-2014. Определение количества выбросов парниковых газов в организациях и отчетность. Руководство по применению стандарта ИСО 14064-1. – 2014.

7. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Приказ от 29 июня 2017 года № 330. Об утверждении методических указаний по количественному определению объема косвенных энергетических выбросов парниковых газов. – 2017.

Сведения об авторе

Кушнин Богдан Максимович – магистрант кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КПИ-22-1м, г. Пермь, e-mail: bodyanych96@mail.ru

С.Н. Быков

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В этой статье рассматриваются системы накопления энергии, их типы, преимущества и возможности применения. Были проанализированы различные типы накопителей энергии, разработанные в Российской Федерации, и наиболее подходящие методы воздействия на электросеть в зависимости от технологических и функциональных параметров накопителей. Цель статьи – познакомить читателя с системами накопления энергии и целесообразностью их использования для улучшения качества электроэнергии.

Ключевые слова: системы накопления энергии, показатели качества электроэнергии, области применения накопителей энергии, электроэнергетика, баланс мощности.

S.N. Bykov

Perm National Research Polytechnic University, Perm

APPLICATION OF ENERGY STORAGE SYSTEMS TO IMPROVE THE ELECTRICAL ENERGY QUALITY

This article discusses energy storage systems, their types, advantages and application possibilities. Various types of energy storage devices developed in the Russian Federation and the most suitable methods of influencing the power grid depending on the technological and functional parameters of the storage devices were analyzed. The purpose of the article is to introduce the reader to energy storage systems and the feasibility of using them to improve the quality of electricity.

Keywords: energy storage systems, electricity quality indicators, energy storage applications, electric power industry, capacity balance.

Анализ тенденций в потреблении электроэнергии показывает, что ее неравномерность будет увеличиваться с ростом благосостояния населения и связанной с этим повышенной нагрузкой на домохозяйства. В большинстве развитых стран неравномерность настолько велика, что

изменение нагрузки достигает 35 % от максимального значения в течение часа. Радикально изменить способ потребления электроэнергии очень сложно, поскольку это зависит от установившегося жизненного ритма людей и ряда объективных обстоятельств, которые не зависят от людей [1].

В ГОСТ 32144-2013 [2] указаны следующие нормы и показатели качества электрической энергии в системах электроснабжения:

- отклонение частоты;
- медленные изменения напряжения;
- колебания напряжения и фликер;
- несинусоидальность напряжения;
- несимметрия напряжений в трехфазных системах;
- прерывания напряжения;
- провалы напряжения и перенапряжения.

Системы накопления энергии (СНЭ) – это стремительно развивающийся класс высокотехнологичного оборудования, благодаря которому появляются совершенно новые возможности для модернизации генерации и потребления электроэнергии. Они обеспечивают хранение и передачу электрической энергии, устраняя необходимость в строгой одновременности производства и потребления, что является фундаментальным ограничением для баланса мощности, что стало ключевым фактором в формировании нынешней архитектуры существующих энергетических систем [3].

По характеру сохранения энергии накопители энергии можно разделить на следующие классы [6]:

1. Механические накопители энергии.
2. Химические накопители энергии.
3. Электрические накопители энергии.

Согласно исследованию фонда «Центр стратегических разработок», приведенному на рис. 1, в ближайшее время станут доступны к широкому применению проточные накопители, маховики и суперконденсаторы. На этапе масштабирования находятся литий-ионные накопители. В промышленности успешно используются гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС). Такое разнообразие устройств накопления энергии позволит использовать наиболее подходящую систему накопления энергии в зависимости от технических требований, предъявляемых в каждом конкретном случае.

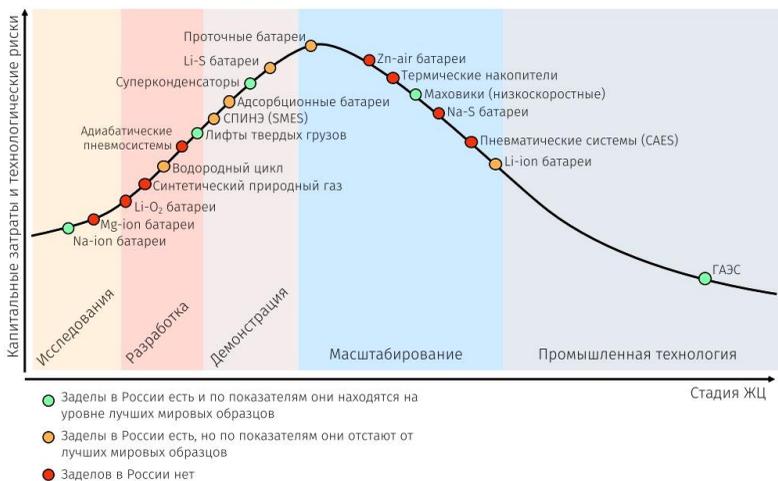


Рис. 1. Кривая зрелости отраслевых технологий

В таблице приведены основные параметры различных типов накопителей энергии [4].

Основные параметры различных типов накопителей энергии

| Параметр | ГАЭС | Литий | Проточные батареи | Суперконденсатор | Маховик |
|------------------------|---------|-----------|-------------------|----------------------|---------|
| Типичная мощность, МВт | До 3600 | 0,1–50 | 1–100 | <1 | <20 |
| Типовое время работы | 6–8 ч | 1 мин–8 ч | 6–8 ч | Миллисекунды–секунды | <мин |
| Количество циклов | 10 000 | <10 000 | >10 000 | 1 000 000 | 100 000 |
| Срок службы, лет | 20 | 5–10 | 15–20 | 10–20 | 20–25 |
| КПД, % | 70–75 | 95–98 | 70–85 | 80–98 | 80–95 |

Ниже представлены подробности по каждой технологии:

1) Гидроаккумулирующие электростанции. Гидроаккумулирующие электростанции имеют 2 режима работы: насосный и турбинный. В насосном режиме режима ГАЭС выступает потребителем электроэнергии, аккумулируя излишки, которые подаются с электростанций (тепловых, атомных) в период минимальной нагрузки на последние (как правило, около 8–12 ч в сут). В то же время обратимая турбина электростанции перекачивает воду из нижнего питающего резервуара в верхний накопительный резервуар (станция накапливает энергию). В режиме турбины гидроаккумулирующая станция возвращает накоп-

ленную энергию в энергосеть во время пиковых нагрузок (в среднем от 4 до 6 ч в день). В течение этого времени вода из верхнего резервуара направляется обратно в питающий резервуар, тем самым раскручивая турбину генератора.

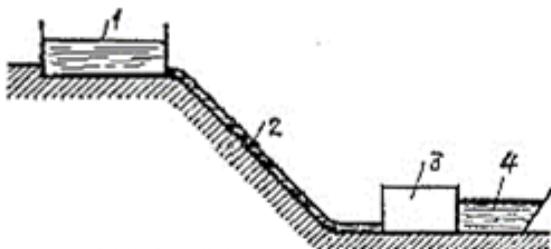


Рис. 2. Общая схема гидроаккумулирующей станции: 1 – верхний бассейн; 2 – водовод; 3 – здание ГАЭС; 4 – нижний бассейн

Благодаря высокой мощности и длительности разряда, ГАЭС могут использоваться для выравнивания суточных графиков нагрузки и увеличения пропускной способности ЛЭП [5].

2) Литий-ионные накопители. Структура литий-ионного аккумулятора включает катод из производных лития на алюминиевой фольге и графитовый анод на медной фольге. Между катодом и анодом находится пористый сепаратор, пропитанный электролитом, который действует как проводник. Заряд передается ионами лития, которые легко проникают в пористую углеродную кристаллическую решетку и вызывают соответствующую химическую реакцию (рис. 3).

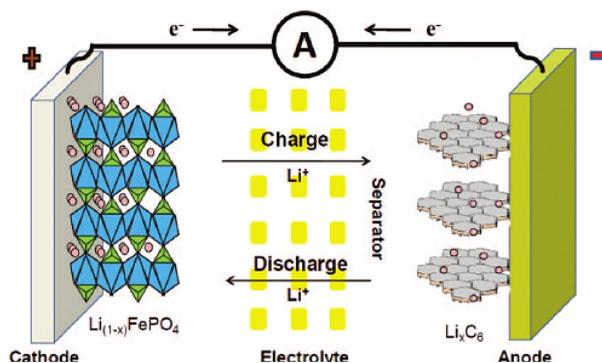


Рис. 3. Общая схема литийионного аккумулятора

Принцип работы литий-ионного аккумулятора основан на создании условий для перемещения положительно заряженных ионов лития между катодом и анодом:

– когда на электроды подается напряжение, ионы лития отделяются от катода, проходят через сепаратор к графитовому аноду и встраиваются в его молекулярную структуру. Иначе говоря, происходит реакция окисления, и батарея заряжается;

– при приложении нагрузки ионы лития возвращаются к катоду. Углеродная пластина на медной фольге становится отрицательно заряженной, а производные лития на алюминии – положительно заряженными. Происходит разряд накопителя.

За счет возможности продолжительного разряда и быстрого реагирования литийионные накопители можно использовать для автоматического регулирования частоты, а также перетоков активной мощности и предотвращения снижения напряжения.

3) Проточные батареи. Данный тип накопителей позволяет отдельно извлечь модуль, который преобразует энергию химических веществ в электричество, и сосуды, в которых электричество хранится в виде химических веществ. Оба могут быть изменены независимо друг от друга. Когда электролит перекачивается через полужайки в одном направлении, на электродах батареи вырабатывается ток, а когда батарее требуется зарядка, направление перекачки электролита изменяется в противоположном направлении, т.е. насосы перекачивают электролит в разных направлениях во время процесса зарядки и разрядки (рис. 4).

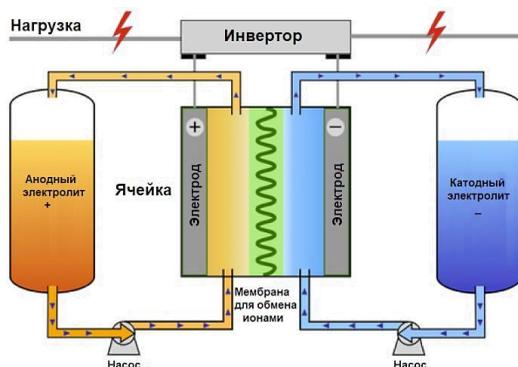


Рис. 4. Общая схема проточной батареи

По характеристикам проточные батареи похожи на литий-ионные аккумуляторы, поэтому подходят для тех же функций. Их выгодно отличает более высокая продолжительность эксплуатации, но при этом они имеют меньший КПД.

4) Суперконденсаторы. Общая схема и принцип работы суперконденсаторов объяснены на рис. 5.

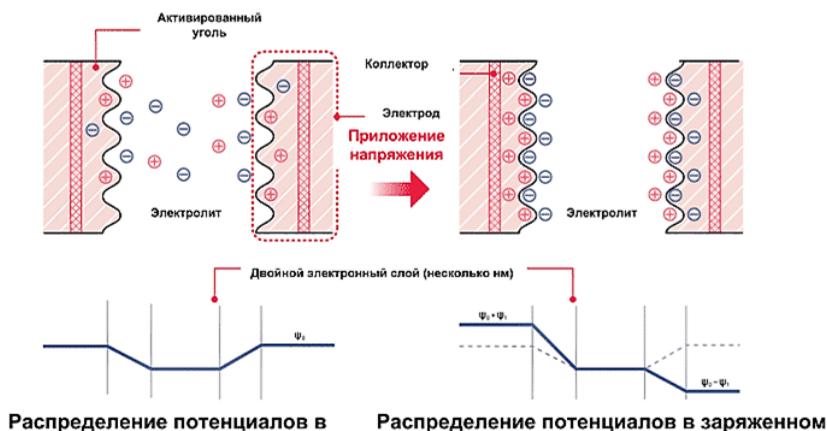


Рис. 5. Общая схема суперконденсатора

В состав суперконденсатора входят два электрода, их обкладки, сепаратор и электролит. Когда подается внешнее напряжение, носители заряда образуют 2 электронных слоя на границе сепаратора и электролита. При увеличении площади поверхности сепаратора увеличивается максимально возможный накопленный заряд. На рисунке показано, что в отличие от электрохимических аккумуляторов, в основе работы суперконденсатора лежит физический процесс, а не химические реакции, энергия накапливается непосредственно в виде электростатического заряда.

Из-за способности выдавать большую мощность при малой емкости при времени срабатывания, сравнимом с переходным, суперконденсаторы лучше всего подходят для предотвращения кратковременных прерываний и провалов напряжения, что значительно повышает надежность электроснабжения, особенно в узлах с резко переменной нагрузкой.

5) Маховики. Относятся к механическому типу накопителей, запасая кинетическую энергию вращающейся массы. Эта кинетическая энергия передается на маховик и обратно в сеть с помощью обратимого двигатель-генератора, данная электрическая машина обычно встраивается непосредственно в структуру маховика. Когда электрическая энергия поступает на обмотку статора двигателя, то создается крутящий момент, который приводит в движение и раскручивает маховик. В обратном процессе, электрическая машина выступает в роли генератора, преобразующего кинетическую энергию движущейся массы маховика в электрическую энергию, используя накопившуюся кинетическую энергию вращающейся массы маховика.

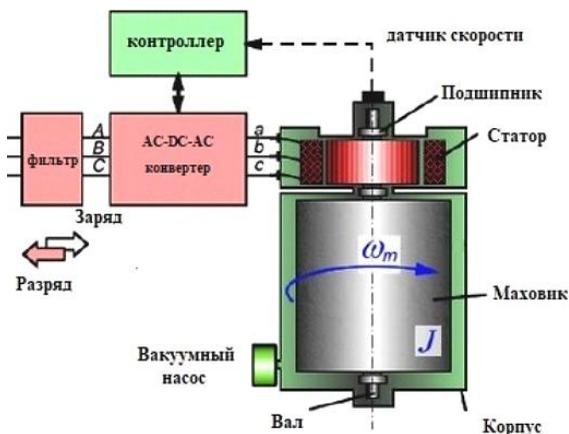


Рис. 6. Общая схема маховичного накопителя энергии

Высокая выходная мощность маховика и короткое время отклика позволяют использовать его в качестве источника для обеспечения пиковых нагрузок, а хорошая масштабируемость позволяет использовать их как для элементов малой генерации, так и для крупных электростанций.

В заключение стоит отметить, что наибольшей практической значимостью обладает комбинирование указанных типов накопителей энергии, которое позволяет достигнуть синергического эффекта. Например, сочетание литий-ионного аккумулятора и маховичного накопителя позволит значительно повысить качество электроэнергии по всем показателям, при этом выполняя задачу накопления энергии.

Библиографический список

1. Ушаков В.Я. Современные проблемы электроэнергетики: учеб. пособие. – Томск: Изд-во Томск. политех. ун-та, 2014. – 447 с.
2. ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 14.11.2022).
3. Рынок систем накопления электроэнергии в России: потенциал развития [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.csr.ru/upload/iblock/d11/d1165e0f8aa6d8909cf45408b0f188d2.pdf> (дата обращения: 16.11.2022).
4. Применение систем накопления электроэнергии в России: возможности и барьеры [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.eprussia.ru/upload/iblock/1b8/1b83729ddd27beaeb629e380293a4585.pdf> (дата обращения: 18.11.2022).
5. Системы накопления энергии: российский и зарубежный опыт [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-nakopleniya-energii-rossiyskiy-i-zarubezhnyy-opyt/viewer> (дата обращения: 01.12.2022).
6. О применении систем накопления энергии [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-primenenii-sistem-nakopleniya-energii/viewer> (дата обращения: 10.11.2022).

Сведения об авторе

Быков Сергей Николаевич – магистрант кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ЦЭКП-22-1м, г. Пермь, e-mail: bykov-00@mail.ru

С.Л. Караневский, Е.А. Чабанов

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

**АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И РАБОТЕ СИНХРОННЫХ
ГЕНЕРАТОРОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. ПОСТАНОВКА
ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Данная статья посвящена анализу основных требований, предъявляемых при проектировании и работе высокоскоростных синхронных генераторов для малогабаритных энергетических установок.

Ключевые слова: высокоскоростные синхронные генераторы, мощность, особенности конструкции, шум, вибрации.

S.L. Karanevskiy, E.A. Chabanov

Perm National Research Polytechnic University, Perm

**ANALYSIS OF THE MAIN REQUIREMENTS FOR THE DESIGN
AND OPERATION OF SYNCHRONOUS ALTERNATORS.
STATEMENT OF THE RESEARCH PROBLEM**

This article is devoted to the analysis of the main requirements for the design and operation of high-speed synchronous generators for small-sized power plants.

Keywords: high-speed synchronous generators, power, design features, noise, vibration.

Первый синхронный генератор переменного тока был создан в 1832 г. На сегодняшний день синхронные генераторы нашли свое широкое применение как в промышленности, так и в быту: на кораблях, морских судах, в поездах и авиационной промышленности в качестве источника электрической энергии, в газотурбинных установках и др. Потребность в использовании синхронных генераторов с каждым годом повышается, кроме того, возрастают требования к их надежности при эксплуатации. Мощность синхронного генератора напрямую зависит от скорости вращения, поэтому ученые-проектировщики стремятся создавать надежные и эффективные синхронные генераторы

повышенной скорости с целью уменьшения массогабаритных параметров, что повысит экономический эффект при эксплуатации машин и механизмов электротехнических систем. Например, при эксплуатации поездов позволит погрузить, разместить и перевезти больше единиц товара.

На сегодняшний день скорости вращения синхронных генераторов достигают более 100 тыс. об/мин, что требует усиленного контроля надежности их работы, разработки обновленных методик расчета высокоскоростных синхронных генераторов, учитывающих специфику работы и особенности конструкции при их проектировании и эксплуатации.

Анализ литературных источников показал, что актуальной является задача разработки такой универсальной электрической машины, которая бы при высокой мощности и скорости не создавала проблем с вибрацией и шумом, имела небольшие массогабаритные размеры и не сложную с точки зрения реализации систему управления, была выполнена из доступных, в том числе по цене, материалов отечественного производства. Ученые и инженеры-электромеханики в настоящее время занимаются решением данных вопросов, охватывая различные сферы и отрасли применения синхронных генераторов.

Так, например, в статье «Электрические машины для специальных применений» [1] авторы описывают изучение вопросов вибрации в электрических машинах (37 кВт, 3000 об/мин) морского исполнения, предлагая применение специальных радиальных малошумных подшипников качения, которые выполнены с текстолитовыми сепараторами с пониженными уровнями вибрации.

В работе [2] авторами показана важность, значимость и сложность проведения расчетов высокоскоростных генераторов в части применения их для автономных электростанций. Описаны методики по электромагнитным и механическим расчетам роторной системы генератор-привод, результаты подтверждаются проведенными экспериментами на высокоскоростном генераторе (100 кВт, 60000 об/мин) с магнитоэлектрическим возбуждением. При этом приняты магниты из материала SmCo, газодинамические подшипники, обмотка статора двухслойная двухполюсная.

Помимо достижения пониженных виброшумовых характеристик и заданных технических требований в публикации [3] получены хоро-

шие массогабаритные характеристики при замене используемого на кораблях генератора с электромагнитным возбуждением производства ОАО «Силовые машины» мощностью 3,5 МВт при частоте вращения 3000 об/мин, с габаритами 3115x1975 мм на высокоскоростной турбогенератор с постоянными магнитами мощностью 3,5 МВт при частоте вращения 12 000 об/мин, с габаритными размерами 1700x900 мм.

Проанализировав описанные выше работы выявлено, что в них не приводятся условия, ограничивающие верхний предел скорости вращения, а также сценарии и проблемы, возникающие при повышении скорости вращения выше допустимого предела.

Для создания высоких скоростей вращения используются высокоэнергетические постоянные магниты, высокочастотные обмоточные провода, увеличение числа фаз обмотки статора, газодинамические подшипники.

В статье [3] проведена работа по решению проблемы повышенных вибраций из-за пульсаций электромагнитного момента, изучено влияние конструкции статора на уровни гармонических составляющих поля в зазоре, а также зависимость пульсаций электромагнитного момента от числа фаз электрогенератора с возбуждением от постоянных магнитов при работе на выпрямитель. К применению предложены четыре трехфазные обмотки статора, сдвинутые на 7,5 эл. град относительно друг друга, даны рекомендации по упрощению системы охлаждения путем снижения добавочных потерь при ширине раскрытия паза не менее 0,7.

В работе [4] авторами рассмотрен синхронный генератор с возбуждением от высокоэнергетических постоянных магнитов, с частотой вращения до 100 000 об/мин и частотой напряжения не более 5 кГц. Высокая частота перемагничивания обеспечивается за счет конструкции сердечника из тонколистовой изотропной электротехнической стали, малого диаметра статора, небольшого числа полюсов, выполненной двухслойной сосредоточенной, без укорочения шага обмотки статора. Из-за высокой частоты тока статора обмотка выполнена из специального высокочастотного провода, состоящего из большого количества тонких изолированных проводников с прямоугольным сечением и транспозицией, изоляционные материалы приняты класса В и F.

В диссертационной работе [5] отражены результаты применения генераторов с газодинамическими подшипниками, частотой вращения 60 000 об/мин. Автор изучил принципы создания микротурбинного

генератора мощностью 100 кВт с относительно высокими характеристиками КПД и низкими выбросами.

Несмотря на значительные наработки ученых и инженеров, в рассмотренных работах не освещен вопрос доступности и проблемы дефицита используемых при проектировании высокоскоростных синхронных генераторов материалов – специальной электротехнической стали, высокочастотного провода, газодинамических подшипников, высокочастотных транзисторов, определенных изоляционных материалов. Большинство работ рассматривают частные случаи проектирования и применения высокоскоростных генераторов в определенной отрасли или сфере деятельности, без создания универсальной методики расчета, учитывающей все необходимые для их создания составляющие.

Исходя из вышеизложенного, актуальной является задача доработки научно-обоснованной методики расчета синхронных генераторов, которая позволит спроектировать, а в дальнейшем эксплуатировать наиболее эффективный электротехнический комплекс. Решение задачи заключается в разработке алгоритма проектирования универсальной электрической машины (синхронного генератора) высокой скорости и мощности, с малыми массогабаритными размерами, надежной системой управления, доступными механизмами и материалами отечественного производства, не уступающими по характеристикам и качеству иностранным производителям. Для этого требуется создание имитационной модели такого высокоскоростного синхронного генератора с помощью современных компьютерных систем и технологий, а также на основе модели генератора скорректировать методику его расчета и разработать программный продукт, реализующий алгоритм проектирования наиболее эффективной электротехнической системы.

Библиографический список

1. Электрические машины для специальных применений / Л.А. Макриденко, А.П. Сарачев, М.Е. Коварский, В.В. Магин // Вопросы электромеханики. Труды НПП ВНИИЭМ. – 2008. – Т. 107. – С. 16–21.
2. Методы расчета высокоскоростных генераторов газотурбинных установок / Д.В. Голованов, М.Е. Коварский, В.В. Магин, И.Г. Трунов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2012. – Т. 126, № 1. – С. 3–8.

3. Магин В.В., Панасюк М.Б. Особенности конструкции высокоскоростных синхронных генераторов с постоянными магнитами, предназначенных для работы в составе системы электродвижения // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2015. – Т. 149, № 6. – С. 18–23.

4. Высокоскоростной магнитоэлектрический синхронный генератор: выбор числа полюсов, обмотка статора, потери, КПД и нагрев / В.Д. Сергеев, С.С. Проскуренко, А.С. Чернышева, Н.С. Телешова // Вологодские чтения. – 2009. – № 73. – С. 106–107.

5. Беседин С.П. Научно-техническое обоснование и практическая реализация создания микротурбинного генератора мощностью 100 кВт на основе современных расчетно-экспериментальных методов: автореф. дис. ... канд. тех. наук. – СПб., 2011.

Сведения об авторах

Караневский Сергей Леонидович – аспирант кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: karanevskiy@yandex.ru

Чабанов Евгений Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: ceapb@mail.ru

Г.А. Тимофеева, О.А. Билоус, Д.В. Копытов

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

**МЕХАНИЗМЫ МОТИВАЦИИ И СТИМУЛИРОВАНИЯ
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЕВЫХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
И РАНЖИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ**

Предлагается метод стимулирования потребителей к энергосбережению. Реализация предлагаемой идеи потребует внесения поправок в существующую нормативно-правовую документацию. Произведен выбор и дано обоснование показателей для комплексной оценки энергосбережения по объектам.

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, топливно-энергетические ресурсы (ТЭР).

G.A. Timofeeva, O.A. Bilous, D.V. Kopytov

Perm National Research Polytechnic University, Perm

**MECHANISMS OF MOTIVATION AND STIMULATION
OF ENERGY SAVING ON THE BASIS OF TARGETS
FOR INCREASING ENERGY EFFICIENCY
AND RANKING OF OBJECTS**

A method is proposed to encourage consumers to save energy. The implementation of the proposed idea will require amendments to the existing legal documentation. A choice is made and justification of indicators for a comprehensive assessment of energy saving by objects is given.

Keywords: energy saving, energy efficiency, fuel and energy resources.

Анализ возможности применения конкретных способов стимулирования групп потребителей к энергосбережению показывает, что эффективного, универсального, приемлемого для всех объектов способа стимулирования энергосбережения в существующем мировом и отечественном опыте нет [1].

Для реализации муниципальной программы «Энергосбережение и повышение энергоэффективности города Перми» предлагается созда-

ние городского ситуационного центра управления энергосбережением и повышением энергоэффективности. Проектная организационная схема представлена на рисунке.



Рис. Структура ситуационного центра управления

Основные функции отдела стратегического планирования центра управления:

1. Формирование основных направлений политики энергосбережения и повышения энергоэффективности.
2. Формирование «Библиотеки инновационных проектов» в области энергосбережения и повышения энергоэффективности (ИП ЭЭП).
3. Составление прогноза развития городского энергетического хозяйства на основе внедрения ИП ЭЭП.
4. Моделирование ситуаций по реализации ИП ЭЭП.
5. Проведение научно-технической экспертизы, анализа экономической эффективности ИП ЭЭП.
6. Организация основных мероприятий, рекомендованных к внедрению ИП ЭЭП.

7. Обеспечение взаимодействия научно-технических работников, администрации города, потенциальных исполнителей и потенциальных потребителей ИП ЭЭП.

8. Формирование требований к уровню профессиональной подготовки профильных специалистов.

9. Организация выставок, конференций, факультативов по альтернативным источникам получения энергии и формированию культуры производства и культуры потребления ТЭР.

10. Консалтинг по технико-экономическому обоснованию целесообразности внедрения ИП ЭЭП.

Отдел мониторинга и планирования мероприятий ЭЭП. Предлагаемая схема формирования механизмов мотивации и стимулирования энергосбережения предполагает необходимость выявления агрегированной по всем топливно-энергетическим ресурсам (ТЭР) величины экономии, ранжирования потребителей (объектов) по выявленному уровню экономии и включения данного показателя в систему показателей стимулирования.

Наиболее точную оценку энергосбережения дают удельные показатели энергоносителя в натуральном выражении [2]. В результате анализа перечня целевых показателей для комплексной оценки энергосбережения были определены удельные показатели для каждой однородной совокупности объектов и по каждому виду ТЭР. Для однородной совокупности объектов бюджетного сектора бюджетных учреждений (БУ) такими показателями, где расчеты осуществляются с использованием приборов учета и с применением расчетных методов; будут:

- удельный расход тепловой энергии БУ;
- удельный расход воды на снабжение БУ;
- удельный расход электроэнергии на обеспечение БУ;
- доля объемов природного газа, потребляемого БУ.

На втором этапе производится сравнение числовых интегральных показателей ЧИП ТЭР по каждому объекту и определение процента энергосбережения за год. Процент энергосбережения как количественный показатель полезного результата включается в систему показателей стимулирования.

Далее производится выбор и обоснование системы показателей стимулирования энергосбережения и повышения энергетической

эффективности. Расчет ЧИП ТЭР по совокупности объектов и их ранжирование включает три однородных составляющих измерения:

- процент энергосбережения по объекту за год;
- коэффициент автоматизации учета ТЭР;
- суммарная экономия всех видов ТЭР по объекту.

Процент энергосбережения по объекту за год принимается в расчет на основе данных второго этапа.

Коэффициент автоматизации учета ТЭР учитывает показатели, измеряющие уровень автоматизации учета по каждому виду ТЭР исследуемых объектов.

Для однородной совокупности объектов бюджетного сектора бюджетных учреждений (БУ) такими показателями, где расчеты осуществляются с использованием приборов учета в общем объеме электроэнергии, потребляемой на территории муниципального округа МО, будут:

- доля объемов электроэнергии;
- доля объемов тепловой энергии;
- доля объемов воды;
- доля объемов природного газа.

Суммарная экономия всех видов ТЭР в натуральном выражении включает целевые показатели:

- экономия электроэнергии;
- экономия тепловой энергии;
- экономия воды;
- экономия природного газа.

Делается расчет по совокупности объектов на начало и конец года и производится их ранжирование [3]. Для объектов верхней части списка («критических» объектов), имеющих наибольший ЧИП ТЭР по удельным параметрам расхода ТЭР, назначается внеплановый аудит (дообследование).

Основные функции методического отдела ситуационного центра управления:

1. Совершенствование методики стимулирования и мотивации потребителей к энергосбережению на основе перечня целевых показателей, предложенных Министерством регионального развития.

2. Формирование системы целевых показателей и разработка системы мотивации стимулирования энергосбережения и повыше-

ния энергоэффективности (ЭЭ) по всем группам однородных потребителей.

3. Конструирование целевых показателей энергосбережения и энергоэффективности для специфических групп потребителей.

4. Формирование системы целевых показателей и системы мотивации стимулирования энергосбережения, повышения ЭЭ для специфических групп потребителей.

5. Формирование системы целевых показателей и системы мотивации стимулирования энергосбережения и повышения энергоэффективности по продвижению инновационных проектов ЭЭ по всей совокупности потребителей.

6. Реинжиниринг действующей системы мотивации стимулирования энергосбережения и повышения энергоэффективности, реализуемой по текущим мероприятиям муниципальной Программы ЭЭ и продвижению инновационных проектов ЭЭ.

7. Формирование и обновление классификатора мероприятий по стимулированию потребителей к ЭЭ на основе обобщения передового отечественного и зарубежного опыта.

8. Консалтинг по действующим и перспективным методам мотивации и стимулирования потребителей к энергоэффективности.

Библиографический список

1. Тимофеева Г.А. Организация инновационной деятельности на промышленном предприятии // Экономика и предпринимательство. – 2015. – № 2. – С. 516–518.

2. Тимофеева Г.А. Проблемы обеспечения энергоэффективности производства на машиностроительных предприятиях // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике: материалы IX Всерос. (с междунар. участием) науч.-техн. интернет-конф. (1–30 июня 2015 г.). – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – С. 28–32.

3. Управление инновационными проектами: учеб. пособие / А.Б. Петроченков, И.Г. Севастьянова, А.В. Трусов [и др.]; под редакцией Л.А. Мыльникова. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2009. – 298 с.

Сведения об авторах

Тимофеева Галина Анатольевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и управление промышленным производством» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: galati99@mail.ru

Билоус Ольга Анатольевна – старший преподаватель кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: bilous_oa@pstu.ru

Копытов Денис Владимирович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АЭП-19-16, г. Пермь, e-mail: deniskopytov86@gmail.com

Л.И. Зорихина, С.В. Ершов

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННОЙ СУПЕРПОЗИЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В процессе переработки электроизоляционных полимерных материалов на экструзионном оборудовании расплав подвергается воздействию больших значений скоростей сдвига. Современные реометры и вискозиметры не позволяют экспериментально определить значения вязкости при таких высоких значениях напря-
мую. Для достижения данной цели в работе используется принцип температурно-
временной суперпозиции. В результате проведенных экспериментальных исследо-
ваний и обработки полученных данных построена обобщенная кривая, позволяю-
щая описать зависимость вязкости в широком диапазоне скоростей сдвига.

Ключевые слова: температурно-временная суперпозиция, расплав поли-
мера, вязкость, реологические свойства.

L.I. Zorikhina, S.V. Ershov

Perm National Research Polytechnic University, Perm

APPLICATION OF TEMPERATURE-TIME SUPERPOSITION FOR THE STUDY OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF ELECTRICAL INSULATING POLYMER MATERIALS

In the process of processing of electrically insulating polymeric materials on ex-
trusion equipment, the melt is exposed to high shear rates. Modern rheometers and
viscometers do not allow one to experimentally determine the viscosity values at such
high values directly. To achieve this goal, the work uses the principle of temperature-
time superposition. As a result of the experimental studies and processing of the ob-
tained data, a generalized curve was constructed, which makes it possible to describe
the dependence of viscosity in a wide range of shear rates.

Keywords: temperature-time superposition, polymer melt, viscosity, rheological
properties.

В кабельной промышленности изучение реологических свойств
полимеров является неотъемлемой частью производства. Именно от
реологических свойств перерабатываемого полимера зависят эффек-
тивность производственного процесса и итоговое качество продукции.

Полимеры из-за своей природы проявляют вязкоупругую деформацию, которая зависит как от температуры, так и от скорости сдвига. Происходит это по причине молекулярной перестройки в попытке минимизации локальных напряжений во время нагрузки полимера. Анализ модели псевдопластических жидкостей позволяет определить характер течения при определенных величинах напряжения и скорости сдвига [1].

Получение данной информации возможно с применением экспериментальных методов, а также принципа температурно-временной суперпозиции.

Принцип температурно-временной суперпозиции позволяет прогнозировать значение вязкости при больших скоростях сдвига, что представляет немаловажный интерес, например, при изготовлении изоляции кабеля, поскольку в канале экструдера реализуется более широкий диапазон сдвига.

В основе температурно-временной суперпозиции лежит эквивалентность между временем (или частотой) и температурой. Было экспериментально доказано, что данные о вязкоупругости, собранные при одной температуре, могут быть наложены на данные, полученные при другой температуре, продемонстрировать это можно посредством сдвига одной кривой вдоль временной (или частотной) оси [2].

Принцип температурно-временной суперпозиции основан на факте, гласящем, что процессы, связанные с молекулярной релаксацией или молекулярной перестройкой, происходят с большой скоростью при более высоких температурах. Время, в течение которого происходят эти процессы, может быть сокращено путем проведения измерений при повышенных температурах и переноса кривой данных при более низких температурах, что позволяет инженерам-проектировщикам сравнивать характеристики материала с требованием конкретных применений [2].

Вязкоупругие изменения, происходящие относительно быстро при более высоких температурах, можно спрогнозировать так, если бы они происходили при более длительном времени или более низких частотах, посредством сдвига кривой данных по времени (или частоте).

В работе проводилось исследование расплава полимера марки PE-153-10K на ротационном реометре DHR-2 фирмы TA Instruments.

На ротационных вискозиметрах и реометрах затруднительно проводить испытания расплавов и растворов полимеров при высоких скоростях сдвига из-за проявления эластичности – эффекта Вайссенберга, поэтому вместо измерений кривой при стационарном сдвиге легче провести динамические испытания в режиме осцилляции и получить комплексную вязкость.

На первом этапе были получены экспериментальные кривые зависимости вязкости в диапазоне температур – от 120 до 340 °С (рис. 1). Все эксперименты проводились в диапазоне угловой частоты от 0,63 до 628 рад/с. Для исключения реакции окисления измерения проводились в атмосфере инертного газа (азот).

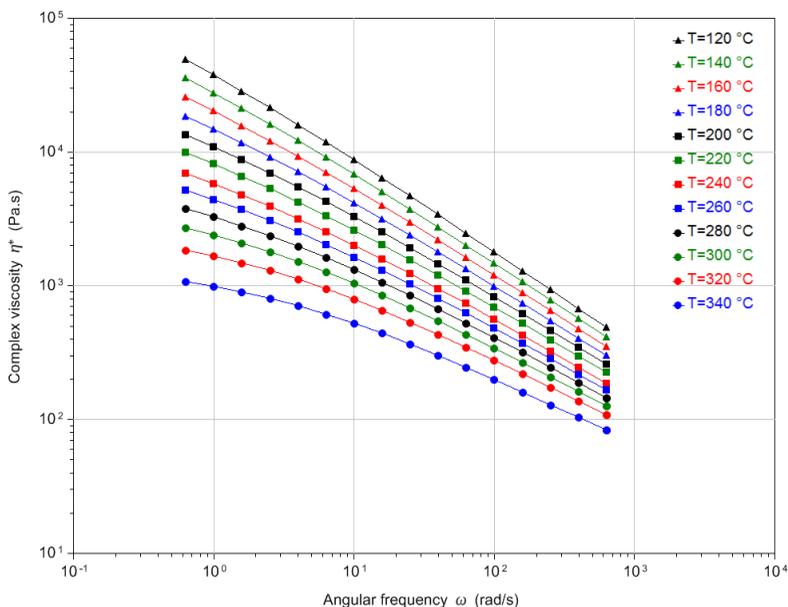


Рис. 1. Зависимость комплексной вязкости от угловой частоты при температурах 120–340 °С

На первом этапе определяется фактор сдвига ($a_T(T)$) и выбирается температура приведения (T_{ref}), при которой будет построена обобщенная кривая. Величина фактора сдвига по горизонтальной оси X , необходимого для выравнивания отдельных экспериментальных точек на

обобщенной кривой, может быть описана с использованием одной из двух общих теоретических моделей. Первая модель, уравнение Уильямса–Ландзела–Ферри (WLF), используется для описания поведения полимера в области перехода стеклования. Вторая – это уравнение Аррениуса, которое используется для описания поведения материала за пределами данного перехода.

Поскольку интересующий нас диапазон температур находится далеко за пределами перехода стеклования, для обработки полученных данных была выбрана модель Аррениуса. Выбор в качестве температуры приведения значение 200 °С обусловлен температурным режимом переработки материала на экструзионном оборудовании. На рис. 2 представлены результаты обработки полученных величин факторов сдвига по модели Аррениуса.

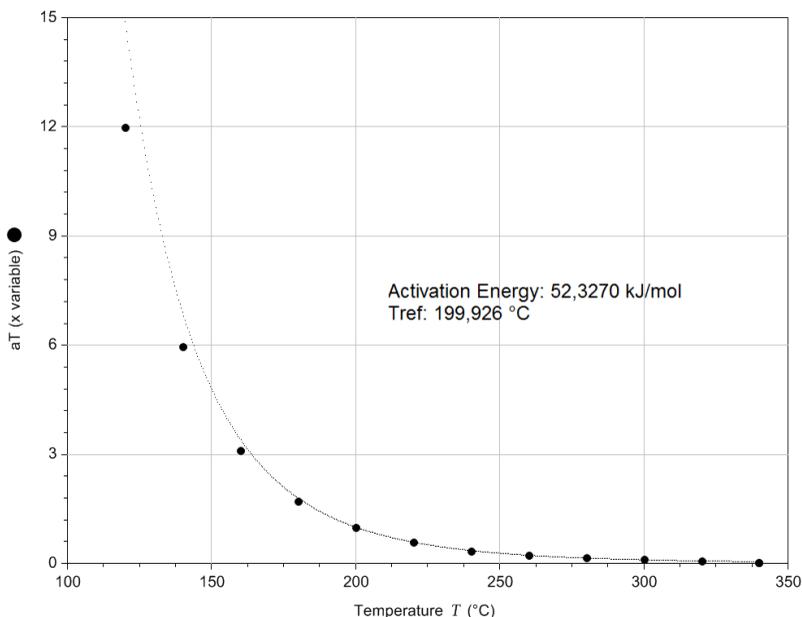


Рис. 2. Значения фактора сдвига при различных температурах

Значения факторов сдвига по осям X и Y для каждой температуры приведены в таблице.

Значение факторов сдвига

| Температура, °C | Фактор сдвига по оси X | Фактор сдвига по оси Y |
|-----------------|------------------------|------------------------|
| 120 | 11,980 | 1 |
| 140 | 5,966 | 1 |
| 160 | 3,108 | 1 |
| 180 | 1,719 | 1 |
| 200 | 1 | 1 |
| 220 | 0,589 | 1 |
| 240 | 0,344 | 1 |
| 260 | 0,230 | 1 |
| 280 | 0,154 | 1 |
| 300 | 0,102 | 1 |
| 320 | 0,064 | 1 |
| 340 | 0,033 | 1 |

Результаты обработки и смещения экспериментальных кривых в соответствии с определенными значениями факторов сдвига приведены на рис. 3.

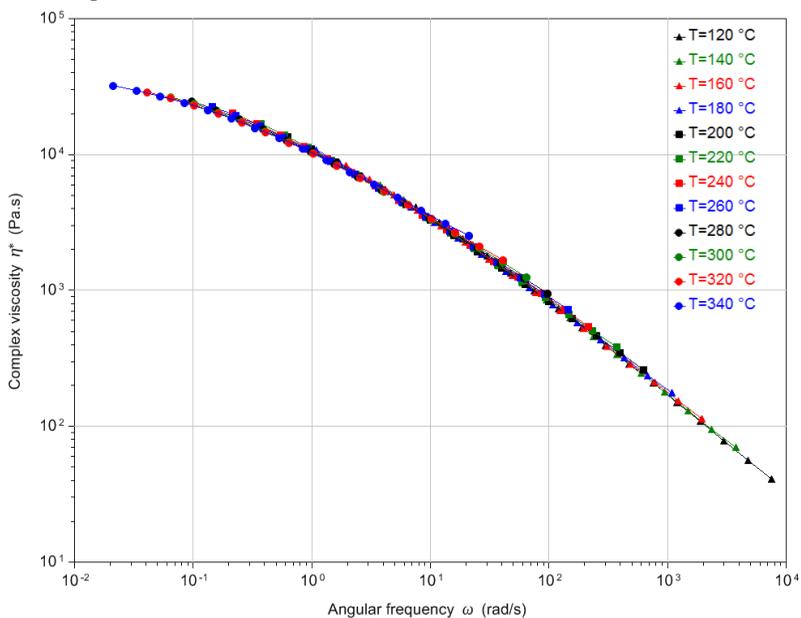


Рис. 3. График смещенных кривых зависимости комплексной вязкости от угловой частоты

На следующем этапе была получена обобщенная кривая зависимости комплексной вязкости от угловой частоты, представленная на рис. 4.

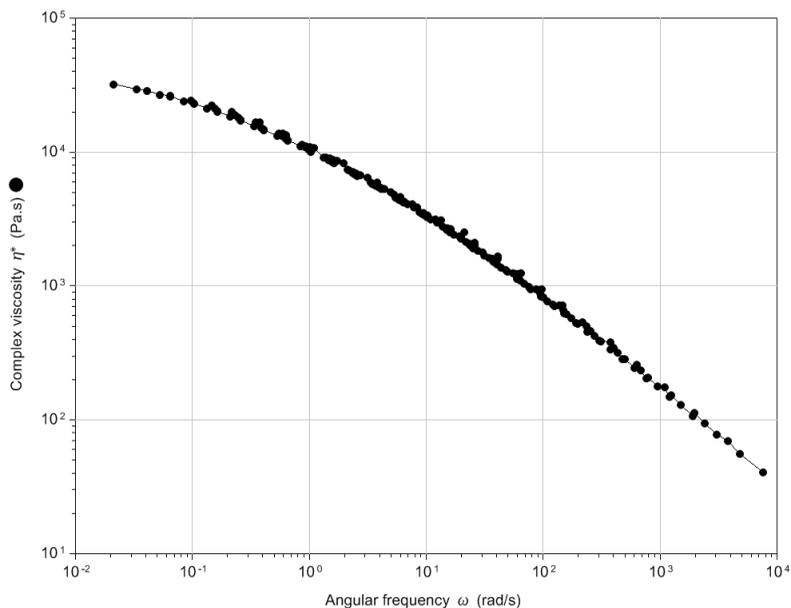


Рис. 4. График обобщенной кривой зависимости комплексной вязкости от угловой частоты

Для перехода от комплексной вязкости, построенной как функция от угловой частоты, к зависимости эффективной вязкости от скорости сдвига использовалось соотношение Кокса-Мерца:

$$\eta^* = \eta(\dot{\gamma}).$$

В результате проведенного анализа и обработки экспериментальных данных была получена зависимость вязкости от скорости сдвига, представленная на рис. 5.

По результатам работы можно отметить, что применение принципа температурно-временной суперпозиции позволяет получить значения вязкости расплава полимера в широком диапазоне скоростей сдвига от $0,02 \text{ c}^{-1}$ до 7543 c^{-1} .

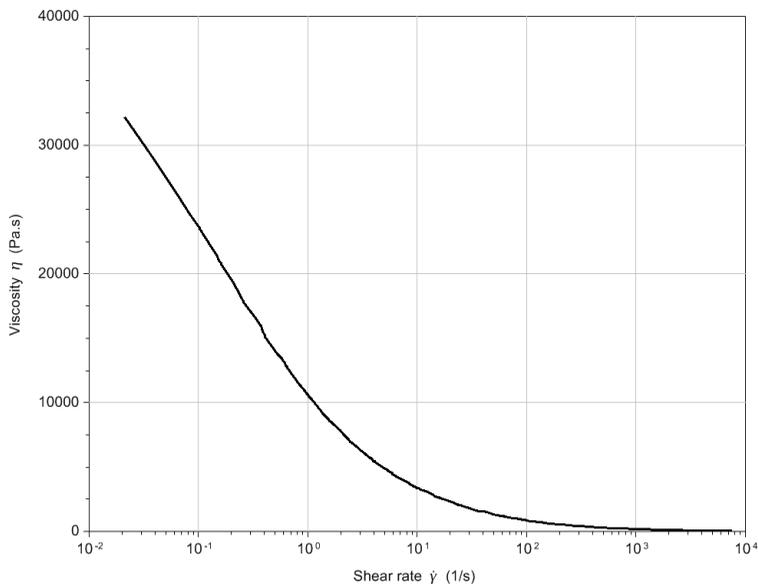


Рис. 5. Обобщенный график зависимости эффективной вязкости от скорости сдвига при температуре 200 °С

В то время как максимальное значение скорости сдвига, которое может быть достигнуто при экспериментальном исследовании на ротационном реометре, составляет 628 c^{-1} . Полученные данные могут быть использованы для подбора технологического режима переработки полимера на экструзионном оборудовании. Кроме этого, стоит отметить, что исходные экспериментальные графики могут быть повторно обработаны для других температур приведения. Таким образом, можно получить семейство кривых зависимости вязкости от скорости сдвига для любого температурного режима экструзии.

Библиографический список

1. Кузнецова Ю.Л. Реометрические течения полимерных жидкостей с учетом сдвигового расслоения потока: специальность 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы»: дис. ... канд. физ.-мат. наук / Институт механики сплошных сред УРО – Филиал федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского Федерального исследовательского центра Уральского отделения РАН. – Пермь, 2019. – С. 123.

2. ГОСТ Р ИСО 18437-2-2014. Вибрация и удар. Определение динамических механических свойств вязкоупругих материалов. – Ч. 2. Резонансный метод: национальный стандарт РФ: дата введения 2014-10-24 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – М.: Стандартиформ, 2015. – С. 19.

Сведения об авторах

Зорихина Людмила Ивановна – магистрант кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-22-1м, г. Пермь, e-mail: lyudmila.zorixin@gmail.com

Ершов Сергей Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: ershov_sv@bk.ru

П.В. Лыкасов, А.В. Мизев

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

В данной статье рассматриваются теоретические аспекты материалов нового класса – нанокompозитов. Произведен экономический анализ применения нанокompозитов в электроэнергетике.

Ключевые слова: наноматериал, кабель, электропроводность, алюминиевый сплав, медь, хрупкий материал, провод.

P.V. Lykasov, A.V. Mizev

Perm National Research Polytechnic University, Perm

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF NANOCOMPOSITE MATERIALS IN THE ELECTRIC POWER INDUSTRY

This article discusses the theoretical aspects of a new class of materials - nanocomposites. An economic analysis of the use of nanocomposites in the electric power industry has been made.

Keywords: nanomaterial, cable, electrical conductivity, aluminum alloy, copper, brittle material, wire.

Среди множества материалов можно заметить, что лишь только два нашли обширное применение в качестве проводников электричества – алюминий и медь. Проводники электрической энергии, в основу которых входит алюминий, имели широкий спрос в СССР (Союз Советских Социалистических Республик). Это было обусловлено тем, что в данный период времени нагрузка на электрические сети была небольшой, т.е., если средняя мощность потребления телевизора первого поколения, например, «Горизонт-723», составляет 60 Вт/ч, то нового поколения, в среднем, 260 Вт/ч. А если говорить про ЛЭП (линии электропередач), то нагрузка на них выросла в разы.

Главным недостатком проводников, изготовленных из алюминия и его сплавов, является их хрупкость, т.е., при частом сгибании жилы могут обламываться. А также при плохом контакте место соединения начинает сильно нагреваться, что может привести к возникновению возгорания или короткого замыкания (КЗ).

Таким образом, более целесообразно стало использование меди и ее сплавов в качестве проводника, потому что алюминиевая проводка не всегда способна выдержать большие токи. Если алюминиевый провод, имея сечение 1 мм^2 , способен выдержать нагрузку в 1 кВт, то медный, в свою очередь, имея то же сечение, способен выдержать до 2 кВт.

Но главный недостаток медного проводника заключается в его стоимости. При использовании высокотехнологичных медных проводов и кабелей, имеющих несколько жил, цена их эксплуатации растет в разы. В табл. 1 приведена сравнительная характеристика медного (ВВГнг-П 3×2,5) и алюминиевого (АВВГ-П 3×2,5) кабеля [1], длины, которых составляют 50 м соответственно.

Таблица 1

Сравнительная характеристика медного и алюминиевого кабелей

| | ВВГнг-П 3×2,5 | АВВГ-П 3×2,5 |
|---|---------------|--------------|
| Цена / 1 кг, р | 661 | 134 |
| Плотность, г/см ³ | 8,93 | 2,7 |
| Срок службы, лет | 30–35 | 15–20 |
| Электропроводность, м/(Ом · мм ²) | 58,14 | 37,79 |

Анализируя выше сказанное, возникает вопрос: существует ли такой материал, который может решить проблемы, связанные с хрупкостью медных и алюминиевых проводников? Данную проблему предлагается рассмотреть на примере использования проводников электрической энергии в условиях крайнего севера. Данный регион характеризуется образованием гололедицы на проводах и прокладки кабельных каналов (КК) в вечно мерзлом грунте.

К основным причинам, вследствие которых возникают повреждения воздушных линий электропередач, относятся перенапряжения, изменения температуры окружающей среды, движения воздушных масс, гололедных образований на проводах, загрязнение воздуха.

Из-за высокой влажности, ветра и перепадов температур образуется наледь на проводах воздушных линий электропередач (рис. 1). И она, достигая 60–70 мм, утяжеляет их [2]. При возникновении данного физического процесса возникают дополнительные механические нагрузки на все элементы ЛЭП. Вследствие увеличения массы и динамических нагрузок происходят опасные явления, особенно при сильном ветре. Например, обрыв токопроводящих проводов и грозозащитных тросов. Эти происшествия несут экономический ущерб, на предотвращение последствий которого требуется время и вложение финансовых средств. Гололедные аварии обычно устраняют значительно дольше.



Рис. 1. Образование гололедицы на проводах линий электропередач

XXI в. ознаменовался революционными разработками материалов на микроуровне – наноматериалов. Большинство развитых стран мира нашли им применение, в том числе, и в энергетике. В последние годы стал широко использоваться новейший тип наноматериалов – нанокомпозиты.

Нанокомпозит представляет собой многокомпонентный твердый материал, в котором один из компонентов в одном, двух или трех измерениях имеет размеры, не превышающие 100 нанометров (рис. 2) [3].

Нанокомпозиты обладают такими механическими свойствами, как увеличенная термостойкость и пригодность к обработке. Ученые утверждают, что характеристики нанокомпозиционных материалов значительно превосходят показатели для традиционных материалов [3]. В табл. 2 представлены технические характеристики углеродного нанокомпозита [4], структурная схема которого представляет из себя углеродные трубки.

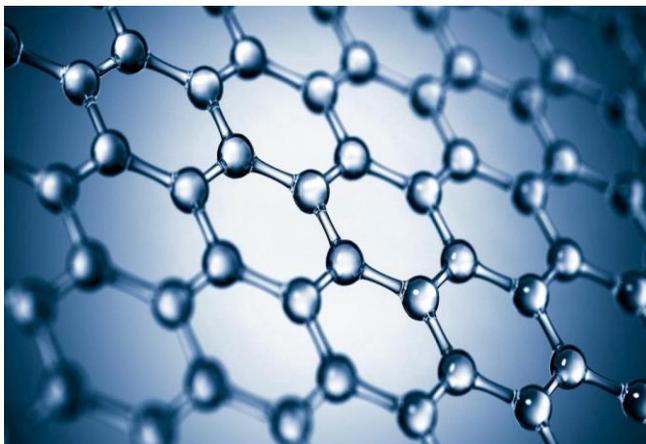


Рис. 2. Структурная матрица нанокompозитного материала

Таблица 2

Технические характеристики углеродных наноматериалов

| Свойства | Значение |
|--------------------------------------|----------|
| Плотность, г/см ³ | 1,8 |
| Коэффициент Пуассона | 0,27 |
| Прочность: | |
| – изгиб, МПа | 318 |
| – растяжение, МПа | 115 |
| – сжатие, МПа | 455 |
| Модуль сдвига, ГПа | 9,3 |
| Ударная вязкость, кДж/м ² | 13 |

Анализ табл. 2 показывает, что углеродные нанокompозиты имеют большую прочность, а также большую способность материала сопротивляться изменению формы при сохранении его объема.

Как уже было сказано выше, применение данным композитам нашли в энергетике, а именно, производство проводников электрической энергии. Данные изделия получают путем внедрения в матрицу медного провода ленточных нановолокон, толщина которых не превышает 10 нм.

Прочность полученного провода на разрыв в среднем составляет порядка 1200 МПа, в то время как прочность на разрыв медного равна 220–270 МПа. Также следует учесть, что электропроводность данного

изделия с применением композитов находится на уровне 85 % от электропроводности чистой меди [5].

В табл. 3 представлена сравнительная характеристика алюминиевого сплава (примесь алюминия, железа и кремния), меди и нанокompозитного сплава ниобиевой меди [5–7], которые используются для изготовления жил проводов.

Таблица 3

Сравнительные характеристики сплавов, используемых при изготовлении жил проводов

| | Нанокompозит | Алюминиевый сплав | Медь |
|--|--------------|-------------------|------|
| Прочность на разрыв, МПа | 1200 | 170 | 880 |
| Проводимость IACS, % | 75 | 58 | 52 |
| Максимальная выдерживаемая температура, °С | 6000 | 350 | 1083 |
| Условный предел текучести, % | 10 | 0,8 | 1,7 |

Анализ табл. 3 показывает, что провода, в основе которых лежит нанокompозит, имеют высокую прочность, электропроводность, а также большое значение максимальной выдерживаемой температуры.

Т.е. в условиях крайнего севера, на данный момент более надежными являются провода, в основе которых лежит нанокompозит. Вследствие этого, вероятность выхода такого изделия из строя по причине каких-либо механических воздействий существенно меньше, нежели чем у медного и алюминиевого.

В табл. 4. представлен экономический обзор трехжильных композиционного, медного и алюминиевого кабелей, сечение жил которых составляет 95 мм, при равном диапазоне рабочей температуры [1].

Таблица 4

Экономический обзор кабелей

| | EPRCabВнг(А)-LS | ВВГнг(А) 3X95mc(N, PE)-1 | АВВГ 3X95mc(N, PE)-1 |
|---------------------------------|------------------------------------|--|----------------------|
| Цена / м, руб | 2100 | 3601,56 | 482,09 |
| Диапазон рабочих температур, °С | -50... +50 °С | -50...+50 °С | -50...+50 °С |
| Изоляция | Этилен – пропиленовая резина (EPR) | ПВХ пластик пониженной пожароопасности с низким дымогазовыделением | ПВХ пластикат |

Анализ табл. 4 показывает, что кабель, имеющий медную жилу, обладает самой высокой стоимостью, что увеличивает расходы на ремонтные мероприятия. Самым дешевым является кабель с алюминиевой жилой. Но данный материал быстро окисляется и является менее прочным, поэтому такие изделия нужно время от времени обновлять, т.к. они быстро изнашиваются.

Таким образом, проводники, в основе которых лежит нанокompозит, имеют высокую прочность по сравнению с проводниками, имеющими медную или изготовленную из алюминиевого сплава, жилу. Т.е., эксплуатация нанокompозитных проводов и кабелей позволяет снизить затраты на его обслуживание, уменьшить риск возникновения обрывов ЛЭП и повреждений КК.

Библиографический список

1. Кабельно-проводниковая продукция. Кабель РФ [Электронный ресурс]. – URL: https://cable.ru/cable/kabel-med_silovoj.php (дата обращения: 10.12.2022).

2. Способы удаления льда с проводов линий электропередачи [Электронный ресурс]. – URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/3_2015/ogbus_3_2015_p794-823_NikitinaIE_ru.pdf (дата обращения: 10.12.2022).

3. Голованов Е.В., Блохин А.Н. Определение оптимальных режимных параметров процесса ультразвукового диспергирования углеродных нанотрубок в эпоксидном связующем // Современные научные исследования и инновации. – 2013. – № 7 [Электронный ресурс]. – URL: <https://web.snauka.ru/issues/2013/07/25361> (дата обращения: 18.12.2022).

4. Салихова Е.А. Уникальные физико-механические свойства углеродного нанокompозита // Современные научные исследования и инновации. – 2011. – № 6 [Электронный ресурс]. – URL: <https://web.snauka.ru/issues/2011/10/2981> (дата обращения: 19.12.2022).

5. Суперпровода – нанотехнологии в электроэнергетике [Электронный ресурс]. – URL: <http://elektrik.info/main/news/963-superprovoda-nanotehnologii-v-energetike.html> (дата обращения: 29.12.2022).

6. Беженова Н.Н. Исследование проблем обработки алюминия // Молодой ученый. – 2017. – № 7 (141). – С. 38–40 [Электронный ресурс]. – URL: <https://moluch.ru/archive/141/39585/> (дата обращения: 20.12.2022).

7. Тебякин А.В, Фоканов А.Н., Подуражная В.Ф. Многофункциональные медные сплавы // Труды ВИАМ. – 2016. – № 12 (48). – [Электронный ресурс]. – URL: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=1042 (дата обращения: 20.12.2022).

Сведения об авторах

Лыкасов Павел Владимирович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: lykasov.pavel@mail.ru

Мизев Алексей Вячеславович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: Aleksei_mizev@mail.ru

Секция 4

**ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ.
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

А.С. Ожгибесова, А.С. Шабуров

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

МЕТОД АВТОМАТИЗАЦИИ ОЦЕНКИ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ

В настоящее время оценка угроз безопасности информации (УБИ) является достаточно долгим и трудозатратным процессом. Модели угроз безопасности информации для объектов защиты необходимо постоянно обновлять и дорабатывать. В связи с этим процесс формирования перечня актуальных УБИ целесообразно совершенствовать путем его автоматизации. В статье приводится описание нечеткой когнитивной модели, позволяющей автоматизировать процесс оценки угроз. Модель подразумевает построение нечеткой когнитивной карты, описывающей воздействие потенциальных угроз на защищаемые ресурсы. Применение данной модели позволит повысить эффективность оценки УБИ, а также применяемых мер по защите информации.

Ключевые слова: нечеткие когнитивные модели, угрозы безопасности информации, оценка угроз, автоматизация, модель угроз.

A.S. Ozhgibesova, A.S. Shaburov

Perm National Research Polytechnic University, Perm

A METHOD FOR AUTOMATING THE ASSESSMENT OF INFORMATION SECURITY THREATS BASED ON FUZZY COGNITIVE MODELS

Currently, the assessment of information security threats (IST) is a rather long and labor-intensive process. Information security threat models for security objects need to be constantly updated and refined. In this regard, it is advisable to improve the process of forming a list of relevant IST by automation. The article describes a fuzzy cognitive model that allows automating this process. The model implies the construction of a fuzzy cognitive map describing the impact of potential threats on protected resources. The use of this model will reduce the cost of forming a list of relevant IST.

Keywords: fuzzy cognitive models, threats to information security, threat assessment, automation, threat model.

Оценка угроз безопасности информации (УБИ) является важным этапом, предшествующим созданию системы защиты любого объекта информатизации. В процессе формирования модели угроз учитываются все особенности объекта, что позволяет построить оптимальную систему защиты информации с точки зрения эффективности средств защиты и расходов на ее разработку и внедрение.

Оценка УБИ имеет прикладной характер. В настоящее время на российском рынке труда наблюдается определенный дефицит квалифицированных специалистов по защите информации. По этой причине часть задач, связанных с оценкой угроз безопасности информации, может выполняться различными категориями должностных лиц с использованием заранее разработанных методов. При этом даже квалифицированные и опытные специалисты в области ИБ могут столкнуться со сложностями оценки угроз при работе со специфичными объектами информатизации, когда необходимо учесть множество нюансов рабочих процессов и все особенности защищаемых информационных систем. Подобные ситуации требуют привлечения еще большего количества экспертов для оценки УБИ.

В случае, когда организации вынуждены пользоваться услугами сторонних экспертов, также возникает ряд проблем. Сторонние специалисты не могут оперативно и объективно оценить множество сведений об объекте информатизации и его особенностях, что может стать причиной некачественной оценки угроз. Это может привести к недостаточной защищенности объекта информатизации или увеличению финансовых затрат на систему защиты информации.

ФСТЭК России определены новые методические приемы и процедуры по оценке УБИ, в целом способствующие повышению качества и адекватности проводимой оценки. В то же время после принятия новой «Методики оценки угроз безопасности информации» [1] процесс оценки стал более трудоемким и длительным.

Активное развитие технологических приемов и разработка методических рекомендаций по оценке УБИ и разработке модели нарушителя требует поиска новых решений по совершенствованию данного вида деятельности, в том числе, с точки зрения оперативности решения задач оценки УБИ. Перспективы совершенствования процесса оценки УБИ могут заключаться в автоматизации отдельных процедур на основе применения компьютерных средств моделирования.

Одним из способов решения проблем, перечисленных выше, является программная реализация когнитивных моделей. Особенность этих моделей состоит в использовании недостаточных, неявных и даже неоднозначных сведений об объекте информатизации, которую удалось добыть экспертам. Она позволяет определить ключевые связи и силу влияния факторов на проблему.

Предлагается метод оценки УБИ на основе разработки нечетких когнитивных карт (НКК), иллюстрирующих влияние возможных угроз на активы объекта защиты [3–5].

Как правило, НКК представляет собой ориентированный граф $G = (C, D, W)$. Вершинами данного графа являются некоторые процессы и факторы, иными словами концепты, существенные для объекта защиты, которые целесообразно задать перечислением $C_1, C_2, \dots, C_n \in C$. Дугами графа $D_1, D_2, \dots, D_m \in D$ являются связи, определяющие степени влияния (веса) $W(C_i, C_j) \in W$ связываемых концептов и отражающие причинно-следственные связи между ними. Изменения состояния самих факторов НКК может быть описано совокупностью переменных состояния X_i ($i = 1, 2, \dots, n$). В целях упрощения модели данные переменные, как правило, принимают значения в интервале $[-1, 1]$ и рассматриваются как безразмерные величины.

Если увеличение переменной X_i приводит к увеличению переменной X_j , или уменьшение переменной X_i приводит к уменьшению переменной X_j , то влияние концептов друг на друга считается «положительным». Если же увеличение переменной X_i приводит к уменьшению переменной X_j , или уменьшение переменной X_i приводит к увеличению переменной X_j , то влияние концептов друг на друга считается «отрицательным». Отображение степени влияния концептов предполагает оценку с использованием нечетких лингвистических переменных, оцениваемых по шкале $[0, 1]$ и принимающих вербальные значения, например, «мало», «средне», «сильно» и т.п. Как правило, состояние i -го концепта НКК описывается уравнением типа

$$X_i(k + 1) = f(\sum_{j=1}^n W_{ji} X_j(k) + X_i(k)), \quad (1)$$

где $X_i(k + 1)$ и $X_i(k)$ – значения переменной X_i , на $(k + 1)$ -м шаге соответственно, ($k = 1, 2, \dots$); W_{ji} – вес связи между концептами C_i и C_j ; $f(\bullet)$ – нелинейная функция, принимающая значения в интервале $[0, 1]$.

Управление состоянием объекта в соответствии с заданной целью управления, которая заключается в достижении требуемого его состояния, осуществляется изменением весов связей НКК или состоянием самих концептов.

На основе разработанной НКК можно оценить влияние (эффект) произвольного концепта C_i^U на любой другой концепт C_j^G . При этом некоторый путь от концепта C_i^U к концепту C_j^G (например, $C_i^U \rightarrow C_l^S \rightarrow C_m^I \rightarrow C_j^G$) считается непрямым эффектом $T_n(C_i^U \rightarrow C_j^G)$. Если веса причинно-следственных связей между концептами заданы, то для определения непрямого эффекта $T_n(C_i^U \rightarrow C_j^G)$ можно воспользоваться формулой:

$$T_n(C_i^U \rightarrow C_j^G) = \min\{W_{ij}\}, \quad (2)$$

где $\{W_{ij}\}$ – множество весов связей на пути между концептом C_i^U и концептом C_j^G .

Полный эффект от воздействия C_i^U на C_j^G определяется

$$T(C_i^U \rightarrow C_j^G) = \max\{T_1, T_2, \dots, T_N\}, \quad (3)$$

где T_l – не прямой l -й эффект между концептом C_i^U и концептом C_j^G , ($l = 1, 2, \dots, N$); N – число не прямых эффектов.

Предположим, что воздействие угрозы безопасности информации на информационную систему принимает вид НКК, представленной на рис. 1. В данном случае концепт C_1^U соответствует рассматриваемой угрозе, C_1^G – искомый информационный ресурс (информационная система); C_1^S, C_2^S, C_1^I – промежуточные факторы (концепты), отражающие цепочку прохождения угрозы до информационного ресурса. Тогда, используя соотношения (1)–(3), можно получить оценку влияния угрозы C_1^U на информационную систему C_1^G .

Для этого необходимо выделить все не прямые эффекты между этими концептами $T_n(C_1^U \rightarrow C_1^G)$. На рис. 1 представлены следующие не прямые эффекты: $T_1(C_1^U \rightarrow C_1^S \rightarrow C_1^G)$, $T_2(C_1^U \rightarrow C_1^S \rightarrow C_1^I \rightarrow C_1^G)$, $T_3(C_1^U \rightarrow C_2^S \rightarrow C_1^G)$, $T_4(C_1^U \rightarrow C_2^S \rightarrow C_1^I \rightarrow C_1^G)$.

В итоге получаем следующие оценки не прямых эффектов:

- $T1 = \min \{\text{сильно, средне}\} = \text{средне};$
- $T2 = \min \{\text{сильно, средне, мало}\} = \text{мало};$
- $T3 = \min \{\text{средне, сильно}\} = \text{средне};$
- $T4 = \min \{\text{средне, сильно, мало}\} = \text{мало}.$

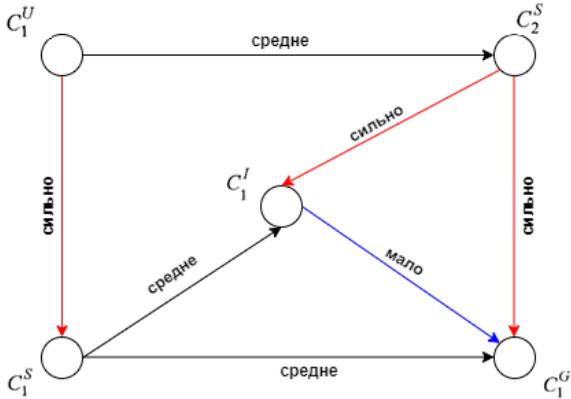


Рис. 1. Определение влияния концепта C_1^U на концепт C_1^G

Таким образом, окончательный, полный эффект влияния концепта C_1^G на целевой фактор составит:

$$T(C_1^U \rightarrow C_1^G) = \max\{T_1, T_2, T_3, T_4\} = \text{средне.}$$

Определение значения полного эффекта влияния концепта позволяет сформировать оценку вероятности угрозы безопасности информации и уязвимости защиты в отношении данной угрозы.

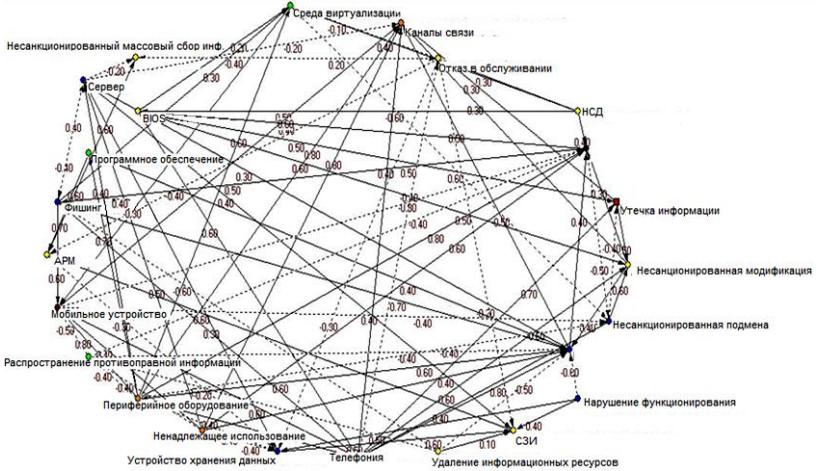


Рис. 2. Пример построения когнитивной модели угроз

При анализе защищенности конкретной информационной системы на основе НКК предполагается предварительное формирование значимых факторов, являющихся множеством используемых в модели концептов.

На следующем этапе предполагается определение силы связи, которая устанавливает влияние одного концепта на другой и может определяться лингвистическими терминами.

Разработка экспертами в области информационной безопасности структуры знаний о системе защиты, списка концептов и силы связи между ними позволяет автоматизировать процесс построения НКК модели угроз безопасности информации (рис. 2).

Построение когнитивной карты выполнено в свободной среде нечеткого когнитивного моделирования FuzzyCognitiveMaps.

Таким образом, программная реализация нечеткой когнитивной модели позволяет облегчить и ускорить процесс оценки угроз безопасности. В перспективе исследования предполагается доработка представленной модели, с целью дальнейшей автоматизации расчета степени ущерба от воздействия угроз на информационные системы. Это позволит оперативно выбрать наиболее адекватные меры защиты информации по критерию «эффективность-стоимость».

Библиографический список

1. Методика оценки угроз безопасности информации [Электронный ресурс] / ФСТЭК России, 2021. – URL: <https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/114-spetsialnye-normativnye-dokumenty/2170-metodicheskij-dokument-utverzhden-fstek-rossii-5-fevralya-2021-gmetodicheskij-dokument-utverzhden-fstek-rossii-5-fevralya-2021> (дата обращения: 01.12.2022).

2. Васильев В.И. Интеллектуальные системы защиты информации: учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 2013. – 172 с.

3. Корнев Л.В. Определение уровня безопасности системы защиты информации на основе когнитивного моделирования [Электронный ресурс] // Молодой ученый. – 2021. – № 33 (375). – С. 9–14. – URL: <https://moluch.ru/archive/375/83624/> (дата обращения: 08.12.2022).

4. Анализ рисков кибербезопасности с помощью нечетких когнитивных карт [Электронный ресурс] / В.И. Васильев, А.М. Вульфин,

И.Б. Герасимова, В.М. Картак // Вопросы кибербезопасности. – 2020. – № 2 (36). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-riskov-kiberbezopasnosti-s-pomoschyu-nechetkih-kognitivnyh-kart> (дата обращения: 09.12.2022).

5. Токарев К.Е., Шатырко Д.В., Процюк М.П. Когнитивное моделирование продовольственной безопасности регионального АПК [Электронный ресурс] // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 10, Ч. 2. – URL: <https://web.snauka.ru/issues/2014/10/38352> (дата обращения: 08.12.2022).

Сведения об авторах

Ожгибесова Анна Сергеевна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КЗИ-21-1м, г. Пермь, e-mail: aozgibesova@gmail.com

Шабуров Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shans@at.pstu.ru

К.С. Ежова, А.В. Фрейман

Российский технологический университет, Москва

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
И ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ
В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ EVE-NG**

В данной статье рассматривается применение сред моделирования для исследования телекоммуникационных сетей. Проведен анализ возможностей программ моделирования, сделан выбор пакета EVE-NG, изучены его ключевые особенности. Рассмотрен процесс разработки модели телекоммуникационной сети, в которой настраиваются и исследуются основные телекоммуникационные технологии: адресация, виртуализация локальных сетей, маршрутизация, трансляция сетевых адресов, разграничение доступа к ресурсам сети. Описана процедура тестирования модели, показаны перспективы практического применения результатов исследования.

Ключевые слова: телекоммуникации, моделирование, тестирование, исследование.

K.S. Ezhova, A.V. Freyman

Russian Technological University, Moscow

**RESEARCH OF THE TELECOMMUNICATION FUNCTIONING
AND INFORMATION SECURITY WITH USING THE EVE-NG**

In this article a simulation tools using for telecommunication networks research is considered. The analysis of software simulation tools is completed, the choice of the EVE-NG tool is done, its key features is studied. The development process of telecommunication network model is considered. It made possible to configure and research the basic telecommunication technologies: addressing, virtualization of local area networks, routing, network addresses translation, access control to network resources. The procedure of model testing is described, the perspectives of practical using of research results are shown.

Keywords: telecommunication, simulation, testing, research.

В современных информационных системах постоянно увеличивается количество устройств и сервисов. При этом также растет необходимость обеспечения высокоскоростного и безопасного взаимодейст-

вия между ними. Причем оно должно осуществляться как внутри локальной сети предприятия, так и в рамках корпоративной сети, связывающей несколько его офисов, с возможностью выхода в глобальную сеть Интернет. Очевидно, что вследствие увеличения масштабов сетевого взаимодействия, роста требований к пропускной способности, надежности и информационной безопасности повышается сложность проектирования таких информационных систем [1].

Для обеспечения эффективных процессов проектирования и эксплуатации телекоммуникационных систем и сетей важным представляется их исследование до этапа практической реализации. Это позволит определить основные характеристики, избежать многих ошибок, проверить качество выполнения сервисов и т.п. Основную помощь могут оказать системы моделирования [2].

Среди большого количества систем моделирования, имеющихся на рынке, можно выделить те, которые имеют сходный с реальным оборудованием интерфейс конфигурирования (CLI – command line interface, интерфейс командной строки). Это позволяет, кроме непосредственного проведения исследований в режиме имитационного моделирования, сохранить конфигурационные файлы с набором команд, которые впоследствии могут быть загружены в телекоммуникационное и терминальное оборудование (коммутаторы, маршрутизаторы, межсетевые экраны, компьютеры, сервера и т.п.). Это существенно сократит время конфигурирования оборудования и предотвратит синтаксические и семантические ошибки при настройке [3].

Цель работы – применение среды моделирования для исследования правильности построения, настройки и безопасности телекоммуникационных сетей. Основные задачи:

- выбор и описание среды моделирования;
- реализация модели телекоммуникационной сети;
- проведение тестирования и исследований;
- выводы и рекомендации.

1. Характеристика и выбор среды моделирования. Существует сравнительно небольшое количество систем моделирования, выполняющих задачи и имеющих свойства, о которых было сказано выше. Наиболее популярные из них – GNS3, Cisco Packet Tracer, Boson NetSim, VIRL, EVE-NG). Их краткое описание и сравнение приведено в [4].

Выберем для использования и более подробно охарактеризуем среду моделирования EVE-NG (Emulated Virtual Environment – Next Generation) [5]. Выделим ее основные особенности:

- разворачивается под виртуальную машину;
- имеет web-интерфейс (рис. 1);
- поддерживает имитацию телекоммуникационных устройств ведущих мировых производителей: Cisco, Huawei, Alcatel, Juniper, Mikrotik, а также терминальных устройств (компьютеры и сервера с различными операционными системами – Windows, Linux (рис. 2, 3);
- реализует имитацию командной строки для каждого типа оборудования;
- выполняет имитационное моделирование (передачу команд и ответов).

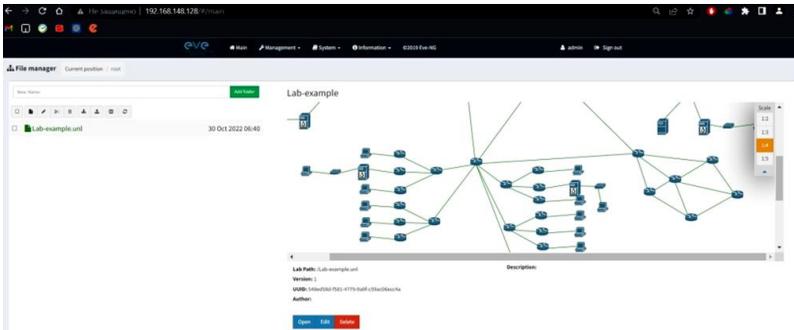


Рис. 1. Основное окно среды моделирования EVE-NG

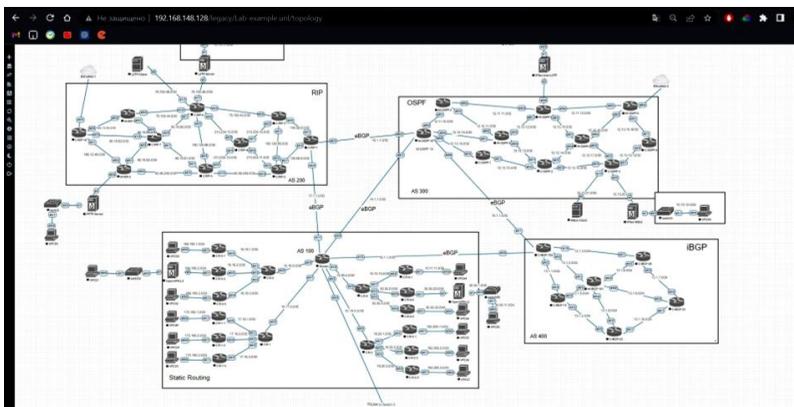


Рис. 2. Вид фрагмента модели сети

EDIT NODE

Template
Cisco IOL

ID
37

Image
L2-ADV/PSERVICESK9-M-15.2-IRON-20170202.bin

Name/prefix
Eswitch3

Icon
Switch.png

NVRAM (KB) 1024 RAM (MB) 1024

Ethernet portgroups (4 int each) 2 Serial portgroups (4 int each) 0

Startup configuration
None

Delay (s)
0

Left 1440 Top 1854

Save Cancel

Рис. 3. Настройка параметров элемента модели

2. Разработка и настройка модели телекоммуникационной сети. Для иллюстрации возможностей выбранной среды моделирования поставим следующие задачи:

- настройка интерфейсов в сетевых и терминальных устройствах (коммутаторы, маршрутизаторы, компьютеры, серверы);
- настройка VLAN;
- организация DHCP;
- конфигурирование маршрутизации (статической и динамической: RIP, OSPF, BGP);
- реализация NAT;
- решение задач информационной безопасности путем настройки SSH и разграничения доступа к ресурсам сети при помощи ACL.

Для реализации модели сети, решающей поставленные задачи, выбраны следующие виды телекоммуникационного и терминального оборудования:

- коммутаторы Cisco;
- маршрутизаторы Cisco;
- маршрутизаторы Mikrotik;
- серверы с операционной системой Linux;
- компьютеры с операционной системой Windows.

При настройке конфигураций используются режимы командной строки, которые реализуются в выбранных телекоммуникационных (рис. 4, 5) и терминальных (рис. 6, 7) устройствах. Они полностью соответствуют реальным CLI. Это позволяет не только выполнить моделирование, но и сохранить конфигурационные файлы (в текстовом формате) для их дальнейшего использования при конфигурировании реального оборудования сети, построенной по модели.

```

Router
#
# application route
# replicated route, # - next hop override

Gateway of last resort is not set

10.0.0.0/0 is variably subnetted, 24 subnets, 3 masks
C 10.0.10.0/20 is directly connected, Ethernet0/0.10
I 10.0.10.254/32 is directly connected, Ethernet0/0.10
C 10.0.20.0/24 is directly connected, Ethernet0/0.20
I 10.0.20.254/32 is directly connected, Ethernet0/0.20
C 10.0.30.0/24 is directly connected, Ethernet0/0.30
I 10.0.30.254/32 is directly connected, Ethernet0/0.30
C 10.0.40.0/24 is directly connected, Ethernet0/0.40
I 10.0.40.254/32 is directly connected, Ethernet0/0.40
C 10.0.50.0/24 is directly connected, Ethernet0/0.50
I 10.0.50.254/32 is directly connected, Ethernet0/0.50
C 10.0.60.0/24 is directly connected, Ethernet0/0.60
I 10.0.60.254/32 is directly connected, Ethernet0/0.60
C 10.0.70.0/24 is directly connected, Ethernet0/0.70
I 10.0.70.254/32 is directly connected, Ethernet0/0.70
# 10.30.30.0/30 [1/0] via 10.20.0.2
# 10.11.11.0/30 [1/0] via 10.20.0.2
C 10.16.0.0/30 is directly connected, Ethernet0/2
I 10.16.0.1/32 is directly connected, Ethernet0/2
C 10.17.0.0/30 is directly connected, Ethernet0/1
I 10.17.0.1/32 is directly connected, Ethernet0/1
C 10.19.0.0/30 is directly connected, Ethernet0/2
I 10.19.0.1/32 is directly connected, Ethernet0/2
C 10.20.0.0/30 is directly connected, Ethernet1/0
I 10.20.0.1/32 is directly connected, Ethernet1/0
I 10.0.0.0/8 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C 10.1.1.0/30 is directly connected, Ethernet2/0
I 10.1.1.1/32 is directly connected, Ethernet2/0
C 15.0.0.0/8 is variably subnetted, 2 subnets, 3 masks
C 16.1.1.0/30 is directly connected, Ethernet1/3
I 16.1.1.1/32 is directly connected, Ethernet1/3
I 16.16.0.0/16 [1/0] via 10.16.0.2
C 17.0.0.0/8 is variably subnetted, 3 subnets, 3 masks
C 17.1.1.0/30 is directly connected, Ethernet1/1
I 17.1.1.1/32 is directly connected, Ethernet1/1
I 17.16.0.0/16 [1/0] via 10.17.0.2
C 18.0.0.0/16 is subnetted, 1 subnet
I 18.20.0.0 [1/0] via 10.18.0.2
C 30.0.0.0/16 is subnetted, 1 subnet
I 30.30.0.0 [1/0] via 10.30.0.2
# 160.100.0.0/16 [1/0] via 10.16.0.2
# 170.150.0.0/16 [1/0] via 10.17.0.2
# 180.200.0.0/16 [1/0] via 10.18.0.2
..

```

Рис. 4. CLI маршрутизатора Cisco

```

M-OSPF-10
show ip link --
vrrm1-link --

(admin@M-OSPF-10) /routing ospf> route print
  6 1027-0A382838          27.0.0.0          0.0.0.0          0.0.0.0          0.0.0.0          0.0.0.0          0.0.0.0          0.0.0.0          0.0.0.0
  0 10.0.110.0/24         imported-ent-1  0
  1 10.0.20.0/24          imported-ent-1  0
  2 10.0.30.0/24          imported-ent-1  0
  3 10.0.40.0/24          imported-ent-1  0
  4 10.0.50.0/24          imported-ent-1  0
  5 10.0.60.0/24          imported-ent-1  0
  6 10.0.70.0/24          imported-ent-1  0
  7 10.10.10.0/20         imported-ent-1  1
  8 10.11.11.0/20         imported-ent-1  1
  9 10.15.0.0/20          imported-ent-1  0
 10 10.17.0.0/30          imported-ent-1  0
 11 10.19.0.0/30          imported-ent-1  0
 12 10.20.0.0/30          imported-ent-1  0
 13 10.255.255.10/32     imported-ent-1  20
 14 12.11.10.0/30        intrz-area      10
 15 12.12.10.0/30        intrz-area      10
 16 12.13.10.0/30        intrz-area      10
 17 14.1.1.0/30           intrz-area      10
 18 15.1.1.0/30           intrz-area      10
 19 16.1.1.0/30           imported-ent-1  0
 20 16.18.0.0/16         imported-ent-1  1
 21 17.1.1.0/30           imported-ent-1  0
 22 17.16.0.0/16         intrz-area      10
 23 18.1.1.0/30           imported-ent-1  1
 24 18.20.0.0/16         imported-ent-1  1
 25 30.30.0.0/16         imported-ent-1  1
 26 189.189.0.0/16       imported-ent-1  1
 27 172.160.0.0/16       imported-ent-1  1
 28 182.200.0.0/16       imported-ent-1  1
(admin@M-OSPF-10) /routing ospf>

```

Рис. 5. CLI маршрутизатора Mikrotik

```

PC14
VPCS> show ip
NAME      : VPCS[1]
IP/MASK   : 0.0.0.0/0
GATEWAY   : 0.0.0.0
DNS       :
DNS2      :
MAC       : 00:50:79:66:68:0e
I.P.ORT   : 20000
REBOOT.POR: 127.0.0.1:30000
MTU       : 1500

VPCS> show ip route

show ip [all]
Show IPv4 details for including:
VPC Name, IP address, mask, gateway, DNS, MAC, I.p.ort, zhost:z.p.ort and MTU.
(reduced view in tabular format if 'all' option used)

VPCS> show ip all
NAME  IP/MASK  GATEWAY  MAC          DNS
VPCS1 0.0.0.0/0 0.0.0.0  00:50:79:66:68:0e
VPCS>

```

Рис. 6. CLI имитатора компьютера

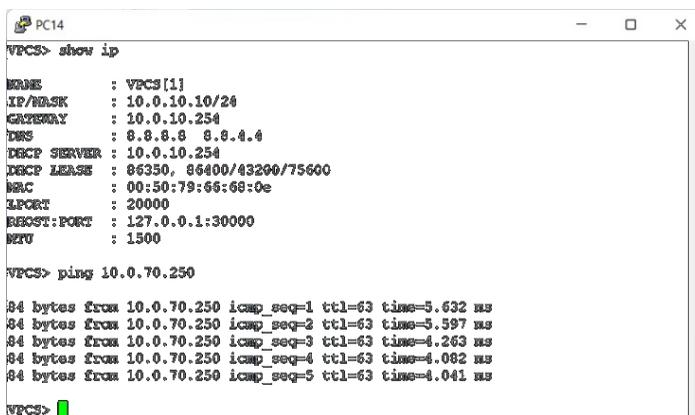
```

QEMU (SSH-Client)
File Actions Edit View Help
user@kali22-01:~$
1: ip address 1 LINK_UPD mtu 65536 qlist hopnum state UNKNOWN group default qlen 1000
link/loopback 00:00:00:00:00:00 bond 00:00:00:00:00:00
inst 1/28 scope host
valid_lft forever preferred_lft forever
inst 1/28 scope host
2: state UNKNOWN MULTICAST ip LINK_UPD mtu 1500 qlist pfifo_fast state UP group default
qlen 1000
link/ether 00:50:00:00:00:00 bond ff:ff:ff:ff:ff:ff
inst 1/28 scope link
valid_lft forever preferred_lft forever
inst 1/28 scope link
valid_lft forever preferred_lft forever
user@kali22-01:~$
1: ip route
default via 0.0.0.0 dev eth0 proto kernel scope link src 0.0.0.0
user@kali22-01:~$

```

Рис. 7. CLI сервера Linux

3. Исследование и тестирование модели. Основной задачей телекоммуникационной составляющей задания является организация связи между телекоммуникационными устройствами («все видят всех»). Поэтому просто наличие связи проверяется командой ping (рис. 8). Для проверки прохождения маршрута между двумя устройствами, а это нужно для проверки правильности настройки маршрутизации, а также построения отказоустойчивых топологий (например, для NAT), используется команда traceroute (в соответствующем для сетевой операционной системы каждого устройства формате). Также для проверки правильности настройки маршрутизации используется команда вывода и анализа таблицы маршрутов и настройки протоколов (например, в текущей конфигурации, для Cisco – show run).



```
PC14
VPCS> show ip
NAME           : VPCS[1]
IP/MASK        : 10.0.10.10/24
GATEWAY        : 10.0.10.254
DNS            : 8.8.8.8  8.8.4.4
DHCP SERVER    : 10.0.10.254
DHCP LEASE     : 86350, 86400/43200/75600
MAC            : 00:50:79:66:66:0e
I/FPORT        : 20000
BOOTP:PORT     : 127.0.0.1:30000
MTU            : 1500

VPCS> ping 10.0.70.250

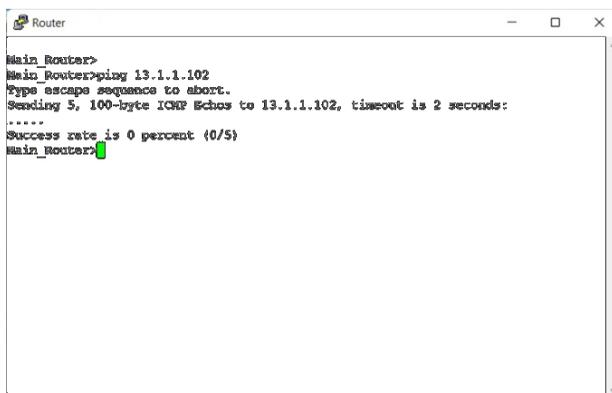
64 bytes from 10.0.70.250 icmp_seq=1 ttl=63 time=5.632 ms
64 bytes from 10.0.70.250 icmp_seq=2 ttl=63 time=5.597 ms
64 bytes from 10.0.70.250 icmp_seq=3 ttl=63 time=4.263 ms
64 bytes from 10.0.70.250 icmp_seq=4 ttl=63 time=4.082 ms
64 bytes from 10.0.70.250 icmp_seq=5 ttl=63 time=4.041 ms

VPCS>
```

Рис. 8. Выполнение команды ping

Для части задания, связанного с обеспечением информационной безопасности, задача обратная – организовать доступ с аутентификацией пользователя (ssh), а также запретить взаимодействие между определенными сегментами сети в соответствии с заданными правилами (ACL – access control list, список управления доступом).

В первом случае проверка осуществляется контролем результата процедуры аутентификации, а во втором – непрохождением команды ping (рис. 9).

The image shows a terminal window titled "Router". The text inside the window is as follows:

```
Main_Router>  
Main_Router#ping 13.1.1.102  
Type escape sequence to abort.  
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 13.1.1.102, timeout is 2 seconds:  
.....  
Success rate is 0 percent (0/5)  
Main_Router#
```

Рис. 9. Невыполнение команды ping

Заключение. В данной работе были представлены результаты исследования телекоммуникационной сети с целью выполнения требований правильности ее функционирования и информационной безопасности. Для этого была реализована имитационная модель в среде моделирования EVE-NG.

В модели выполнена настройка конфигураций телекоммуникационных устройств: интерфейсов, адресов (IP), виртуальных локальных сетей (VLAN), маршрутизации, трансляции сетевых адресов из внутренних («серых») во внешние («белые») (NAT), правил разграничения доступа к ресурсам (ACL). Это позволило укрепить теоретические знания в области построения сетей и приобрести практические навыки настройки и исследования реального телекоммуникационного оборудования, поскольку конфигурирование выполнялось с использованием аналогичных интерфейса CLI и системы команд.

Библиографический список

1. Крухмалев В.В., Гордиенко В.Н., Моченов А.Д. Цифровые системы передачи: учеб. пособие для вузов по подготовке бакалавров и магистров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия-Телеком, 2018. – 376 с.
2. Гаврилов А.В. Современные принципы и технологии управления инфокоммуникационными сетями: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2021. – 201 с.

3. Пуговкин А.В., Покаместов Д.А., Крюков Я.В. Основы построения инфокоммуникационных сетей и систем: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Лань, 2021. – 175 с.

4. Золотухин М.С., Симонова Е.С. Сетевые симуляторы и эмуляторы оборудования Cisco [Электронный ресурс] // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 7. – С. 57-61. – URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=38134> (дата обращения: 30.10.2022).

5. EVE-NG [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.eve-ng.net/> (дата обращения: 30.10.2022).

Сведения об авторах

Ежова Ксения Сергеевна – студентка кафедры КБ-9 «Предметно-ориентированные информационные системы», гр. БСБО-13-21, МИРЭА, Российский технологический университет, г. Москва, e-mail: ezhova33333@gmail.com

Фрейман Артем Владимирович – студент кафедры КБ-9 «Предметно-ориентированные информационные системы», гр. БСБО-13-21, МИРЭА, Российский технологический университет, г. Москва, e-mail: artemfrey2003@gmail.com

Г.О. Иванов, А.Н. Каменских, А.А. Южаков

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОБОТОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАКОНОВ РОБОТОТЕХНИКИ

Законы робототехники созданы для защиты человека от потенциально опасных действий робота с искусственным интеллектом, обладающего способностью мыслить. Однако идеальная модель такого робота еще не создана, из-за чего на практике законы реализуются лишь частично. Достичь текущего результата удалось благодаря значительным успехам в области обучения искусственного интеллекта. Тенденция показывает, что роботы постепенно приближаются к приобретению упрощенного сознания, что позволит в полной мере реализовать законы робототехники. Это приводит к возникновению проблемы обеспечения информационной безопасности, т.к. роботы рассматриваются с точки зрения объекта, а наличие сознания делает их субъектами.

Ключевые слова: робот, законы робототехники, практическая реализация, информационная безопасность.

G.O. Ivanov, A.N. Kamenskih, A.A. Yuzhakov

Perm National Research Polytechnic University, Perm

THE PROBLEM OF ROBOTS INFORMATIONAL SAFETY WHEN IMPLEMENTING THE LAWS OF ROBOTICS

Laws of robotics are created to protect a human from potentially dangerous actions of a robot with artificial intelligence, which has the ability to think. However, an ideal model of such a robot has not yet been created, which is why the laws are only partially implemented in practice. The current result was achieved due to significant advances in the field of artificial intelligence training. The trend shows that robots are gradually approaching the acquisition of simplified consciousness, which will allow to fully implement the laws of robotics. This leads to the problem of information security, as robots are viewed from the point of view of an object, and the presence of consciousness makes them subjects.

Keywords: robot, laws of robotics, practical implementation, information security.

Законы робототехники возникли из фантастических рассказов писателя Айзека Азимова. Всего было сформулировано 3 закона:

1. Робот не может причинить вред человеку или своим бездействием допустить причинение вреда человеку.

2. Робот должен подчиняться всем приказам, отдаваемым человеком, если только эти приказы не противоречат Первому закону.

3. Робот должен заботиться о собственной безопасности в той мере, в какой это не противоречит Первому или Второму закону [1].

Законы – это набор правил, которым должен неукоснительно следовать робот с искусственным интеллектом. Их смысл заключается в защите жизни человека и целостности робота от возникновения опасных ситуаций, которые могут быть спровоцированы искусственным интеллектом. Необходимость в них возникла из-за сложности прогнозирования поведения искусственного интеллекта, который своими действиями потенциально может нанести серьезный ущерб.

Принимая во внимание современную тенденцию, когда роботы смогли войти в повседневную жизнь и перестали вызывать у людей страх «выхода из строя и уничтожения всего человечества», профессор Фрэнк Паскуале предложил дополнение к законам Азимова в виде 4 новых пунктов:

1. Цифровые технологии должны дополнять профессионалов, а не заменять их.

2. Искусственный интеллект и роботизированные системы не должны подделывать человека.

3. В области искусственного интеллекта следует предотвратить усиление гонки вооружений с нулевой суммой.

4. Роботы и системы искусственного интеллекта должны указывать личность своих создателей, людей, которые ими управляют, и владельцев [2].

По Паскуале, человека необходимо защищать не только от прямого негативного воздействия роботов, но и от косвенного, когда искусственный интеллект становится инструментом в гонке вооружений или может стать причиной, по которой человек потеряет свое место в обществе [3].

Законы Азимова и дополнение Паскуале создавались под идеальную модель – искусственный интеллект со способностью мыслить, что приравнивало бы его к человеку. Однако такую модель можно считать

идеальной и на сегодняшний день ее не существует. Но технологии обучения искусственного интеллекта продвинулись настолько далеко, что действия роботов все более точно имитируют поведение человека. С учетом этого можно предположить, что в определенных системах становится возможным создание робота с упрощенной способностью мыслить. Несмотря на то, что для этого потребуется множество ограничений, тем не менее у такого робота появляется возможность реализовать на практике все законы робототехники. Как было сказано ранее, эти законы будут защищать жизнь человека и целостность робота, но, с другой стороны, они приведут к появлению новых факторов, которые повлияют на безопасность информационной системы робота [4].

В вопросе информационной безопасности простые модели роботов приравниваются к активам, т.е. это объекты, которые собственник (субъект) хочет защитить от несанкционированного доступа. Часто такие модели способны выполнять ограниченный функционал, например, манипуляции в пространстве. Более продвинутые модели способны совмещать множество различных функций и работать практически автономно. Они созданы с учетом аспектов информационной безопасности, т.е. в их архитектуру включены встроенные модули защиты, а значит, их можно отнести к автоматизированным системам. С другой стороны, роботы, к которым становятся применимыми законы робототехники, приравниваются к субъектам, поскольку они обладают способностью вести себя, как человек [5]. Однако, чтобы обеспечить конфиденциальность, целостность и доступность информации, необходимо однозначно определить, кем является робот: объектом или субъектом защиты.

Необходимость возникает потому, что объект и субъект требуют разного подхода с точки зрения защиты информации. Объект или актив требует защиты, чтобы только законный субъект или пользователь мог получить к нему доступ [6]. Для решения этой задачи традиционно можно использовать программно-аппаратную криптографическую защиту, резервное копирование, сервер имен и т.д. В свою очередь, субъект или пользователь нуждается в защите от неправомерного использования доступа к объекту и атак социальной инженерии. Для этого, например, пользователя учат правильно взаимодействовать с активом и не поддаваться фишинговым атакам. Не забудем и о стандартном представлении пары субъект-объект, где первый – человек, а вто-

рой – вещь. Это позволяет нам понять, что методы и средства, используемые для защиты одного, часто не могут быть использованы для защиты другого. В случае с роботом появляется двойственность, как показано на рисунке, в которой и объект, и субъект существуют в одном лице [7].

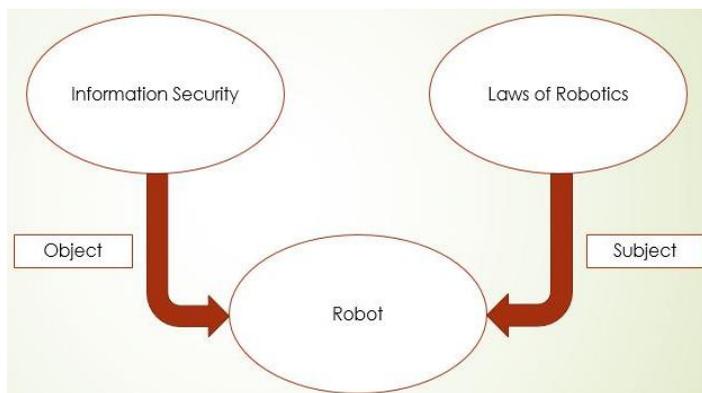


Рис. Двойственное восприятие робота

Для понимания проблемы наличия робота субъекта-объекта, в качестве аналогии проанализируем ситуацию, если бы администратор с нулевым уровнем знаний был поставлен во главе управления полностью автономной и защищенной автоматизированной системы. Получается, что уровень безопасности значительно снизится, т.к. появятся новые уязвимости, реализуемые с помощью атак социальной инженерии или из-за действий некомпетентного администратора. Более того, поскольку ранее это была полностью автономная система, соответственно, защита от этих уязвимостей не предусматривалась, и система уже не может считаться защищенной. Кроме того, следует учитывать, что защита системы будет отдавать предпочтение не причинению вреда человеку, в соответствии с законами робототехники.

В итоге это начнет влиять на действия робота, вынуждая его сознательно делать выбор не в пользу обеспечения информационной безопасности системы.

В таком случае, какие проблемы возникают при обеспечении информационной безопасности роботов при реализации законов робототехники?

Во-первых, новой категорией становятся субъектно-объектные роботы, для которых нынешние стандарты информационной безопасности, основанные только на понятиях субъекта и объекта, станут неактуальны. Это означает, что уровень безопасности такой системы будет определять только разработчик, давая ему право на установление своей монополии, что может быть ничем не оправдано.

Следуя законам робототехники, робот может сам стать источником информационной угрозы. Наличие приоритета не причинения вреда человеку над собственной безопасностью означает, что робот может допустить осуществление нарушения конфиденциальности, целостности, доступности информации, если в противном случае его действия будут представлять угрозу для человека. Это не исключает возможности того, что из-за применения роботом средств противодействия может пострадать сам злоумышленник, совершающий нападение, создавая тем самым новый вид атаки: шантаж угрозой причинения вреда себе, если робот будет применять защитные контрмеры.

Строгое соблюдение законов робототехники предрасполагает к появлению новых видов атак, которые будут затрагивать моральные аспекты выбора и перетекать в социальную инженерию. Если раньше злоумышленникам приходилось иметь дело с бездушной машиной и искать дыры в программном коде, то теперь они могут попытаться обмануть ту же машину, как если бы это был человек [8].

Одновременно выполняя рекомендации по защите как субъекта, так и объекта, между методами и средствами могут возникать ранее неизвестные синергии. Это может привести к тому, что их реальное влияние на уровень безопасности системы исказится, могут появиться новые уязвимости и векторы атак на систему.

Как можно решить эти проблемы? Ответа на этот вопрос пока нет, но можно предположить, в каких направлениях нам следует двигаться, чтобы снизить негативное влияние применения законов робототехники на информационную безопасность роботов:

1. Добавить новые параметры в модель CIA. Это может позволить учесть особенности обмена информацией в субъектно-объектных роботах и сделать применимыми действующие стандарты информационной безопасности, возможно, с небольшими изменениями или добавлением новых категорий;

2. Ввести понятие субъект-объект. Это позволит на более фундаментальном уровне пересмотреть взаимосвязь понятий и заложить основу для создания отраслевых стандартов роботов, а также применить лучшие практики из существующих стандартов, основанные только на понятиях субъекта и объекта;

3. Определить границы. Если роботов с искусственным интеллектом, сознательных и следующих законам робототехники классифицировать как субъект, как человека, то задача сведется к нахождению перехода такого робота из класса объекта в субъект. Также следует учитывать, что, став субъектом, эти роботы будут ограничены тем же функционалом воздействия на информационную систему, что и люди. В противном случае потребуются провести более глубокую классификацию и определить степень влияния роботизированных субъектов на информационные системы.

Подводя итоги, стоит отметить, что сегодняшние роботы с искусственным интеллектом могут показаться далекими от обретения упрощенческого мышления, но технологии, методы и законы меняются. Возможно, завтра мы столкнемся с прорывной технологией в области обучения роботов, а может быть, законы робототехники будут переписаны и в информационной безопасности появится понятие двойственного объекта-субъекта. Важно учитывать быстрый рост сферы робототехники и быть готовым адаптироваться к будущим вызовам, с которыми может столкнуться информационная безопасность.

Представленная в статье проблема двойственности восприятия роботов как объекта и субъекта создает серьезную угрозу в области информационной безопасности таких робототехнических систем. В дальнейшем планируется продолжить работу по поиску решения описанной проблемы, а также изучить точку перехода, когда можно будет считать, что робот действительно приобрел способность мыслить, и законы робототехники можно будет освоить.

Библиографический список

1. Андерсон С.Л. «Три закона робототехники» Азимова и машинная метаэтика // AIandSociety. – 2008. – Т. 22, № 4. – С. 477–493.

2. Сломан А. Почему три закона робототехники Азимова неэтичны [Электронный ресурс]. – 2006. – URL: www.cs.bham.ac.uk/research/projects/cogaff/misc/asimov-three-laws. HTML

3. Андерсон М., Андерсон С., Армен С. MedEthEx: на пути к консультанту по медицинской этике // AAAI по машинам для ухода: ИИ и уход за пожилыми людьми: материалы осеннего симпозиума. – Кристал-Сити, Вирджиния, 2005.

4. Макларен Б.М. Расширенное определение принципов и случаев этики: модель ИИ // Искусственный интеллект. – 2003. – Т. 150. – С. 145–181.

5 Аллен. К., Уоллах В., Смит И. Почему машинная этика? // Интеллектуальные системы IEEE. – 2006. – Т. 21, № 4. – С. 12–17.

6. Моран М. Три закона робототехники и хирургии // J. Endourology. – 2008. – Т. 22, № 8. – С. 1557–1560.

7. Кларк Р. Законы робототехники Азимова: последствия для информационных технологий. Ч. 1 // Computer. – 1993. – Т. 26, № 12. – С. 53–61.

8. Уитби Б. Иногда трудно быть роботом: призыв к действиям в отношении этики злоупотребления искусственными агентами // Interacting with Computers. – 2008. – Т. 20, № 3. – С. 326–333.

Сведения об авторах

Иванов Глеб Олегович – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: gleb_molodoi5@mail.ru

Каменских Антон Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: antoshkinoinfo@yandex.ru

Южаков Александр Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: gleb_molodoi5@mail.ru

**А.С. Шабуров, М.А. Веретенников, В.А. Горева,
А.А. Кривощекова**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

АРХИТЕКТУРА ЗАЩИЩЕННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА ОПЕРАТОРА ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРИ ВЗАИМОДЕЙ- СТВИИ С ФЕДЕРАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ

Проанализированы проблемы и основные задачи обеспечения безопасности информации при взаимодействии оператора персональных данных с Федеральной информационной системой. Сформулированы основные принципы обеспечения безопасности и их взаимосвязь с реализуемыми мерами по защите информации. Определены уязвимости действующих моделей информационного взаимодействия. Предложена универсальная математическая модель защиты информационной системы. Разработана архитектура защищенного рабочего места оператора персональных данных и модель передачи данных при взаимодействии с Федеральной информационной системой.

Ключевые слова: защита информации, Федеральная информационная система, информационная система персональных данных, архитектура защищенного взаимодействия.

**A.S. Shaburov, M.A. Veretennikov, V.A. Goreva,
A.A. Krivoshyokova**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

ARCHITECTURE OF THE PROTECTED AUTOMATED WORKING STATION OF THE PERSONAL DATA PROCESSOR IN INTERACTION WITH THE FEDERAL INFORMATION SYSTEM

The article analyzed the problems and main tasks of information security in the interaction of the personal data processor with the federal information system. The basic principles of information security and their relationship with the implemented measures to protection of information was defined. The vulnerabilities of the acting models of information interaction was outlined. A universal mathematical model of information system security was proposed. The architecture of the protected working station of the personal data processor and the model of data transfer in the interaction with the federal information system has been developed.

Keywords: information security, federal information system, personal data information system, architecture of secure interactive.

Одним из основных аспектов реализации обеспечения безопасности персональных данных (ПДн) является предотвращение возможных угроз для объекта защиты информации. При недостаточной защищенности информационной системы персональных данных (ИС ПДн) могут возникнуть угрозы, которые связаны, в том числе, и с недостатками архитектуры самой ИС ПДн. Подобные уязвимости могут способствовать проявлению таких угроз безопасности, как угрозы утечки информации, угрозы несанкционированного доступа, угрозы несанкционированной подмены, удаления информационных ресурсов и др., что в современных условиях особенно недопустимо.

Предотвращение перечисленных угроз безопасности информации в ИС ПДн обеспечивается внедрением необходимого набора средств и методов защиты информации, объединенных в единую систему.

В качестве объекта защиты информации в данной статье рассматривается защищенное рабочее место пользователя, предназначенное для подключения к защищенной сети к федеральной информационной системе «Федеральный реестр документов об образовании» через VipNet Coordinator.

Аппаратно-программное обеспечение информационной безопасности данного объекта осуществляется за счет внедрения следующих средств: программного средства защиты от НСД DallasLock 8.0-K, средства антивирусной защиты Dr.Web, многофункционального программного комплекса VipNet в составе VipNet PKI Client и VipNet Client 4.0. Общая схема взаимодействия пользователя с ФИС ФРДО с учетом применяемых средств защиты информации представлена на рис. 1.

Осуществляя информационное взаимодействие, оператор ПДн отвечает за обеспечение защиты ПДн и за легитимное обращение с ними в любое время в масштабах всей организации, а также отвечает за обработку ПДн, осуществляемую по его поручению обработчиком ПДн.

В ходе выполнения своих обязанностей оператор ИС ПДн должен руководствоваться принципами обеспечения безопасности ПДн, определенными на уровне законодательной базы Российской Федерации [1]:

- наличие согласия на обработку ПДн;
- законность цели обработки ПДн и ее спецификация;
- ограничение на сбор информации;
- минимизация данных;
- ограничения в отношении использования, хранения и раскрытия;

- точность и качество ПДн;
- открытость, прозрачность и уведомление об обработке ПДн;
- персонафицированный доступ к данным;
- ответственность за обработку ПДн;
- обеспечение безопасности информации;
- соответствие требованиям нормативной правовой базы.

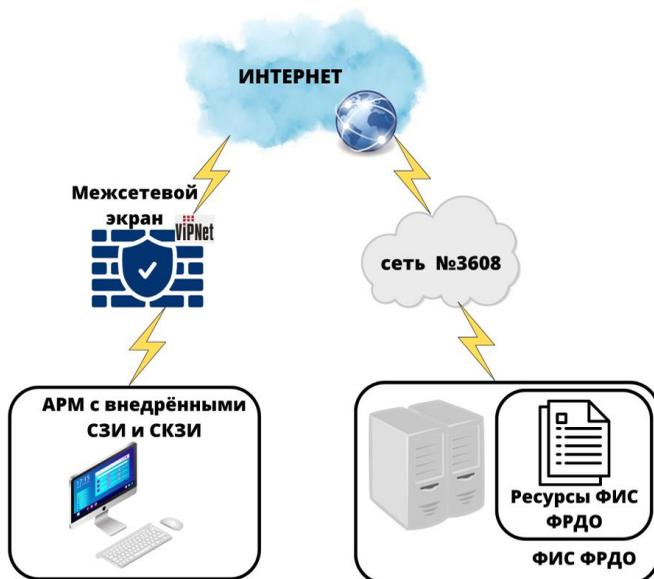


Рис. 1. Схема взаимодействия пользователя с ФИС ФРДО

Внедрение системы защиты информации предполагает реализацию компонентов ИС ПДн, представляющих собой набор необходимых методов, средств и сервисов защиты. Данные методы, средства и сервисы защиты информации в совокупности применения должны обеспечивать реализацию вышеперечисленных принципов обработки ПДн.

Взаимосвязь принципов обеспечения безопасности ПДн с компонентами ИС ПДн на уровне ПДн [2] приведена в таблице. При этом обозначение «+» в таблице указывает на взаимосвязь между компонентом данного уровня и принципом, «-» – на отсутствие или ограничение взаимосвязи.

**Взаимодействие между принципами обеспечения безопасностью
и компонентами на уровне персональных данных**

| Компоненты | Принципы | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------|---|-------------------------|--|----------------------------|-----------------|-------------------------------------|--|
| | Наличие согласия на обработку ПДн | Законность цели и ее спецификация | Ограничение на сбор информации | Минимизация данных | Ограничения в отношении использования, хранения и раскрытия | Точность и качество ПДн | Открытость, прозрачность и уведомление | Персонифицированный доступ | Ответственность | Обеспечение безопасности информации | Соответствие требованиям нормативной правовой базы |
| Управление ПДн | - | + | - | - | + | + | - | + | + | - | + |
| Передача ПДн | + | + | - | - | - | + | + | + | + | + | + |
| Проверка правильности ПДн | + | + | - | - | - | + | - | - | + | - | + |
| Обезличивание ПДн | - | - | + | + | - | - | - | - | + | + | - |
| Распределение секрета | - | - | + | + | + | - | + | - | + | - | - |
| Шифрование ПДн | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + | + |
| Использование ПДн | + | + | - | - | + | + | + | - | + | + | + |
| Безопасные вычисления | - | + | - | - | - | + | - | + | + | + | - |
| Управление запросами | - | - | + | - | + | + | + | - | - | - | - |
| Инвентарная опись ПДн | + | - | + | + | - | - | - | - | + | - | + |
| Раскрытие ПДн | + | - | + | + | + | - | - | + | - | + | - |
| Архивирование и хранение ПДн | - | - | + | + | + | + | + | - | - | + | + |
| Протоколирование | - | + | + | - | - | - | + | + | - | - | - |

Рассмотренный объект защиты характеризуется особенностями, существенными для обеспечения информационной безопасности. В информационной системе «Рабочее место для подключения к ФИС ФРДО» обрабатываются ПДн менее чем 100 000 субъектов. Обрабатываемые ПДн относятся к категории «Иные ПДн», а для рассматриваемой информационной системы актуальны угрозы 3-го типа. Таким образом, ИС ПДн присвоен – 4 уровень защищенности персональных данных.

Для обеспечения соответствующего уровня защищенности ИС ПДн необходимо выполнить следующие задачи:

1. Назначить должностное лицо, ответственное обработку ПДн, а также лиц, ответственных за защиту информации в ИС ПДн.

2. Определить пользователей средств криптографической защиты информации в информационной системе.

3. Организовать режим обеспечения безопасности помещений, в которых размещена ИС ПДн, препятствующий возможности неконтролируемого проникновения или пребывания в этих помещениях лиц, не имеющих права доступа в эти помещения.

4. Обеспечить сохранность носителей ПДн.

5. Произвести аттестацию рабочих мест на соответствие требованиям ФСБ и ФСТЭК России по работе с ПДн.

6. Использовать на АРМ соответствующие определенным формальным критериям средства защиты информации.

Проведенная оценка ИС ПДн необходимых для реализации в ней принципов обеспечения информационной безопасности, а также определенных технических и организационных мер защиты информации позволяет сформировать модель (образ) системы защиты информации ИС ПДн.

Модель системы защиты информации может быть представлена в виде пятикортежного набора, представляющая собой модель с полным покрытием [3]:

$$\Omega = \{Y, T, V, S, A\},$$

где Y – перечень актуальных угроз безопасности информации; T – перечень реализуемых требований по обеспечению защиты информации; V – набор сервисов защиты, как отображение $K \times P$ на набор упорядоченных пар $V_i = (k_i, p_i)$, представляющих собой варианты реализации принципов обработки ПДн; S – структура системы защиты информации, как отображение $V \times M$ или набор упорядоченных пар $S_i = (V_n, m_i)$, представляющих собой набор оптимальных вариантов систем, обеспечивающих заданные характеристики; A – особенности архитектуры защищаемого объекта защиты.

При рассмотрении архитектуры ИС ПДн с точки зрения ее компонентов предлагается разделить на 3 уровня: уровень установок по обеспечению безопасности, уровень управления идентификационными данными и управления доступом и уровень ПДн (рис. 2). Каждый уро-

вень представляет собой группу логически связанных компонентов, которые в совокупности помогают достичь определенных целей при обработке ПДн.



Рис. 2. Трехуровневая архитектура ИСПДн

Уровень установок позволяет управлять метаданными, связанными с обработкой ПДн. Сюда включается информация о целях обработки, согласия и предпочтительных способах обеспечения безопасности ПДн для конкретного субъекта ПДн. Уровень управления идентификационными данными и управления доступом обеспечивает уверенность в использовании правильной идентификационной информации при обработке ПДн и позволяет управлять доступом для обеспечения безопасности ПДн. На последнем уровне ПДн осуществляется выполнение различных задач по обработке ПДн.

Организационно в обработке ПДн выделяется 3 участвующих стороны: субъект ПДн, оператор ПДн и обработчик ПДн. Субъект ПДн задействован в процессах доведения политики обеспечения безопасности ПДн, управления согласиями и сбора ПДн. Для обеспечения безопасности ПДн во время сбора применяются обезличивание, шифрование и распределение информации ограниченного доступа.

Оператор осуществляет доведение политики защиты ПДн всем остальным участникам информационного обмена, а также управляет сбором и обработкой всех ПДн. Оператор контролирует выполнение всех ограничений по защите ПДн, проведение мероприятий и приня-

тие корректирующих мер, а также может вводить технологии по улучшению конфиденциальности ПДн.

Обработчик ПДн проводит обработку ПДн в соответствии с соглашением между ним и оператором. ИС ПДн обработчика должна соответствовать всем требованиям по безопасности, предложенным субъектом ПДн, и поддерживать технологии, обеспечивающие (улучшающие) конфиденциальность ПДн.

Информация в ИС ПДн должна распространяться только по принципу наименьшего уровня привилегий, если действующему субъекту не требуется определенная информация для выполнения его обязанностей, он не должен получать доступ к этой информации. Оператор может получать ПДн от многих субъектов, передача соответствующих предпочтительных способов защиты обработчику от конкретного субъекта ПДн возможна и обязательна в случае, если оператор делегирует обработку ПДн этому обработчику. Особенности архитектуры ИС ПДн также могут быть рассмотрены с точки зрения субъектов, принимающих участие в обработке ПДн, при взаимодействии операторов с другими вариантами информационных систем [4].

Таким образом, проведенный анализ принципов защиты ПДн, компонентов системы защиты информации, а также требований по обеспечению безопасности информации в ИС ПДн позволил выявить возможности совершенствования архитектуры защищенного рабочего места оператора к сети Федеральной информационной системы. Совершенствование архитектуры системы защиты информации позволяет устранить уязвимости информационной системы, а также снизить вероятность реализации угроз безопасности информации без значительных ресурсных затрат с сохранением требуемой технологии обработки информации.

Библиографический список

1. Федеральный закон «О персональных данных» от 27.07.2006 № 152-ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801/ (дата обращения: 07.12.2022).

2. ГОСТ Р 59407-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Базовая архитектура защиты персональных данных (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 20.05.2021 № 415-ст)

[Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200179663> (дата обращения: 04.12.2022).

3. Баранова Е.К., Бабаш А.В. Моделирование системы защиты информации. Практикум: учеб. пособие [Электронный ресурс]. – М.: РИОР: ИНФРА-М, 2015. – 120 с. – URL: <https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/folder/w8p5lbfvz1/direct/203455445.pdf> (дата обращения: 05.12.2022).

4. Акбулякова Л.М., Шабуров А.С. О совершенствовании архитектуры информационной системы персональных данных при взаимодействии оператора с сегментом «ЕГИСЗ».

Сведения об авторах

Шабуров Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национально-исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: shans.ise@mail.ru

Веретенников Максим Анатольевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. БИС-19-1с, г. Пермь, e-mail: max.ver.an@mail.ru

Горева Вероника Андреевна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. БИС-19-1с, г. Пермь, e-mail: nika.goreva16@mail.ru

Кривошекова Алена Александровна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. БИС-19-1с г. Пермь, e-mail: aliona.crivoshyokova@gmail.com

Е.В. Баранов, В.И. Фрейман

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ VLAN В СОВРЕМЕННЫХ СЕТЯХ

В статье рассмотрен процесс моделирования сети с настройкой и без настройки протокола VLAN в программной среде «Cisco Packet tracer». Произведен сравнительный анализ задержки пакетов от длины пакета с настройкой VLAN и без нее, а также выявлены плюсы и минусы данного протокола.

Ключевые слова: VLAN, маршрутизация, локальная сеть, задержка, длина пакета.

E.V. Baranov, V.I. Freyman

Perm National Research Polytechnic University, Perm

THE USE OF VLAN TECHNOLOGY IN MODERN NETWORKS

The article describes the process of modeling a network with and without configuring the VLAN protocol in the "Cisco Packet tracer" software environment. A comparative analysis of the packet delay from the packet length with and without VLAN configuration was made, and the pros and cons of this protocol were also revealed.

Keywords: VLAN, routing, local area network, latency, packet length.

В данной статье пойдет речь о виртуальных локальных сетях, их настройке и назначении, а также о сравнительном анализе задержки пакетов от длины пакета с настройкой данного протокола и без него. Виртуальные локальные сети VLAN – это технология, позволяющая организовывать несколько независимых виртуальных сетей внутри одной физической сети. С помощью VLAN можно выполнять гибкое разнесение пользователей по различным сегментам сети с разной адресацией, даже если они подключены к единому устройству, а также разделять широковещательные домены [1]. Можно значительно оптимизировать работу локальной сети благодаря разгрузке отдельных ее сегментов от «лишнего» трафика и решить некоторые вопросы безопасности в сети, разграничив доступ пользователей. К тому же VLAN да-

ет возможность контролировать и эффективно подавлять широковещательные штормы, которые в больших сетях иногда останавливают работу целых сегментов [2].

Перейдем к рассмотрению конфигурации сети в программной среде «Cisco Packet tracer» с настройкой данного протокола и без него. Топология сети с адресацией узлов представлена на рис. 1.

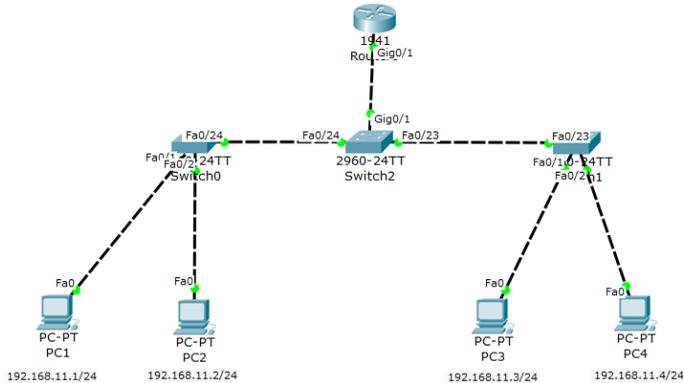


Рис. 1. Конфигурация сети без настройки VLAN

Командой «ping» проверим связь между компьютерами, результат представлен на рис. 2.

```
C:\>ping 192.168.11.2

Pinging 192.168.11.2 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.11.2: bytes=32 time<lms TTL=128

Ping statistics for 192.168.11.2:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms

C:\>ping 192.168.11.3

Pinging 192.168.11.3 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.11.3: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 192.168.11.3: bytes=32 time<lms TTL=128
Reply from 192.168.11.3: bytes=32 time<lms TTL=128
Reply from 192.168.11.3: bytes=32 time=3ms TTL=128

Ping statistics for 192.168.11.3:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 3ms, Average = 1ms
```

Рис. 2. Проверка связи между компьютерами

Из рис. 2 видим, что связь между всеми компьютерами установлена, далее с помощью маршрутизатора проверим время задержки от изменения длины пакета с помощью расширенной команды «Ping», в поле «Target IP address» указываем IP-адрес, куда отправляем пакет, в поле «Datagram size» указываем размер пакета в байтах (рис. 3).

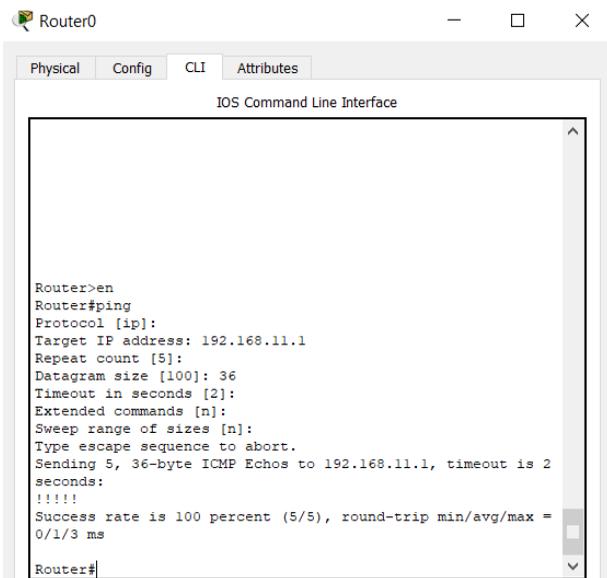


Рис. 3. Расширенная команда «Ping» на маршрутизаторе

В табл. 1 представлены результаты зависимости задержки от длины пакетов.

Таблица 1

Время передачи пакетов без настройки VLAN

| Размер пакета (байты) | 36 байт | 500 байт | 2500 байт | 7000 байт | 10 000 байт | 14 500 байт |
|-----------------------|---------|----------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| Ping на PC 1 | 1 ms | 1 ms | 7 ms | 13 ms | 19 ms | 23 ms |
| Ping на PC 2 | 1 ms | 2 ms | 10 ms | 10 ms | 25 ms | 25 ms |
| Ping на PC 3 | <1 ms | 1 ms | 7 ms | 19 ms | 19 ms | 28 ms |
| Ping на PC 4 | 1 ms | 1 ms | 8 ms | 15 ms | 23 ms | 32 ms |
| Среднее значение | 1 ms | 1,25 ms | 8 ms | 14,25 ms | 21,5 ms | 27 ms |

Перейдем к конфигурации сети с использованием протокола VLAN. На рис. 4 показана топология сети с разделением на VLAN 2 и VLAN 3.

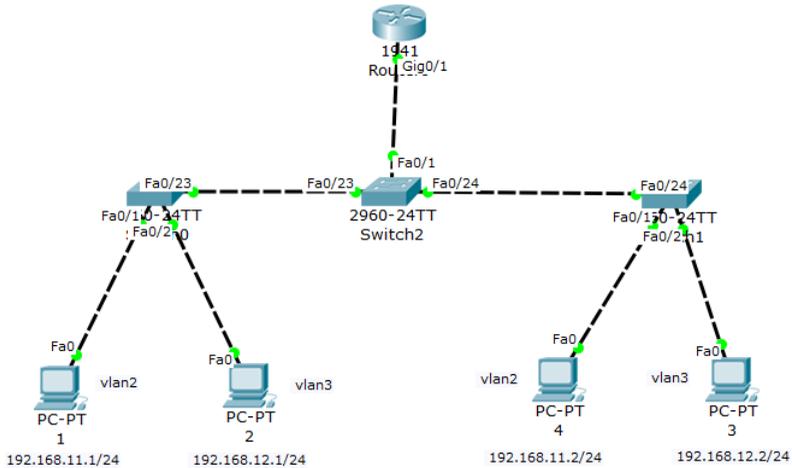


Рис. 4. Конфигурация сети с разделением на VLAN

Компьютеры 1 и 4 объединим в сеть VLAN2, а компьютеры 2 и 3 объединим в сеть VLAN 3. На рис. 5 представлена пошаговая настройка VLAN на коммутаторе.

```
Switch>en
Switch#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Switch(config)#vlan 2
Switch(config-vlan)#name sklad
Switch(config-vlan)#exit
Switch(config)#int fa0/1
Switch(config-if)#switchport mode access
Switch(config-if)#switchport access vlan 2
Switch(config-if)#end
Switch#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console

Switch#en
Switch#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Switch(config)#vlan 3
Switch(config-vlan)#name buhgalteriy
Switch(config-vlan)#exit
Switch(config)#in fa0/2
Switch(config-if)#switchport mode access
Switch(config-if)#switchport access vlan 3
Switch(config-if)#end
Switch#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
```

Рис. 5. Настройка VLAN на коммутаторе

На данном рисунке видим, создание VLAN 2 с наименованием «sklad» и VLAN 3 с наименованием «buhgalteriy», а также порты fa0/1 и fa0/2 являются портами доступа, и по каждому из этих портов идет трафик только одного VLAN, порты fa0/23 и fa0/24 являются транковыми портами, служат для связи коммутаторов между собой и передают через себя трафик сразу двух виртуальных локальных сетей VLAN 2 и VLAN 3.

Так же как и в сети без настройки VLAN с маршрутизатора проверим время задержки от изменения длины пакета с помощью расширенной команды «Ping», результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Время передачи пакетов с настройки VLAN

| Размер пакета (байты) | 36 байт | 500 байт | 2500 байт | 7000 байт | 10 000 байт | 14 500 байт |
|-----------------------|---------|----------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| Ping на PC 1 | 1 ms | 2 ms | 8 ms | 16 ms | 14 ms | 26 ms |
| Ping на PC 2 | 1 ms | 1 ms | 9 ms | 13 ms | 22 ms | 26 ms |
| Ping на PC 3 | <1 ms | 4 ms | 3 ms | 13 ms | 23 ms | 29 ms |
| Ping на PC 4 | 2 ms | 4 ms | 8 ms | 14 ms | 23 ms | 21 ms |
| Среднее значение | 1,25 ms | 2,75 ms | 7 ms | 14 ms | 20,5 ms | 25,5 ms |

На рис. 6 представлен сравнительный график среднего времени задержки от длины пакета с настройкой VLAN и без настройки VLAN.

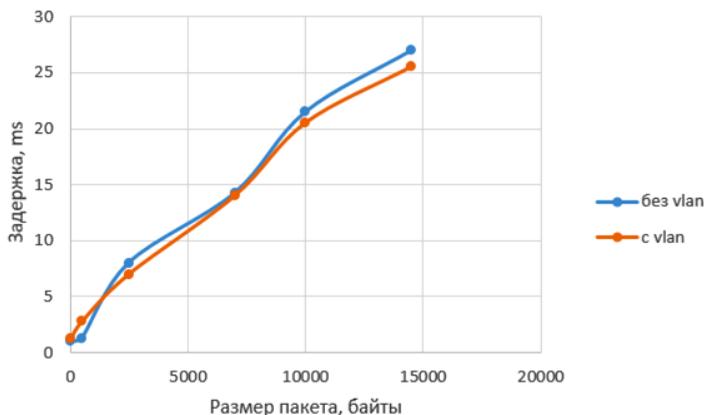


Рис. 6. Среднее время задержки от длины пакета

В наше время количество пользователей локальных сетей растет, и без использования VLAN обходится все сложнее и сложнее. Как видим из результата исследования времени задержки от длины пакета с настройкой VLAN и без настройки, что этот протокол не вносит никаких дополнительных задержек при передаче пакетов, а также значительно оптимизирует работу локальной сети. К тому же VLAN дает возможность контролировать и эффективно подавлять широковещательный трафик, а также решить некоторые вопросы безопасности в сети, разграничив доступ пользователей.

Библиографический список

1. Виртуальная реальность VLAN [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.netza.ru/2012/10/vlan.html> (дата обращения: 20.12.2022).
2. VLAN – Xgu.ru [Электронный ресурс]. – URL: <http://xgu.ru/wiki/VLAN> (дата обращения: 20.12.2022).

Сведения об авторах

Баранов Евгений Владимирович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК6-21-м, г. Пермь, e-mail: evgeniy_baranov_10@mail.ru

Фрейман Владимир Исаакович – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: vfrey@mail.ru

В.С. Малыгин, В.И. Фрейман

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЙ STP, RSTP ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЯХ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК

При создании любой сети мы должны убедиться в ее правильной работоспособности, а также бесперебойной работе. А если созданная нами сеть сталкивается с техническими трудностями, сбоями в работе, то мы как разработчики должны убедиться в том, что данная сеть справится с ними автоматически, без вмешательства. В этой статье будет показана оценка работоспособности технологии Spanning Tree Protocol, Rapid spanning tree protocol при изменении таких параметров как размер пакета, количество передаваемых пакетов и т.д. При анализе протоколов STP, RSTP будут исследованы методы анализирующего, реагирующего на проблему, а также ее решение.

Ключевые слова: пакеты, время, возникновение петель, STP, RSTP, Ethernet.

V.S. Malygin, V.I. Freiman

Perm National Research Polytechnic University, Perm

INVESTIGATION OF THE OPERATION OF STP, RSTP TECHNOLOGY AT VARIOUS INDICATORS OF THEIR CHARACTERISTICS

When creating any network, we need to make sure that it is working properly, as well as uninterrupted operation. And if the network we have created encounters technical difficulties, malfunctions, then we, as developers, must make sure that this network can cope with them automatically, without interference. This article will show an assessment of the performance of the Spanning Tree Protocol technology, Rapid spanning tree protocol, when changing parameters such as packet size, number of transmitted packets, etc. When analyzing the STP, RSTP protocols, methods of analyzing, responding to the problem, as well as its solution will be investigated.

Keywords: packets, time, occurrence of loops, looping, STP, RSTP, Ethernet.

В сети Ethernet часто возникают топологические «петли», что с высокой вероятностью приводит к бесконечным повторам передачи одних и тех же кадров Ethernet одним и более коммутатором, отчего пропуск-

ная способность оказывается почти полностью занятой этими бесполезными повторами. В этих условиях, хотя формально сеть может продолжать работать, на практике ее производительность становится настолько низкой, что может выглядеть, как полный отказ сети [1].

Для решения данных задач были разработаны сетевые протоколы Spanning Tree Protocol (STP), Rapid spanning tree protocol (RSTP).

Основной их задачей является устранение петель в топологии произвольной сети Ethernet, в которой есть один или более сетевых мостов, связанных избыточными соединениями. STP и RSTP решают эту задачу, автоматически блокируя соединения, которые в данный момент для полной связности коммутаторов являются избыточными.

Исследование характеристик протоколов STP, RSTP в Cisco.

В коммутаторах CISCO по умолчанию включен протокол STP (PVSTP) и используется он на всех интерфейсах. Посмотреть текущее состояние конфигурации сети можно в привилегированном режиме с использованием команды `show spanning-tree` (рис. 1).

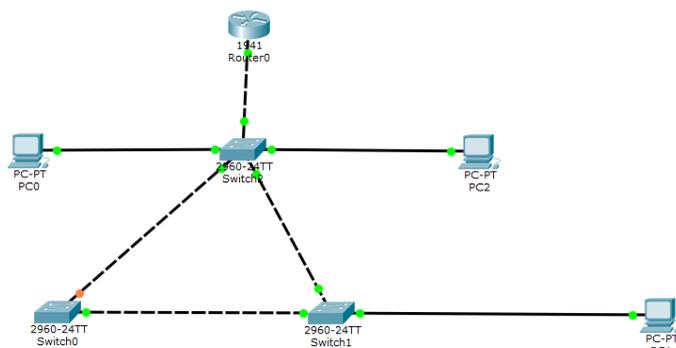


Рис. 1. Пример вывода информации о работе STP

Дополнительно команде можно задать параметры:

- Active – вывести информацию только о созданных конфигурациях сетей (VLAN). Этот параметр используется «по умолчанию».
- Detail – Вывести детальную информацию о состоянии протокола STP.
- Inconsistentports – вывести информацию о портах, в которых возникла какая-либо ошибка в процессе функционирования STP.
- Interface – вывести информацию о работе STP на указанном интерфейсе. Здесь же можно узнать, работает ли порт в режиме portfast:

- Summary – выдать краткую информацию о работе STP;
- Vlan – выдать информацию о конфигурации, построенной для указанной vlan [3].

В среде Cisco Packet Tracer была создана и настроена данная топология с протоколом STP (рис. 2, 3, 4).

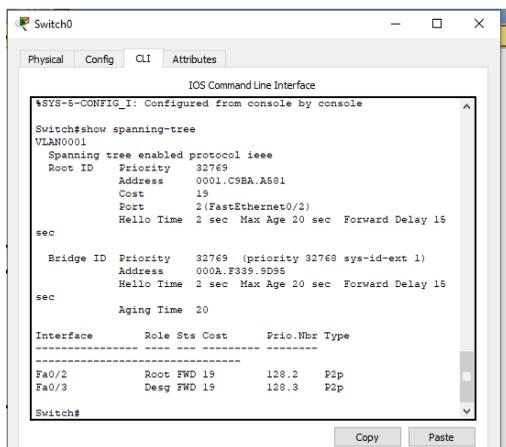


Рис. 2. Настройка коммутатора switch 0

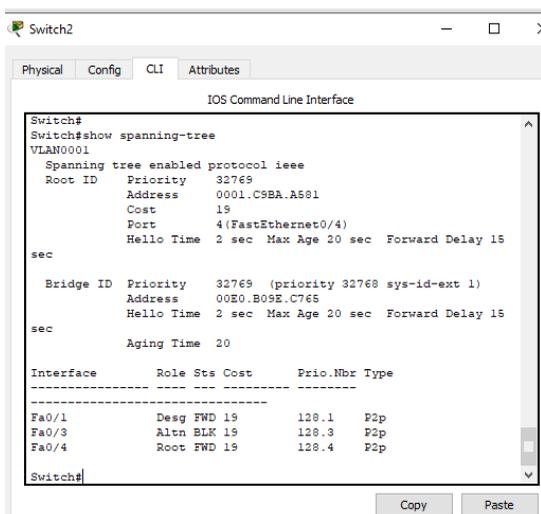


Рис. 3. Настройка коммутатора switch 2

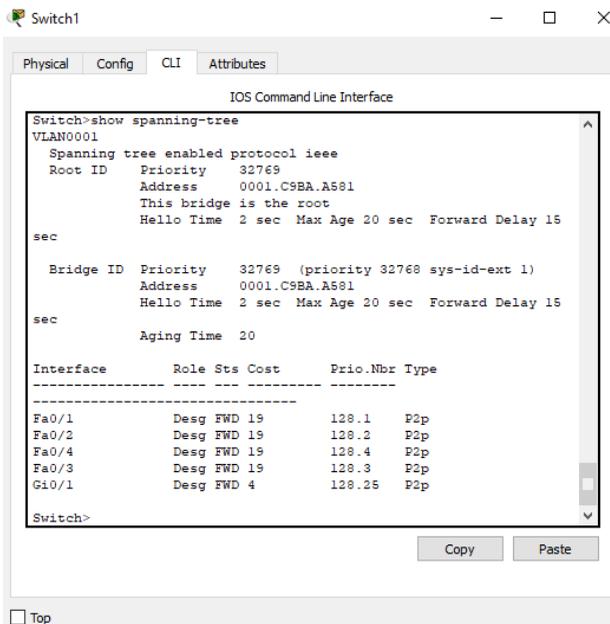


Рис. 4. Настройка коммутатора switch 1

Настроив данную топологию и убедившись в ее исправной работе, с роутера на PC1 мы будем передавать пакеты через командную строку во вкладке CLI в меню роутера. Мы будем задавать такие параметры, как:

- Target IP address:[ip адрес нашего ПК];
- Repeat count:[количество пакетов, в данном случае 20 пакетов постоянно];
- Datagram size:[размер пакета];
- Timeout in seconds:[время ожидания ответа будет постоянным, равным 10].

При передаче пакетов мы искусственно производим обрыв (рис. 5) одного из маршрутов при помощи командной строки, отключая порт fa0/4 на коммутаторе switch 1 командной строкой `config t interface Fa0/2 shutdown`, и наблюдаем работу протокола STP, который в автоматическом режиме должен активировать другой маршрут, ранее выбранный второстепенным, за что отвечает корневой коммутатор [2].

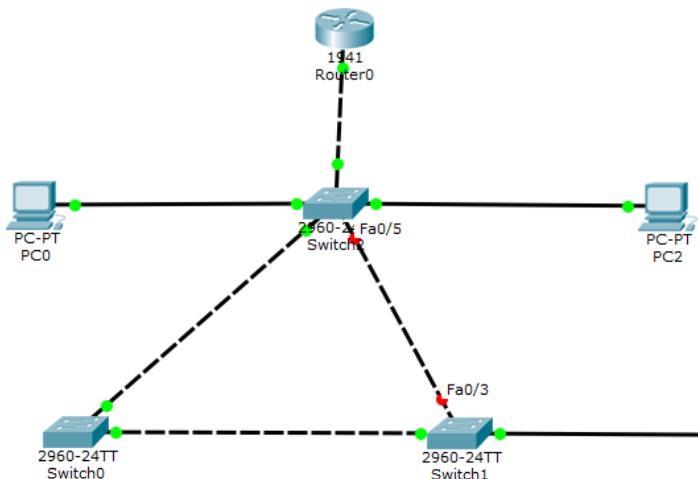


Рис. 5. Обрыв на коммутаторе switch 1

На рис. 6 будут показаны команды, используемые для получения результата, которые показаны в табл. 1.

```

Router0
-----
Physical Config CLI Attributes
-----
-----
Target IP address: 192.168.1.2
Repeat count (5): 20
Datagram size (100): 500
Timeout in seconds (2): 10
Extended commands (n):
Sweep range of sizes (n):
Type escape sequence to abort.
Sending 20, 500-byte ICMP Echos to 192.168.1.2, timeout is 10 seconds:
!!!!.....!!!!!!
Success rate is 85 percent (17/20), round-trip min/avg/max = 0/2/21 ms

Router#ping
Protocol [ip]:
Target IP address: 192.168.1.2
Repeat count (5): 20
Datagram size (100): 10000
Timeout in seconds (2): 10
Extended commands (n):
Sweep range of sizes (n):
Type escape sequence to abort.
Sending 20, 10000-byte ICMP Echos to 192.168.1.2, timeout is 10 seconds:
!!!!.....!!!!!!
Success rate is 85 percent (17/20), round-trip min/avg/max = 3/34/56 ms

Router#ping
Protocol [ip]:
Target IP address: 192.168.1.2
Repeat count (5): 20
Datagram size (100): 14000
Timeout in seconds (2): 10
Extended commands (n):
Sweep range of sizes (n):
Type escape sequence to abort.
Sending 20, 14000-byte ICMP Echos to 192.168.1.2, timeout is 10 seconds:
!!!!.....!!!!!!
Success rate is 85 percent (17/20), round-trip min/avg/max = 16/66/127 ms

Router#

```

Рис. 6. Командная строка на Router 0

Таблица 1

Соотношение размера пакета со скоростью передачи STP

| Размер пакета (байты) | 50 | 500 | 5000 | 10 000 | 14 000 |
|--|----|-----|------|--------|--------|
| Среднее время передачи с маршрутизатора на PC1, миллисекунды | 1 | 2 | 22 | 34 | 66 |

Следующим шагом мы также собрали идентичную топологию с настройкой протокола RSTP (рис. 7).

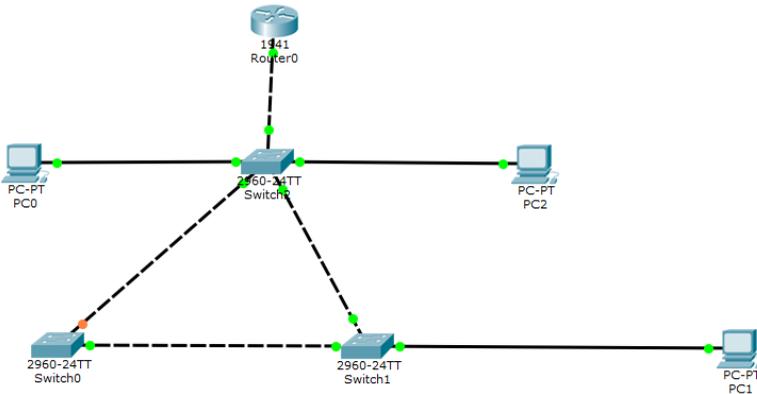


Рис. 7. Топология с настройкой протокола RSTP

Продлав подобную работу, мы получили результаты (табл. 2).

Таблица 2

Соотношение размера пакета со скоростью передачи RSTP

| Размер пакета(байты) | 50 | 500 | 5000 | 10 000 | 14 000 |
|--|----|-----|------|--------|--------|
| Среднее время пере-дачи с маршрутиза-тора на PC1, миллисекунды | 1 | <1 | 20 | 33 | 47 |

Исходя из проделанной работы, мы можем заметить, что при одинаковом размере пакета скорость передачи протокола RSTP значительно выше, чем у протокола STP, что благоприятно сказывается на работе при различных аварийных ситуациях с сетью (рис. 8).

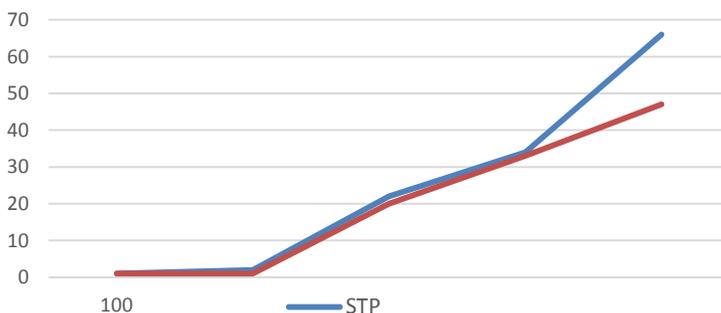


Рис. 8. График скорости передачи пакетов протоколов STP, RSTP

На основе данного результата также было изучено, на что влияет количество переданных пакетов в данной топологии при протоколах STP и RSTP, как ведет себя сеть.

Библиографический список

1. Команды настройки протоколов связующего дерева STP, RSTP, MSTP [Электронный ресурс]. – URL: <https://intuit.ru/studies/courses/3591/833/lecture/14266>
2. Принцип работы протоколов STP/RSTP [Электронный ресурс]. – URL: <https://litl-admin.ru/cisco/otlichiya-v-rabote-stp-i-rstp.html>
3. Типы протоколов STP Spanning Tree [Электронный ресурс]. – URL: [kaznu.kzhttps://www.kaznu.kz](https://www.kaznu.kz)

Сведения об авторах

Малыгин Владислав Станиславович – магистрант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК6-21-м, г. Пермь, e-mail: malyginvlad-1998@mail.ru

Фрейман Владимир Исаакович – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: vfrey@mail.ru

С.И. Нифантьев, В.И. Фрейман

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

СРАВНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОТОКОЛОВ SIP И H.323 ВО ВРЕМЯ СЕАНСА СВЯЗИ НА ПРИМЕРЕ ЗВОНКА МЕЖДУ ВИДЕОТЕРМИНАЛАМИ

В этой статье исследуются параметры соединения сеансов связи двумя протоколами: SIP и H.323. Также исследуются их характеристики и протоколы, сокращающие задержку передачи данных до минимума. Так, будут проведены тестовые звонки по видео и голосу, где параллельно будут фиксироваться статистика сеанса связи, а также показания параметров при его установлении двумя видеотерминалами Cisco.

Ключевые слова: SIP, H.323, Cisco, видеотерминал, IP.

S.I. Nifantev, V.I. Freyman

Perm National Research Polytechnic University, Perm

COMPARISON OF SIP AND H.323 PROTOCOL PARAMETERS DURING A COMMUNICATION SESSION ON THE EXAMPLE OF A CALL BETWEEN VIDEO TERMINALS

This article examines the connection parameters of communication sessions using two protocols: SIP and H.323. Their characteristics and protocols that reduce the delay of data transmission to a minimum are also being investigated. So, test calls will be made by video and voice, where the statistics of the communication session will be recorded in parallel, as well as parameter readings when it is established by two Cisco video terminals.

Keywords: SIP, H.323, Cisco, video-terminal, IP.

В современном мире сложно представить какую-либо коммуникационную сферу без использования протокола IP. Протокол IP стал использоваться даже в телефонии, превратив ее в новый вид – «VoIP телефония», или же «IP-телефония». Так, телефонные звонки стали передаваться по протоколам SIP и H.323, которые создавали соединение между абонентами. Данные протоколы используются на транспортном уровне поверх протокола UDP, а TCP в редких случаях.

Но для обмена голоса и видео необходимо избежать задержки передачи данных. Так, во избежание задержек при передаче данных был создан протокол RTP (Real Time Protocol), который решил проблемы для создания сеансов обмена голоса и видео.

1. **Протокол SIP.** SIP (Session Initiation Protocol) – протокол, служащий для установления и соединения сессий. Используется в текстовом формате поверх транспортного протокола UDP. Для установления типа передаваемых данных (аудио, видео кодеки), а также маршрутизации использует протокол SDP (Session Description Protocol).

При готовности абонента начать сессию обмена данных отправляются пакеты REGISTRER, на что сервер, где зарегистрирован аппарат, отправляет пакеты 200 ОК. Далее используется протокол SDP.

Протокол SDP вшит в теле SIP-пакетов. Несет информацию, необходимую для начала сеанса обмена голоса и видео.

Для передачи трафика в режиме реального времени без задержек используется протокол RTP. Пакеты RTP несут данные аудио или видео в закодированном формате.

2. **Протокол H.323.** H.323 – рекомендация, выпущенная ИТУ-Т, которая определяет протоколы для установления сеансов обмена голосовыми и видео данными.

Для регистрации на сервере с оборудования, зарегистрированного на этом сервере, отправляется запрос RAS (протокол H.225). После этого тот же протокол устанавливает соединение между абонентами.

За управление типов передаваемых данных (аудио, видео, кодеки) отвечает протокол управления H.245. H.245 также может устанавливать тип канала связи.

Для передачи трафика в режиме реального времени используется протокол RTP.

За безопасность как для установления соединения, так и для данных, передаваемых по каналу связи, отвечает протокол H.235.

При отправке или приеме видеосигнала в H.323 предусмотрено два потока вещания, один из которых передает движущиеся объекты, а второй – статичные объекты.

За дополнительные услуги и дополнительные разрешения отвечают протоколы H.450 и H.460. Недостатками протокола является потеря соединения RAS, что приводит к потерям пакетов или же повышению задержки передачи данных.

3. Построение каналов связи для сравнения. Для построения канала связи, чтобы сравнивать два протокола соединения сессий, нам необходимо:

- главный роутер, соединяющий все объекты канала связи;
- персональный компьютер;
- 2 видеотерминала для создания сеанса обмена данными;
- сервер для регистрации видеотерминалов по протоколу SIP;
- сервер для регистрации видеотерминалов по протоколу H.323.

Соединяем все устройства с роутером, результат представлен на рис. 1.

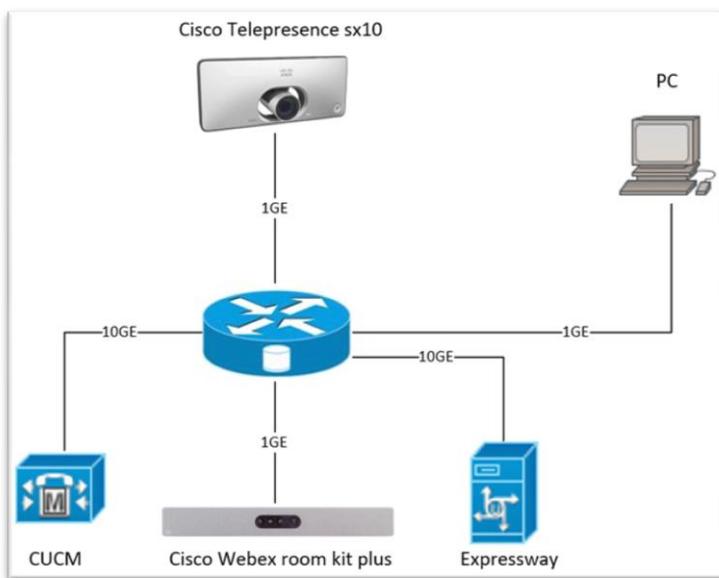


Рис. 1. Схема соединений устройств в канале связи

Изначально подготовим ПК для проведения замера параметров передачи данных, для этого откроем приложение «WireShark» и запустим его.

На роутере необходимо настроить SPAN порт, который будет дублировать весь исходящий и входящий трафик с видеотерминала Cisco Telepresence sx10 на порт, к которому подсоединен ПК. Таким образом, у нас получится перехватить весь трафик с видеотерминала.

Сервером, на котором зарегистрированы видеотерминалы по протоколу SIP, является CUCM (Cisco Unified Call Manager). Через него будет происходить соединение сеанса между двумя видеотерминалами по протоколу SIP.

Сервером, на котором зарегистрированы видеотерминалы по протоколу H.323, является Cisco Expressway. Через него будет происходить соединение сеанса между двумя видеотерминалами по протоколу H.323.

Вторым видеотерминалом является Cisco Webex room kit plus. С данного терминала мы не сможем перехватить пакеты данных и управления, но запустим подробное логирование действий видеотерминала.

Таким образом, мы сможем сравнить параметры соединений по двум протоколам с двух сторон абонентов.

4. Проверка характеристик протоколов SIP и H.323. Устроим видеозвонки между двумя видеотерминалами по протоколам SIP и H.323.

После проведения видеозвонков по протоколу SIP проверим перехваченные пакеты. На рис. 2 представлено создание сеанса связи между видеотерминалами по протоколу SIP.

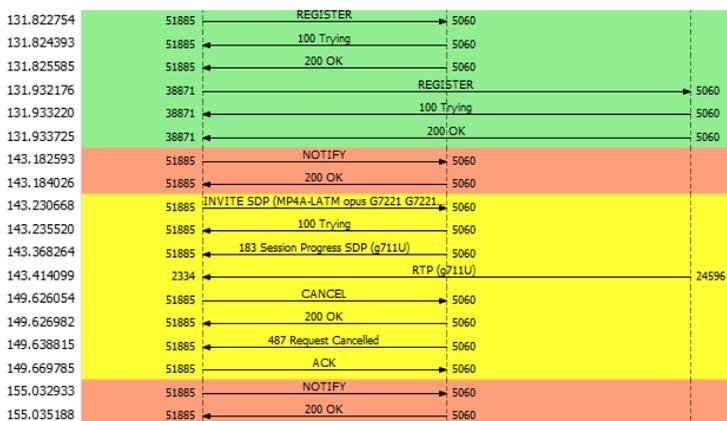


Рис. 2. Создание сеанса связи между видеотерминалами по протоколу SIP

Таким образом, мы видим все команды и действия соединения сеанса связи по протоколу SIP.

Теперь проведем сеанс связи с использованием протокола H.323. Также перехватим трафик и проведем сравнение с показателями соединения сеанса по протоколу SIP. На рис. 3 представлено создание сеанса связи между видеотерминалами по протоколу H.323.

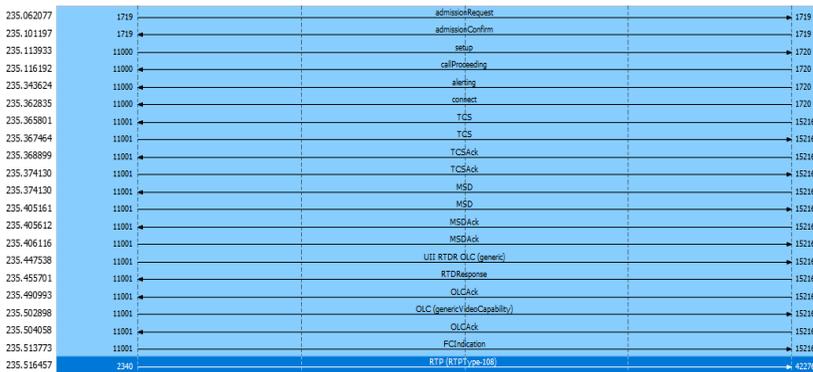


Рис. 3. Создание сеанса связи между видеотерминалами по протоколу H.323

После сравнения двух показателей соединения сеанса связи можно прийти к выводу, что SIP является менее затратным, а также имеет меньшее, затраченное на соединение сеанса связи между абонентами время.

Таким образом, для соединения сеанса связи по протоколу SIP необходимо 0,15 с., в то время как по протоколу H.323 необходимо 0,5 с.

Далее проверим внутреннюю статистику на обоих видеотерминалах. Для этого зайдём на каждом видеотерминале в веб-интерфейс и перейдем во вкладку «call details», где зафиксируем показания потерянных пакетов, а также сравним показатели jitter.

| Call Details | | | |
|----------------|---------|---------------------|-----------|
| Protocol | SIP | Transmit call rate | 3072 kbps |
| Encryption | None | Receive call rate | 3072 kbps |
| Outgoing Audio | | | |
| Protocol | AACLD | Total packet loss | 0.0% |
| Channel rate | 64 kbps | Current packet loss | 0.0% |
| | | Jitter | 3 ms |

Рис. 4. Статистика звонка по протоколу SIP

На рис. 4 представлена статистика звонка по протоколу SIP с видеотерминала Cisco Telepresence sx10. Также на рис. 5 представлена статистика звонка по протоколу H.323 с видеотерминала Cisco Telepresence sx10.

| Call Details | | | |
|----------------|---------|---------------------|-----------|
| Protocol | H323 | Transmit call rate | 3072 kbps |
| Encryption | None | Receive call rate | 3072 kbps |
| Outgoing Audio | | | |
| Protocol | AACLD | Total packet loss | 0.0% |
| Channel rate | 64 kbps | Current packet loss | 0.0% |
| | | Jitter | 2 ms |

Рис. 5. Статистика звонка по протоколу H.323

Теперь для сравнения позвоним с каждого терминала в виртуальную комнату одной и той же системы ВКС. Статистику звонков с видеотерминала найдем в лог-файлах, находящихся в web-интерфейсе видеотерминала. Статистика звонков представлена на рис. 6, 7.

```
*r CallHistoryGetResult Entry 17 DisconnectCauseType: LocalDisconnect
*r CallHistoryGetResult Entry 17 Video Incoming PacketLoss: "0/2833"
*r CallHistoryGetResult Entry 17 Video Incoming PacketLossPercent: 0
*r CallHistoryGetResult Entry 17 Video Incoming MaxJitter: 3
*r CallHistoryGetResult Entry 17 Video Outgoing PacketLoss: "0/1922"
*r CallHistoryGetResult Entry 17 Video Outgoing PacketLossPercent: 0
*r CallHistoryGetResult Entry 17 Video Outgoing MaxJitter: 5
*r CallHistoryGetResult Entry 17 Audio Incoming PacketLoss: "0/1348"
*r CallHistoryGetResult Entry 17 Audio Incoming PacketLossPercent: 0
*r CallHistoryGetResult Entry 17 Audio Incoming MaxJitter: 5
*r CallHistoryGetResult Entry 17 Audio Outgoing PacketLoss: "0/1250"
*r CallHistoryGetResult Entry 17 Audio Outgoing PacketLossPercent: 0
*r CallHistoryGetResult Entry 17 Audio Outgoing MaxJitter: 0
```

Рис. 6. Статистика звонка по протоколу SIP с видеотерминала Cisco Webex kit room plus

```
*r CallHistoryGetResult Entry 8 DisconnectCauseType: LocalDisconnect
*r CallHistoryGetResult Entry 8 Video Incoming PacketLoss: "0/1950"
*r CallHistoryGetResult Entry 8 Video Incoming PacketLossPercent: 0
*r CallHistoryGetResult Entry 8 Video Incoming MaxJitter: 29
*r CallHistoryGetResult Entry 8 Video Outgoing PacketLoss: "0/8467"
*r CallHistoryGetResult Entry 8 Video Outgoing PacketLossPercent: 0
*r CallHistoryGetResult Entry 8 Video Outgoing MaxJitter: 6
*r CallHistoryGetResult Entry 8 Audio Incoming PacketLoss: "0/3500"
*r CallHistoryGetResult Entry 8 Audio Incoming PacketLossPercent: 0
*r CallHistoryGetResult Entry 8 Audio Incoming MaxJitter: 15
*r CallHistoryGetResult Entry 8 Audio Outgoing PacketLoss: "0/3507"
*r CallHistoryGetResult Entry 8 Audio Outgoing PacketLossPercent: 0
*r CallHistoryGetResult Entry 8 Audio Outgoing MaxJitter: 0
```

Рис. 7. Статистика звонка по протоколу H.323 с видеотерминала Cisco Webex kit room plus

Так, получилось, что по протоколу SIP задержка намного меньше, чем задержка по протоколу H.323.

Закключение. Таким образом, в ходе сравнения двух протоколов по параметрам соединения сеанса связи можно прийти к выводу, что SIP является более надежным протоколом, служащим для создания и управления сеансами связи.

Библиографический список

1. Гаврилов А.В., Кон Е.Л., Фрейман В.И. Системы управления телекоммуникационных систем информационно-вычислительных сетей. Стандарты, модели, протоколы: учеб. пособие / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2005. – 102 с.

2. Habr [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru> (дата обращения 16.12.2022).

3. Asterisk [Электронный ресурс]. – URL: <https://asterisk.ru/> (дата обращения 17.12.2022).

4. ITU-T [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.itu.int/> (дата обращения 17.12.2022).

5. Cisco [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cisco.com/> (дата обращения 18.12.2022).

Сведения об авторах

Нифантьев Савелий Игоревич – магистрант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК6-21-1м, г. Пермь, e-mail: saveliinfantev@gmail.com

Фрейман Владимир Исаакович – профессор, доктор технических наук, кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: vfrey@mail.ru

А.Н. Каменских, К.В. Филимонов

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ В МИКРОСЕРВИСНЫХ АРХИТЕКТУРАХ

В статье проведен анализ существующих механизмов управление доступом при использовании микросервисных архитектур. Возрастающая популярность микросервисного подхода привлекает разработчиков к разделению бизнес-логики программного обеспечения на отдельные сервисы. Применение подобной архитектуры требует повышенного внимания к вопросам защиты информации. Микросервисный подход формирует новый класс задач по мелкозернистому управлению доступом. В статье рассматриваются как атрибутивные, так и ролевые модели управления доступом.

Ключевые слова: защита информации, микросервисная архитектура, микросервис, аутентификация, авторизация, управление доступом, атрибуты, роли.

A.N. Kamenskih, K.V. Filimonov

Perm National Research Polytechnic University, Perm

THE ANALYSIS OF FINE-GRAINED AUTHORIZATION IN MICROSERVICE ARCHITECTURE

The article analyzes existing mechanisms for access control using microservice architectures. The increasing popularity of the microservice approach attracts developers to separate the business logic of software into separate services. The use of such architecture requires increased attention to information security issues. The microservice approach forms a new class of tasks for fine-grained access control. The article discusses both attributive and role-based access control models.

Keywords: information security, microservice architecture, microservice, authentication, authorization, access management, attributes, roles.

Современные подходы к разработке программного обеспечения отражаются как в организационных мерах, к примеру, методики управление проектами SCRUM/AGILE, так и в технических мерах. Технические меры направлены улучшение архитектуры разрабатываемых приложений, повышение быстродействия конкретных приклад-

ных модулей, улучшение качества исходного кода, масштабируемость приложений и, конечно же, безопасность.

С точки зрения улучшения архитектуры приложений разработчиками выделяется микросервисный подход как способ разделения функциональных компонентов приложения в отдельные службы.

Вопрос управления доступом является фундаментальной проблемой в сфере защиты информации. В эту задачу входят такие процессы, как предоставление доступа (авторизация), приостановление доступа и отмена доступа. С внедрением микросервисной архитектуры, отвечающую за авторизацию, компоненты выносятся в отдельный микросервис.

Ранее при использовании монолитных архитектур процесс авторизации требовал прохождения процедуры доказательства легальности пользователя или данных (аутентификация). С внедрением микросервисной архитектуры отвечающие за аутентификацию компоненты также выносятся в отдельный микросервис. Возникает проблема обеспечения доверенных каналов связи между сервисами.

Ключевой задачей при внедрении микросервисного подхода является обеспечение безопасности как самих микросервисов, так и информации, которая передается между ними. Возникает потребность в создании безопасной архитектуры взаимодействия микросервисов с различной степенью критичности, обрабатывающих информацию разной степени конфиденциальности.

Для оценки эффективности применения различных решений необходимо определить критерии эффективности. Основными параметрами будем считать сохранение скорости обработки данных, обеспечение безопасности, относительную стоимость реализации решения.

Анализ безопасности межсервисных архитектур. Согласно опроса O'Reilly [1] от 31 января 2020 г., в котором приняли участие 1502 читателей почтовой рассылки, большинство респондентов (92 %) считают свой опыт с микросервисной архитектурой скорее успешным, 54 % – успешным и 10 % – очень успешным.

Опрос показал, что лишь 21 % респондентов выразили заинтересованность в вопросах безопасности при использовании микросервисной архитектуры. Современный подход к взаимодействию между микросервисами может реализовываться при использовании программных интерфейсов приложений (Application Programming

Language, API). В 2019 г. организация Open Web Application Security Project (OWASP) обновила методологию тестирования безопасности API [2]. В методологии самыми актуальными являются проблемы аутентификации и авторизации при использовании API методов (API1: 2019 Broken Object Level Authorization, API2: 2019 Broken User Authentication).

Мелкозернистое управление доступом. В противовес монолитным архитектурам, микросервисные имеют ряд ключевых преимуществ. Для описания преимуществ можно рассматривать различные точки зрения: точка зрения бизнес-процессов, процессов разработки, процессов безопасности. С помощью микросервисного подхода возможно реализовать мелкозернистое (fine-grained) управление доступом.

Основными механизмами мелкозернистого управления доступом являются 2 подхода: групповая модель разграничения доступа (Role Based Access Control, RBAC) или разграничение доступа на основе атрибутов (Attribute Based Access Control, ABAC).

Подход заключается в создании ролей, повторяющих бизнес-роли в компании, и присвоение их пользователям. На основе ролей проверяется возможность выполнения пользователем того или иного действия.

Если бизнес-правила односложны и все действия можно разбить по ролям (бухгалтер, менеджер, администратор и т. п.), такого подхода будет достаточно. Тогда одному бизнес-правилу будет соответствовать одна роль. Однако с увеличением сложности бизнес-правил повышается и число фильтров обрабатываемых параметров, и число ролей, обрабатывающих новые бизнес-правила. Начинается взрывной рост ролей [2]. Статистически, число ролей в полтора раза выше числа пользователей.

Недостатки групповой модели разграничения доступа решаются внедрением атрибутивной модели. Для удобства использования и понимания атрибуты можно категорировать: атрибуты объекта, атрибуты субъекта, атрибуты действия, атрибуты среды. NIST опубликовал документ, регламентирующий основные термины и определения ABAC [3].

ABAC приближена к бизнес-процессам. В самой формулировке «бизнес-правила» уже фигурируют необходимые атрибуты. К примеру, бизнес-правило «Только старший системный администратор имеет право настраивать VPN-сервер» преобразуется в формальное правило на языке ABAC:

1. Субъект.Должность = "Старший системный администратор"

2. Объект.Тип = "VPN сервер"

3. Действие.Название = "Настройка"

или "Только Пользователь из корпоративного сегмента имеет доступ к веб-приложению"

1. Субъект.УровеньПривилегий="Пользователь"

2. Среда.IP-адрес="корпоративный"

3. Действие.Название="Подключение"

Разграничение доступа на основе атрибутов нашло широкое применение в различных сферах ИТ-индустрии. К примеру, в провайдере облачных решений, как Amazon, или в оркестраторе OpenStack [4]. Атрибутивное управление доступом также реализуется на межсетевых экранах сетевого оборудования.

Однако у RBAC есть преимущества перед ABAC. Групповая модель разграничения доступа более проста в реализации, имеет менее сложный код приложения и меньшую стоимость поддержки кодовой базы.

Популярной реализацией ABAC является стандарт XACML [5] от Axiomatics. Такие компании, как Oracle, IBM, Cisco, Boeing, PayPal, внедрили XACML в свои бизнес-процессы.

В настоящей работе были рассмотрены лучшие практики по обеспечению аутентификации и авторизации в микросервисных приложениях, а также представлены основные архитектурные подходы. Построение оптимальной архитектуры является важнейшей задачей при проектировании любых программных продуктов. В связи с этим фактором и факторами, озвученными выше, на рынке появляется потребность в архитекторах безопасности (security architect), в людях, которые обладают компетенциями и опытом в построении защищенных систем. Переход на микросервисные архитектуры меняет подход к обеспечению безопасности распределенных приложений. Выбор наиболее эффективной архитектуры зависит от многих факторов и требует создания мета-модели для проведения тестирования.

Дальнейшая работа в этом направлении заключается в:

1. Анализе существующих решений и подходов парадигмы Zero Trust Architecture (ZTA)[6], которая заключается в нулевой доверии к компонентам системы и к переходу с концепции «защиты на основе периметра/сегмента» к концепции «защиты конкретных ресурсов».

2. Создании учебно-лабораторного стенда для реализации представленных микросервисных архитектур и проведении анализа эффективности.

Библиографический список

1. Microservices Adoption in 2020 by Mike Loukides and Steve Swoyer // www.oreilly.com: официальный сайт издательства [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.oreilly.com/radar/microservices-adoption-in-2020/> (дата обращения: 10.5.2022).

2. Elliott A., Knight S. Role explosion: Acknowledging the problem // Software Engineering research and practice. – 2010. – P. 349–355.

3. Attribute-based access control / V.C. Hu [et al.] // Computer. – 2015. – Vol. 48, № 2. – P. 85–88.

4. Jin X. Attribute-based access control models and implementation in cloud infrastructure as a service. – The University of Texas at San Antonio, 2014.

5. Godik S., Moses T. Oasis extensible access control markup language (xacml) // OASIS Committee Specification cs-xacml-specification-1.0. – 2002.

6. Zero trust architecture / S. Rose [et al.]. – Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2020. – P. 200–207.

Сведения об авторах

Каменских Антон Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: antoshkinoinfo@yandex.ru

Филимонов Кирилл Вадимович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КЗИ-21-1м, г. Пермь, e-mail: filimonov_kirill@protonmail.com

М.А. Кузнецов, А.Н. Каменских

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ: ОБЗОР

В последние годы развитие технологий Интернета вещей идет очень быстрыми темпами. Однако с бурным ростом устройств Интернета вещей проблемы безопасности становятся все более серьезными. Ключевым вопросом становится вопрос о том, как обеспечить безопасность интернета вещей. Основной целью IoT security является защита личных данных и обеспечение безопасности пользователей Интернета вещей, инфраструктуры, данных и устройств. В статье рассматриваются проблемы угроз безопасности Интернета вещей и меры по защите.

Ключевые слова: защита информации, Интернет вещей, умные вещи.

M.A. Kuznecov, A.N. Kamenskikh

Perm National Research Polytechnic University, Perm

ANALYSIS SECURITY ISSUES OF THE INTERNET OF THINGS: AN OVERVIEW

In recent years, the development of Internet of Things technologies has been very fast. However, with the rapid growth of Internet of Things devices, security problems are becoming more serious. The key question is how to ensure the security of the Internet of Things. The main goal of It security is to protect personal data and ensure the security of Internet of Things users, infrastructure, data and devices. The article discusses the problems of threats to the security of the Internet of Things and protection measures.

Keywords: information security, IoT, smart device.

Интернет вещей (IoT) представляет собой систему взаимосвязанных вычислительных устройств, механических и цифровых машин, объектов, животных или людей, снабженных уникальными идентификаторами (UID) и возможностью передавать данные по сети без необходимости взаимодействий типа человек-человек или человек-компьютер [1]. Интернет вещей разрастается семимильными шагами, в ближайшем будущем активных устройств будет насчитываться поряд-

ка 25 млрд., а вот вопрос развития безопасности IoT систем значительно отстает от показателя прироста новых подключенных устройств.

Согласно опросу респондентов из Великобритании и России, стало ясно, что далеко не каждый пользователь IoT знает о возможных уязвимостях, содержащихся в его устройстве. Около 72 % опрошенных граждан Великобритании убеждены, что система защиты предусмотрена и им ничего не угрожает [2], опрос российских потребителей показал, что 54 % никак не защищают свои устройства [3], а регулярно обновляют лишь 17 %. Полученная статистика лишь подтверждает информацию о том, что умные устройства и системы, где они эксплуатируются, подвержены множеству атак, которые могут вывести из строя целиком всю инфраструктуру обычного пользователя или заполучить контроль над ней. Но не стоит забывать, что Интернет вещей также используется и на различных промышленных предприятиях, т.к. устройства могут быть интегрированы в различные автоматизированные системы управления, а их незащищенность может повлиять на бесперебойную и безопасную работу всего производства.

В 2016 г. произошла одна из самых масштабных DDOS атак Mirai с участием IoT устройств на DNS-провайдера Dyn, большая часть устройств были захвачены злоумышленниками в ходе брутфорс атаки, т.к. на устройствах использовались пароли и логины по умолчанию, которые не были изменены конечными пользователями после установки устройств в своих домах.

За Mirai вскоре последовали атаки WannaCry и NotPetya, совокупный ущерб от которых составил триллионы долларов – в том числе из-за взлома систем Интернета вещей, используемых в критической информационной инфраструктуре (КИИ). Объекты КИИ особенно уязвимы перед атаками из-за использования устаревших технологий или технологий, в процессе проектирования и разработки которых не было уделено достаточно внимания безопасности эксплуатации. В связи с отсутствием или недостаточно качественным проведением этапа тестирования на безопасность, атаки на устройства Интернета вещей не прекращаются и по сей день, только за 2021 г. было совершено порядка 900 млн атак, согласно отчету SAM Seamless Network [4], а не так давно обнаруженная уязвимость в библиотеках языка Си – uClibc, uClibc-ng, которая не устранена до сих пор, ставит под угрозу порядка

миллион маршрутизаторов Linksys и Netgear, а также другое оборудование IoT.

Для внедрения систем защиты в устройствах Интернета вещей, необходимо провести оценку угроз, уязвимостей и проанализировать распространенные проблемы существующих решений.

Архитектура Интернета вещей. Для анализа угроз необходимо определить базовую архитектуру IoT [5]. Архитектура в этом контексте определяется как структура для спецификации физических компонентов сети и их функциональной организации и конфигурации, ее принципов работы и процедур, а также форматов данных, используемых в ее работе.

Физический уровень. Физический уровень (или уровень восприятия), состоит из физических датчиков (например, RFID, Zigbee, QR и др.), исполнительных механизмов и т.д., которые собирают данные для обработки. Безопасность этого уровня важна, поскольку данные генерируются и передаются на сетевой уровень. Поскольку большинство устройств Интернета вещей автоматизированы, они часто остаются неконтролируемыми и уязвимыми для злоумышленников.

Сетевой уровень. Сетевой уровень участвует в передаче данных с физического уровня. Этот уровень использует тот же сетевой уровень, что и в протоколах TCP/IP, следовательно, на этом уровне существуют угрозы, аналогичные угрозам стека TCP/IP. Наиболее распространенными угрозами, обнаруживаемыми на этом уровне, являются MITM-атаки, DDoS-атаки, прослушивание трафика и т.д.

Прикладной уровень. Прикладной уровень обрабатывает подключение конечных пользователей к конечным точкам API с помощью пользовательского интерфейса. На этом уровне обрабатывается процедура аутентификации, вход в систему, просмотр данных и многие другие. Прикладной уровень представляет собой колоссальную проблему для безопасности Интернета вещей, поскольку он имеет дело с большим объемом транзакций данных. Прикладной уровень не только подвержен утечке данных, но и уязвим для программных атак, таких как вредоносное программное обеспечение и т.д.

Анализ угроз безопасности архитектуры Интернета вещей. Основные угрозы безопасности Интернета вещей располагаются на 3 уровнях: физический (восприятия), сетевой и прикладной.

1. Атаки на физическом уровне. Физические атаки нацелены на аппаратную составляющую устройства системы Интернета вещей. Ниже приведены некоторые из атак и угроз безопасности, обнаруженных на уровне восприятия:

– отсутствие физической защиты: при физической доступности злоумышленник имеет возможность как подменить устройство, так и подключиться к нему. Подключившись и обнаружив список известных и неизвестных уязвимостей на устройстве, злоумышленник может затем использовать эту информацию для атаки на другие устройства в локальной сети;

– радиочастотные помехи: радиочастотные помехи связаны с использованием злоумышленником устройства, препятствующего подключению устройств Интернета вещей. Злоумышленник может посылать сигнал с более высоким значением, сигнал/шум для создания помех;

– вмешательство: вмешательство происходит, когда злоумышленник физически изменяет устройство Интернета вещей (например, атака устройства с помощью UART и SWD для получения данных с микроконтроллера и обхода процедуры аутентификации или атака на RFID-системы). Затем злоумышленник может получить учетные данные для входа в систему, ключи шифрования и другую конфиденциальную информацию.

2. Атаки на сетевом уровне. Ниже приведены некоторые из атак и угроз безопасности, обнаруженных на сетевом уровне:

– атака «Человек посередине»: Атака «человек посередине» – это атака, при которой злоумышленник захватывает и изменяет данные между двумя узлами в сети Интернета вещей. Целью этой атаки является изменение данных, отправляемых по сети Интернета вещей. В сетях Интернета вещей может быть много доступных и неконтролируемых устройств;

– DDoS-атака: при распределенной атаке типа «отказ в обслуживании» злоумышленник отправляет на целевой сервер большой объем трафика с разных устройств в сети. Это может привести к отключению сервера и нарушению трафика для клиентов;

– фишинговая атака;

– слабые или словарные пароли: во многих устройствах Интернета вещей после введения их в эксплуатацию остаются настройки по

умолчанию (например, логин, пароль и т.д.), и это делает такие устройства уязвимыми перед атакой на сетевом уровне, так, например, Ботнет Mirai удалось завладеть более чем 500 тыс. IoT устройств.

3. Атаки на уровне приложений. Программные атаки осуществляются с целью получения доступа к прикладному уровню и получения конфиденциальных данных. Ниже приведены некоторые из таких атак:

- атаки с внедрением кода: системы Интернета вещей могут быть уязвимы для атак с внедрением вредоносного кода;

- слабые пароли;

- атака на контроль доступа.

Также на уровне приложений возможны атаки из OWASP TOP 10 (Cross-Site-Scripting, Security Misconfiguration, Injection, Insecure Design и т.д.)

Меры по предотвращению угроз безопасности Интернета вещей.

1. Шифрование: шифрование используется для предотвращения несанкционированного доступа к данным и поддержания конфиденциальности, а также целостности данных. Шифрование может быть достигнуто двумя способами: либо от узла к узлу, т.е. шифрование от перехода к переходу, либо сквозное шифрование. Шифрование от узла к узлу обрабатывается на сетевом уровне. Он обеспечивает преобразование зашифрованного текста на каждом узле, чтобы сделать его более безопасным для сетевого уровня. С другой стороны, сквозное шифрование выполняется на прикладном уровне. Шифрование-дешифрование выполняется только на стороне отправителя-получателя. То, что шифрует отправитель, расшифровывается только на принимающей стороне. Шифрование данных является жизненно важным средством защиты данных. Роль шифрования заключается в предотвращении расшифровки информации, когда она перехвачена злоумышленниками.

2. Конфиденциальность: очень важно, чтобы данные были защищены и доступны только авторизованным пользователям. Пользователь может быть человеком, другими устройствами Интернета вещей или внешними устройствами (т.е. устройствами, которые не являются частью сети). Важно убедиться, что датчики в конкретном узле не позволяют получить доступ к собранным данным соседним узлам. Конфиденциальная информация не должна передаваться никакому неавторизованному считывателю, использующему электронную метку RFID.

3. Аутентификация: полученная считывателем информация должна быть заметна независимо от того, отправлена она с аутентифицированной электронной метки или нет. Аутентификация важна на каждом уровне Интернета вещей. На уровне восприятия сенсорные узлы должны сначала аутентифицироваться, чтобы предотвратить DoS-атаки. Аналогичным образом аутентификация требуется на каждом уровне в качестве важнейшей меры безопасности. Методы аутентификации Wi-Fi для доступа в Интернет могут гарантировать безопасность доступа пользователя к данным.

4. Авторизация: авторизация управляет доступом устройства по всей сети. С помощью аутентификации и авторизации устанавливается связь между устройствами Интернета вещей для обмена соответствующей информацией. OAuth – это стандартизированная структура для целей авторизации. Наиболее важной особенностью OAuth является токен доступа, который обеспечивает длительный способ выполнения дополнительных запросов. OAuth не завершается аутентификацией, а предоставляет токен доступа для получения доступа к дополнительным ресурсам, предоставляемым той же сторонней службой. Одна из проблем, с которой сталкиваются OAuth и Connect, заключается в том, что до сих пор они были привязаны только к HTTP, который является незащищенным.

5. Сертификация и контроль доступа: сертификация – это метод подтверждения истинной идентичности обоих объектов, которые взаимодействуют друг с другом. При использовании инфраструктуры открытых ключей (PKI) надежная аутентификация достигается путем двусторонней сертификации открытых ключей для предотвращения подлинности и конфиденциальности системы Интернета вещей. Для эффективного контроля доступа правильная идентификация объекта должна быть обеспечена с использованием технологии сертификации.

Заключение. Потребительские устройства Интернета вещей, как показывает практика, не разрабатываются с учетом соображений безопасности, безопасность является второстепенным фактором, потому что проведение дополнительных тестирований может замедлить процесс выхода на рынок. В связи с этим существуют риски использования небезопасных устройств Интернета вещей как в обычных домах, так и на предприятиях. Поэтому тестирование безопасности должно стать частью жизненного цикла разработки устройств Интернета ве-

щей, которой будут следовать все производители IoT. Этап тестирования необходим для проверки устройства на предмет безопасности перед выпуском продукта, чтобы компании смогли избежать финансовые и репутационные потери из-за отзыва продукции, которые возникают вследствие компьютерных атак на IoT, а конечные пользователи избежали бы проблем, связанных с нарушением конфиденциальности, целостности и доступности. Атаки, подобные описанным в этой статье, могут иметь потенциально фатальные последствия, поскольку Интернет вещей все больше становится частью инфраструктур целых городов, вопрос безопасности и конфиденциальности должен быть гораздо более приоритетным.

Таким образом, существует необходимость в введении единого стандарта для разработки устройств IoT, т.к. ответственность за обеспечение безопасности решений Интернета вещей, в первую очередь, лежит на разработчиках, стратегиях смягчения последствий компьютерных инцидентов и постоянном тестировании и исправлении уязвимостей.

В рамках тестирования IoT устройств предлагается использовать киберполигон для оценки безопасности, на полигоне можно осуществлять живые атаки на разные уровни архитектуры IoT, администраторы безопасности смогут проводить мониторинг и расследовать инциденты, возникшие в процессе работы атакующих на полигоне, затем совместно выработать рекомендации по устранению угроз и уязвимостей, оценить возможный ущерб и риски использования определенных устройств.

На основании проделанной работы по анализу проблем безопасности Интернета вещей в дальнейшем планируется рассмотреть существующие решения и подходы к обеспечению защиты информации IoT с применением изолированных сред для проведения тестирований (киберполигон), который будет разрабатываться для проведения автоматического и ручного тестирования разных систем и технологий.

Библиографический список

1. Gillis A.S. What is the internet of things (IoT)? [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT> (дата обращения: 05.05.2022).

2. Practical IoT Hacking: The Definitive Guide to Attacking the Internet of Things / F. Chantzis, I. Stais, P. Calderon, E. Deirmentzoglou, B. Woods. – No Starch Press, 2021.

3. Пресс-центр ESET. ESET: более половины российских пользователей IoT-гаджетов подвержены киберугрозам [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.esetnod32.ru/company/press/center/eset-bolee-poloviny-rossiyskikh-polzovateley-iot-gadzhetrov-podverzheny-kiberugrozam/> (дата обращения: 10.05.2022).

4. Liebermann Nadav. IoT Security Landscape [Электронный ресурс]. – URL: <https://securingiam.com/2021-iot-security-landscape/> (дата обращения: 10.05.2022).

5. Li L. Study on security architecture in the Internet of Things // Proceedings of 2012 international conference on measurement, information and control. – IEEE, 2012. – Vol. 1. – P. 374–377.

Сведения об авторах

Кузнецов Максим Андреевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КЗИ-21-1м, г. Пермь, e-mail: maksimkuznetsov59@gmail.com

Каменских Антон Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: antoshkininfo@yandex.ru

И.А. Макарова, С.А. Тюрин

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ ДАЛЬНОСТИ СВЯЗИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОДУЛЯЦИИ LORA

В этой статье рассматривается зависимость дальности связи от параметров модуляции LoRa и разработка комплекса для определения этой зависимости.

Ключевые слова: микроконтроллер, приемопередатчик, беспроводные технологии, LoRa.

I.A. Makarova, S.A. Tyurin

Perm National Research Polytechnic University, Perm

A COMPLEX FOR ESTIMATING THE COMMUNICATION RANGE WHEN USING LORA MODULATION

This article discusses the dependence of the communication range on the parameters of the LoRa modulation and the development of a complex to determine this dependence.

Keywords: microcontroller, transceiver, wireless technologies, LoRa.

В современном мире все более широкое распространение во сфере телекоммуникаций находят беспроводные сети связи. Одной из таких сетей является LoRaWAN, в которой используется модуляция LoRa. Для того чтобы оценить дальность работы сети LoRaWAN, рассмотрим основные параметры, которые влияют на дальность действия.

Параметрами сигнала в модуляции LoRa являются SF (spreading factor – длительность одного «чирпа») и bandwidth – ширина полосы передачи. Чем больше длина «чирпа» и чем уже полоса, тем меньше можно получить скорость передачи, а значит таким способом можно увеличить дальность.

Также стоит отметить мощность работы передатчика. Большая мощность позволит передавать информацию на дальние расстояния.

Установив SF, а также изменив мощность передатчика, LoRa предоставляет эффективный инструмент для настройки приложения для дальности связи [1].

Современное оборудование по технологии LoRa может передавать и получать сигнал на частотах между 150 МГц и 1 ГГц, в том числе и в нелицензируемом спектре.

Для Российской Федерации в рамках «LoRa Alliance» разработан проект – RU 864MHz ISM Band [3]. Частотные полосы для российских пользователей представлена в таблице.

Частотные полосы для российских пользователей

| # | Несущая, МГц |
|-------|--------------|
| Join1 | 868,9 |
| Join2 | 869,1 |

Адаптивная скорость передачи в LoRaWAN. В сети LoRaWAN существует механизм адаптивной скорости передачи данных ADR. Узлы, расположенные близко к шлюзу, используют высокую скорость передачи данных. Поэтому они тратят меньше времени на эфир и используют низкий бюджет. Для более удаленных узлов скорость передачи данных ниже, а бюджет канала выше.

Рис. 1 демонстрирует случай, в котором рассматривается модель потерь в свободном пространстве для оценки ослабления между обеими антеннами (антенной шлюза и антенной устройства) [2].

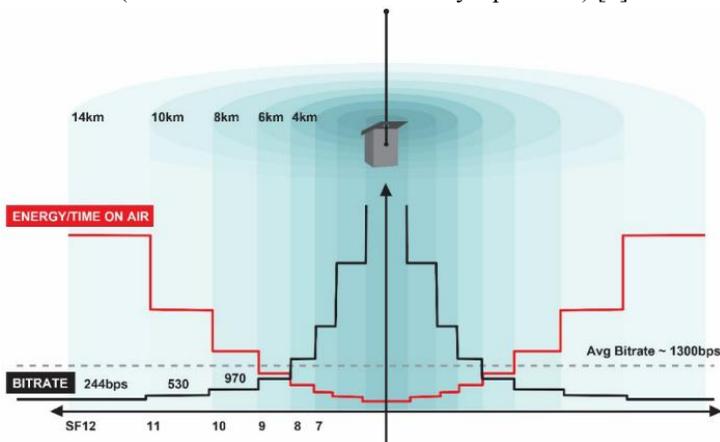


Рис. 1. Модель потерь в свободном пространстве

В рамках работы рассмотрены модули, поддерживающие протоколы LoRaWAN, и выбран модуль ST50H, т.к. он работает в спектре, который представлен выше.

В модуль ST50H встроен моноблок STM32WLE5, оснащенный микроконтроллером STM32L4 на ядре Arm Cortex-M4, а также радиоприемником Semtech SX126x.

Для программирования модуля используется IDE (Integrated Development Environment) – это ПО, которое объединяет инструменты для разработки приложений и их тестирования в едином интерфейсе.

Виды IDE для модуля ST50H:

STM32CubeIDE – платформа разработки на C/C++ с периферийной конфигурацией, генерацией кода, компиляцией кода и функциями отладки для микроконтроллеров и микропроцессоров STM32.

IAR Embedded Workbench – интегрированная среда разработки, отладчик с анализом производительности, визуализацией мощности и OCPB.

Keil MDK – представляет собой комплексное решение для разработки программного обеспечения для различных семейств микроконтроллеров STM32 и предоставляет все необходимое для создания, сборки и отладки встроенных приложений.

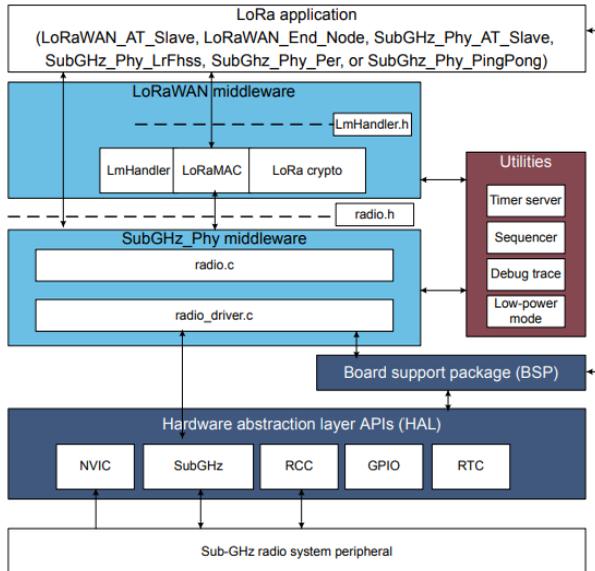


Рис. 2. Структура проекта PingPong

Т.к. в настоящее время многие программы недоступны для работы, основным критериями для выбора была доступность. Поэтому была выбрана программа IAR Embedded Workbench. Для программирования модуля используется приложение PingPong. Это приложение показывает простую радиочастотную связь Rx/Tx между двумя модулями.

Структура проекта PingPong представлена на рис. 2.

Проект PingPong был написан под модуль, который имеет 2 выхода TX и один выход RX. Модуль ST50H имеет только один выход TX и один выход RX.

Подводя итог проделанной работе можно сказать, что задача, которая была поставлена, выполнена. А именно: мы рассмотрели параметры модуляции LoRa, выбрали модуль, на котором разрабатывается комплекс для рассматривания зависимости дальности от SF и мощности передатчика.

Библиографический список

1. Журнал «Беспроводные технологии» [Электронный ресурс]. – URL: <https://wireless-e.ru/standarty/tehnologiya-lora-v-voprosah-i-otvetah/> (дата обращения: 14.12.2022).
2. Портал для разработчиков LoRa [Электронный ресурс]. – URL: <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/understanding-adr/> (дата обращения: 14.12.2022)
3. Сборник статей «ITech Технологии связи» [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/post/422097/> (дата обращения: 15.12.2022).
4. «STMicroelectronics» официальный сайт производителя STM плат [Электронный ресурс]. – URL: https://www.st.com/content/st_com/en.html (дата обращения: 15.12.2022).

Сведения об авторах

Макарова Ирина Александровна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК6-21-1м, г. Пермь, e-mail: irka0511@yandex.ru

Тюрин Сергей Александрович – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: tiurinsa@yandex.ru

Т.В. Шадрина, Е.Л. Кротова

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

АЛГОРИТМ ХРАНЕНИЯ И ГЕНЕРАЦИИ НАДЕЖНЫХ ПАРОЛЕЙ

В данной статье описывается процесс и результат поиска алгоритма генерации и хранения надежных паролей. Рассматриваются такие криптографические методы как симметричное, асимметричное шифрование и хэш-функция, а также проводится проверка надежности паролей при помощи kaspersky password checker.

Ключевые слова: надежный пароль, интернет-ресурс, криптографические методы, шифрование, хэш-функция.

T.V. Shadrina, E.L. Krotova

Perm National Research Polytechnic University, Perm

ALGORITHM FOR STORING AND GENERATING STRONG PASSWORDS

This article describes the process and the result of searching for an algorithm for generating and storing strong passwords. Cryptographic methods such as symmetric, asymmetric encryption and hash function are considered, and password reliability is checked using kaspersky password checker.

Keywords: strong password, Internet resource, cryptographic methods, encryption, hash function.

В современном мире существует огромное количество различных интернет-ресурсов. Ко многим из них доступ частично или полностью заблокирован до прохождения процедуры регистрации, создания учетной записи. Одним из наиболее важных атрибутов любой учетной записи является пароль. Пароль – это конфиденциальная аутентификационная информация, обычно состоящая из строки знаков [1].

Надежный пароль – это главный барьер на пути злоумышленника к получению идентификационных данных. Основные критерии надежного пароля:

- длина пароля не менее 10–12 символов;
- пароль не состоит из простых последовательностей, таких как «12345», или распространенных слов, например, «password» (подобные последовательности чаще всего встречаются в базах утекших паролей);
- пароль сочетает разнообразные сочетания цифр, строчных и прописных букв;
- отсутствие очевидных замен, например, «0» вместо буквы «о»;
- пароль не используется и не будет использоваться при регистрации на других интернет-ресурсах.

При большом количестве таких паролей возникает проблема их хранения. Проанализировав основные способы хранения паролей, можно сделать вывод, что самым надежным из них является запоминание. При этом следует учесть, что существует большая вероятность того, что пользователь может забыть как сам пароль, так и для какой именно учетной записи он предназначен.

Таким образом, целью данной работы является найти такой метод генерации паролей, что пользователю было бы достаточно запомнить только одну последовательность символов, и на ее основе при помощи криптографических методов он смог бы создавать пароли для любых интернет-ресурсов.

Генерация паролей при помощи симметричного шифрования методом замены имеет смысл только в том случае, когда злоумышленнику не известен алгоритм шифрования. Однако такой подход противоречит принципу Кирхгофа: надежность схемы шифрования должна зависеть только от секретности ключа и не зависеть от секретности алгоритмов шифрования и дешифрования [2]. К тому же такие шифры достаточно легко взламываются методом частотного анализа.

При использовании блочного шифрования для достижения поставленной цели в качестве открытого текста может выступать название интернет-ресурса, а в качестве ключа – секретная последовательность символов, которую необходимо запомнить пользователю. В этом случае злоумышленнику известен как зашифрованный, так и открытый текст, что делает такой способ крайне неустойчивым к методам дифференциального, линейного и интегрального криптоанализов. К тому же шифры с короткими ключами в разумное время можно взломать полным перебором вследствие парадокса дней рождений.

Методы асимметричного шифрования не подходят для достижения поставленной цели по определению. Шифрование с открытым ключом предназначено для решения проблемы обмена криптографическими ключами, а при генерации пароля у пользователя не возникает такой задачи.

Наиболее подходящим криптографическим методом для генерации паролей на основе одной комбинации знаков является хэш-функция. Функции хэширования обладают свойством односторонности и могут применяться в качестве криптографических генераторов псевдослучайных чисел для создания нескольких ключей на основе одного общего секретного ключа [3].

Генерация пароля может происходить следующим образом:

- пользователь придумывает кодовое слово, которым может являться как осмысленный, так и неосмысленный набор букв и символов;
- к кодовому слову добавляется название интернет-ресурса на любом языке;
- к полученной строке применяется функция хэширования.

В результате мы получаем такие пароли, что, если один из них станет известен, по нему невозможно будет вычислить другие, а пользователю необходимо запомнить кодовое слово, функцию шифрования и язык, на котором он записывал название ресурса.

Обычно длина результата функции хэширования составляет от 128 до 512 бит, и считаются они в шестнадцатеричной системе счисления. Таким образом, имеем, что мощность алфавита результата хэширования равняется 16. Количество символов можно найти из формулы:

$$K = \frac{I}{i}, \quad (1)$$

где I – объем информационного сообщения, а i – вес одного символа.

Вес одного символа можно найти из формулы:

$$N = 2^i \rightarrow i = \log_2 N, \quad (2)$$

где N – мощность алфавита.

С учетом формул (1) и (2) получаем, что результат 128-битовой хэш-функции составляет 32 знака, что соответствует условию длины надежного пароля. Из 128-битовых функций наиболее изученной является MD5. Наличие коллизий в функции сжатия делает MD5 потенциально не безопасной, однако на данный момент известных атак на саму функцию еще нет, а использование более сложной хэш-функции при-

ведет к слишком сильному удлинению пароля. Таким образом, использования MD5 для генерации пароля является некоторой уступкой безопасности в пользу удобства пользователя, при этом он все еще может использовать любую более надежную хэш-функцию, например, из семейства SHA.

При генерации паролей описанным способом пользователю не обязательно знать, как работают хэш-функции, в частности MD5, чтобы посчитать ее значение. На сегодняшний день существует множество ресурсов, на которых это можно сделать. Стоит также отметить, что кодовое слово должно быть достаточно сложным, чтобы злоумышленник не смог его угадать и посчитать хэш, то есть секретная последовательность должна представлять собой неосмысленные сочетания букв и символов.

Надежность и сложность пароля в сфере информационных технологий обычно измеряется в терминах теории информации. Чем выше информационная энтропия, тем надежнее пароль и, следовательно, тем труднее его взломать. Информационная энтропия:

$$H(x) = -\sum_{i=1}^n p(i) \log_2 p(i). \quad (3)$$

На сегодняшний день существует множество ресурсов, при помощи которых можно проверить надежность пароля, в том числе kaspersky password checker.

Сгенерируем 5 «кодовых слов» при помощи генератора паролей от Яндекс и проверим их для 5 различных интернет-ресурсов:

- Xs4-Uvj-NjH-H8P;
- g4y-vzY-JuF-R8w;
- RED-ex4-gNL-uGH;
- 8B7-dv9-nXV-KBi;
- zYi-L3h-5F8-Yem.

Полученные пароли и результат их проверки при помощи kaspersky password checker приведены в таблице.

Пароли

| Ресурс | Пароль | Проверка |
|-----------|----------------------------------|----------------|
| ВКонтакте | 64512B5B7269D5D7275694C6140D39EB | Хороший пароль |
| | 42E00449616A021D5FAB7872FD1A8556 | Хороший пароль |
| | 1BA4523ACCD3C1D0EDC34B4AA7E29DB | Хороший пароль |
| | 66041DB44A9813E6E3BA340FC12B7B01 | Хороший пароль |
| | EA5605DB403963374496C71FAE726F18 | Хороший пароль |

Окончание таблицы

| Ресурс | Пароль | Проверка |
|---------------|-----------------------------------|----------------|
| Mail.ru | 7B5AC9833CF49724743DE950888F7848 | Хороший пароль |
| | 006E7D60445D5AD1A13E19750CA42CF5 | Хороший пароль |
| | 77E80B68AF23631B7580FA03F9F2EB92 | Хороший пароль |
| | 86E3D699EE0A517776BAE4F122A9B9B2 | Хороший пароль |
| | D6078BC00883041680197FA9768C8E6A | Хороший пароль |
| Яндекс | 912885875B41BF2E178AA3570B4C724F | Хороший пароль |
| | 989744958BD5DBC564C6E856B2FDD9DF | Хороший пароль |
| | 19E235FA6A75B7133D40589D53504E93 | Хороший пароль |
| | A7A1FAEB52D168F65582E5CB8C7E591A | Хороший пароль |
| Госуслуги | 584990EEA7F9861FCFB11294C3E31873 | Хороший пароль |
| | F160352F498C7C8409ECB5381EBAВ7FC | Хороший пароль |
| | 0F315435F0A49F04FE6B6236AB4789F4 | Хороший пароль |
| | 28542AE029E73A1EA278407BF1EFA8E8 | Хороший пароль |
| | 6F040B74600638D9D26D0E5115BFD890 | Хороший пароль |
| Одноклассники | 29C68ED22FCB5D36BAB1DA4DD9136998 | Хороший пароль |
| | 08A7B2D60223375DEF20E25EDEA038DD | Хороший пароль |
| | F69D9B8A986769CC6A89D5F9230F8CA9 | Хороший пароль |
| | 88D745B898F90391A4172A965A27C06B | Хороший пароль |
| | 90DC2209FCBEE1EAAAC0FF5E9A9A6F2AE | Хороший пароль |
| | B7F75B19906B5E6C37257300B4BA23EB | Хороший пароль |

На основании таблицы можно сделать вывод, что генерация паролей при помощи функции хэширования MD5 является надежной.

Таким образом, в данной статье мы нашли такой способ создания паролей, что от одной последовательности при помощи функции хэширования MD5 можно сгенерировать надежный пароль для любого интернет-ресурса. Для хранения таких паролей пользователю необходимо запомнить одну единственную последовательность символов. Стоит отметить, что на сегодняшний день существует такие интернет-ресурсы, которые при создании пароля требует использование букв разных регистров и дополнительных символов («!», «#», «\$», «%», «&», «(», «)», «*», «+»). Следовательно, найденный способ генерации паролей имеет достаточно узкое применение, что дает повод для дальнейшей работы в данной области.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 58833-2020. Защита информации. Идентификация и аутентификация. Общие положения = Information protection. Identification and authentication. General: национальный стандарт Российской Феде-

рации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 апреля 2020 г. N 159-ст: введен впервые: дата введения 2020-05-01 / разработан ФСТЭК России, ЗАО «Аладдин Р.Д.» и ООО «НПФ "КРИСТАЛЛ"». – М.: Стандартинформ, 2017. – IV. – 7 с.

2. Фергюсон Н., Шнайер Б. Практическая криптография. – М., СПб., Киев, 2005. – 42 с.

3. Фергюсон Н., Шнайер Б. Указ. соч. – М., 105 с.

Сведения об авторах

Шадрина Татьяна Владимировна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КЗИ-19-1б, г. Пермь, e-mail: shanyat@mail.ru

Кротова Елена Львовна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Высшей математики» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: lenkakrotova@yandex.ru

А.В. Зверев, В.И. Фрейдман

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПАКЕТНОЙ КОММУТАЦИИ

В данной статье рассматриваются экспериментальные исследования над оборудованием коммутации пакетов компании D-Link DES-3526. В работе показаны экспериментальные исследования разных видов пропускной способности и времени задержки пакетов в коммутаторе, а также алгоритмов буферной памяти коммутатора. Первое исследование основано на проведении двух синтетических тестов, а второе – на основании наблюдения за поведением заполняемости буферной памяти коммутатора при прохождении через него различного вида трафика. Выполнен анализ результатов экспериментальных исследований.

Ключевые слова: исследование, буфер, пакетная коммутация, QoS, характеристики, технологии, алгоритмы.

A.V. Zverev, V.I. Freyman

Perm National Research Polytechnic University, Perm

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE SWITCH

This article discusses experimental studies on D-Link DES-3526 packet switching equipment. The paper shows experimental studies of different types of throughputs and packet delay time in the switch, as well as switch buffer memory algorithms. The first study is based on conducting two synthetic tests, and the second is based on observing the behavior of the switch buffer memory fullness when various types of traffic pass through it. The analysis of the results of experimental studies is carried out.

Keywords: research, buffer, packet switching, QoS, characteristics, technologies, algorithms.

Коммутация по праву считается одной из самых популярных современных технологий. Популярность коммутаторов обусловлена прежде всего тем, что они позволяют за счет сегментации повысить производительность сети. Помимо разделения сети на мелкие сегменты, коммутаторы дают возможность создавать логические сети и легко перегруппировывать устройства в них.

Актуальность работы заключается в том, что в наши дни существует огромное количество различных сетевых устройств, выпускаемых разными фирмами, но не все бренды отвечают своим заданным характеристикам или требованиям. Поэтому существуют различные методы тестирования характеристик коммутатора, а также технологий, реализованных в нем. Целью работы является определение оптимальных настроек оборудования для его эффективного применения в условиях поставленной проектной задачи.

1. Экспериментальное исследование разных видов пропускной способности и времени задержки пакетов в коммутаторе. В этом исследовании мы будем проводить 2 синтетических теста. Первым был режим генерации максимально возможного сетевого трафика, а вторым – режим генерации максимальной скорости и количества передачи пакетов. В первом тесте имитируется многократная передача файла объемом 1518 Байт. Во втором тесте имитируется многократная передача файла объемом 64 Байт.

Задачей данного исследования является проверка основных характеристик коммутатора в изменяющемся трафике сети. Были изучены и определены такие характеристики, как пропускная способность портов, пакетная пропускная способность и задержка. Результаты тестов показаны в табл. 1.

Таблица 1

Результаты синтетических тестов

| Тест | Пропускная способность портов, Мбит/с | Пакетная пропускная способность, кол-во | Задержка пакетов,мс |
|---|---------------------------------------|---|---------------------|
| Режим генерации максимально возможного сетевого трафика | 98 | ≈ 8150 | 20–25 |
| Режим генерации максимальной скорости и количества передачи пакетов | 42 | ≈ 80350 | 1–2 |

По результатам первого исследования можно сказать, что пропускная способность падает почти в 2 раза при переходе на кадр минимальной длины, т.е. чем больше длина кадра, тем выше пропускная

способность, и наоборот – чем ниже длина кадра, тем пропускная способность ниже. Пакетная пропускная способность при увеличении длины кадра – уменьшается, а при уменьшении длины кадра, естественно, увеличивается. Также можно сказать и про время задержки: при большей длине кадра задержка увеличивается, т.к. коммутатору требуется больше времени для обработки получаемого пакета.

2. Экспериментальное исследование буферной памяти коммутатора. В этом исследовании мы также будем проводить 2 теста по определению алгоритмов буферной памяти коммутатора. Первым тестом будет получение результатов с обычным трафиком в сети (выключенной QoS). Вторым тестом будет получение результатов с включенной технологией QoS и с разными приоритетами трафика.

Задачей данного исследования является определение и изучение алгоритмов буферной памяти коммутатора, т.к. производитель не дает четкого определения, какой алгоритм используется в его устройстве. Исследуемый коммутатор имеет 16 Мбайт буферной памяти на устройство.

Значение генерированного пакета в сеть равнялось 1518 Байт интенсивность отправки – 8000 пакетов\с. Определим количество пакетов в буферной памяти коммутатора для наших значений.

По условиям производителя коммутатор имеет 16 Мбайт буферной памяти на устройство, что составляет 16777216 в Байтах. Следовательно, примерное количество пакетов составляет 11052.

Как видно на рис. 1, коммутатор имеет буферную память около 10000 пакетов, что примерно совпадает с нашими аналитическими расчетами. По графику можно определить, что до первой сек заполняемость буфера шла равномерно, а затем количество принимаемых пакетов в буферную память начало уменьшаться. Это можно определить алгоритмом буферизации RED – Random Early Detection.

Данный алгоритм начинает отбрасывать случайные пакеты, когда очередь заполняется на 80 %, заставляя некоторые TCP-сессии уменьшить окно и, соответственно, скорость. А если очередь заполнена на 90 %, начинает отбрасывать случайным образом 50 % пакетов. При 90 % – вероятность растет вплоть до алгоритма «TailDrop» (все новые пакеты отбрасываются).

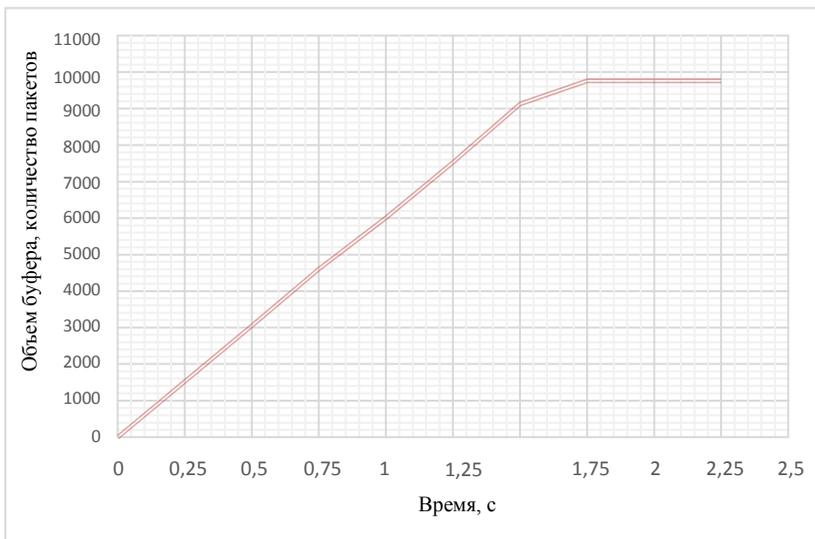


Рис. 1. Зависимость заполняемости буфера коммутатора от времени свыключенной технологией QoS

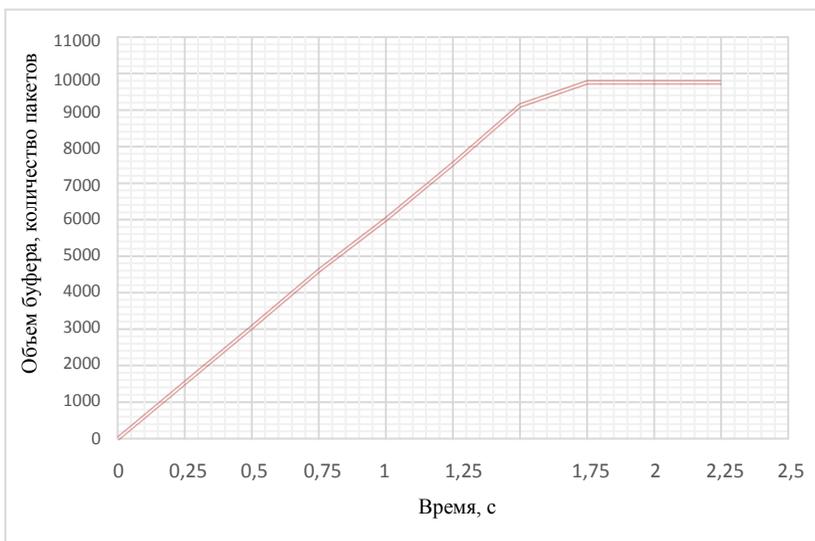


Рис. 2. Зависимость заполняемости буфера коммутатора от времени с включенной технологией QoS (низкоприоритетный трафик)

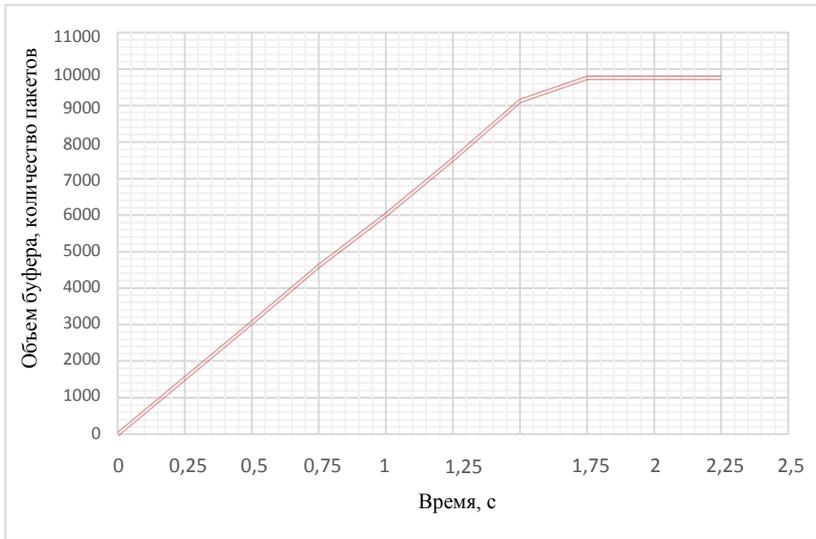


Рис. 3. Зависимость заполняемости буфера коммутатора от времени с включенной технологией QoS (высокоприоритетный трафик)

Как видно из рис. 2, 3, коммутатор имеет буферную память около 9750 пакетов. По данным графикам можно определить, что при использовании технологии QoS подключается алгоритм буферизации WRED – Weighted Random Early Detection. В пределах одной очереди у пакетов с разным приоритетом вероятность отбрасывания будет разная. Чем ниже приоритет, тем больше вероятность отбрасывания.

Таблица 2

Экспериментально полученные данные исследования

| Исследование | Объем буфера, кол-во пакетов | Время заполнения буфера, с | Алгоритм буферизации |
|---|------------------------------|----------------------------|----------------------|
| Выключенная технология QoS | ≈ 10 000 | ≈ 3,5 | RED |
| Включенная технология QoS (низкоприоритетный трафик) | ≈ 9800 | ≈ 3 | WRED |
| Включенная технология QoS (высокоприоритетный трафик) | ≈ 9750 | ≈ 2,25 | WRED |

Также можно сказать и про время заполняемости буферной памяти при обычном трафике (без приоритетном) время заполнения больше, чем при приоритетном трафике. На наш взгляд, данные значения зависят от алгоритмов буферизации, реализованных в исследуемом оборудовании. Результаты исследования приведены в табл. 2.

Библиографический список

1. Характеристики производительности коммутаторов [Электронный ресурс]. – URL: http://citforum.ru/nets/lsok/glava_8.shtml (дата обращения: 29.05.2022).

2. Зверев А.В. Методы балансировки нагрузки агрегированных портов коммутатора [Электронный ресурс]. – URL: <https://innotech.pstu.ru/files/articles/section4/pdf/ЗверевАВ440.pdf> (дата обращения: 29.05.2022).

3. D-Link. Общее описание 24/48-портовых 10/100 Мбит/с стекируемых коммутаторов 2-го уровня [Электронный ресурс]. – URL: https://ftp.dlink.ru/pub/Switch/DES-3526/Data_sh/DS_DES-3500_RUS-04.pdf (дата обращения: 28.05.2022).

Сведения об авторах

Зверев Артем Витальевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК5-20-1м, г. Пермь, e-mail: zvrev.artiom@mail.ru

Фрейман Владимир Исаакович – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: vfrey@mail.ru

В.И. Фрейман, В.С. Малыгин

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ STP, RSTP ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СБОЕВ

При создании любой сети мы должны убедиться в ее правильной работоспособности, а также бесперебойной работе. А если созданная нами сеть сталкивается с техническими трудностями, сбоями в работе, то мы как разработчики должны убедиться в том, что данная сеть справится с ними автоматически, без вмешательства. В этой статье будет показана оценка работоспособности технологии Spanning Tree Protocol, Rapid spanning tree protocol. При анализе протоколов STP, RSTP будут исследованы методы анализирования, реагирования на проблему, а также ее решение.

Ключевые слова: IEEE 802.1D, возникновение петель, STP, RSTP, Ethernet.

V.I. Freiman, V.S. Malygin

Perm National Research Polytechnic University, Perm

RESEARCH OF STP, RSTP TECHNOLOGIES IN THE EVENT OF TECHNICAL FAILURES

When creating any network, we must make sure that it works properly, as well as uninterrupted operation. And if the network we created encounters technical difficulties, failures, then we, as developers, must make sure that this network can cope with them automatically, without intervention. This article will show an assessment of the performance of the Spanning Tree Protocol, Rapid spanning tree protocol technology. When analyzing the STP, RSTP protocols, methods for analyzing, responding to a problem, as well as solving it will be explored.

Keywords: IEEE 802.1D, looping, STP, RSTP, Ethernet.

В сети Ethernet часто возникают топологические «петли», что с высокой вероятностью приводит к бесконечным повторам передачи одних и тех же кадров Ethernet одним и более коммутатором, отчего пропускная способность оказывается почти полностью занятой этими бесполезными повторами. В этих условиях, хотя формально сеть может продол-

жать работать, на практике ее производительность становится настолько низкой, что может выглядеть, как полный отказ сети [1].

Для решения данных задач были разработаны сетевые протоколы Spanning Tree Protocol (STP), Rapid spanning tree protocol (RSTP).

Основной их задачей является устранение петель в топологии произвольной сети Ethernet, в которой есть один или более сетевых мостов, связанных избыточными соединениями. STP и RSTP решают эту задачу, автоматически блокируя соединения, которые в данный момент для полной связности коммутаторов являются избыточными.

Данные технологии имеет следующий принцип действия:

1) в сети выбирается один корневой мост (Root Bridge);
2) далее каждый, отличный от корневого, мост просчитывает кратчайший путь к корневому. Соответствующий порт называется корневым портом (Root Port). У любого не корневого коммутатора может быть только один корневой порт;

3) после этого для каждого сегмента сети просчитывается кратчайший путь к корневому порту. Мост, через который проходит этот путь, становится назначенным для этой сети (Designated Bridge). Непосредственно подключенный к сети порт моста – назначенным портом;

4) далее на всех мостах блокируются все порты, не являющиеся корневыми и назначенными. В итоге получается древовидная структура (математический граф) с вершиной в виде корневого коммутатора [2].

Разработка топологии и рассмотрение принципа работы технологий STP, RSTP. Обща схема примера работы и настройки STP. Мы соединили 2 коммутатора двумя линками. Видно, что STP уже работает, и один порт у второго коммутатора погашен, чтобы не было петли (рис. 1).

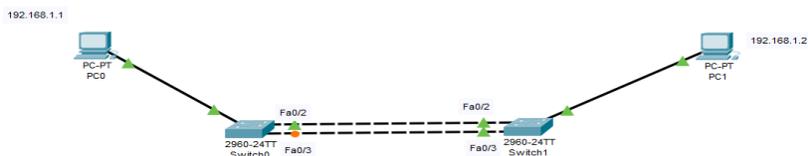


Рис. 1. Конфигурация сети

Также посмотрим настройку технологии STP на первом коммутаторе. Вводим команду «show spanning-tree» и видим на рис. 2, что на Switch 1 – это рутый коммутатор и все порты в состоянии передачи.

А также видим настройку второго коммутатора Switch 0. Откуда мы понимаем, что Switch 0 – не рутвый коммутатор, Интерфейс Fa0/2 является рутвым портом. Fa0/1 ждет в запасе.

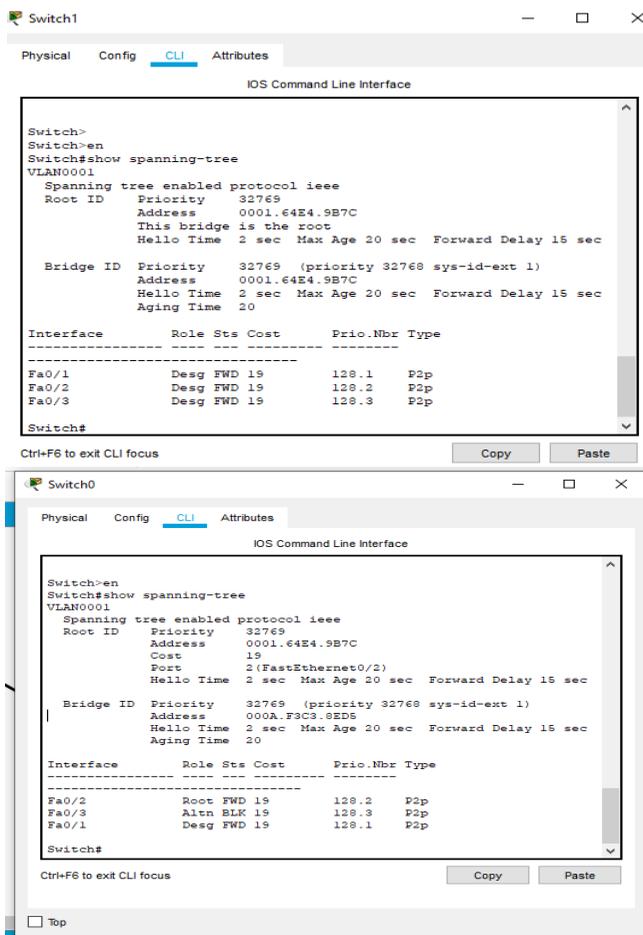


Рис. 2. Настройка коммутаторов Switch1 и Switch 0

Далее перейдем к проверке работоспособности протокола STP. Для этого искусственно создадим технический сбой. Отключив интерфейс Fa0/2 командой «config» «interface Fa0/2» «shutdown», что видно на рис. 3, и зайдем на первый коммутатор.

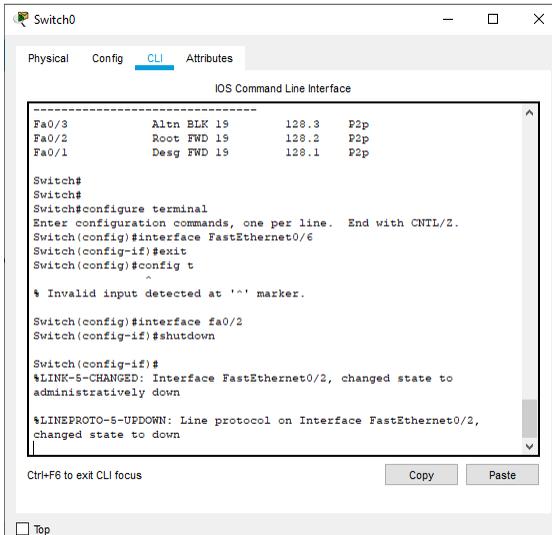


Рис. 3. Отключение интерфейса Fa0/2 на первом коммутаторе

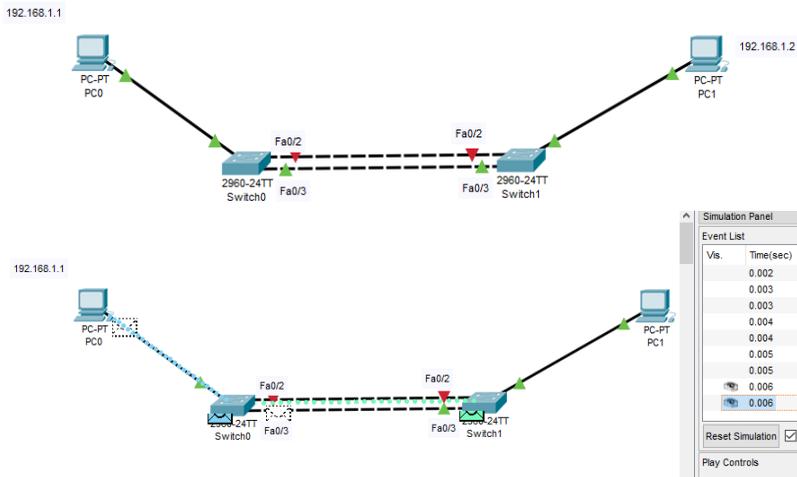


Рис. 4. Работоспособность топологии при отключении интерфейса Fa0/2

Продлав данную операцию, на рис. 4 мы видим, что верхний линк упал, а нижний заработал, что подтверждает работоспособность технологии STP. При аварии система запустила не включенный до

этого момента интерфейс и начала передачу пакетов через него, чтобы не образовывались петли. Следующим шагом попытаемся восстановить работоспособность интерфейса Fa0/2 на первом коммутаторе Fa0/2 при помощи команды «no shutdown», данную настройка отображена на рис. 5.

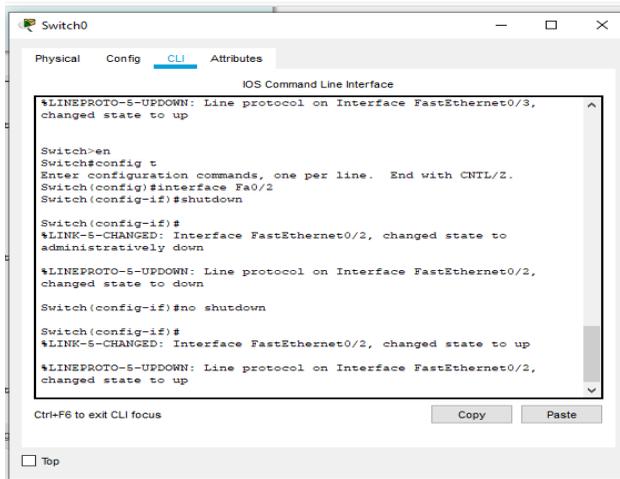


Рис. 5. Восстановление работы интерфейса Fa0/2 на первом коммутаторе

На рис. 6 можно заметить, что работа на верхнем линке восстановилась.

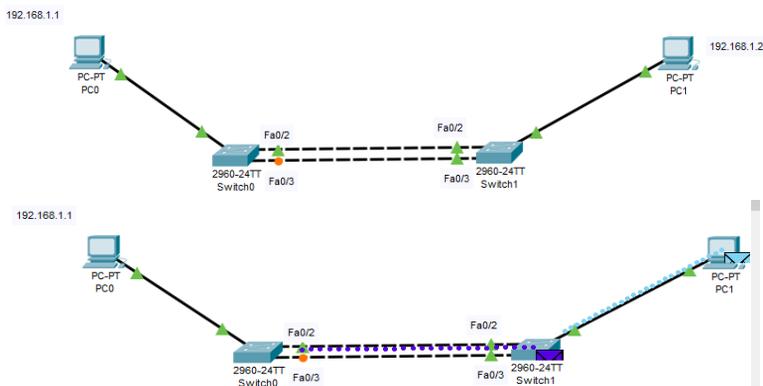


Рис. 6. Работоспособность топологии после восстановления интерфейса

Настройка протокола RST почти ничем не отличается от настройки STP. В командной строке коммутатора нет.

Включить RSTP можно командой в режиме глобального конфигурирования, где нужно изменить режим на «rapid-pvst spanning-tree mode rapid-pvst».

Чем же STP отличается от RSTP? RSTP, или как его еще называют в более развернутом виде – Rapid spanning tree protocol, по сути тот же STP, но намного быстрее, где время сходимости очень быстрое, происходит потеря одного пакета. В STP используется таймер ожидания в 20 с в случае, когда топология сети меняется. Затем порт переходит в состояние прослушивания и самообучения – еще по 15 с на каждое. В итоге мы получаем $20 + 15 + 15 = 50$ с на конвергенцию, что достаточно долго.

Протокол RSTP предусматривает ожидание, равное утроенному значению таймера Hello, т.е. $2 \cdot 3 = 6$ с. Кроме того, устраняются 15-тисекундные задержки в переходе между неустойчивыми состояниями прослушивания и самообучения.

Библиографический список

1. Команды настройки протоколов связующего дерева STP, RSTP, MSTP [Электронный ресурс]. – URL: <https://intuit.ru/studies/courses/3591/833/lecture/14266>
2. Принцип работы протоколов STP/RSTP [Электронный ресурс]. – URL: <https://litl-admin.ru/cisco/otlichiya-v-rabote-stp-i-rstp.html>
3. Типы протоколов STP Spanning Tree [Электронный ресурс]. – URL: [kaznu.kzhttps://www.kaznu.kz](https://www.kaznu.kz)

Сведения об авторах

Фрейман Владимир Исаакович – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: vfrey@mail.ru

Малыгин Владислав Станиславович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК6-21-м, г. Пермь, e-mail: malyginvlad-1998@mail.ru

Н.Ю. Соболев, Л.А. Клейман

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ДОВЕДЕНИЯ HTTP-СЕРВЕРА В СОСТОЯНИЕ ОТКАЗА В ОБСЛУЖИВАНИИ ПРИ ПОМОЩИ ИНСТРУМЕНТА MICRO FOCUS LOADRUNNER

В этой статье рассматриваются атаки типа отказ в обслуживании (DoS) на HTTP-сервер. Разработаны сценарии использования системы виртуальными пользователями посредством выполнения скриптов. При помощи инструмента Micro Focus LoadRunner в ходе проведения тестирования определена максимальная и пиковая производительность HTTP-сервера. Определен перечень параметров системы, на которые оказывают влияние DoS-атаки.

Ключевые слова: отказ в обслуживании, распределенный отказ в обслуживании, сети, HTTP-флуд, LoadRunner.

N.Yu. Sobolev, L.A. Kleiman

Perm National Research Polytechnic University, Perm

RESEARCH OF WAYS TO BRING THE HTTP SERVER INTO A DENIAL OF SERVICE STATE WITH THE MICRO FOCUS LOADRUNNER TOOL

This article focuses on denial of service (DoS) attacks against an HTTP server. Developed scenarios for using the system by virtual users, through the execution of scripts. Using the Micro FocusLoadRunner tool during testing, the maximum and peak performance of the HTTP server was determined. A list of system parameters that are affected by DoS attacks has been determined.

Keywords: denial of service, distributed denial of service, networks, HTTP flood, LoadRunner.

Атака типа отказ в обслуживании (DoS) – это тип кибератаки, при которой злоумышленник стремится сделать компьютер или другое устройство недоступным для предполагаемых пользователей, прервав нормальное функционирование устройства [1]. DoS-атаки осуществляются путем перегрузки целевой машины запросами до тех пор, пока обычный трафик не станет невозможным для обработки, что приводит к отказу

в обслуживании дополнительных пользователей. Атака DoS характеризуется использованием одного компьютера для запуска атаки.

Распределенная атака типа отказ в обслуживании (DDoS) – это разновидность DoS-атаки, которая осуществляется из нескольких распределенных источников одновременно, посредством сети ботов [2].

Рассмотрим DDoS-атаку прикладного уровня модели взаимодействия открытых систем (OSI) HTTP-флуд на HTTP-сервер.

HTTP-флуд – это тип атаки распределенного отказа в обслуживании, при которой злоумышленник использует HTTP-запросы GET или POST для атаки на веб-сервер или приложение [3].

Для реализации данной атаки нам потребуется развернуть HTTP-сервер, а также использовать необходимый инструмент для отправки запросов непосредственно на этот сервер, имитируя генератор нагрузки. Необходимые средства для реализации атаки HTTP-флуд представлены в табл. 1.

Таблица 1

Средства для реализации атаки HTTP-флуд

| № п/п | Средство | Описание |
|-------|------------------------------|--|
| 1 | Web Tours Sample Application | HTTP-сервер с программным кодом из открытых источников, разворачивается локально на вычислительной машине |
| 2 | Micro Focus LoadRunner 12.55 | Инструмент нагрузочного тестирования для генерации виртуальных потоков (пользователей), которые отправляют необходимые запросы на сервер |

HTTP-сервер Web Tours Sample Application – образец веб-приложения туристического агентства [4]. Пользователь может зарегистрироваться, войти в систему, выбрать интересующий его рейс, купить билет, просмотреть список купленных билетов, удалить бронирование, выйти из системы.

Инструмент Micro Focus LoadRunner 12.55 состоит из 3 взаимосвязанных друг с другом компонентных модулей [5]:

- **VuGen** – разработка нагрузочных скриптов, генерация виртуальных пользователей;
- **Controller** – создание, настройка и запуск сценариев нагрузки;
- **Analysis** – анализ результатов проведенного тестирования.

Для начала необходимо разработать профиль нагрузки для HTTP-сервера, в котором указывается весь перечень запросов (операций), которые выполняет пользователь системы. Профиль нагрузки может рассчитываться как на основе анализа собранной статистики с веб-сервера, так и прогнозируемой. Рассчитанный профиль нагрузки представлен в табл. 2.

Таблица 2

Профиль нагрузки

| № п/п | Операция | Кол-во/часпиковой нагрузки | Процент впрофиле, % |
|-------|---|----------------------------|---------------------|
| 1 | Главная Welcome страница | 520 | 17,66 |
| 2 | Вход в систему | 422 | 14,33 |
| 3 | Переход на страницу поиска билетов | 305 | 10,36 |
| 4 | Заполнение полей для поиска билета | 282 | 9,58 |
| 5 | Выбор рейса из найденных | 270 | 9,17 |
| 6 | Оплата билета | 175 | 5,94 |
| 7 | Просмотр квитанций | 280 | 9,51 |
| 8 | Отмена бронирования | 73 | 2,48 |
| 9 | Выход из системы | 326 | 11,07 |
| 10 | Переход на страницу регистрации | 97 | 3,29 |
| 11 | Заполнение полей регистрарции | 97 | 3,29 |
| 12 | Переход на следующий экран послерегистрации | 97 | 3,29 |
| | Итого | 2944 | 100 |

На сегодняшний день DDoS-атаки могут осуществляться не только повторной отправкой одних и тех же запросов к веб-серверу. Злоумышленники подстраивают действия виртуальных пользователей к реальным посредством имитации активности на сайте. При этом владелец веб-сервера может ошибочно предполагать, что к его серверу сегодня обратилось больше пользователей, чем обычно. Этот фактор делает обнаружение атак HTTP-флуд еще более сложным.

Далее необходимо разработать сценарии использования HTTP-сервера(скрипты), по которым виртуальные пользователи будут взаимодействовать с исследуемой системой. Запись скриптов на языке программирования C осуществляется при помощи компонента LoadRunner VuGen. Операция перехода на главную страницу Web Tours представлена в листинге 1.

Листинг 1 – Операция перехода на главную страницу Web Tours.

```

lr_start_transaction("openHomePage");
web_set_sockets_option("SSL_VERSION", "TLS1.2");
web_reg_find("Text/IC=Web Tours", LAST);
web_url("WebTours",
        "URL=http://localhost:1080/WebTours/",
"TargetFrame=",
        "Resource=0", "RecContentType=text/html",
"Referer=", "Snapshot=t1.inf", "Mode=HTML",
        LAST);
lr_end_transaction("openHomePage", LR_AUTO);

```

Остальные операции записываются в скрипт аналогично. В одном сценарии может быть повторение нескольких одинаковых операций. Перечень разработанных сценариев использования системы Web Tours:

- регистрация нового пользователя;
- вход в систему;
- поиск билета;
- покупка билета;
- просмотр забронированных билетов;
- удаление билета.

После записи скриптов также необходимо выполнить параметризацию. Это необходимо для того, чтобы каждый виртуальный пользователь мог использовать информацию из своего заранее сформированного пулла данных. Параметры выделяются фигурными скобками. Пример параметризации в операции ввода данных при регистрации нового пользователя в системе представлен в листинге 2.

Листинг 2 – Операция ввода данных при регистрации в системе Web Tours.

```

lr_start_transaction("profileDataEntry");
web_reg_find("Text/IC=Welcome to Web Tours", LAST);
web_submit_data("login.pl",
        "Action=http://localhost:1080/cgi-
bin/login.pl", "Method=POST",
        "TargetFrame=info", "RecContentType=text/html",
"Referer=http://localhost:1080/cgi-
        bin/login.pl?username=&password=&getInfo=true",
"Snapshot=t3.inf",
        "Mode=HTML", ITEMDATA,

```

```

    "Name=username",    "Value={username}",    ENDITEM,
    "Name=password",    "Value={password}",    ENDITEM,
    "Name=passwordConfirm",    "Value={password}",
ENDITEM,    "Name=firstName",    "Value={firstName}",
ENDITEM,    "Name=lastName",    "Value={lastName}",
ENDITEM,    "Name=address1",    "Value={address1}",
ENDITEM,    "Name=address2",    "Value={address2}",
ENDITEM,    LAST);

```

```
lr_end_transaction("profileDataEntry",LR_AUTO);
```

Корреляция и параметризация в других операциях выполняется аналогично по мере необходимости.

После разработки скриптов необходимо создать и настроить сценарий нагрузки при помощи компонента LoadRunner Controller, а именно сценарий определения максимальной и пиковой производительности HTTP-сервера. Кроме того, все разработанные скрипты также загружаются в Controller.

Данный сценарий заключается в ступенчатом повышении нагрузки, начиная со 100 % от рассчитанного профиля нагрузки с постепенным повышением, пока система не достигнет своего пика.

Настройки сценария в Controller:

- начальное число виртуальных пользователей – 0;
- конечное число виртуальных пользователей – 50;
- интервал добавления новых пользователей – 10 пользователей каждые 20 мин;
- количество ступеней нагрузки – 5.

График созданного сценария в окне Controller представлен на рис. 1.

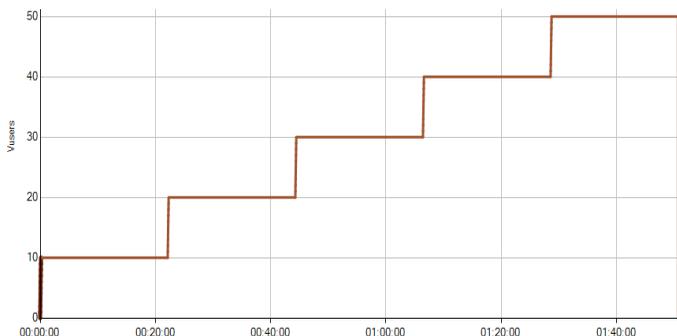


Рис. 1. Сценарий поиска максимальной и пиковой производительности

Технические характеристики локального HTTP-сервера в эксперименте представлены в табл. 3.

Таблица 3

Технические характеристики локального HTTP-сервера

| № п/п | Характеристика | Значение |
|-------|-------------------------------|--|
| 1 | Операционная система | Windows 10 Pro |
| 2 | Процессор | Intel Core i7-4710HQ |
| 3 | CPU | 2.5 GHz |
| 4 | Количество процессоров и ядер | 4 |
| 5 | Объем оперативной памяти | 16 Гб |
| 6 | Твердотельный накопитель | SSD 128 GB SATA III 420Mbps 2.5'' |
| 7 | Жесткий диск | HGST 1 TB 7.2k SATA 6Gbps HDD HS 2.5'' |

После проведения тестирования, все полученные результаты собираются компонентом LoadRunner Analysis. Затем, необходимо обработать полученные результаты, сформировать графики необходимых параметров, указать приемлемую гранулярность.

Результаты теста:

1. Определена максимальная производительность системы на уровне нагрузки – 1605 операций в час, или 9015 запросов в час (300 % от уровня нагрузки).

2. Определена пиковая производительность системы на уровне нагрузки – 2127 операций в час, или 14 706 запросов в час (400 % от уровня нагрузки).

3. Утилизация CPU сервера составляла от 1,8 до 25,5 %, утилизация RAM 57 %.

4. Выявлено «узкое место» (рис. 2), при переходе на четвертую ступень. Начиная с нее, график «% Disk Time» показывает нестабильность и резкие скачки, это говорит о том, что количество обращений к диску увеличивается из-за роста числа задействованных виртуальных пользователей, данные которых считываются с диска при обработке запросов. На пятой ступени, график «% Disk Time» еще более нестабилен, времена отклика транзакций существенно увеличиваются, появляются ошибки в обработке запросов, а, следовательно, произошел отказ в обслуживании.

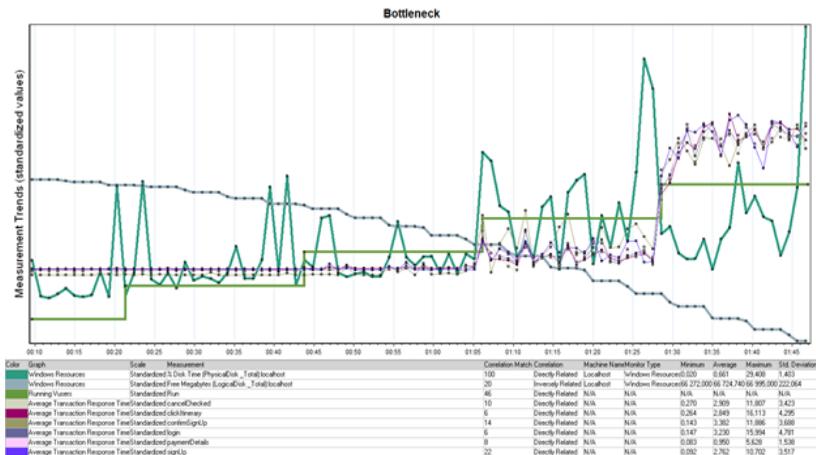


Рис. 2. Регистрация отказа в обслуживании

Помимо параметра процента использования диска есть и другие параметры, на которые влияют DoS/DDoS-атаки. Полный перечень параметров системы:

- % Processor Time. Процент использования процессора;
- Committed Bytes In Use. Объем использования оперативной памяти;
- % Disk Time. Процент использования диска;
- Bytes Total/sec. Общее число байтов полученных/отправленных через сеть.

Библиографический список

1. What is a denial-of-service attack? [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cloudflare.com/learning/ddos/glossary/denial-of-service/> (дата обращения: 28.05.2022).
2. DDoS attacks: Definition, examples, and techniques [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.csoonline.com/article/3648530/ddos-attacks-definition-examples-and-techniques.html> (дата обращения: 28.05.2022).
3. HTTP flood [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.imperva.com/learn/ddos/http-flood/> (дата обращения: 28.05.2022).

4. Web Tours Sample Application [Электронный ресурс]. – URL: <https://marketplace.microfocus.com/appdelivery/content/web-tours-sample-application> (дата обращения: 29.05.2022).

5. LoadRunner Professional [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.microfocus.com/ru-ru/products/loadrunner-professional/overview> (дата обращения: 29.05.2022).

Сведения об авторах

Соболев Никита Юрьевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК5-20-1м, г. Пермь, e-mail: sobolevn2310@gmail.com

Клейман Лев Александрович – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика», младший научный сотрудник Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: smarttty@yandex.ru

Е.В. Баранов, В.И. Фрейман

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ VLAN В СОВРЕМЕННЫХ СЕТЯХ

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

В статье рассмотрен процесс моделирования сети с настройкой протокола автоматического назначения VLAN – VTP в программной среде «Cisco Packet tracer». Проведен анализ достоинств и недостатков применения данного способа построения сети.

Ключевые слова: VLAN, VTP, маршрутизация, локальная сеть.

E.V. Baranov, V.I. Freyman

Perm National Research Polytechnic University, Perm

RESEARCH OF AUTOMATIC VLAN ASSIGNMENT TECHNOLOGY IN MODERN NETWORKS

The article describes the process of network modeling with the configuration of the VLAN – VTP automatic assignment protocol in the Cisco Packet tracer software environment. An analysis of the advantages and disadvantages of using this method for network building was carried out.

Keywords: VLAN, VTP, routing, local area network.

В данной статье пойдет речь об автоматическом создании и изменении сегментов локальной сети с помощью протокола VTP. VTP (англ. VLAN Trunking Protocol) – проприетарный протокол компании «Cisco» [1]. Протокол VTP был создан для решения возможных проблем в среде коммутации виртуальных локальных сетей VLAN. Рассмотрим домен, в котором имеются несколько связанных друг с другом коммутаторов, которые поддерживают несколько VLAN-сетей. Для создания и поддержания соединений внутри VLAN-сетей каждая из них должна быть сконфигурирована вручную на каждом коммутаторе. По мере роста организации увеличения количества коммутаторов в сети, каждый новый коммутатор должен быть сконфигурирован вру-

чную с вводом информации о VLAN-сетях. Всего лишь одно неправильное назначение в сети VLAN может вызвать две потенциальные проблемы:

- перекрестное соединение VLAN-сетей вследствие несогласованности в конфигурации VLAN-сетей;

- противоречивость конфигурации в смешанной среде передачи, например, в среде, включающей в себя сегменты Ethernet и Fiber Distributed Data Interface (FDDI). В протоколе VTP согласованность конфигураций VLAN-сетей поддерживается в общем административном домене. Кроме того, протокол VTP уменьшает сложность управления и мониторинга VLAN-сетей [2].

Рассмотрим работу протокола. При создании VLAN на одном коммутаторе все остальные синхронизируются с его базой. VTP может создавать, изменять и удалять VLAN. Каждое действие влечет к тому, что увеличивается номер ревизии (каждое действие увеличивает номер на +1). После рассылается объявление, где указан номер ревизии. Клиенты, получившие это объявление, сравнивают свой номер ревизии с пришедшим. И если пришедший номер выше, они синхронизируют свою базу с ней. В противном случае объявление игнорируется. По умолчанию все коммутаторы работают в роли сервера. Роли VTP:

1. VTP Server. Создает, изменяет, удаляет VLAN. Если получает объявление, в которых ревизия старше его, то синхронизируется. Постоянно рассылает объявления и ретранслирует от соседей.

2. VTP Client – эта роль уже ограничена. Создавать, изменять и удалять VLAN нельзя. Все VLAN получает и синхронизирует от сервера. Периодически сообщает соседям о своей базе VLAN-ов.

3. VTP Transparent – может создавать, изменять и удалять VLAN только в своей базе. Никому ничего не навязывает и ни от кого не принимает. Если получает какое-то объявление, передает дальше, но со своей базой не синхронизирует. Если в предыдущих ролях при каждом изменении увеличивался номер ревизии, то в этом режиме номер ревизии всегда равен 0 [3].

Перейдем непосредственно к самой настройке данного протокола в программной среде «Cisco Packet tracer». Конфигурация сети с адресацией узлов представлена на рис. 1.

На схеме присутствуют три коммутатора. Один из них является VTP-сервером, а два остальных клиентами. VLAN, которые будут созданы на сервере, автоматически синхронизируются на клиентах. Центральный коммутатор в режиме «Server» представлен на рис. 2.

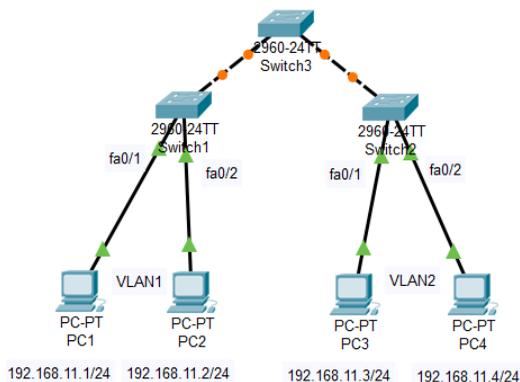


Рис. 1. Конфигурация сети

```
Switch>show vtp status
VTP Version                : 2
Configuration Revision     : 0
Maximum VLANs supported locally : 255
Number of existing VLANs   : 5
VTP Operating Mode         : Server
VTP Domain Name            :
VTP Pruning Mode           : Disabled
VTP V2 Mode                : Disabled
VTP Traps Generation       : Disabled
MD5 digest                 : 0x7D 0x5A 0xA6 0x0E 0x9A 0x72
0xA0 0x3A
Configuration last modified by 0.0.0.0 at 0-0-00 00:00:00
Local updater ID is 0.0.0.0 (no valid interface found)
```

Рис. 2. Информация о Switch3

Из представленной информации видно, что VTP Operating Mode: «Server». Версия ревизии нулевая. Настройка нижних коммутаторов представлена на рис. 3.

```
Switch#en
Switch#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Switch(config)#
Switch(config)#vtp mode client
Setting device to VTP CLIENT mode.
Switch(config)#
```

Рис. 3. Перевод Switch2 и Switch3 в режим Client

На рис. 3 видно, что устройство перешло в клиентский режим. Чтобы устройства смогли обмениваться объявлениями, они должны находиться в одном домене. Если устройство не состоит ни в одном домене, то при первом полученном объявлении перейдет в объявленный домен. Если же клиент состоит в каком-то домене, то принимать объявления от других доменов не будет. Коммутатор Switch1 не состоит ни в одном домене (рис. 4).

```
Switch#show vtp status
VTP Version                : 2
Configuration Revision     : 0
Maximum VLANs supported locally : 255
Number of existing VLANs   : 5
VTP Operating Mode         : Client
VTP Domain Name            :
VTP Pruning Mode           : Disabled
VTP V2 Mode                 : Disabled
VTP Traps Generation       : Disabled
MD5 digest                  : 0x7D 0x5A 0xA6 0x0E 0x9A 0x72
0xA0 0x3A
Configuration last modified by 0.0.0.0 at 0-0-00 00:00:00
Switch#
```

Рис. 4. «Domain Name» на Switch1

Центральный коммутатор необходимо перевести в домен, согласно рис. 5.

```
Switch>en
Switch#conf t
Enter configuration commands, one per line.  End with CNTL/Z.
Switch(config)# vtp domain cisadmin.ru
Changing VTP domain name from NULL to cisadmin.ru
Switch(config)#
Switch#show vtp status
VTP Version                : 2
Configuration Revision     : 0
Maximum VLANs supported locally : 255
Number of existing VLANs   : 5
VTP Operating Mode         : Server
VTP Domain Name            : cisadmin.ru
VTP Pruning Mode           : Disabled
VTP V2 Mode                 : Disabled
VTP Traps Generation       : Disabled
MD5 digest                  : 0xA4 0xF7 0xDE 0x24 0x07 0x3D
0x91 0xD2
Configuration last modified by 0.0.0.0 at 0-0-00 00:00:00
Local updater ID is 0.0.0.0 (no valid interface found)
Switch#
```

Рис. 5. Перевод Switch3 в домен

Имя домена изменилось. Номер ревизии нулевой. Он изменится, как только будет создан VLAN. Как только создан VLAN и увеличился номер ревизии, сервер генерирует объявления. Одно из объявлений – «Summary Advertisement», или «Свободное объявление». Это объявление генерируется коммутатором раз в 5 минут, где он рассказывает об имени домена и о текущей ревизии (рис. 6).

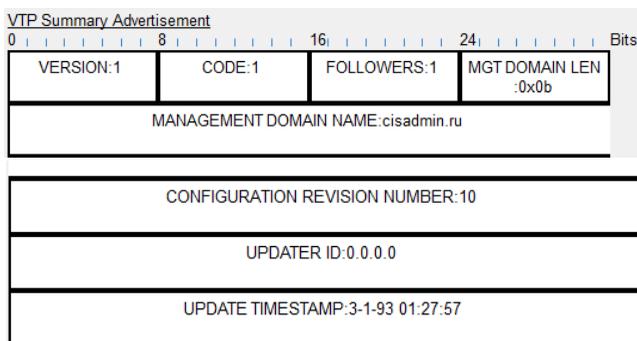


Рис. 6. «Summary Advertisement»

Важные поля:

- Management Domain Name – имя самого домена (в данном случае cisadmin.ru);
- Updater Identity – идентификатор того, кто обновляет. Как правило, записывается IP-адрес;
- Update Timestamp – время обновления;
- MD5 Digest – хеш MD5. Оно используется для проверки полномочий, т.е. если на VTP стоит пароль.

Следующее генерируемое сообщение – «Subset Advertisement», или «Подробное объявление» (рис. 7).

Протокол VTP помогает упрощать операции с VLAN'ами в организации – добавление, удаление, изменение параметров, а также оптимизирует сетевой трафик.

У данного протокола также есть минусы, связанные с безопасностью. Если в сеть добавить новый коммутатор, у которого нет новых VLAN-ов, кроме стандартных, и он не состоит ни в одном VTP-домене, но установлен номер ревизии выше, чем у домена, и порт включен в режим trunk, то подключив его в сеть, до него дойдет VTP

сообщение, откуда он узнает, что в сети есть VTP-домен. Так как он не состоял до этого в другом домене, то автоматически в него переходит. Получается, что он в том же домене, но с номером ревизии выше, следовательно, он формирует VTP-сообщение, где рассказывает об этом. Так как у нового коммутатора ревизия выше, то остальные коммутаторы синхронизируют свою базу по нему, конфигурация сервера тоже изменится, и он будет вещать именно ее, тем самым будет нарушена работоспособность всей сети. В данном случае можно домен защитить паролем, что уже затруднит нанести вред сети.

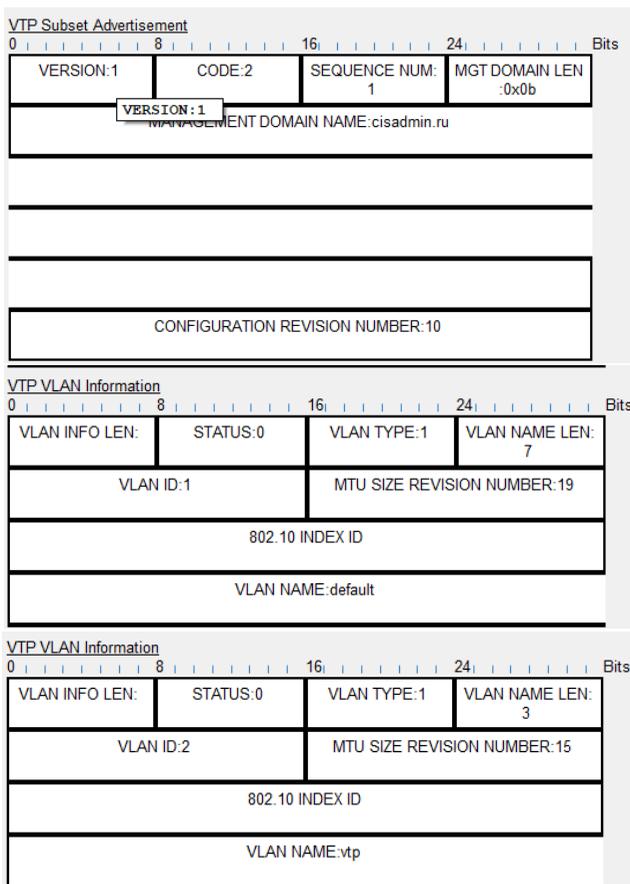


Рис. 7. «Subset Advertisement»

VTP предоставляет следующие преимущества:

- согласованность конфигурации VLAN в сети уровня 2;
- динамическое распределение добавленных VLAN по сети;
- настройка Plug-and-play при добавлении новых VLAN.

Один большой минус VTP – угроза безопасности и работоспособности сети.

Прежде чем создавать VLAN на коммутаторе, который будет распространяться через VTP, необходимо сначала настроить домен VTP.

Библиографический список

1. VLAN Trunking Protocol – Википедия [Электронный ресурс]. – URL: <https://traslated.turbopages.org>. (дата обращения: 02.06.2022).

2. VTP (протокол) – Википедия [Электронный ресурс]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/VTP_\(протокол\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/VTP_(протокол)) (дата обращения: 02.06.2022).

3. Основы компьютерных сетей. Тема № 6. Понятие VLAN, Trunk и протоколы VTP и DTP / Хабр [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/post/319080/> (дата обращения: 02.06.2022).

Сведения об авторах

Баранов Евгений Владимирович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК6-21-м, г. Пермь, e-mail: evgeniy_baranov_10@mail.ru

Фрейман Владимир Исаакович – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: vfrey@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----------|
| Секция 1. НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ | 3 |
| Мальцев И.А., Чабанов Е.А., Шмелев П.Ю. Исследование типов расчетных сеток и методов их построения | 4 |
| Квасов Н.С., Тарутин А.В. Автоматизация документооборота в строительного-монтажных организациях | 12 |
| Истомин Р.В., Тарутин А.В. Исследование процесса оценки профессиональных навыков сотрудников ИТ-компаний | 17 |
| Шмидт И.А., Жуков Д.Р., Лузянин Д.Ю., Попов И.А., Тимков А.Ю. Генерация разнотемповых временных рядов | 21 |
| Шмидт И.А., Жуков Д.Р., Лузянин Д.Ю., Попов И.А., Тимков А.Ю. Оптимизация хранения временных рядов в документоориентированных базах данных | 26 |
| Сухих И.И., Уразбахтин Л.Ф. Использование российского программного комплекса SMath Studio (Solver) для создания модуля автоматизированной системы проектирования | 33 |
| Дергунова Е.Ю., Тарутин А.В. Автоматизация прогноза поступлений налогов (сборов) в налоговой системе | 41 |
| Шмидт И.А., Артемов Е.В. Поиск аномалий во временных рядах методом TadGAN | 45 |
| Советов С.И., Тюрин С.Ф. Алгоритм подключения дополнительных транзисторов в схеме логического элемента ПЛИС | 51 |
| Колесников А.С., Дацун Н.Н. Методы и средства распознавания UML-диаграмм: систематическое картографирование литературы | 59 |
| Долгова Е.В., Сухих И.И. Рекомендательная система для абитуриентов, поступающих на электротехнический факультет Пермского национального исследовательского политехнического университета | 67 |
| Лускало А.В., Тарутин А.В. Автоматизация структурного подразделения, деятельность которого осуществляется в сфере правового регулирования | 74 |

| | |
|--|-----|
| Чернышев Н.А., Бочкарев С.В. Распределение задач внутри компании на основе оценки нейронных моделей сотрудников | 78 |
| Старков А.Е., Широков А.А. Разработка модели автоматизированной системы для поиска и обмена профессиональными компетенциями | 82 |
| Павлович Н.В. Модели и алгоритмы Streaming ETL | 87 |
| Курилов Н.Е., Новикова П.А., Борзунов Г.И. Создание дизайн-решений композиций на основе фрактальной графики | 92 |
| Васенин И.А., Тюрин С.Ф. Унитарное программирование LUT таблиц для ПЛИС | 100 |
| Полевщиков И.С., Письменный Д.А. Совершенствование алгоритмов дистанционной проверки учебных работ с применением веб-системы | 108 |
| Подлесных И.А., Бахтин В.В. Усовершенствование метода проектирования нейросетевых устройств для туманных вычислений | 115 |
| Борзунов Г.И., Новикова П.А., Крамской С.В. Использование цветовых решений росписи «Хохлома» в современных дизайн-проектах | 122 |
| Калинин В.К., Тюрин С.Ф. Автоматическое создание тестовых файлов САПР Quartus | 131 |
| Секция 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ | 139 |
| Андривеский А.В. Базовая проблематика внедрения систем искусственного интеллекта в существующие энергосистемы РФ | 140 |
| Лыкасов П.В., Лейзгольд К.А., Бочкарев С.В. Анализ методов прогнозирования отказов оборудования | 148 |
| Агапов А.Ю., Сорокина Н.В., Васильков А.В. Особенности автоматизации осушки газа | 155 |
| Самарин Д.А., Широков А.А. Модернизация ротационного таблеточного пресса Modul S фирмы GEA с применением стратегии импортозамещения электроники | 161 |

| | |
|---|-----|
| Шмелев П.Ю., Долгова Е.В., Мальцев И.А. Определение коэффициентов графа идентификации объектов для решения задач определения оптимального пути с учетом природы препятствующих объектов | 166 |
| Билоус О.А., Бельчик В.И. Синтез автоматической системы управления подачей реагента на участке флотации | 174 |
| Беляева А.М., Русских Е.Р., Федотов С.С., Сокольчик П.Ю. Применение аддитивных технологий для поддержания курсов по изучению средств автоматизации в рамках специальности «Автоматизация химико-технологических процессов и производств» | 179 |
| Иванов П.В., Шмидт И.А. Сравнение моделей хранения временных рядов | 186 |
| Щербинин Д.А., Килин Г.А. Перспективы нейросетевой диагностики элементов энергосистемы | 194 |
| Лубянский А.В., Тур А.И. Оптимальные показатели грузоподъемности среди конструкций коптеров с <i>n</i> -м количеством лучей | 198 |
| Каплина К.И., Тур А.И. Разработка системы своевременного распознавания неисправностей автомобильного двигателя с использованием технологии bluetooth и звукового датчика | 202 |
| Секция 3. ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ. ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ | 209 |
| Хорошев С.В., Кухарчук А.В. Разработка комплекса лабораторных практикумов «Влияние первичного двигателя и устройств автоматики генерирующего оборудования на переходные процессы в электроэнергетических системах» | 210 |
| Козлов Г.Ф. Обзор применяемых и перспективных методов неразрушающего контроля в электромеханике и электроэнергетике | 218 |
| Лебедева А.А., Гурко В.А. Разработка методики исследования бестрансформаторного преобразователя | 224 |
| Мироненко Я.В. Анализ методов оценки остаточного ресурса электрооборудования по результатам диагностического мониторинга | 229 |

| | |
|--|-----|
| Литвин А.С., Чабанов Е.А., Чабанова Е.В. Вибрационные методы диагностики и контроля технического состояния электрических машин переменного тока | 237 |
| Конев К.А., Чабанов Е.А. Использование линейного привода в отбойном молотке | 243 |
| Кушнин Б.М. Оценка эффективности использования возобновляемых источников энергии в системах электроснабжения с точки зрения углеродного следа | 249 |
| Быков С.Н. Применение систем накопления энергии для повышения показателей качества электрической энергии | 255 |
| Караневский С.Л., Чабанов Е.А. Анализ основных требований, предъявляемых при проектировании и работе синхронных генераторов переменного тока. Постановка задачи исследования | 263 |
| Тимофеева Г.А., Билоус О.А., Копытов Д.В. Механизмы мотивации и стимулирования энергосбережения на основе целевых показателей повышения энергоэффективности и ранжирования объектов | 268 |
| Зорихина Л.И., Ершов С.В. Применение температурно-временной суперпозиции для исследования реологических свойств электроизоляционных полимерных материалов | 274 |
| Лыкасов П.В., Мизев А.В. Оценка эффективности использования нанокompозитных материалов в электроэнергетике | 282 |
| Секция 4. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ. ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ | 289 |
| Ожгибесова А.С., Шабуров А.С. Метод автоматизации оценки угроз безопасности информации на основе нечетких когнитивных моделей | 290 |
| Ежова К.С., Фрейман А.В. Исследование функционирования и информационной безопасности телекоммуникационных сетей в среде моделирования EVE-NG | 297 |
| Иванов Г.О., Каменских А.Н., Южаков А.А. Проблема обеспечения информационной безопасности роботов при реализации законов робототехники | 306 |

| | |
|---|-----|
| Шабуров А.С., Веретенников М.А., Горева В.А., Кривошекова А.А. Архитектура защищенного рабочего места оператора персональных данных при взаимодействии с Федеральной информационной системой | 313 |
| Баранов Е.В., Фрейман В.И. Использование технологии VLAN в современных сетях | 321 |
| Мальгин В.С., Фрейман В.И. Исследование работы технологий STP, RSTP при различных показателях их характеристик | 327 |
| Нифантьев С.И., Фрейман В.И. Сравнение параметров протоколов SIP и H.323 во время сеанса связи на примере звонка между видеотерминалами | 334 |
| Каменских А.Н., Филимонов К.В. Анализ механизмов мелкозернистого управления доступом в микросервисных архитектурах | 341 |
| Кузнецов М.А., Каменских А.Н. Анализ проблем безопасности Интернета вещей: обзор | 346 |
| Макарова И.А., Тюрин С.А. Комплекс для оценки дальности связи при использовании модуляции LoRa | 354 |
| Шадрина Т.В., Кротова Е.Л. Алгоритм хранения и генерации надежных паролей | 358 |
| Зверев А.В., Фрейман В.И. Экспериментальные исследования оборудования пакетной коммутации | 364 |
| Фрейман В.И., Мальгин В.С. Исследование технологий STP, RSTP при возникновении технических сбоев | 370 |
| Соболев Н.Ю., Клейман Л.А. Исследование способов доведения НТТР-сервера в состояние отказа в обслуживании при помощи инструмента Micro Focus LoadRunner | 376 |
| Баранов Е.В., Фрейман В.И. Исследование технологии автоматического назначения VLAN в современных сетях | 384 |

Научное издание

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТЕОРИЯ,
ИНСТРУМЕНТЫ, ПРАКТИКА**

Материалы XIV Международной
интернет-конференции молодых ученых,
аспирантов, студентов
(14 ноября – 31 декабря 2022 г.)

Корректор *В.И. Булатова*

Подписано в печать 04.08.2023. Формат 60×90/16.
Усл. печ. л. 24,31. Тираж 20 экз. Заказ 170/2023.

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета.
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.
Тел. (342) 219-80-33.