

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

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Материалы всероссийской научно-технической
конференции

(г. Пермь, 23 мая 2017 г.)

В двух томах
Том 2

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета
2017

Конференция инициирована Ученым советом электротехнического факультета Пермского национального исследовательского политехнического университета и ориентирована 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:

А.М. Костыгов, профессор, канд. техн. наук;

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

А.В. Кычкин, доцент, канд. техн. наук (отв. редактор);

А.Б. Петроченков, доцент, канд. 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*

Секция III
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА

В.А. Калинин, А.Е. Терлыч

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В НЕОДНОРОДНОЙ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЕЙ

Рассматриваются аналитическое решение и математическая модель регулирования напряженности электрического поля путем градуирования изоляции кабеля с электропроводящим экраном и без него.

Ключевые слова: напряженность электрического поля, изоляция, моделирование.

V.A. Kalinin, A.E. Terlich

MODELING THE DISTRIBUTION OF THE ELECTRIC FIELD TENSION IN HETEROGENEOUS CABLE INSULATION

In this article it is considered an analytical solution and a mathematical model of regulation tension of the electric field by grading the cable insulation with an electrically conductive shield and without it.

Keywords: electric field tension, insulation, modeling.

Математическое моделирование электрических полей в неоднородной изоляции высоковольтных кабелей является весьма актуальной задачей. К сожалению, распределение электрического поля в неоднородной изоляции может быть получено аналитическими методами только для ряда простейших случаев. Поэтому важно разработать подходы к моделированию электрических полей в кабелях с неоднородной изоляцией, позволяющей регулировать распределение электрического поля. Основная задача исследования – моделирование распределения электрического поля в изоляции кабеля с электропроводящей границей между слоями разнородной изоляции.

Для решения поставленной задачи использовался ANSOFT Maxwell – программное обеспечение (ПО) для моделирования электромагнитных полей, используемое для проектирования и исследования двумерных и трехмерных моделей.

Исследование состоит из нескольких этапов:

- математическое моделирование электрического поля в изоляции кабеля без электропроводящего экрана;
- проверка адекватности модели на основе сравнения результатов с аналитическим решением задачи;
- математическое моделирование электрического поля в изоляции кабеля с электропроводящим экраном, разделяющим разнородные слои изоляции.

В среде Maxwell была построена модель кабеля с неоднородной изоляцией на напряжение 110 кВ, сечением токопроводящей жилы 240 мм^2 , с диэлектрическими проницаемостями слоев $\epsilon_1 = 4,3$ и $\epsilon_2 = 3,5$. Допустимые напряженности для обоих слоев были приняты $E_1 = E_2 = 16 \text{ кВ/мм}$. На рис. 1 представлены модель кабеля и конечно-элементное разбиение.

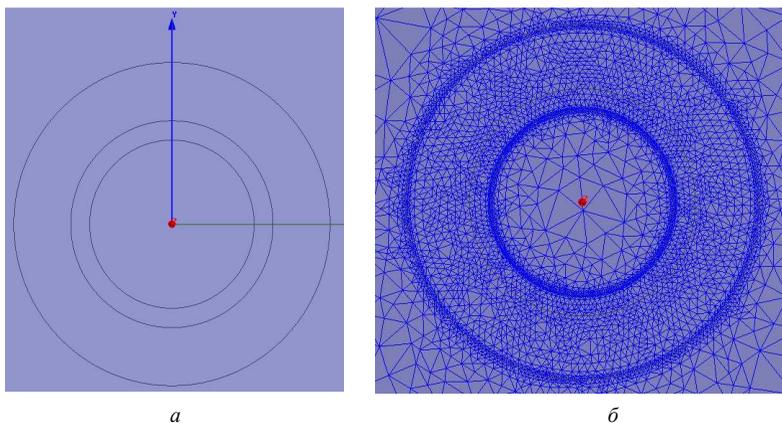


Рис. 1. Модель кабеля (а) и конечно-элементное разбиение (б)

Результат моделирования в виде поля напряженности в изоляции приведен на рис. 2, а на рис. 3 приведена зависимость напряженности поля от радиуса. Для проверки адекватности модели был проведен расчет напряженности в изоляции по известному выражению [1]:

$$E = \frac{U_0}{r\epsilon \left[\frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{r_3}{r_2} \right]},$$

где ϵ – диэлектрическая проницаемость слоя на радиусе r .

Распределение напряженности электрического поля в изоляции, полученное аналитически, приведено в таблице и на рис. 5. Из полученных результатов видно, что распределение напряженности электрического поля в неоднородной изоляции, полученное в результате моделирования и аналитически, хорошо согласуется (см. рис. 3 и 4).

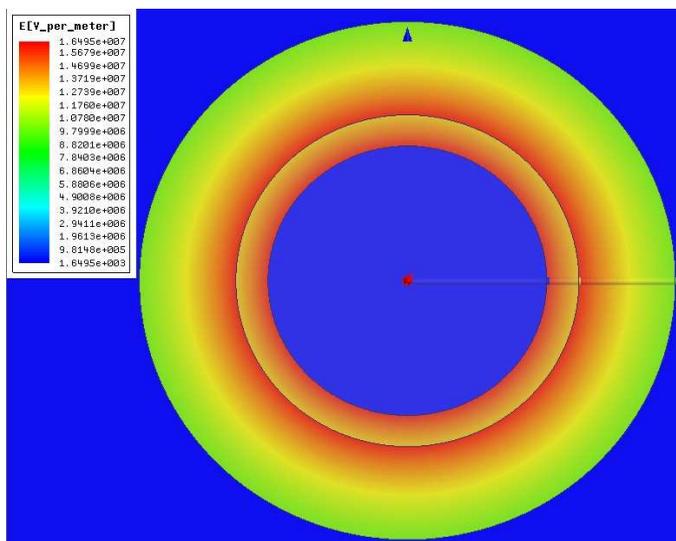


Рис. 2. Распределение напряженности в изоляции кабеля

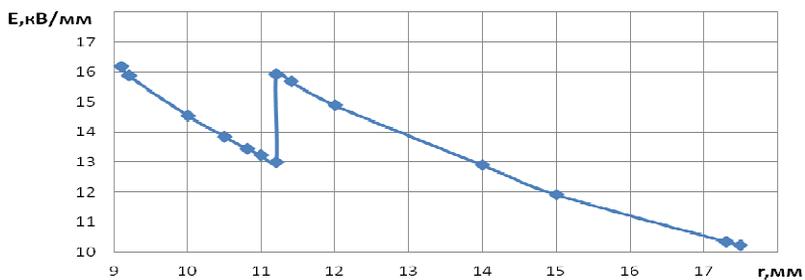


Рис. 3. Распределение напряженности электрического поля в изоляции

Результаты расчетов аналитическим методом

r , мм	9,1	9,5	10	11,19	11,19	12	13	14	15	16	17	17,49
E , кВ/мм	16	15,3	14,5	13,02	16	14,9	13,7	12,79	11,94	11,19	10,53	10,23

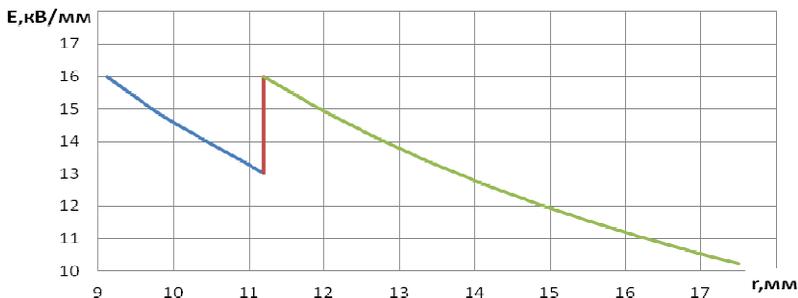


Рис. 4. Распределение напряженности электрического поля в изоляции, полученное аналитически

Наложение пластмассовой изоляции высоковольтных кабелей производят одновременно с наложением полупроводящих экранов по жиле и изоляции одновременно за один проход, что требует слаженной работы трех экструдеров и сложного формующего инструмента. Это связано с тем, что наложение изоляции в несколько проходов связано с загрязнением поверхности изоляции, что привело бы к быстрой деградации изоляции готового изделия во время эксплуатации.

Наложение неоднородной изоляции требует еще большего количества одновременно работающих экструдеров и еще более сложного и дорогостоящего формующего инструмента. Однако, если на каждый слой изоляции накладывать электропроводящий экран, то оказывается возможным производить процесс изолирования в несколько проходов. Загрязнения, попадающие на поверхность заготовки от предыдущего прохода, окажутся между проводящими экранами предыдущего и последующего слоев. Напряженность электрического поля внутри экранов равна нулю, а следовательно, частицы загрязнений не смогут стать концентраторами напряженности поля и привести к развитию процессов ионизации изоляции.

Ниже приведены результаты моделирования кабеля с электропроводящим экраном между слоями изоляции с различными диэлектрическими проницаемостями (рис. 5).

В данной работе была получена модель распределения электрического поля в изоляции кабеля с электропроводящей границей между слоями разнородной изоляции. Была проверена адекватность модели.

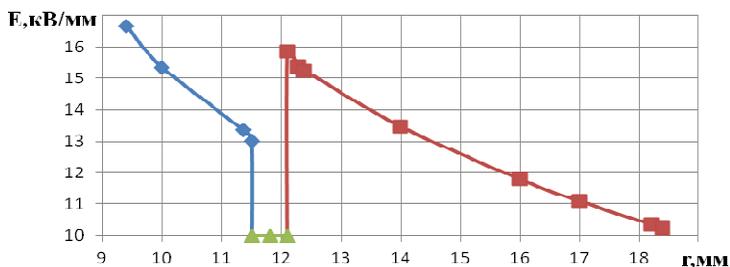


Рис. 5. Распределение напряженности электрического поля в изоляции с экраном между слоями

Предложенный способ наложения изоляции позволяет упростить технологию производства кабелей, используя наложение в несколько проходов. Более того, такой подход позволяет накладывать слои разнородной изоляции на уже существующих линиях, что приведет к существенному снижению расхода дорогостоящих полимеров в результате оптимального регулирования распределения электрических полей в изоляции.

Библиографический список

1. Ковригин Л.А. Основы кабельной техники – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2006. – 94 с.
2. Электрические кабели, провода и шнуры: справочник / сост. Н.И. Белоруссов, А.Е. Саакян, А.И. Яковлева; под ред. Н.И. Белоруссова. – М.: Энергоиздат, 1987. – 536 с.

Сведения об авторах

Калинин Владислав Александрович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. МЭ-13-16, г. Пермь, e-mail: vlad-kalinin2009@yandex.ru.

Терлыч Андрей Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: andrew@pstu.ru.

А.И. Кабирова, А.Г. Щербинин

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ КАБЕЛЯ С ЖИЛАМИ СЕКТОРНОЙ ФОРМЫ

В данной статье рассмотрено электрическое поле кабеля с жилами секторной формы. Рассматривался кабель марки АПВП с тремя алюминиевыми жилами секторной формы с изоляцией из сшитого полиэтилена с сечением сектора 240 мм^2 . Цель исследования – определить распределение потенциала и напряженности электрического поля в поперечном сечении изоляции.

Ключевые слова: сектор, напряженность, потенциал, электрическое поле.

A.I. Kabirova, A.G. Shcherbinin

ELECTRIC FIELD OF A CABLE WITH VEINS OF A SECTOR FORM

Electric field of a cable with veins of a sector form is considered in this article. The APVP brand cable with three aluminum veins of a sector form with isolation from the sewed polyethylene with the section of sector of 240 mm^2 was considered. To look with a research objective at distribution of potential and electric field strength in the cross section of isolation.

Keywords: sector, tension, potential, electric field.

На рис. 1 изображено поперечное сечение кабеля марки АПВП 3-240 на напряжение 10 кВ с тремя алюминиевыми жилами секторной формы с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Геометрические размеры кабеля: диаметр – 60,04 мм; радиус сектора – 20,64 мм; диаметр по скрутке – 50,48 мм.

В силовых кабелях на номинальное переменное напряжение 10 кВ частотой 50 Гц каждая изолированная жила экранирована, поэтому напряжение и напряженность электрического поля в изоляции определим для одной изолированной токопроводящей жилы (рис. 2). Радиусы закругления в нижней и боковых частях секторной жилы равны 3,0 мм.

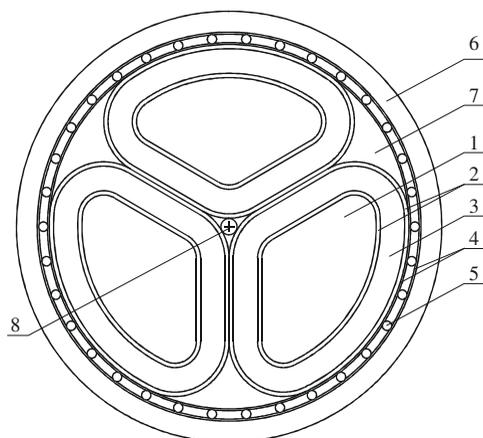


Рис. 1. Кабель марки АПВП на напряжение 10 кВ с секторными жилами:
 1 – токопроводящая жила; 2 – два слоя экрана из полупроводящего вулканизированного полиэтилена; 3 – изоляция из вулканизированного полиэтилена; 4 – обмотка из нетканого полотна; 5 – экран из медных проволок; 6 – полиэтиленовая оболочка; 7 – межфазное заполнение; 8 – дренажный проводник из меди

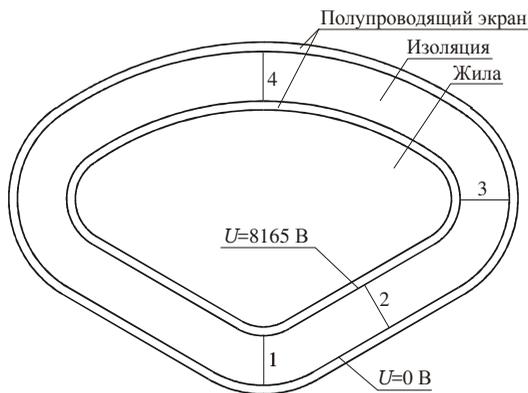


Рис. 2. Сечение изолированной секторной жилы

Поскольку градиент напряжения в изоляции вдоль кабеля равен нулю, то распределение напряжения в изоляции описывается уравнением Лапласа [1–3]:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = 0. \quad (1)$$

К внутренней поверхности изоляции прикладываем амплитудное значение напряжения, равное 8165 В, а к внешней – 0 В (см. рис. 2).

Поставленная задача решалась численно в среде инженерных расчетов ANSYS [4–6]. В среде ANSYS дифференциальное уравнение (1) решается методом конечных элементов (МКЭ) [7–9].

Результаты расчетов напряжения представлены на рис. 3. По полю напряжений построено распределение напряженности электрического поля E , (В/м), приведенное на рис. 4. Наибольшие значения напряженности электрического поля наблюдаются в области с минимальным радиусом закругления.

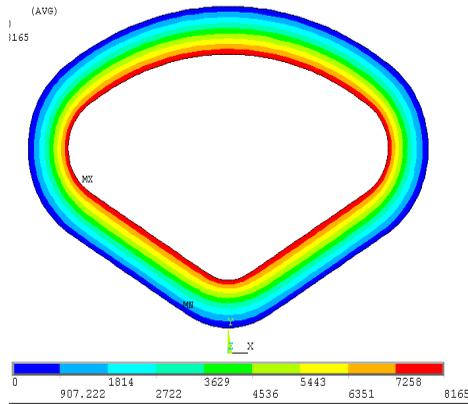


Рис. 3. Распределение потенциала в поперечном сечении изоляции

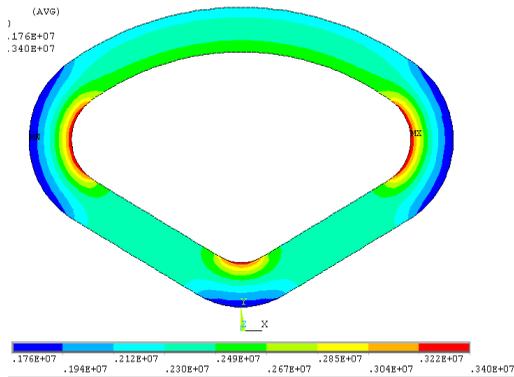


Рис. 4. Распределение напряженности электрического поля в поперечном сечении изоляции

На боковых закруглениях секторной жилы напряженность электрического поля достигает 3,40 кВ/мм (кр. 3, рис. 5), а на нижнем закруглении значение напряженности равно 3,33 кВ/мм (кр. 1, рис. 5), что на 2,1 % меньше максимального значения.

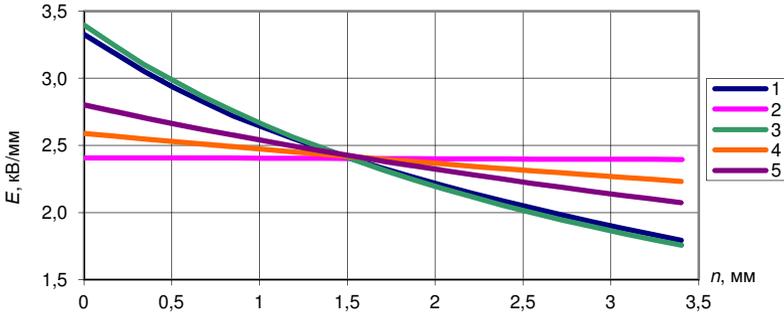


Рис. 5. Зависимости напряженности электрического поля по направлениям, указанным на рис. 1

На этом же рисунке также показано изменение напряженности электрического поля по толщине изоляции в сечениях 2 и 4. Видно, что максимальная напряженность электрического поля в этих сечениях много меньше, чем в сечениях 1 и 3. На рис. 5 приведено также распределение напряженности электрического поля по толщине изоляции круглой жилы номинальным сечением 240 мм^2 с коэффициентом уплотнения, равным 0,92 (кр. 5), рассчитанное по формуле [1]

$$E = \frac{U_0}{r \ln(r_2 / r_1)}, \quad (2)$$

где радиусы $r_1 = 9,7$ мм, $r_2 = 13,1$ мм при тех же толщинах полупроводящих экранов и изоляции, что и для кабеля с секторными жилами.

Максимальное значение напряженности для круглой жилы равно 2,8 кВ/мм, что меньше, чем у секторной жилы на боковых и нижнем радиусах закругления соответственно на 17,6 и 15,9 %.

На рис. 6 построена кривая напряженности электрического поля на нижнем закруглении секторной жилы в зависимости от радиуса закругления. Из рисунка видно, что при снижении радиуса закругления с 3,6 до 3,44 мм, т.е. при уменьшении радиуса на 4,44 %, значения напряженности на боковом и нижнем закруглении выравниваются. Отсюда можно сделать вывод, что радиус закругления

нижней части сектора в определенных пределах можно делать меньше бокового радиуса закругления, не ухудшая электрических характеристик кабеля.

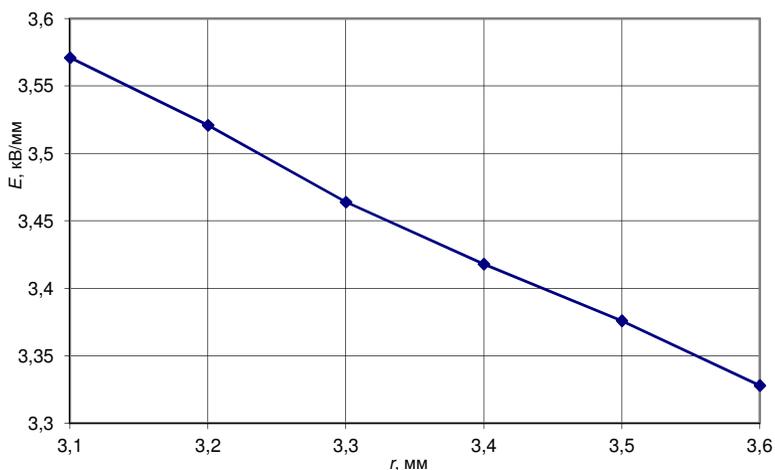


Рис. 6. Зависимость напряженности электрического поля от радиуса закругления нижней части секторной жилы

Приведенная к единице длины емкость секторной изолированной жилы, представленной на рис. 2, рассчитанная в среде ANSYS, равняется 0,400 нФ/м при заданной относительной диэлектрической проницаемости, равной 2,0. Емкость круглой изолированной жилы, определяемая по формуле [1, 2]

$$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0}{\ln(r_2/r_1)}, \quad (3)$$

равна 3,698 нФ/м, что на 7,5 % меньше, чем для секторной жилы того же сечения и одинаковых толщинах полупроводящих экранов и изоляции.

Используемый в данной работе подход позволяет определить распределение потенциала и напряженности электрического поля в кабелях различной конструкции.

Библиографический список

1. Основы кабельной техники / под ред. В.А. Привезенцева. – М.: Энергия. 1975. – 472 с.

2. Основы кабельной техники / под ред. И.Б. Пешкова. – М.: Академия, 2006. – 432 с.
3. Пименов Ю.В., Вольман В.И., Муравцов А.Д. Техническая электродинамика. – М.: Радио и связь, 2000. – 536 с.
4. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: справ. пособие. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.
5. Буль О.Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. Программа ANSYS. – М.: Академия, 2006. – 288 с.
6. Зенкевич О.С. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1979. – 541 с.
7. Зенкевич О.С. Конечные элементы и аппроксимация. – М.: Мир, 1986. – 318 с.
8. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. – 392 с.
9. Соловейчик Ю.Г., Рояк М.Э., Персова М.Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 896 с.

Сведения об авторах

Кабилова Алина Илдаровна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. МЭ-13-16, г. Пермь, e-mail: alina.linchik@mail.ru.

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

Д.Ю. Корюкин, А.Г. Щербинин

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛАХ БОЛЬШИХ СЕЧЕНИЙ

В данной статье рассмотрено математическое моделирование электромагнитных процессов в токопроводящих жилах больших сечений. Рассмотрены круглые жилы и жилы типа «MILLIKEN» кабеля марки ПвКПг. Целью исследования является определение сопротивления токопроводящих жил переменному току и коэффициента поверхностного эффекта. В данной работе получено распределение плотности тока в жилах, приведены результаты расчетов сопротивлений и коэффициентов поверхностного эффекта.

Ключевые слова: сопротивление, плотность тока, поверхностный эффект, токопроводящая жила типа «Милликен».

D.Yu. Koryukin, A.G. Shcherbinin

MATHEMATICAL MODELING OF ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN CONDUCTIVE VEINS OF LARGE CROSS SECTIONS

In this article mathematical modeling of electromagnetic processes in current-conducting conductors of large cross sections is considered. Circular conductors and conductors of the "MILLIKEN" type of the PvKPG cable are subject to consideration. The aim of the simulation is to determine the coefficient of the surface effect of the cores of the corresponding sections. In this article the current density distribution in conductors is shown, graphs of the current density dependence on the core radius are constructed, calculations are made for determining the coefficient of the surface effect.

Keywords: resistance, current density, surface effect, conductor of the «Milliken» type.

В кабельной технике для передачи энергии промышленной частоты на большие расстояния используются жилы больших сечений. Однако применение таких жил вызывает явление поверхностного эффекта. Магнитные поля, создаваемые при передаче электрического тока, являются причиной концентрации тока на внешнем участке токопроводящей жилы, в то время как на центральную часть жилы приходится меньшая нагрузка. Из-за поверхностного эффекта электрическое сопротивление проводника возрастает, что ведет к дополнительным

потерям. Применение токопроводящих жил типа «Милликен» позволяет значительно снизить неблагоприятный поверхностный эффект. Данная конструкция собирается из нескольких проводников секторного сечения (3–6) и одного круглого проводника в центре, которые формируют цилиндрическую жилу. Проводники изолированы друг от друга полупроводящей или изоляционной лентой, что приводит к снижению поверхностного эффекта. Типовая конструкция жилы типа «Милликен» изображена на рис. 1.

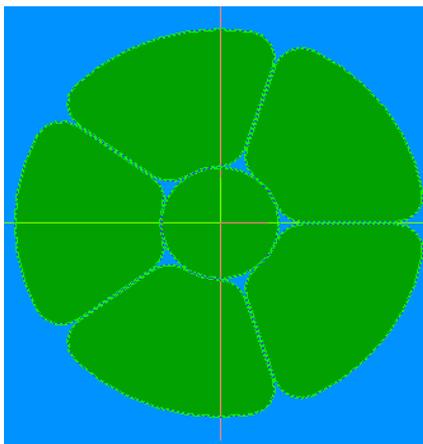


Рис. 1. Токопроводящая жила типа «Милликен»

Для определения сопротивления токопроводящих жил силовых кабелей с учетом поверхностного эффекта необходимо решать магнитодинамическую задачу [1, 2].

Для решения поставленной задачи были сделаны следующие допущения: изменение магнитного поля происходит в поперечном сечении кабеля; токи смещения не учитываются; поскольку все величины изменяются по гармоническому закону, используется метод комплексных амплитуд. Исходя из принятых допущений, дифференциальные уравнения для комплексной амплитуды векторного магнитного потенциала A для проводящей и диэлектрической среды выглядят следующим образом:

– проводящая среда:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu_a} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu_a} \frac{\partial A}{\partial y} \right) - i\omega\sigma A + J_s = 0. \quad (1)$$

– диэлектрическая среда:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu_a} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu_a} \frac{\partial A}{\partial y} \right) = 0, \quad (2)$$

где A – магнитный потенциал (в двумерной постановке направлен по координате z); μ_a – абсолютная магнитная проницаемость; σ – удельная электропроводность; J_s – плотность тока, определяемая законом Ома в дифференциальной форме, $J_s = -\sigma \nabla \phi$, величина J_s в пределах одного проводника есть величина постоянная; $J_e = -i\omega \sigma A$ – вихревая плотность тока; i – мнимая единица.

Уравнение (1) дополняется уравнением для заданной величины тока в проводнике:

$$I = \int_{S_C} J ds = \int_{S_C} (-i\omega \sigma A + J_s) ds, \quad (3)$$

где S_C – площадь поперечного сечения проводника; J – результирующая плотность тока.

Равенство нулю векторного магнитного потенциала на бесконечно удаленной границе реализуется с помощью граничного условия Робина:

$$\frac{\partial A}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} A = 0, \quad (4)$$

где ρ – расстояние от центра проводника до границы области, на которой задано условие бесконечной границы.

Сравнительный анализ по сопротивлению переменному току между круглыми жилами и жилами типа «Милликен» был проведен для медных проводников с сечениями, представленными в таблице.

Удельное электрическое сопротивление меди равняется $1,72 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

На рис. 2 и 3 представлены распределения плотности тока в круглой жиле и жиле типа «Милликен», полученные с использованием программного пакета моделирования Maxwell, построенного на основе метода конечных элементов [2, 3].

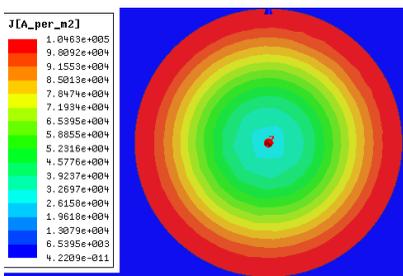


Рис. 2. Распределение плотности тока в круглой жиле с сечением 1200 мм²

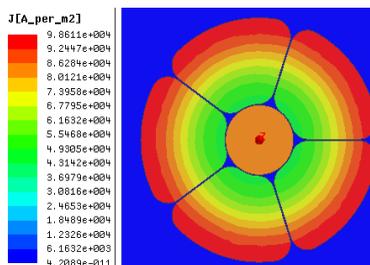


Рис. 3. Распределение плотности тока в жиле типа «Милликен» с сечением 1200 мм²

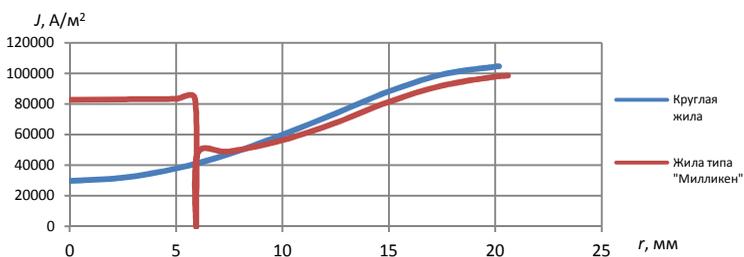


Рис. 4. Графики зависимости плотности токов от радиуса проводника в круглой жиле и жиле типа «Милликен»

Сопротивление жилы переменному току, с учетом поверхностного эффекта, определяется по формуле:

$$R = \frac{1}{I^2} \int_s \rho c \cdot j^2 dS, \quad (5)$$

где I – заданный ток; S – площадь поперечного сечения проводника; ρc – удельное электрическое сопротивление жилы; j – плотность тока.

Сопротивление жилы постоянному току вычисляется следующим образом:

$$R_0 = \frac{\rho c l}{S}, \quad (6)$$

где l – длина проводника, равная 1 м.

Тогда коэффициент поверхностного эффекта с учетом сопротивлений, определяемых по формулам (5) и (6), определяется как

$$K_{по} = \frac{R}{R_0} - 1. \quad (7)$$

Результаты вычислений переменного и постоянного сопротивлений, а также коэффициента поверхностного эффекта, полученные с использованием программного пакета Maxwell, приведены в таблице. Также в таблице представлены значения коэффициентов поверхностного эффекта для токопроводящих жил круглой формы, определенные по ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2009. Видно, что коэффициенты поверхностного эффекта для круглых токопроводящих жил, вычисленные по разным методикам, практически совпадают.

Коэффициент поверхностного эффекта для круглой жилы
и жилы типа «Милликен» разных сечений

Наименование	$S, \text{мм}^2$	800	1000	1200	1400	1600
Круглая жила	$R \cdot 10^{-5}, \text{Ом/м}$	2,40	2,04	1,80	1,63	1,51
	$R_0 \cdot 10^{-5}, \text{Ом/м}$	2,05	1,63	1,34	1,15	0,99
	Кпэ	0,17	0,25	0,34	0,42	0,51
Жила типа «Милликен»	$R \cdot 10^{-5}, \text{Ом/м}$	2,33	1,96	1,74	1,58	1,48
	$R_0 \cdot 10^{-5}, \text{Ом/м}$	2,05	1,63	1,34	1,15	0,99
	Кпэ	0,14	0,21	0,29	0,38	0,48
ГОСТ Р МЭК 60287-1-1 – 2009 (для круглых жил)	Кпэ	0,17	0,25	0,33	0,42	0,50

Как мы видим, использование жил типа «Милликен» позволяет добиться снижения поверхностного эффекта, в результате чего сопротивление проводника и потери уменьшаются.

Библиографический список

1. Григорьев А.Д. Методы вычислительной электродинамики. – М.: Физматлит, 2012. – 430 с.
2. Соловейчик Ю.Г., Рояк М.Э., Персова М.Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 895 с.
3. Бате К.Ю. Методы конечных элементов. – М.: Физматлит, 2010. – 1022 с.

Сведения об авторах

Корюкин Денис Юрьевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. МЭ-13-16, г. Пермь, e-mail: koryukin-95@mail.ru.

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

А.В. Козьминых, Н.А. Костарев, Н.М. Труфанова

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЕ

В данной работе исследован процесс теплообмена в нефтяной скважине. Численная реализация разработанной математической модели осуществлялась методом конечных элементов в среде Ansys 15. Исследовано влияние температуры забоя и дебита скважины на длину участка выпадения парафина. Построены зависимости распределения температуры на стенке НКТ по длине скважины от температуры забоя и дебита скважины.

Ключевые слова: скважина, асфальтосмолопарафиновые отложения, метод конечных элементов, температура забоя, дебит.

A.V. Kozminykh, N.A. Kostarev, N.M. Trufanova

STUDY OF HEAT AND MASS TRANSFER IN AN OIL WELL

In this paper the process of heat and mass transfer in an oil well using the finite element method in Ansys 15 was studied. The influence of the downhole temperature and flow rate on the paraffin formation site was researched. Graphs of the temperature along the length of the well depending on the downhole temperature and flow rate are represented.

Keywords: Oil well, heavy oil deposits asphaltene sediments, finite element method, downhole temperature, flow rate.

В настоящее время одной из проблем нефтепромысла является образование асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО), которые приводят к снижению производительности системы и эффективности работы насосных установок. Кроме того, накопление АСПО в проточной части оборудования и на внутренней поверхности труб приводит к уменьшению межремонтного периода работы скважин.

Решению обозначенной проблемы образования АСПО посвящены работы: Л.А. Ковригина [2], С.М. Купцова [1], Н. Тагом, М.М. Hossain [3], где температурное поле в скважине определено либо аналитически, с использованием инженерных методик или рассматривались математические модели течения и теплообмена в одномерной постановке.

В данной работе рассматривается процесс тепломассопереноса в нефтяной скважине в двумерной постановке. Рассматривалось продольное сечение скважины глубиной 2000 м. Конструкция скважины изображена на рис. 1.

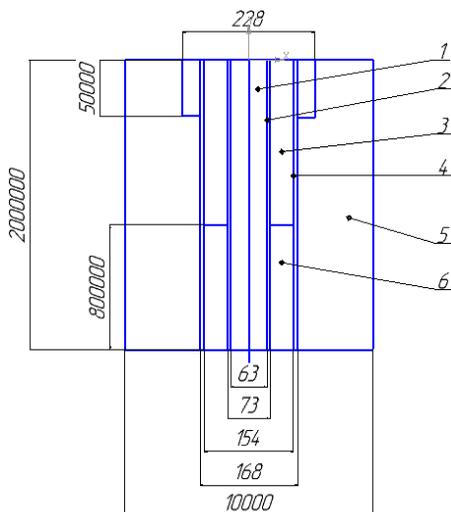


Рис. 1. Конструкция нефтяной скважины

На рис. 1 приняты следующие обозначения: 1 – нефтяная жидкость, которая добывается насосно-компрессорной трубой; 2 – насосно-компрессорная труба (НКТ); 3 – воздух в затрубном пространстве; 4 – обсадная колонна; 5 – грунт, окружающий скважину; 6 – нефтяная жидкость в затрубном пространстве.

Для исследования процесса тепломассопереноса в нефтяной скважине были поставлены следующие задачи:

1. Исследование процесса тепломассопереноса в нефтяной скважине при различной температуре забоя.
2. Исследование процесса тепломассопереноса в нефтяной скважине при различном дебите.
3. Исследование процесса тепломассопереноса в нефтяной скважине при различной величине динамического уровня.

Математическая модель движения и теплопереноса в нефтяной скважине основывается на законах сохранения массы, количества движения и энергии.

Допущения: задача плоская, стационарная, течение ламинарное, теплофизические свойства твердых материалов и нефтяной жидкости не зависят от температуры, бесконечный массив земли заменен ограниченной областью, нефтяная жидкость – однородная среда.

Влияние температуры забоя на температурное поле скважины. Рассматривались модели со следующими температурами забоя: $T_3 = 200^\circ\text{C}$, $T_3 = 150^\circ\text{C}$, $T_3 = 100^\circ\text{C}$, $T_3 = 70^\circ\text{C}$.

На рис. 2 представлено температурное поле скважины при $T_3 = 100^\circ\text{C}$. Из рисунка видно, что температура по высоте скважины изменяется от 100°C до 15°C в устье. Изменение температуры неравномерное – в центре НКТ температура всегда больше.

Распределение температуры на стенке НКТ для скважин с различной температурой забоя приведено на рис. 3. Несмотря на существенную разницу по температурам в забое, разброс температур в устье лежит в пределах 30°C .

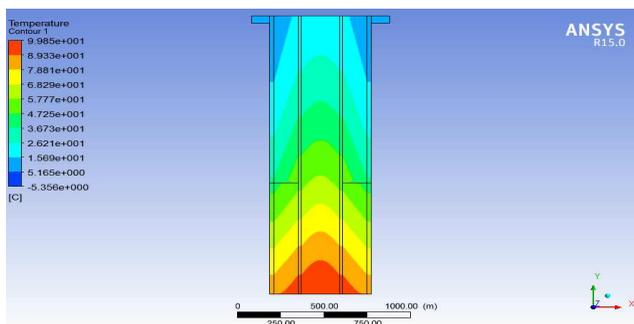


Рис. 2. Температурное поле скважины при $T_3 = 100^\circ\text{C}$

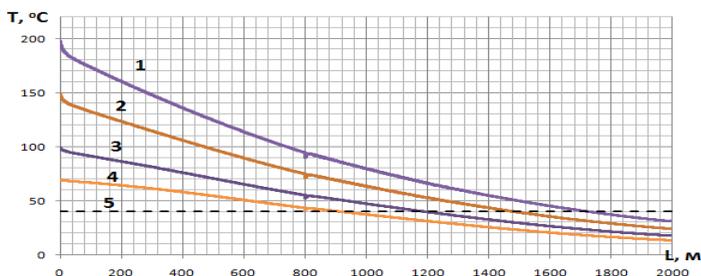


Рис. 3. Распределения температур на стенке насосно-компрессорной трубы по глубине для скважин с различной температурой забоя: 1 – $T_3 = 200^\circ\text{C}$, 2 – $T_3 = 150^\circ\text{C}$, 3 – $T_3 = 100^\circ\text{C}$, 4 – $T_3 = 79^\circ\text{C}$, 5 – температура выпадения парафина

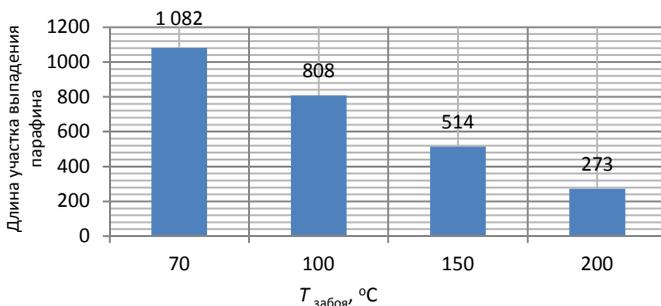


Рис. 4. Зависимость длины участка выпадения парафина от температуры забоя

На рис. 4 показано влияние температуры забоя на длину участка выпадения парафинов. По результатам исследования видно, что чем больше величина температуры забоя, тем меньше участок, на котором может откладываться парафин.

Влияние величины дебита на температурное поле скважины.

При исследовании влияния величины дебита скважины на температурное поле рассматривались следующие значения дебита: $Q = 40$ т/сут, $Q = 60$ т/сут, $Q = 80$ т/сут. На рис. 5 и 6 видно, что чем больше дебит скважины, тем меньше длина участка отложения парафинов. Данные результаты объясняются тем, что при большем дебите нагретые слои нефти интенсивнее поднимаются к устью скважины.

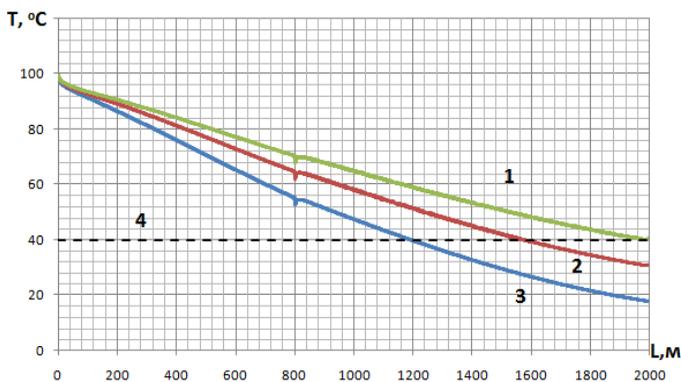


Рис. 5. Распределения температур на стенке насосно-компрессорной трубы по глубине для скважин с различным дебитом: 1 – $Q = 80$ т/сут, 2 – $Q = 60$ т/сут, 3 – $Q = 40$ т/сут, 4 – температура выпадения парафина

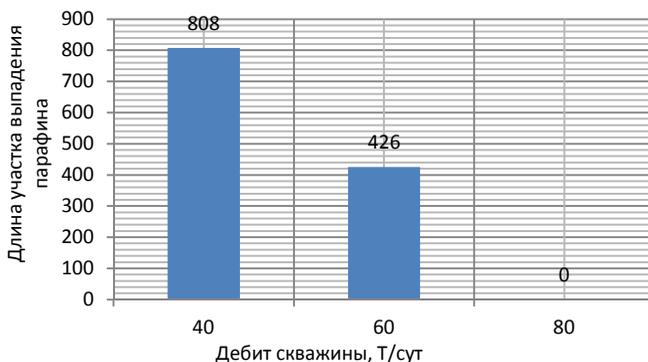


Рис. 6. Зависимость длины участка выпадения парафина от дебита скважины

Закключение. В ходе исследования было выявлено влияние температуры забоя и величины дебита на распределение температур на стенке насосно-компрессорной трубы по глубине скважины.

При температуре забоя 100 °С парафины образуются на глубине 800 м. При температуре забоя 200 °С парафины образуются на глубине 300 м. Увеличение температуры забоя в 2 раза уменьшило длину участка отложения парафинов в 2,5 раз.

При величине дебита 40 т/сут парафины образуются на глубине 800 м. При величине дебита 80 т/сут парафины образуются на глубине 50 м. Увеличение величины дебита в 2 раза уменьшило длину участка отложения парафинов в 16 раз.

Согласно полученным результатам можно сделать вывод о том, что изменение величины дебита более существенно влияет на длину участка выпадения парафинов, чем изменение температуры забоя.

Библиографический список

1. Купцов С.М. Температурное поле эксплуатационной скважины // Техника и технология добычи нефти. – 1997. – № 9. – С. 122–129.
2. Моделирование температурного поля нефтяной скважины с греющим кабелем с целью депарафинизации / Л.А. Ковригин, Н.М. Труфанова, А.А. Шиллинг, Г.П. Макиенко // Информационные управляющие системы: сб. науч. тр. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2004. – С. 196–203.

3. Tarom N., Hossain M.M. Using ANSYS to Realize a Semi-Analytical Method for Predicting Temperature Profile in Injection/Production Well // World Academy of Science, Engineering and Technology 72. – 2012. – P. 1006–1015.

Сведения об авторах

Козьминых Анна Вадимовна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. МЭ-13-1б, г. Пермь, e-mail: anna.kozminyh@yandex.ru.

Костарев Никита Александрович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-15-1м, г. Пермь, e-mail: nikostarev@gmail.com.

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.

Д.А. Мяхор

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИНСПЕКТИРОВАНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

В данной статье рассматривается возможность создания автономного летающего комплекса для диагностики линий электропередач.

Ключевые слова: автоматизация, энергетика, ЛЭП, квадрокоптер, тепловизор.

D.A. Myakhor

THE DEVELOPMENT OF THE AUTONOMOUS COMPLEX FOR INSPECTION OF THE ELECTRIC TRANSMISSION LINES

This article considers the possibility of creating an autonomous flying complex for the diagnosis of power lines.

Keywords: automation, power, power lines, quadcopter, thermal imager.

Введение. Современный промышленный мир целиком и полностью зависит от энергетики. Невозможно представить, как бы функционировали всевозможные металлургические заводы, объекты нефтяной и газовой отрасли, дата-центры, если бы не существовало электроэнергетики. Так как в наши дни электричество – весьма важный и ценный ресурс, на первый план выходит задача качественного и бесперебойного энергоснабжения таких объектов.

Обоснование необходимости работы над проектом. Одна из частых причин нарушения электроснабжения – обрыв линий электропередач (ЛЭП). Причин тому может быть несколько: увеличение механических напряжений проводов вследствие изменения температур или воздействия ветра, а также появление гололёдных образований. На данный момент для оперативного обнаружения неисправностей требуется от нескольких часов до нескольких дней, однако если речь идёт о повреждённых линиях электропередач в удалённых и труднодоступных районах, например, в болотистой или холмистой местности, время поиска проблем может быть существенно выше.

Для инспектирования линий электропередач практически не используются автоматические средства диагностики неисправностей. Основная роль в данном вопросе отведена человеку. Однако этот процесс сопряжён с большим риском для жизни, требует отменной подготовки и существенных затрат времени. При использовании неавтоматизированного труда невозможно обеспечить частую диагностику ЛЭП. Данный факт приводит к увеличению риска появления новых неисправностей. В связи с этим терпят убытки энергетические компании, а также непосредственные потребители электрической энергии. Для того чтобы этого избежать, необходим инструмент, способный ускорить и автоматизировать процесс диагностики.

Цель выполнения проекта и его назначение. Цель выполнения данной научно-исследовательской работы – создание диагностического комплекса, позволяющего автономно, быстро и максимально эффективно с воздуха производить верховой осмотр линий электропередач с целью оперативной диагностики неисправностей в труднодоступных местностях без необходимости отключения электрической энергии. Выделены четыре основных функции для данного устройства:

- 1) проверка положения (наклона) опор линий электропередач;
- 2) контроль стрелы провеса провода;
- 3) телевизионный контроль изоляторов, соединительных муфт и соединителей при помощи использования бортового тепловизора с последующим GPS-трекингом на проблемных участках (рис. 1);
- 4) оперативное обнаружение обрывов, гололёда, изморози на проводах.

Научная новизна предлагаемых в проекте решений. Для проведения верхового осмотра мы разрабатываем технологию FlyPE (рис. 2) и одноименное устройство, которое будет устанавливаться в качестве подвеса на квадрокоптер. В составе прибора будут: бортовой тепловизор, одноплатный микрокомпьютер Raspberry Pi 3, проводящий при помощи специальных алгоритмов инспектирование и анализ неисправностей линии электропередач, а также GPS-модуль для расстановки точек выявленных неисправностей на карте. Каждая точка будет содержать созданный аналитической программой комментарий о характере выявленной проблемы, степени критичности и т.д.

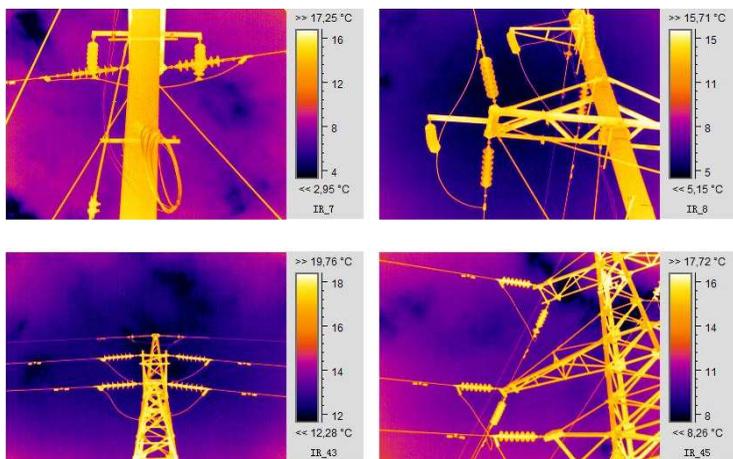


Рис. 1. Пример тепловизионной диагностики ЛЭП

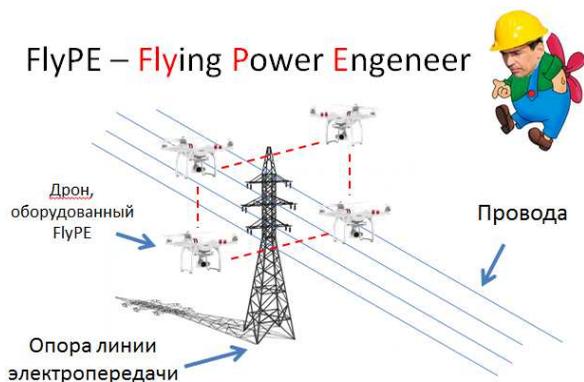


Рис. 2. Базовая концепция технологии FlyPE

Предполагаем одновременное использование 4 дронов, летящих вдоль линий электропередач (расположение вокруг проводов по вершинам квадрата). Такой подход позволит изучать линии электропередач с разных сторон, взаимодополняя картину исследования, а также увеличивая точность обнаружения неисправностей и надёжность системы.

Проблема долгосрочного автономного питания диагностического комплекса будет решена посредством использования катушек индуктивности с целью получения электроэнергии непосредственно

с линий электропередач бесконтактным способом. При этом управляющая электроника будет экранирована от электромагнитного излучения. Таким образом, задача автоматизации инспектирования высоковольтных линий электропередач предполагает решение таких новых фундаментальных проблем, как:

- 1) создание алгоритма, позволяющего на основании данных с видеокамеры и телевизора выявлять неисправности;
- 2) создание алгоритма автономного взаимодействия роя квадрокоптеров;
- 3) обеспечение продолжительной работы летающих дронов.

На текущий момент собран первый прототип устройства (рис. 3) на базе микроконтроллера ATmega328P и передатчика nRF24L01+ с целью проработки алгоритма автоматического управления дроном.

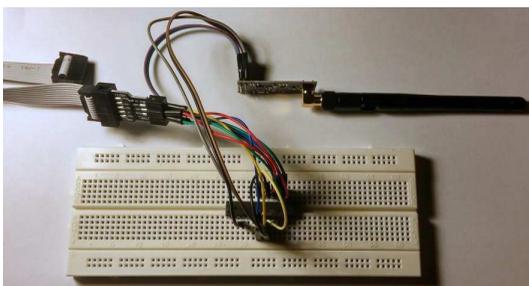


Рис. 3. Первый прототип устройства FlyPE v0.01

Имеющиеся аналоги. В настоящее время основная масса устройств, выполняющих схожие функции, – это колёсные роботы: Expliner (рис. 4), LineScout, Pena, SkySweeper. За счёт специальной формы шасси они способны удержаться на проводах, а также передвигаться вдоль ЛЭП, получая электроэнергию непосредственно из сети с помощью специальных контактных токоприёмников.

Однако такой подход решения проблемы сопряжён с некоторыми трудностями, а именно:

- 1) робот способствует появлению на линиях электропередач дополнительных механических нагрузок;
- 2) колёсный робот не проедет в местах, где присутствует обрыв провода;
- 3) переход через опоры линий электропередач (узлы соединения проводов) сопряжён с рядом трудностей;

4) скорость диагностики невелика (около 3–4 км/ч) и обусловлена невысокой скоростью перемещения колёсной платформы;

5) использование квадрокоптеров в качестве шасси для диагностического комплекса позволяет избежать представленных выше недостатков.



Рис. 4. Колёсный робот для диагностики ЛЭП Expliner

Заключение. В заключение стоит отметить, что использование летающих автономных диагностических комплексов позволит существенно упростить и ускорить процедуру выявления неисправностей линий электропередач.

Библиографический список

1. Григорьев Ю.Е. Замена деталей деревянных опор под напряжением. – М.: Энергия, 1967.
2. ГОСТ Р МЭК 60204-1-99. Безопасность электрооборудования машин и механизмов // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.
3. Правила устройства электроустановок [Электронный ресурс]. – 7-е изд. – URL: <http://www.ruscable.ru/info/pue/pue7.pdf> (дата обращения: 03.03.2017).

Сведения об авторах

Мяхор Дмитрий Александрович – магистрант Национального исследовательского Томского политехнического университета, Института кибернетики, гр. 8ЕМ61, e-mail: MyDiAl2009@gmail.com.

Д.А. Ащев, В.В. Черняев

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЦЕХА №1 ПАО «МЗ»

В данной статье рассмотрено электроснабжение цеха № 1 ПАО «МЗ». Актуальность данной статьи имеет большое значение в производственной деятельности ПАО «МЗ». Целью реконструкции цеха является производство по выпуску продукции с улучшенными характеристиками и также созданием новых рабочих мест. В статье приведены расчеты по выбору новой трансформаторной подстанции и расчет мощностей потребителей.

Ключевые слова: электроснабжение, мощность, трансформатор.

D.A. Ashchev, V.V. Chernyaev

CALCULATION OF POWER PLANT NO1 OF PJSC «MZ»

This article describes the electricity plant No. 1 of PJSC "MZ". The relevance of this article is of great importance in the production activity of PJSC "MZ". The goal of reconstruction is the production of products with improved characteristics, as well the creation of new jobs. The article presents calculations for selecting a new transformer substation and capacity calculations of consumers.

Keywords: power supply, power, transformer.

Успешность функционирования любого промышленного предприятия определяется в значительной мере эффективностью работы системы электроснабжения, что особенно актуально при значительных удельных расходах электроэнергии и высокой энергетической составляющей в структуре себестоимости продукции.

Разновидностей электрических систем существует великое множество, но все они призваны обеспечить бесперебойную и надёжную подачу электрической энергии. Причем любая система электроснабжения вне зависимости от функционального предназначения объекта должна обеспечивать требуемой мощностью потребителей, подключенных к ней. Повышения эффективности и надёжности электроснабжения невозможно достичь без тщательного анализа установленных потребителей, а также режимов их функционирования.

Для расчёта активной установленной мощности необходимо поделить с количеством потребителей и их мощностью. Пусть P_n – активная мощность единицы оборудования данного энергопотребителя (мощность линии), n – число линий. В табл. 1 представлены значения полных активных мощностей технологического оборудования.

Таблица 1

Активная мощность технологического оборудования

Название линии	Полная активная мощность линии, кВт	Количество линий
Стан труболовочильный	350	1
Гальванический участок	799	1
Стан сварки спиралешовных труб	202,2	1
Стенд для закалки полозка	116,5	1
Стенд для надевания оправок	75	1
Сварочный стенд	92	1
Приспособление для размотки ленты	10	1
Установка гидроабразивной очистки	15	1

Реактивная мощность единицы оборудования определялась по формуле

$$Q_n = P_n \cdot \operatorname{tg}(\varphi). \quad (1)$$

Для примера мощность труболовочильного стана определялась следующим образом:

$$Q_n = P_n \cdot \operatorname{tg}(\varphi) = 350 \cdot 0,4 = 140 \text{ КВар.}$$

По аналогии выполнялся расчет реактивной мощности остальных потребителей. Расчет активной и реактивной мощностей линий проводился согласно формуле

$$P_p = P_n K_c, \quad (2)$$

где P_p – расчетная активная установленная мощность группы машин, кВт; $K_c = 0,9$ – коэффициент спроса в данной группе потребителей.

$$P_p = 1659,7 \cdot 0,9 = 1493,73 \text{ кВт; } Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}(\varphi),$$

$$Q_p = 1493,73 \cdot 0,4 = 597,492 \text{ кВар.}$$

Все данные по расчёту сведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчёт трансформаторной мощности

Вид оборудования	Кол-во машин	P_n (пасп.), кВт	P_n , кВт	$\varphi, ^\circ$	Q_n , кВАр	K_c	P_p , кВт	Q_p , кВАр
Стан труболовочильный	1	350	350	0,4	140	0,9	1493,7	597,49
Гальванический участок	1	799	1149	0,4	319,6	0,9	1493,7	597,49
Стан сварки спиралешовных труб	1	202,2	1351,2	0,4	80,88	0,9	1493,7	597,49

Вид оборудования	Кол-во машин	P_d (пасп.), кВт	$P_{\text{н}}$, кВт	$\varphi, ^\circ$	$Q_{\text{н}}$, кВАр	K_C	P_p , кВт	Q_p , кВАр
Стенд для закали полозка	1	116,5	1467,7	0,4	46,6	0,9	1493,7	597,49
Стенд для надевания оправок	1	75	1542,7	0,4	30	0,9	1493,7	597,49
Сварочный стенд	1	92	1634,7	0,4	36,8	0,9	1493,7	597,49
Приспособление для размотки ленты	1	10	1644,7	0,4	4	0,9	1493,7	597,49
Установка гидроабразивной очистки	1	15	1659,7	0,4	6	0,9	1493,7	597,49

Полная трансформаторная мощность отделения определялась на основании формулы

$$S_{\Sigma} = K_m \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2}, \quad (3)$$

где K_m – коэффициент разноименности максимумов (выбирался из диапазона 0,85–1). Тогда

$$S_{\Sigma} = 0,9 \sqrt{1493,7^2 + 597,49^2} = 1448 \text{ кВА.}$$

Полученное значение необходимо было увеличить на 50 %, чтобы учесть непроизводственные нужды (20 % – на освещение цеха, на очистные сооружения, на краны и кран-балки, на вентиляцию цеха, на сварочное оборудование, компрессора и отопление, 20 % – на АБК цеха, 5 % – резерв и 5 % – для расширения производства). С учетом этого мощность, которую необходимо подать в цех, составила:

$$S_{\Sigma} = 1448 \cdot 1,5 = 2172 \text{ кВА.}$$

Для электроснабжения цеха выбраны два масляных трансформатора марок ТМГ мощностью 1600 кВА каждый.

Значения коэффициентов загрузки и перегрузки при данной мощности трансформаторов сведены в табл. 3.

Таблица 3

Технические характеристики трансформатора

Тип трансформатора	Количество трансформаторов	Мощность трансформатора, кВт	Напряжение первичной и вторичной обмоток, кВ		Общая длина, м	Ширина, м	Высота, м	Масса, т
			кВА	ВН				
ТМГ-1600	2	1600	6	0,4	1,994	1,320	2,100	3,980

После этого необходимо было выполнить расчет коэффициентов загрузки и перегрузки при выбранной трансформаторной подстанции. Коэффициент загрузки для двухтрансформаторной подстанции должен находиться в пределах до 0,7. Коэффициент перегрузки не должен превышать 1,4.

Найдем коэффициент загрузки по формуле

$$k_3 = \frac{S_{\Sigma}}{2S}, \quad (4)$$

где S – мощность трансформаторной подстанции,

$$k_3 = \frac{2172,0}{2 \cdot 1600} = 0,679.$$

Рассчитаем коэффициент перегрузки по формуле

$$k_n = \frac{S_{\Sigma}}{S}, \quad (5)$$

где S – мощность трансформаторной подстанции,

$$k_n = \frac{2172,0}{1600} = 1,357.$$

Таким образом, в статье приведены расчеты по выбору трансформаторной подстанции на основе расчетов полной активной и реактивной мощностей производства. Так же были посчитаны загрузка и перегрузка трансформаторной подстанции. Как видно из полученных данных, коэффициенты загрузки и перегрузки лежат в необходимых допусках, на основе чего можно сделать вывод, что данная пара трансформаторов ТМГ 1600кВА/6/0,4кВ полностью соответствует заданным техническим критериям и сможет выполнить свою работу даже при выходе одного трансформатора из строя.

Библиографический список

1. Правила устройства электроустановок [Электронный ресурс]. – 7-е изд. – URL: <http://www.ruscable.ru/info/pue/pue7.pdf> (дата обращения: 03.03.2017).

2. СНиП-11-01-95, Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

3. Измерения, коммерческий и технический учет электроэнергии и мощности: сб. нормат. и метод. документов. – М., 2002.

4. Варварин В.К. Выбор и наладка электрооборудования: справ. пособие. – М., 2006.

Сведения об авторах

Ашев Дмитрий Алексеевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭИ-13-16, e-mail: ada1perm.ru@mail.ru.

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

А.М. Лотохов, В.В. Черняев

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАБЕЛЯ АПВВНГ(А)-LS 10 кВ

В данной статье были рассмотрены технологический режим изготовления кабеля АПВнг(А)-LS, а также методика расчета операции скрутки жилы. Выбрали параметры технологического оборудования и инструмента.

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

A.M. Lotokhov, V.V. Chernyaev

CALCULATION OF TECHNOLOGICAL MODE OF CABLE PRODUCTION APVVNG(A)-LS 10 kV

This article was reviewed by the technological mode of manufacture of the cable APVng(A)-LS. The technique of calculation operations are twisting veins. Selected parameters of technological equipment and tools.

Keywords: cable, twisting the wires, technological mode, parameters of technological equipment.

В настоящее время на кабельных предприятиях России происходит настоящий всплеск в освоении производства силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) на низкое и среднее напряжение 1–35 кВ. Один за другим крупные предприятия России инвестируют средства в эти новые для России технологии и дорогостоящее оборудование.

Рассмотрим типовую конструкцию кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена на примере силового кабеля марки АПВнг(А)-LS [1] на напряжение 10 кВ (рисунок).

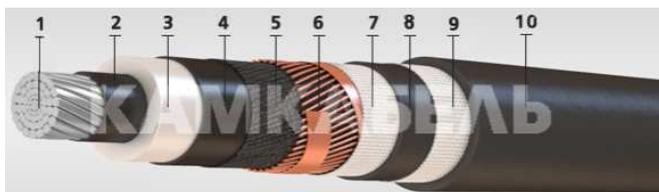


Рис. Силовой кабель марки АПВнг(А)-LS

Условные обозначения на рисунке: 1 – круглая многопроволочная уплотненная токопроводящая жила из алюминия: сечение – 50–1000 мм²; 2 – экран по жиле из экструдированного электропроводящего сшитого полиэтилена; 3 – изоляция из сшитого полиэтилена (Пв); 4 – экран по изоляции из экструдированного электропроводящего сшитого полиэтилена; 5 – разделительный слой из электропроводящей ленты; 6 – экран из медных проволок, скрепленных медной лентой; 7 – разделительный слой из стеклоленты; 8 – внутреннее заполнение из ПВХ-пластиката пониженной пожароопасности; 9 – разделительный слой из стеклоленты; 10 – оболочка из ПВХ-пластиката пониженной пожароопасности.

Данный кабель применяется для групповой прокладки в кабельных сооружениях и производственных помещениях при условии отсутствия опасности механических повреждений [2]. Допускается прокладка в сухих грунтах. Кабели марки АПвВнг-LS могут быть использованы для прокладки во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Iа.

В данной работе был рассмотрен расчет технологического режима скрутки токопроводящей жилы на примере кабеля марки АПвВнг(А)-LS 1×50. Расчет начнем с определения размера калибров [3]. Система скрутки токопроводящей жилы: 1+6+12. Расчет диаметров калибров будем выполнять по формуле (1):

$$d_{\text{кн}} = (1 + 2 \cdot n) \cdot (d + \gamma), \quad (1)$$

где n – число повивов; d – диаметр проволоки, мм; γ – плюсовой допуск на проволоку, мм.

Тогда диаметры калибров по повивам будут следующими:

$$d_{\text{к1}} = (1 + 2 \cdot 1) \cdot (1,81 + 0,02) = 5,49 \text{ – для первого повива;}$$

$$d_{\text{к2}} = (1 + 2 \cdot 2) \cdot (1,81 + 0,02) = 9,15 \text{ – для второго повива.}$$

Определим максимального допустимый шаг скрутки:

$$H_{\text{п}} = m \cdot d_{\text{п}}, \quad (2)$$

где m – практический коэффициент скрутки (кратность шага скрутки), $d_{\text{п}}$ – диаметр повива. Для сечения токопроводящей жилы 50 мм² примем: $d_{\text{п1}} = 5,43$ – диаметр первого повива; $d_{\text{п2}} = 9,05$ – диаметр второго повива; $m_1 = 30$ – практический коэффициент скрутки для первого повива; $m_2 = 15$ – практический коэффициент скрутки для второго повива.

Тогда $hp_1 = 30 \cdot 5,43 = 162,9$ мм – шаг скрутки для первого повива; $hp_2 = 15 \cdot 9,05 = 135,75$ мм – шаг скрутки для второго повива.

Далее рассчитаем длину изделия на приемном барабане L .

В техническом паспорте крутильной машины указан диапазон диаметров приемного барабана. Выбираем барабан максимальной емкости с диаметром щеки $D_{\text{щ}} = 1800$ мм. Согласно ГОСТ 5151-79 [4] диаметр шейки барабана $d_{\text{щ}} = 900$ мм, длина барабана $l = 730$ мм.

$$L = \frac{\pi \cdot l}{4 \cdot d^2} (D^2 - d_{\text{щ}}^2) \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad (3)$$

где d – диаметр изделия, наматываемого на барабан, мм; D – диаметр по намотке, мм.

$$D = D_{\text{щ}} - (4 \div 10) \cdot d = 1800 - 10 \cdot 9,05 = 1709,5 \text{ мм},$$

$$\begin{aligned} L &= \frac{\pi \cdot l}{4 \cdot d^2} (D^2 - d_{\text{щ}}^2) \cdot 10^{-3} = \\ &= \pi \cdot 730 \cdot (1709,5^2 - 900^2) \cdot 10^{-3} / (4 \cdot 9,05^2) = 14,7 \text{ км}. \end{aligned}$$

В результате выполненных расчетов был получен технологический режим изготовления кабеля. Выбраны требуемые параметры технологического оборудования, а также инструмента.

Библиографический список

1. URL: <http://www.kamkabel.ru>
2. Основы кабельной техники / под общ. ред. проф. В.А. Привенцева. – М.: Изд-во Энергия, 1967.
3. Ковригин Л.А. Основы кабельной техники: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2006. – 94 с.
4. ГОСТ 5151-79. Барабаны деревянные электрических кабелей и проводов // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

Сведения об авторах

Лотохов Артур Михайлович – студент Пермского национально-исследовательского политехнического университета, гр. МЭ-13-16, г. Пермь, e-mail: alt_59@mail.ru.

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

Ю.В. Спирин, В.В. Черняев

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАБЕЛЯ ПВПНГ(А)-HF

В данной статье рассмотрен расчёт технологического режима изготовления кабеля ПВПнг(А)-HF. Рассмотрена методика расчёта операции наложения ленты из нетканого электропроводящего полотна, наложения экрана из медной проволоки, наложения медной ленты.

Ключевые слова: кабель, экран, технологический режим, лента, полотно.

Yu.V. Spirin, V.V. Chernyaev

CALCULATION OF TECHNOLOGICAL MODE OF CABLE PRODUCTION PVPNG(A)-HF

In this article, the calculation of the technological mode of cable production Pvpng(A)-HF is considered. The technique for calculating the operation of applying a tape from a non-woven electrically conductive web, applying a screen of copper wire, and applying a copper tape is considered.

Keywords: cable, screen, technological mode, ribbon, canvas.

Кабельная промышленность развивается стремительными темпами и требует разработки новой кабельной техники. Идет рост как коммерческого, так и жилищного строительства, а это означает неизбежный рост потребления электроэнергии. В настоящее время предприятия кабельной промышленности представляют одну из динамично развивающихся инвестиционно-привлекательных отраслей машиностроения.

Присутствие кабельных изделий во всех сферах жизнедеятельности человека обуславливает ужесточение требований по их пожарной безопасности.

С выходом нормативных документов в последние годы начинается совершенствование требований к кабельным изделиям по пожарной безопасности, в том числе и требований по огнестойкости кабелей. Кабельные изделия должны подразделяться по показателям пожарной безопасности на следующие типы исполнения [1]:

– кабельные изделия, не распространяющие горение при одиночной прокладке (без индекса);

– кабельные изделия, не распространяющие горение при групповой прокладке (исполнение – нг);

– кабельные изделия, не распространяющие горение при групповой прокладке, с пониженным дымо- и газовыделением (исполнение – нг-LS), где LS – аббревиатура от LowSmoke – малодымный;

– кабельные изделия, не распространяющие горение при групповой прокладке и не выделяющие коррозионно-активных газообразных продуктов при горении и тлении (исполнение – нг-HF), где HF – аббревиатура от halogen-free – свободный от галогенов или не содержащий галогенов;

– кабельные изделия огнестойкие, не распространяющие горение при групповой прокладке, с пониженным дымо- и газовыделением. Исполнение – нг-FRLS, в нашем случае FR сокращение от fire-resistant в терминах определяется как время, в течение которого изделие сохраняет свою работоспособность, не следует путать с fire-retardants – огнеупорный, препятствующий распространению пламени;

– кабельные изделия огнестойкие, не распространяющие горение при групповой прокладке и не выделяющие коррозионно-активных газообразных продуктов при горении и тлении (исполнение – нг-FRHF);

– кабельные изделия, не распространяющие горение при групповой прокладке, с пониженным дымо- и газовыделением и с низкой токсичностью продуктов горения (исполнение – нг-LSLTx);

– кабельные изделия, не распространяющие горение при групповой прокладке, не выделяющие коррозионно-активных газообразных продуктов при горении и тлении и с низкой токсичностью продуктов горения (исполнение – нг-HFLTx).

Целью данной работы был расчет технологического режима изготовления негорючего кабеля марки (рисунок).

Рассчитаем угол обмотки заизолированной заготовки нетканым электропроводящим полотном по формуле [2]:

$$\alpha_{\phi} = \arctg \frac{h_{\phi}}{\pi \cdot d_{\text{обл.сп}}}, \quad (1)$$

где $d_{\text{обл.сп}}$ – средний диаметр обмотки, мм; h_{ϕ} – фактический шаг обмотки нетканого электропроводящего полотна (выбираем такой шаг обмотки, чтобы перекрытие лент составляло не менее 10 % от ширины ленты).

ПвПнг(А)-HF, АПвПнг(А)-HF

1 - Круглая, многопроволочная, уплотненная медная или алюминиевая жила

2 - Электропроводящий экран по жиле из сшитого ПЭ (DOW)

3 - Изоляция из сшитого ПЭ (DOW)

4 - Электропроводящий экран по изоляции из сшитого ПЭ (DOW)

5 - Подушка под экран из электропроводящей полимерной ленты

6 - Экран из медных проволок со спирально наложенной поверх медной лентой

7 - Разделительный слой в виде внутренней оболочки наложенной методом экструзии из полимерной композиции не содержащей галогенов

8 - Оболочка из полимерной композиции не содержащей галогенов

9 - Нестираемая маркировка по оболочке выполненная методом тиснения



Рис. Конструкция кабеля марки ПвПнг(А)-HF

Рассчитаем средний диаметр обмотки по формуле

$$d_{\text{обл.ср}} = d_0 + \Delta_3, \quad (2)$$

где d_0 – диаметр электропроводящего экрана по изоляции, мм; Δ_3 – толщина обмотки, мм,

$$d_{\text{обл.ср}} = 22,1 + 0,25 = 22,35 \text{ мм}, \quad \alpha_\phi = \arctg \frac{93}{3,14 \cdot 22,35} = 5296.$$

Определим расчётное значение ширины обмотки из нетканого электропроводящего полотна по формуле

$$b_p = \frac{h_\phi}{0,97} \cos \alpha_\phi, \quad (3)$$

$$b_p = \frac{93}{0,97} \cos 5296 = 57,75 \approx 58 \text{ мм}.$$

Направление скрутки – правое.

Рассчитаем максимально допустимый шаг наложения медных проволок по формуле

$$h_p = m \cdot d_{\text{об}}, \quad (4)$$

где m – коэффициент скрутки; $d_{\text{об}}$ – диаметр по обмотке, мм.

$$h_p = 18 \cdot 22,6 = 406,8.$$

Рассчитаем коэффициент укрутки медных проволок по формуле

$$K_y = 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi^2}{m^2}, \quad (5)$$

$$K_y = 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi^2}{18^2} = 1,015.$$

Направление скрутки – левое.

Рассчитаем максимально допустимый зазор между витками медной ленты по формуле

$$h_{\max} = b_{\text{л}} \cdot \cos \alpha_{\phi} + e_{\max}, \quad (6)$$

где $b_{\text{л}}$ – ширина медной ленты, мм; α_{ϕ} – угол обмотки, град; h_{\max} – максимально допустимый шаг обмотки медной лентой, мм; e_{\max} – максимально допустимый зазор между витками, мм.

Из формулы (6) выражаем e_{\max} :

$$130 = 10 \cdot \cos 59 + e_{\max}, \quad e_{\max} = 130 - 10 \cdot \cos 59, \quad e_{\max} = 124,85.$$

Направление скрутки – правое.

В результате выполненных расчётов был получен технологический режим изготовления кабеля марки ПвПнг(А)-НФ. Выбраны требуемые параметры технологического оборудования, а также инструмента.

Библиографический список

1. Ковригин Л.А. Основы кабельной техники: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2006. – 94 с.
2. Основы кабельной техники / под общ. ред. проф. В.А. Привезенцева. – М.: Энергия, 1967.
3. ТУ 16.К71-335-2004. Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10, 20, 35 кВ.

Сведения об авторах

Спирин Юрий Викторович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. МЭ-13-16, г. Пермь, e-mail: spirinyu@mail.ru.

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.

И.А. Щеголев, В.В. Черняев

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАБЕЛЯ ПВВНГ(А)-LS 10 кВ

В данной статье были рассмотрены технологический режим изготовления кабеля ПвВнг(А)-LS, а также методика расчета операции скрутки жилы. Выбрали параметры технологического оборудования и инструмента.

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

I.A. Schegolev, V.V. Chernyaev

CALCULATION OF TECHNOLOGICAL MODE OF CABLE PRODUCTION PVVNG(A)-LS 10 kV

This article was reviewed by the technological mode of manufacture of the cable PvVng(A)-LS. The technique of calculation operations are twisting veins. Selected parameters of technological equipment and tools.

Keywords: cable, twisting the wires, technological mode, parameters of technological equipment.

В настоящее время на кабельных предприятиях России происходит настоящий всплеск в освоении производства силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) на низкое и среднее напряжение 1–35 кВ. Один за другим крупные предприятия России инвестируют средства в эти новые для России технологии и дорогостоящее оборудование.

Рассмотрим типовую конструкцию кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена на примере силового кабеля марки ПвВнг(А)-LS на напряжение 10 кВ (рисунок [1]).

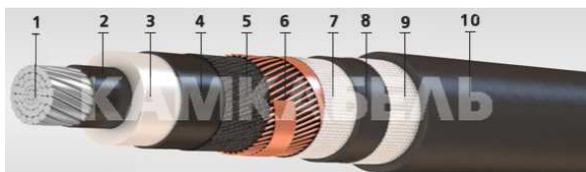


Рис. Силовой кабель марки ПвВнг(А)-LS

Условные обозначения на рис. 1: 1 – круглая многопроволочная уплотненная токопроводящая жила из меди: сечение – 50–1000 мм²; 2 – экран по жиле из экструдированного электропроводящего сшитого полиэтилена; 3 – изоляция из сшитого полиэтилена (Пв); 4 – экран по изоляции из экструдированного электропроводящего сшитого полиэтилена; 5 – разделительный слой из электропроводящей ленты; 6 – экран из медных проволок, скрепленных медной лентой; 7 – разделительный слой из стеклоленты; 8 – внутреннее заполнение из ПВХ-пластиката пониженной пожароопасности; 9 – разделительный слой из стеклоленты; 10 – оболочка из ПВХ-пластиката пониженной пожароопасности [2].

Область применения. Применяется для групповой прокладки в кабельных сооружениях и производственных помещениях при условии отсутствия опасности механических повреждений.

Допускается прокладка в сухих грунтах.

Кабели марки ПвВнг-LS могут быть использованы для прокладки во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Iа [2].

В данной работе был рассмотрен расчет технологического режима скрутки токопроводящей жилы, для этого рассчитываем:

1) размер калибра [3]:

$$d_k = d_n \pm \Delta, \text{ мм}, \quad (1)$$

где Δ – плюсовой допуск на проволоку, мм,

$$d_k = 1,55 + 0,8 = 2,35 \text{ мм};$$

2) максимально допустимый шаг скрутки [3]:

$$h_p = m \cdot d_n, \quad (2)$$

где m – практический коэффициент скрутки (кратность шага скрутки),

$$h_p = 20 \cdot 1,55 = 31 \text{ мм};$$

3) выберем машину для скрутки [3].

Машина D631 с диапазоном шагов (6–100) мм, максимальная линейная скорость 300 м/мин, число оборотов 6500 об/мин;

4) рассчитаем длину изделия на приемном барабане [3].

В техническом паспорте крутильной машины указан диапазон диаметров приемного барабана. Выбираем размер максимальной емкости $D_{\text{ш}} = 630$ мм.

По ГОСТ 5151-79 диаметр шейки барабана $d_{\text{ш}} = 224$ мм, длина катушки $l = 400$ мм,

$$L = \frac{\pi \cdot l}{4 \cdot d^2} (D^2 - d_{\text{ш}}^2) \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

где d – диаметр изделия, наматываемого на барабан (катушку), мм
 D – диаметр по намотке, мм.

$$D = D_{\text{ш}} - (4 \div 10) \cdot d = 630 - 4 \cdot 1,55 = 623,8 \text{ мм},$$

$$L = \frac{\pi \cdot l}{4 \cdot d^2} (D^2 - d_{\text{ш}}^2) \cdot 10^{-3} =$$

$$= \pi \cdot 400(623,8^2 - 500^2)10^{-3} / (4 \cdot 1,55^2) = 44,3 \text{ км}.$$

В результате выполненных расчетов был получен технологический режим изготовления кабеля. Выбраны требуемые параметры технологического оборудования, а также инструмента.

Библиографический список

1. Основы кабельной техники / под общ. ред. проф. В.А. Привезенцева. – М.: Энергия, 1967.
2. URL: <http://www.kamkabel.ru>
3. Ковригин Л.А. Основы кабельной техники: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2006. – 94 с.
4. ГОСТ 5151-79. Барабаны деревянные электрических кабелей и проводов.

Сведения об авторах

Щеголев Иван Александрович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. МЭ-13-1б, г. Пермь, e-mail: ivan.shegolev2010@mail.ru

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.

И.Е. Солдатова, В.В.Черняев

РАССЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОБЩЕЙ СКРУТКИ ИЗОЛИРОВАННЫХ ЖИЛ МАРКИ КАБЕЛЯ АВВГ

В статье рассмотрен расчет технологического режима общей скрутки изолированных жил кабеля марки АВВГ. Расчет произведен для четырех марко-размеров: 3×95; 3×120; 3×150; 3×180.

Ключевые слова: кабель, секторные жилы, скрутка, технологический режим.

I.E. Soldatova, V.V.Chernyaev

CALCULATION TECHNOLOGICHESKOGO OF THE COMMON TWISTING OF THE ISOLATED TENDONS OF CABLE BRANDS AVVG

This article describes the calculation of technological mode of the total twisting of the isolated tendons of cable brands AVVG. The calculation is for the four sizes: 3×95; 3×120; 3×150; 3×180.

Keywords: cable, core sector, twisting, technological mode.

На рынке кабельной промышленности высокую долю занимают силовые кабели, среди которых кабель АВВГ, который довольно полно отвечает требованиям современного потребителя. Благодаря своей невысокой цене и в то же время хорошему качеству данное изделие пользуется популярностью при электромонтажных работах не только на производстве, но и в быту.

Кабель АВВГ применяется для передачи и распределения электрической энергии в стационарных установках при одиночной прокладке в кабельных сооружениях и производственных помещениях [1].

Постановка задачи. На рисунке изображена конструкция кабеля марки АВВГ-1 [2]. Требуется скрутить 3 жилы, для этого была выбрана машина типа DrumTwister. Скрутка осуществляется за счет вращения тягового и приемного устройств вокруг оси скручиваемого изделия. Исходные данные представлены в табл. 1. Расчет приведен для маркоразмера 3×120 мм.

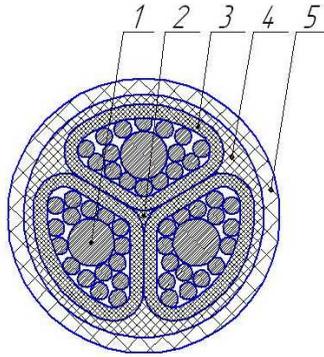


Рис. Конструкция кабеля АВВГ: 1 – токопроводящая жила, 2 – кордель; 3 – изоляция из ПВХ, 4 – внутренняя оболочка из ПВХ, 5 – наружная оболочка из ПВХ

Таблица 1

Исходные данные

Марка кабеля	Марко-размер	Стандарт на кабель	Высота изолированного сектора, мм	Ширина изолированного сектора, мм	Диаметр по скрутке, мм
АВВГ-1	3×95	ТУ 16-705.499-2010	12,8	19,49	27,008
	3×120		14,03	21,53	29,603
	3×150		15,66	24,1	33,043
	3×185		17,56	27,23	37,052

Диаметр входного, промежуточного и выходного калибров для скрутки токопроводящих жил:

$$D_{к1} = D_{ск} + 0,5, \quad D_{к2} = D_{ск} + 2, \\ D_{к3} = D_{ск}, \quad (1)$$

где $D_{ск}$ – диаметр по скрутке изолированных токопроводящих жил, мм.

Диаметры калибров для маркоразмера 3×120 следующие:

$$D_{к1} = 29,603 + 0,5 = 30,103 \text{ мм}, \quad D_{к2} = 29,603 + 0,2 = 29,803 \text{ мм}, \\ D_{к3} = 29,603 \text{ мм}.$$

Расчет шага скрутки:

$$H = m \cdot D_{ск}, \quad (2)$$

где $m = 50$ – значение коэффициента скрутки; $D_{ск}$ – диаметр по скрутке.

$$H = 50 \cdot 29,603 = 1481 \text{ мм}.$$

Расчет теоретического коэффициента скрутки:

$$m_T = m_{cp} \frac{D_{ск}}{D_{ск} - (h_c + 2\Delta_\phi)}, \quad (3)$$

$$m_T = 50 \frac{29,603}{29,603 - (10,83 + 2 \cdot 1,6)} = 95,045.$$

Расчет коэффициента укрутки жил в кабель:

$$k_y = 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi^2}{m_T^2}, \quad (4)$$

$$k_y = 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi^2}{95,045^2} = 1,00055.$$

Расчет линейной скорости:

$$V_n = n \cdot H, \quad (5)$$

где H – шаг скрутки; n – число оборотов крутильной части.

$$V_n = 80 \cdot 1,481 = 118,48 \text{ м/мин.}$$

Максимальная паспортная скорость машины общей скрутки – 70 м/мин, исходя из чего корректируем расчетную линейную скорость машины.

$$n = \frac{V}{h} = \frac{70}{1,481} = 47,2 \approx 47 \text{ об/мин, } V_n = 47 \cdot 1,481 = 69,607 \text{ м/мин.}$$

В качестве отдающей тары выбираю стальной барабан с диаметром щеки 2200 мм, диаметром шейки 1280 мм, длиной шейки 1000 мм.

Расчет длины кабеля на отдающем барабане:

$$L = \frac{\pi \cdot l}{4(h_c \cdot b)} (D^2 - d_{ш}^2) \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

где l – длина шейки барабана, мм; b – ширина изолированного сектора, мм; h – высота изолированного сектора, мм; D – диаметр щеки барабана, D_1 – диаметр по намотке, мм; d – диаметр шейки барабана, мм.

$$D_1 = D_{ш} - 4 \cdot b, \quad (7)$$

$$D_1 = 2200 - 4 \cdot 21,53 = 2113,88 \text{ мм,}$$

$$L = \frac{\pi \cdot 1000}{4 \cdot 14,03 \cdot 21,53} (2113,88^2 - 1280^2) \cdot 10^{-3} = 7354,751 \text{ м.}$$

Согласуем длину на отдающем барабане, она должна быть кратна строительной длине:

$$L'_{\text{ст}} = \Pi \cdot L_{\text{ст}} \quad (8)$$

где Π – процент отходов на последующих операциях; $L_{\text{ст}}$ – строительная длина кабеля маркоразмера $L_{\text{ст}} = 300$ м;

$$L'_{\text{ст}} = 300 \left(1 + \left(\frac{2,50}{100} \right) \right) = 307,5.$$

Число строительных длин на отдающем барабане:

$$n = \frac{7354,751}{307,5} = 23,918 \approx 23.$$

Уточненная длина кабеля на отдающем барабане:

$$L' = 23 \cdot 307,5 = 7072,500 \text{ м.}$$

В качестве отдающей тары для корделя выбрана металлическая катушка с диаметром шейки 630 мм, диаметром шейки 250 мм, длиной шейки 400 мм.

Расчет длины профиля на отдающей катушке:

$$L = \frac{\pi \cdot l}{4d^2} (D^2 - d_{\text{ш}}^2) 10^{-3},$$

где l – длина шейки катушки, мм; d – диаметр корделя, мм; D_1 – диаметр по намотке, мм;

$$D_1 = D_{\text{ш}} - 4 \cdot d, \quad D_1 = 630 - 4 \cdot 1,742 = 623,033 \text{ мм,}$$

$$L = \frac{\pi \cdot 400}{4 \cdot 1,742^2} (623,033^2 - 250^2) 10^{-3} = 33709,045 \text{ м.}$$

Число строительных длин на отдающей катушке:

$$n = \frac{33709,045}{307,5} = 109,623 \approx 109.$$

Уточненная длина корделя на отдающей катушке:

$$L' = 109 \cdot 307,5 = 33517,500 \text{ м.}$$

В качестве приемной тары выбран стальной барабан с диаметром шейки 2200 мм, диаметром шейки 1280 мм, длиной шейки 1000 мм.

Расчет длины кабеля на приемном барабане:

$$L = \frac{\pi \cdot l}{4 \cdot D_{\text{ск}}^2} (D_1^2 - d_{\text{ш}}^2) \cdot 10^{-3}, \quad (9)$$

$$D_1 = D_{\text{ш}} - 4 \cdot D_{\text{ск}}, \quad (10)$$

где $D_{\text{ск}}$ – диаметр по скрученным изолированным токопроводящим жилам, мм.

$$D_1 = 2200 - 4 \cdot 29,603 = 2081,587 \text{ мм},$$

$$L = \frac{\pi \cdot 1000}{4 \cdot 29,603^2} (2081,587^2 - 1280^2) 10^{-3} = 2413,706 \text{ м}.$$

Число строительных длин на приемном барабане:

$$n = \frac{2413,706}{307,5} = 7,849 \approx 7.$$

Уточненная длина кабеля на приемном барабане:

$$L' = 7 \cdot 307,5 = 2152,500 \text{ м}.$$

Технологическая карта общей скрутки приведена в табл. 2.

Таблица 2

Технологическая карта общей скрутки

Сечение, мм ²	Скрутка						Длина изделия на отдающей катушке, м	Длина изделия на приемном барабане, м
	Диаметр входного калибра, мм	Диаметр промежуточного калибра, мм	Диаметр выходного калибра, мм	Шаг скрутки, мм	Частота вращения фонаря, об/мин	Линейная скорость, м/мин		
3x95	27,508	27,208	27,008	1351	51	68,901	37,208	2767,50
3x120	30,103	29,803	29,603	1481	47	69,607	33,518	2152,50
3x150	33,543	33,243	33,043	1653	42	69,426	28,598	1845,00
3x185	37,552	37,252	37,052	1853	37	68,561	26,138	1230,00

Секторные токопроводящие жилы для снижения механических напряжений внутри изоляции рекомендуется скручивать предварительно подкрученными. В результате выполненных расчетов был получен технологический режим общей скрутки изолированных жил марки кабеля АВВГ. Скрутку производим на современном оборудовании.

Библиографический список

1. Ковригин Л.А. Основы кабельной техники: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2006. – 94 с.
2. ТУ 16-705.499-2010. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на напряжение 0,66; 1 и 3 кВ.

3. ГОСТ 22483-77 ГОСТ 22483-77. Жилы токопроводящие медные и алюминиевые для кабелей, проводов и шнуров. Основные параметры. Технические требования.

Сведения об авторах

Солдатова Ирина Евгеньевна – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. МЭ-13-16, г. Пермь, e-mail: irises.soldat@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.

А.В. Шаврин, В.В. Черняев

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАБЕЛЯ ВВГЭНГ(А) – 0,6 кВ

В данной статье был рассмотрен технологический режим изготовления кабеля ВВГЭнг(А). Рассмотрена методика расчета операции изолирования токопроводящих жил. Выбрали параметры технологического оборудования и инструмента.

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

A.V. Shavrin, V.V. Chernyaev

CALCULATION OF TECHNOLOGICAL MODE OF CABLE PRODUCTION VVGEng(A) – 0,6 kV

This article was reviewed by the technological mode of manufacture of the cable VVGEng(A). The techniques of calculation operations are isolation veins. Selected parameters of technological equipment and tools.

Keywords: cable, isolation veins, technological mode, parameters of technological equipment.

Статистические данные о пожарах, произошедших при эксплуатации электрооборудования и электроустановок в России, свидетельствуют о том, что 60 % из них приходится на кабельные изделия. Главная причина такого положения в том, что кабельные коммуникации имеют значительную протяженность и высокую концентрацию горючих изоляционных материалов, что существенно повышает риск возникновения аварийного режима работы, приводящего к пожару [1]. Поэтому расчет технологического режима изготовления не распространяющих горения кабелей является актуальной задачей.

Для оценки пожарной безопасности кабелей используют следующие основные показатели нераспространения горения:

- оптическая плотность дымообразования;
- коррозионная активность продуктов газовой выделения;
- токсичность продуктов газовой выделения;
- огнестойкость.

Один за другим крупные предприятия России инвестируют средства в эти необходимые для России технологии и дорогостоящее оборудование.

Рассмотрим типовую конструкцию кабеля с изоляцией из поливинилхлорида на примере силового кабеля марки ВВГЭнг(А) [2] на напряжение 0,6 кВ (рис. 1).

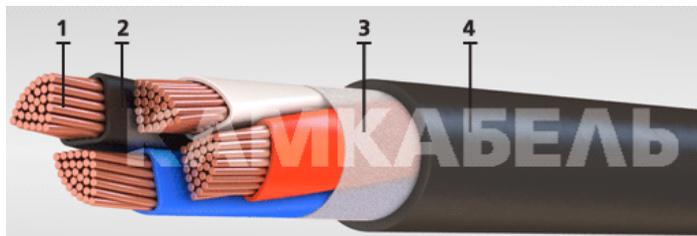


Рис. 1. Силовой кабель марки ВВГЭнг(А)

Элементы конструкции: 1 – медная токопроводящая жил; 2 – изоляция из ПВХ-пластиката с пониженным дымогазовыделением; 3 – обмотка из нетканого полотна; 4 – экран из медных проволок из спирально наложенной медной ленты и оболочка из ПВХ-пластиката с пониженным дымогазовыделением.

Область применения. Силовые кабели предназначены для передачи и распределения электрической энергии в стационарных установках на номинальное переменное напряжение 0,66 кВ частоты 50 Гц или на постоянное напряжение в 2,4 раза больше переменного напряжения. Кабели изготавливаются для эксплуатации в районах с умеренным, холодным и тропическим климатом. Кабели предназначены для эксплуатации на суше, реках и озерах на высотах до 4300 м над уровнем моря.

В данной работе был рассмотрен расчет технологического режима изолирования токопроводящей жилы [3] сечением $2,5 \text{ мм}^2$. Для этого рассчитываем:

1. Размер формующего инструмента для наложения изоляции:

Внутренний диаметр дорна: $d_d = D_2 + 0,2$, где $D_2 = 1,73$ – диаметр жилы, мм, 0,2 – допуск. Тогда $d_d = 1,73 + 0,2 = 1,93$ мм.

Диаметр цилиндрической части матрицы: $D_m = D_{из}$, где $D_{из} = 2,8$ мм – диаметр заизолированной жилы, т.е. $D_m = 2,8$ мм.

Длина цилиндрической части матрицы принимается:

$$L_M = (4 \div 6) \cdot \Delta_{из}, L_M = 6 \cdot 0,55 = 3,3 \text{ мм.}$$

Длина цилиндрической части (носика) дорна: $L_d = L_M + 3$.

$$L_d = 3,3 + 3 = 6,3 \text{ мм.}$$

Угол конусной части дорна – $\alpha = 60^\circ$; угол конусной части матрицы – $\beta = 65^\circ$.

Все выполненные расчеты сведем в табл. 1.

Таблица 1

Размеры формующего инструмента для наложения изоляции

Размеры формующе-го инструмента. марко-размера	D_d , мм	D_M , мм	L_M , мм	L_d , мм	α , °	β , °
2×1,5	1,55	2,5	3,3	6,3	60	65
2×2,5	1,93	2,8	3,3	6,3	60	65
3×1,5	1,55	2,5	3,3	6,3	60	65
3×2,5	1,93	2,8	3,3	6,3	60	65

Расчет скорости наложения изоляции выполним по формуле

$$V_d = k \frac{Q}{P},$$

где Q – производительность экструдера, кг/мин; P – расход материала изоляции, кг/м; k – коэффициент запаса.

$$V_{л} = 0,7 \cdot \frac{9,333}{0,00739} = 884,1 \text{ м/мин.}$$

Согласно паспорту на оборудование максимальная скорость линии изолирования составляет 300 м/мин. Соответственно, принимаем скорость изолирования 300 м/мин.

Далее определим длину заготовки на отдающем барабане. В качестве отдающей тары принимаем барабан с диаметром шейки 630 мм [4].

Длина ТПЖ на отдающем барабане определяется по формуле:

$$L_{отд} = \frac{\pi \cdot l_{ш}}{4 \cdot d^2} (D_n^2 - d_{ш}^2) 10^{-3},$$

где $l = 400$ мм – длина шейки; $d = 1,73$ мм – диаметр токопроводящей жилы; D_n – диаметр по намотке: $D_n = D_{ш} - \Delta$, мм, где Δ – недомотка, $\Delta = (4 \dots 10)d_{из}$, мм; $D_{ш} = 630$ мм – диаметр шейки; $d_{ш} = 355$ мм – диаметр шейки барабана.

Тогда

$$L_{\text{отд}} = \frac{\pi \cdot 400}{4 \cdot 1,73^2} ((630 - 4 \cdot 1,73)^2 - 355^2) \cdot 10^{-3} = 27\,512,767 \text{ м.}$$

Согласуем длину на отдающем барабане, она должна быть кратна строительной длине:

$$L'_{\text{ст}} = \Pi \cdot L_{\text{ст}},$$

где Π – процент отходов на последующих операциях; $L_{\text{ст}} = 450$ м – строительная длина кабеля маркоразмера 3×2,5;

$$L'_{\text{ст}} = 450 \cdot 1 \cdot \left(1 + \left(\frac{0,6 + 0,5 + 0,2 + 0,3}{100} \right) \right) = 458 \text{ м.}$$

Число строительных длин на отдающем барабане: $n = \frac{L_{\text{отд}}}{L_{\text{ст}}}$,

$$n = \frac{27512,767}{458} = 60,07 \approx 61.$$

Уточнённая длина ТПЖ на отдающем барабане: $L_{\text{отд}} = n \cdot L_{\text{ст}}$,
 $L_{\text{отд}} = 61 \cdot 450 = 27\,450$ м.

Далее определяем длину заизолированной жилы на приемном барабане. В качестве приемной тары принимаем барабан с диаметром щеки 1250 мм.

Длина ТПЖ на приемном барабане определялась по формуле:

$$L_{\text{отд}} = \frac{\pi \cdot l_{\text{ш}}}{4 \cdot d_{\text{скр}}^2} (D_{\text{н}}^2 - d_{\text{ш}}^2) 10^{-3},$$

где $l_{\text{ш}} = 800$ мм – длина шейки барабана; $d = 1,73$ мм – диаметр по изоляции; $D_{\text{н}}$ – диаметр по намотке, мм. Определялся по формуле $D_{\text{н}} = D_{\text{щ}} - \Delta$ мм, где $\Delta = (4 \dots 10)d_{\text{скр}}$ – недомотка, мм; $D_{\text{щ}} = 1250$ мм – диаметр щеки; $d_{\text{ш}} = 800$ мм – диаметр шейки.

$$L_{\text{пр}} = \frac{\pi \cdot 800}{4 \cdot 1,73^2} ((1250 - 4 \cdot 1,73)^2 - 800^2) 10^{-3} = 189973,491 \text{ м.}$$

Согласуем длину на приемном барабане (должна быть кратна строительной длине):

$$L'_{\text{ст}} = \Pi \cdot L_{\text{ст}},$$

где Π – процент отходов на последующих операциях, $L_{\text{ст}} = 450$ м – строительная длина кабеля маркоразмера 3×2,5.

$$L'_{\text{ст}} = 450 \cdot 1 \cdot \left(1 + \left(\frac{0,6 + 0,5 + 0,2 + 0,3}{100} \right) \right) = 458 \text{ м.}$$

Число строительных длин на приемном барабане:

$$n = \frac{L_{\text{отд}}}{L_{\text{ст}}}, \quad n = \frac{189973,491}{458} = 414,78 \approx 415.$$

Уточнённая длина ТПЖ на приемном барабане: $L_{\text{отд}} = n \cdot L_{\text{ст}}$,

$$L_{\text{отд}} = 415 \times 450 = 186\,750 \text{ м.}$$

Полученные значения длин на барабанах сведем в табл. 2.

Таблица 2

Длина полуфабриката на отдающем и приемном барабанах

Маркоразмер	Линейная скорость, м/мин	Длина на отдающем барабане, м	Длина на приемном барабане, м
2×1,5	300	45000	313730
2×2,5	300	27450	186750
3×1,5	300	45000	313730
3×2,5	300	27450	186750

Вычисленные длины охлаждающих ванн в зависимости от марко-размера представлены в табл. 3.

Таблица 3

Длина охлаждающей ванны

Маркоразмер	Общая длина ванны, м
2×1,5	5,856
2×2,5	8,672
3×1,5	5,856
3×2,5	8,672

Для наложения изоляции принимаем длину ванны, равную 9 м.

В результате выполненных расчетов был получен технологический режим изготовления кабеля. Выбраны требуемые параметры технологического оборудования, а также инструмента.

Библиографический список

1. Основы кабельной техники / под общ. ред. проф. В.А. Привенцева. – М.: Энергия, 1967.

2. URL: <http://www.kamkabel.ru>
3. Ковригин Л.А. Основы кабельной техники: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2006. – 94 с.
4. ГОСТ 5151-79. Барабаны деревянные электрических кабелей и проводов.

Сведения об авторах

Шаврин Александр Владимирович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. МЭ-13-16, г. Пермь, e-mail: schavrin.alexander@yandex.ru

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.

А.А. Овинов, А.Е. Терлыч

СОВРЕМЕННЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ КАБЕЛИ. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОГНЕСТОЙКИХ КОНТРОЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ

В данной статье рассмотрены конструкции кабелей по типам пожарной безопасности, а также номенклатура контрольных огнестойких кабелей.

Ключевые слова: тенденция, развитие, контрольный кабель.

A.A. Ovinov, A.E. Terlych

MODERN CONTROL CABLES. DEVELOPMENT TRENDS OF FIRE-RESISTANT CONTROL CABLES

This article describes the cables by types of fire safety, as well as the nomenclature of control fire-resistant cables.

Keywords: trend, development, control cable.

Промышленность развивается стремительными темпами и требует разработки новой кабельной техники. Идет рост как коммерческого, так и жилищного строительства, а это означает неизбежный рост потребления электроэнергии. В настоящее время предприятия кабельной промышленности представляют одну из динамично развивающихся инвестиционно привлекательных отраслей машиностроения.

Присутствие кабельных изделий во всех сферах жизнедеятельности человека обуславливает ужесточение требований по их пожарной безопасности. Требования нормативных документов в последние годы ужесточают требования к кабельным изделиям по пожарной безопасности, в том числе и требования по огнестойкости кабелей. Стандарт определил требования к кабельным изделиям по пожарной безопасности и позволил отечественному производителю на законных основаниях конкурировать с импортной продукцией, имея собственную индексацию. Кабельные изделия должны подразделяться по показателям пожарной безопасности на следующие типы исполнения:

- кабельные изделия, не распространяющие горение при одиночной прокладке (без индекса);
- кабельные изделия, не распространяющие горение при групповой прокладке (исполнение – нг);

- кабельные изделия, не распространяющие горение при групповой прокладке, с пониженным дымо- и газовыделением (исполнение – нг-LS), где LS – аббревиатура от Low Smoke – малодымный;

- кабельные изделия, не распространяющие горение при групповой прокладке и не выделяющие коррозионно-активных газообразных продуктов при горении и тлении (исполнение – нг-HF), где HF – аббревиатура от halogen-free – свободный от галогенов или не содержащий галогенов;

- кабельные изделия огнестойкие, не распространяющие горение при групповой прокладке, с пониженным дымо- и газовыделением. Исполнение – нг-FRLS, в нашем случае FR сокращение от fire-resistant в терминах определяется как время, в течение которого изделие сохраняет свою работоспособность, не следует путать с fire-retardants – огнеупорный, препятствующий распространению пламени;

- кабельные изделия огнестойкие, не распространяющие горение при групповой прокладке и не выделяющие коррозионно-активных газообразных продуктов при горении и тлении (исполнение – нг-FRHF);

- кабельные изделия, не распространяющие горение при групповой прокладке, с пониженным дымо- и газовыделением и с низкой токсичностью продуктов горения (исполнение – нг-LSLTx);

- кабельные изделия, не распространяющие горение при групповой прокладке, не выделяющие коррозионно-активные газообразные продукты при горении и тлении и с низкой токсичностью продуктов горения (исполнение – нг-HFLTx).

Основным элементом, обеспечивающим огнестойкость кабеля, является изоляция, по конструктивному исполнению которой современные огнестойкие кабели можно условно разделить на две группы:

- кабели со сплошной огнестойкой (керамообразующей) изоляцией;
- кабели с комбинированной изоляцией, состоящей из традиционных материалов и огнестойких элементов (барьеров).

Производство и монтаж таких кабелей не только требуют больших затрат времени, но и особых средств защиты, что обусловило ограниченное их изготовление и применение. Массовая потребность в огнестойких кабелях заставила искать другие решения.

В таблице есть марки кабелей, в которых огнестойкую функцию выполняет собственно тело изоляции. В основном это кабели с медными жилами и изоляцией из огнестойкой кремнийорганической

резины. К несомненным преимуществам такого исполнения относится способность композиционных резин к образованию керамических соединений при воздействии пламени, что препятствует сближению жил и обеспечивает их работоспособность во времени. К немаловажным достоинствам следует отнести также простоту монтажа таких кабелей.

Номенклатура контрольных огнестойких кабелей

Внешний вид конструкции	Маркоразмеры
	ТУ 16.К99-036-2007 КПСЭнг-FRLS / FRHF Nx2xS КПСЭСнг-FRLS/FRHF Nx2xS S= 0,35; 0,50; 0,75; 1,0; 1,5; 2,5 мм ² N=1, 2 КПСЭСнг-FRLS/FRHF NxS N=3,4
	ТУ16.К99-037-2009 КСБнг(А) — FRLS/FRHF Nx2xD D=0,64; 0,80; 0,98; 1,13; 1,38; 1,78 мм N = 1, 2
	ТУ16.К99-040-2009 КСБГ нг(А)- FRLS/FRHF Nx2xD КСБГС нг(А)- FRLS/FRHF Nx2xD D=0,78 0,90 1,10 1,20 1,50 2,0 мм N = 1, 2
	ТУ 3565-002-53930360-2008 КПКВнг(А)-FRLS/FRHF Nx2xS, КПКЭВнг(А)-FRLS/ FRHF Nx2xS, КПКЭКнг(А)-FRHF Nx2xS КПКВп нг(А)-FRLS/FRHF 1x2xS, КПККп нг(А)- FRHF 1x2xS S=0,20; 0,35; 0,50 мм ²
	КМЖЭВнг-FRLS — EI180 Nx2xS S=0,5 , 0,75, N=1- 10 S=1,0, 1,5 2,5 мм ² N=1, 2, 3, 4

Номенклатура огнестойких кабелей для систем пожарной безопасности достаточно широкая, что обусловлено применяемыми материалами оболочек. Для разных условий эксплуатации предлагаются кабели с пониженным дымо- и газовыделением (LS), кабели, не

содержащие галогенов (HF), и, как правило, это кабели, не распространяющие горение при пучковой прокладке (нг). Подтвержденное время огнестойкости таких конструкций при стандартных испытаниях составляет 180 мин.

Можно предположить, что в условиях естественного пожара это время будет ниже, однако благодаря применению материалов оболочек, обеспечивающих низкое дымообразование и отсутствие галогенов, создают условия для эвакуации для людей с большей вероятностью благоприятного исхода событий.

Библиографический список

1. ГОСТ 12.1.044-892 ССБТ Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
2. Ковригин Л.А. Основы кабельной техники: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2006. – 94 с.

Сведения об авторах

Овинов Антон Андреевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. МЭ-13-16, г. Пермь, e-mail: offton95@mail.ru.

Терлыч Андрей Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: andrew@pstu.ru.

И.А. Титов, А.Г. Щербинин

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ В ВИНТОВОМ КАНАЛЕ ЭКСТРУДЕРА

В данной статье рассмотрено течение вязких жидкостей в винтовом канале экструдера. Рассматриваются одномерные плоская и осесимметричная модели. Целью исследования является проведение сравнительного анализа между плоской и осесимметричной моделями.

Ключевые слова: экструдер, скорость, вязкость, жидкость.

I.A. Titov, A.G. Shcherbinin

HYDRODYNAMIC ANALYSIS OF AN ISOTHERMAL CURRENT OF VISCOUS LIQUIDS IN THE SCREW CHANNEL OF AN EXTRUDER

In this article the current of viscous liquids in the screw channel of an extruder is considered. The aim of the study is to compare a one-dimensional flat and axisymmetric models.

Keywords: extruder, speed, viscosity, liquid.

При описании процессов течения жидкости в винтовых каналах экструдеров [1, 2] (рис. 1) в настоящее время достаточное распространение получили одно- и двухмерные модели.

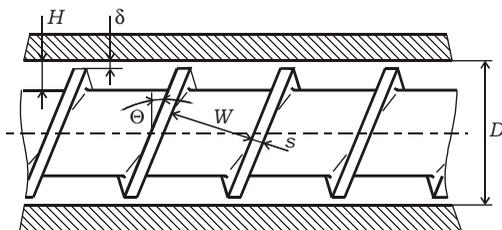


Рис. 1. Схема винтового канала экструдера

В работе рассматривается изотермическое течение расплавов полимеров в шнековом насосе или зоне дозирования пластицирующего экструдера в одномерной постановке. Модели течения могут быть

построены в декартовой (плоские модели) или цилиндрической (осесимметричные модели) системах координат. На рис. 2, *a* представлена схема плоской одномерной модели (модель № 1); на рис. 2, *б* – схема осесимметричной одномерной модели (модель № 2). Одномерные модели в отличие от двухмерных не учитывают влияние трения жидкости о боковые стенки канала на процесс течения. В плоских моделях не учтено влияние кривизны канала.

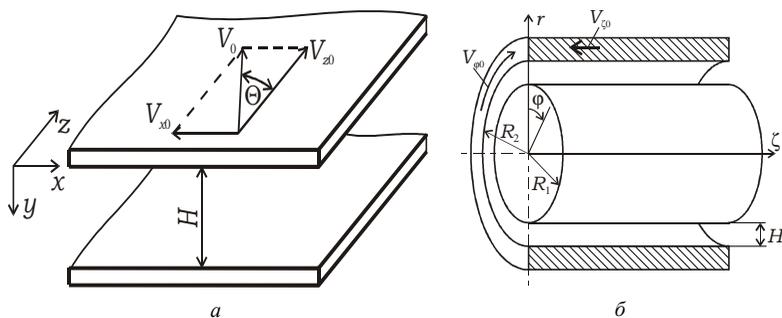


Рис. 2. Схемы моделей: *a* – модель № 1, *б* – модель № 2

При построении моделей течения жидкости в винтовых каналах экструдеров используем обращенное движение, т.е. при неподвижном шнеке вращается корпус в направлении, противоположном исходному вращению шнека с окружной скоростью V_0 .

Профили скоростей будем считать установившимися. Это предположение позволяет исключить из дифференциальных уравнений производные по продольной координате. Пренебрегаем утечками жидкости через зазор.

В плоских моделях бесконечная верхняя пластина движется относительно продольной оси канала под углом Θ со скоростью V_0 (см. рис. 2, *a*). Здесь Θ – угол подъема винтовой линии. Проекции этой скорости на ось x и z определяются по формулам: $V_{x0} = -V_0 \sin \Theta$ и $V_{z0} = V_0 \cos \Theta$. В цилиндрических моделях корпус вращается с окружной скоростью $V_{\phi 0} = V_0 \cos \Theta$ и движется вдоль оси ζ со скоростью $V_{z0} = -V_0 \sin \Theta$ (см. рис. 2, *б*).

Поскольку число Рейнольдса $Re = V_0 H \rho / \bar{\mu}$ для расплавов полимеров в канале шнекового насоса или пластицирующего экструдера, как

правило, не превышает 0,01, то инерционными членами в уравнениях движения можно пренебречь. Здесь H – высота канала; ρ – плотность расплава полимера; $\bar{\mu}$ – среднее значение вязкости полимера.

Уравнения движения для плоской одномерной модели (модель № 1, см. рис. 2, а) имеют вид:

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{\text{э}} \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) = \frac{\partial P}{\partial x}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{\text{э}} \frac{\partial v_z}{\partial y} \right) = \frac{\partial P}{\partial z}, \quad (2)$$

где $\mu_{\text{э}}$ – эффективная вязкость жидкости, но так как мы рассматриваем для ньютоновской жидкости, $\mu_{\text{э}}$ – это вязкость ньютоновской жидкости; v_x, v_z – проекции вектора скорости на оси x и z соответственно; $\partial P/\partial x$; $\partial P/\partial z$ – градиенты давления в канале между пластинами, действующие в направлении координат x и z соответственно.

Уравнения движения осесимметричной одномерной модели (модель № 2 (см. рис. 2, б) запишутся как:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left[\mu_{\text{э}} \left(\frac{\partial v_{\phi}}{\partial r} - \frac{v_{\phi}}{r} \right) \right] + \frac{2\mu_{\text{э}}}{r} \left(\frac{\partial v_{\phi}}{\partial r} - \frac{v_{\phi}}{r} \right) = \frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial \phi}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial r} \left[\mu_{\text{э}} \left(\frac{\partial v_{\zeta}}{\partial r} \right) \right] + \frac{\mu_{\text{э}}}{r} \frac{\partial v_{\zeta}}{\partial r} = \frac{\partial P}{\partial \zeta}, \quad (4)$$

где v_{ϕ}, v_{ζ} – проекции вектора скорости на оси ϕ и ζ соответственно.

Уравнения движения (1)–(4) дополняются выражениями для расхода:

$$Q_z = Q_0 = W \int_0^H v_z dy; \quad Q_{\phi} = Q_0 = W \int_{R_1}^{R_2} v_{\phi} dr; \quad (5)$$

$$\int_0^H v_x dy = 0; \quad \int_{R_1}^{R_2} v_{\zeta} dr = 0.$$

Уравнения движения (1)–(4) решаются методом конечных разностей [3].

На рис. 3. приведены эпюры скоростей v_x , v_z . Из рисунка видно, что между эпюрами скоростей, построенными по плоской и осесимметричной моделям, имеются расхождения, поскольку в плоской модели не учитывается кривизна канала.

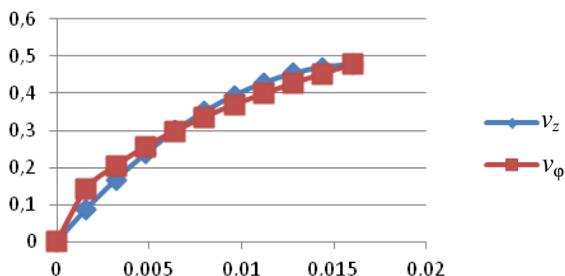


Рис. 3. Эпюра скоростей v_ϕ , v_z

Для более точного определения моделирования процессов течения в винтовом канале экструдера целесообразнее использовать осесимметричную модель, так как она учитывает кривизну канала.

Библиографический список

1. Раувендааль К. Экструзия полимеров. – СПб.: Профессия, 2010. – 768 с.
2. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1984. – 632 с.
3. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1972. – 656 с.

Сведения об авторах

Титов Иван Алексеевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. МЭ-13-16, г. Пермь, e-mail: ivan_beryoza95@mail.ru.

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

Е.И. Лекомцев, А.В. Казаков

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧЕТЫРЕХСЛОЙНОГО ТЕЧЕНИЯ С УЧЕТОМ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

В данной статье были получены результаты исследования четырехслойного течения в канале кабельной головки. Рассмотрено влияние вязкоупругих свойств материалов на процесс течения.

Ключевые слова: четырехслойное течение, стратифицированное течение, вязкоупругие свойства, метод конечных элементов.

E.I. Lekomtsev, A.V. Kazakov

INVESTIGATION OF FOUR-LAYER FLOW TAKING INTO ACCOUNT VISCOELASTIC PROPERTIES MATERIALS

In this article the results of investigation have been obtained for four-layer flow in the cable head duct. The influence of viscoelastic properties materials on the process of flow has been considered.

Keywords: four-layer flow, stratified flow, viscoelastic properties, boundary element method.

Математическая постановка. Для решения задачи реальные физические процессы были заменены математической моделью, представляющей собой систему дифференциальных уравнений, основанных на законах сохранения энергии, массы и главного вектора количества движения. Уравнения дополнены граничными условиями, реологическими и теплофизическими характеристиками материалов. Реализация математической модели осуществлялась численным методом конечных элементов с помощью программного пакета ANSYS. В качестве канала истечения предложена упрощенная 2D-модель, представленная на рис. 1.

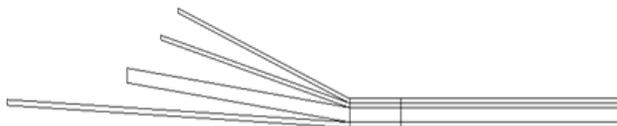


Рис. 1. Геометрия канала истечения

Для упрощения модели и технической реализации исследования был сделан ряд допущений:

- процесс стационарный;
- среда несжимаемая;
- течение плоское;
- жидкости несмешиваемые.

С учетом допущений система дифференциальных уравнений имеет следующий вид:

$$\rho^m \cdot v_j^m \frac{\partial v_j^m}{\partial x_i} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_i}; \quad \frac{\partial v_i^m}{\partial x_i} = 0;$$

$$c\rho^m \cdot v_j^m \frac{\partial T}{\partial x} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \tau_{ij} \gamma_{ij};$$

$$\eta = \eta_0 e^{-\beta(T-T_0)}; \quad \sigma + \lambda_p \cdot \sigma^\nabla = 2 \cdot \eta \cdot W.$$

Уравнения (1)–(5) замыкаются следующими граничными условиями:

- на стенках компоненты скорости равны нулю;
- на границе контакта с подвижной жилой компонента скорости равна скорости движения жилы;
- температура неподвижных стенок канала 170 °С;
- температура подвижной жилы 110 °С;
- температура расплавов на выходе из экструдера 150 °С;
- на входе в каналы задавались расходы;
- на выходе задавалось граничное условие второго рода по температуре и скорости.

На границах раздела потоков задавались следующие граничные условия:

– по напряжениям:

$$(\tau_{ii} \cos(i,n) + \tau_{ij} \cos(j,n))|_1 = (\tau_{ii} \cos(i,n) + \tau_{ij} \cos(j,n))|_2;$$

$$(\tau_{ij} \cos(i,n) + \tau_{jj} \cos(j,n))|_1 = (\tau_{ij} \cos(i,n) + \tau_{jj} \cos(j,n))|_2;$$

$$(\tau_{ii} \cos(i,n) + \tau_{ij} \cos(j,n))|_1 = (\tau_{ii} \cos(i,n) + \tau_{ij} \cos(j,n))|_2;$$

$$(\tau_{ij} \cos(i,n) + (\tau_{jj} \cos(j,n))) |_2 = (\tau_{ij} \cos(i,n) + (\tau_{jj} \cos(j,n))) |_3;$$

$$(\tau_{ii} \cos(i,n) + (\tau_{ij} \cos(j,n))) |_3 = (\tau_{ii} \cos(i,n) + (\tau_{ij} \cos(j,n))) |_4;$$

$$(\tau_{ij} \cos(i,n) + (\tau_{jj} \cos(j,n))) |_3 = (\tau_{ij} \cos(i,n) + (\tau_{jj} \cos(j,n))) |_4;$$

– по скоростям:

$$v_i |_1 = v_i |_2; \quad v_i |_2 = v_i |_3; \quad v_i |_3 = v_i |_4;$$

$$v_j |_1 = v_j |_2; \quad v_j |_2 = v_j |_3; \quad v_j |_3 = v_j |_4;$$

– по температуре:

$$T |_1 = T |_2;$$

$$T |_2 = T |_3;$$

$$T |_3 = T |_4;$$

– по потокам тепла:

$$q_i |_1 = q_i |_2; \quad q_i |_2 = q_i |_3; \quad q_i |_3 = q_i |_4;$$

$$q_j |_1 = q_j |_2; \quad q_j |_2 = q_j |_3; \quad q_j |_3 = q_j |_4.$$

В табл. 1 представлены технологические параметры, в табл. 2 – реологические и теплофизические характеристики материалов.

Таблица 1

Технологические параметры

Номер канала	1	2	3	4
Расход (Q), кг/с	0,016	0,06	0,024	0,024
Линейная скорость жилы, м/с	0,02			

Таблица 2

Реологические и теплофизические характеристики материалов

Материал	μ_0 при $T = 443 \text{ K}$, Па·с	β , 1/К	n	ρ , кг/м ³	λ , Вт/(м·К)	C , Дж/(кг·К)
Экран LE0540	38 523	0,0027	0,251	1080	0,182	2500
Изоляция LE4421M	14 946	0,0168	0,542	779	0,182	2500

Результаты. На рис. 2 приведено температурное поле рассматриваемой геометрии канала кабельной головки.

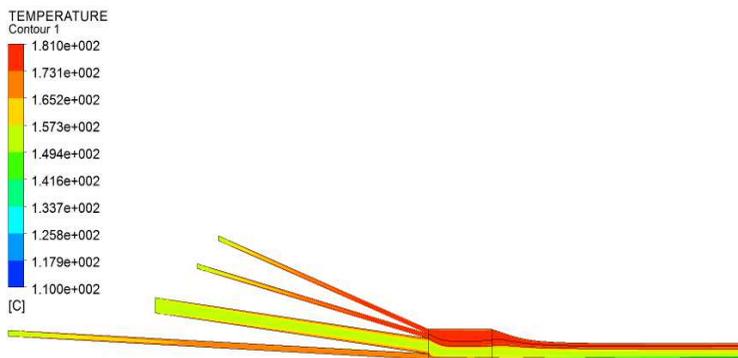


Рис. 2. Температурное поле

Анализ температурного поля показал равномерный характер прогрева материала. Средняя температура расплава в каналах незначительно превысила температуру расплава подаваемого из экструдера. Максимальная температура в канале составила 181 °С. Нагрев на 31 °С объясняется наличием диссипативных источников тепла.

Анализируя полученный результат, представленный на рис. 1, можно сделать вывод, что материал на выходе из кабельной головки не разбухает, а значит, технологические параметры (в частности, скорость движения жилы) выбраны правильно. Общая толщина изоляции составила 6,8 мм. Первый слой – 0,8 мм, второй слой – 3,8 мм, третий и четвертый слой – 1,1 мм.

Поле скоростей представлено на рис. 3.

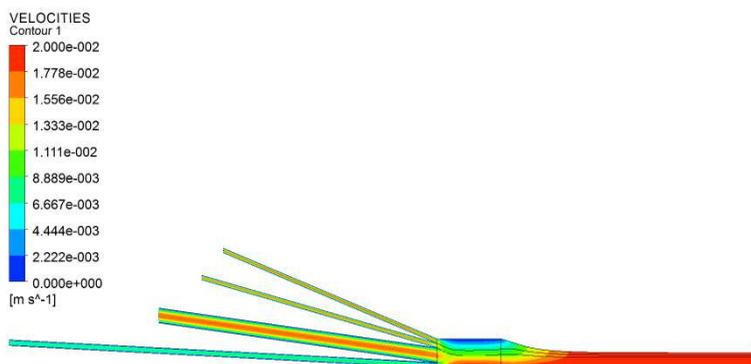


Рис. 3. Поле скоростей

По результатам моделирования на подвижной стенке наблюдается максимальная скорость, которая составляет 0,02 м/с.

Одной из причин изменения формы свободной поверхности на выходном участке канала является изменение скорости жилы. На рис. 4 приведено изменение формы струи на выходе из экструзионной головки для разных значений скорости движения жилы.

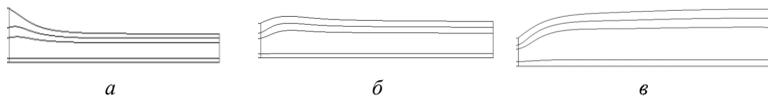


Рис. 4. Выходной экструдат при скорости движения жилы:
a – 0,02 м/с; *б* – 0,01 м/с; *в* – 0,005 м/с

По рис. 4 видно, что уменьшение скорости движения жилы приводит к большему разбуханию экструдата и увеличению диаметра изоляционных слоев. Около выхода полимера из экструзионной головки образуется зона с меньшими скоростями, которая сужает зону выхода полимеров из головки [2].

Библиографический список

1. Юрыгин П.П. Исследование стратифицированного течения резиновых смесей в дуплексных головках для выпуска заготовок кольцевого профиля: дис. ... канд. техн. наук. – Ярославль, 2014. – 164 с.

2. Снегирев Б.А., Алиев К.М., Тазюков Ф.Х. О форме выходящей струи при выдавливании вязкоупругой жидкости из плоского щелевого канала // Вестник СамГУ. Естественно-научная серия. – 2009. – № 6(72).

Сведения об авторах

Лекомцев Евгений Игоревич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-16-1м, г. Пермь, e-mail: yevgen_lekomcev@rambler.ru.

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

Д.О. Талызин, Д.Ю. Лейзгольд

ОБЗОР МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С НЕСКОЛЬКИМИ ИСТОЧНИКАМИ ПИТАНИЯ

В статье авторы исследуют электрические сети с несколькими источниками питания на предмет управления потокораспределением в них.

Авторы приводят сравнение ситуационного метода вкуче с FACTS с традиционными скалярными методами управления.

На основе приобретенных теоретических сведений и произведенного сопоставления методов управления авторы выдвигают свою точку зрения о практическом применении рассматриваемых методов, а также предлагают пути устранения слабых мест и дальнейшего усовершенствования систем управления.

Ключевые слова: управление потокораспределением, электрические системы с несколькими источниками.

D.O. Talyzin, D.Yu. Leyzgold

REVIEW OF METHODS OF FLOW DISTRIBUTION IN THE ELECTRICAL SYSTEM WITH MULTIPLE POWER SUPPLIES

The authors of the article investigate electrical networks with several supply sources on the subject of their flow distribution's control. Theoretical information about the considered area is studied, as well as some scientific works.

Attention was given to technology of flexible AC transmission systems (FACTS) and intelligent control techniques, and more precisely to the situational method.

As a result of work the authors put forward their point of view on the practical application of these methods, and similarly laid out thoughts about the further improvement of control systems.

Keywords: flow distribution control, electrical power systems with several supply sources.

Введение. Большинство электроэнергетических систем (ЭЭС) содержит несколько источников электрической энергии. Этот аспект усложняет управление системой и требует использования специальных способов управления. Существующие методы скалярного управления позволяют организовать регулирование напряжения и пропускной способности ЭЭС, в том числе с использованием гибких линий

электропередачи (ГЛЭП), однако авторами выделены основные недостатки.

1. Технологические основы управления ЭЭС. Бурное развитие силовой электроники привело к возникновению технология управляемых (гибких) электропередач переменного тока или Flexible AC Transmission System (FACTS).

Рассмотрим устройства FACTS подробнее. Статический компенсатор (СТАТКОМ) выступает в роли тиристорно управляемого источника реактивной мощности (ИРМ) (рис. 1) [1].

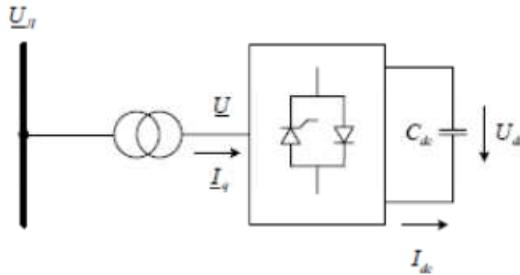


Рис. 1. Схема СТАТКОМ с преобразователем напряжения

Также обратим внимание на комбинированное устройство, известное как объединенный регулятор потоков мощности (ОРПМ). В нем с помощью вставки постоянного тока объединяются два регулируемых источника напряжения продольного и поперечного типа [2] (рис. 2).

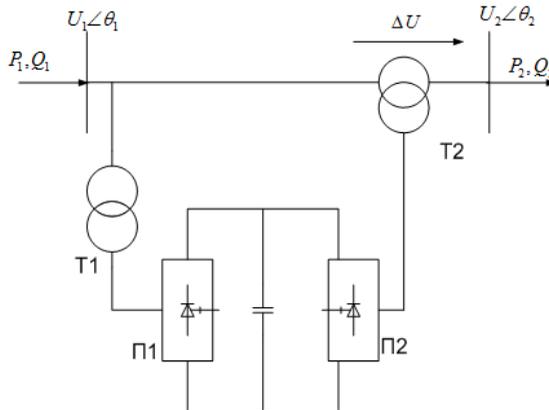


Рис. 2. Принципиальная схема ОРПМ

Наконец, рассмотрим управляемый шунтирующий реактор (УШР). УШР – это электротехническое устройство, предназначенное для компенсации реактивной мощности и стабилизации уровня напряжения в высоковольтных электрических сетях напряжением 35–750 кВ [3].

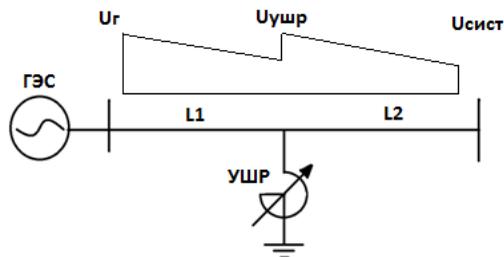


Рис. 3. Пример подключения УШР в ЭЭС

Советские и российские ученые выяснили, что использование технологии FACTS наиболее целесообразно, когда она решает несколько проблем [4].

2. Управление режимами реактивной мощности и напряжения систем электроснабжения предприятий методами искусственного интеллекта. Принцип ситуационного управления состояниями СЭС. В результате развития искусственного интеллекта и информационных технологий сформировался новый метод управления режимами в СЭС – метод интеллектуального ситуационного управления [5]. В своей научной работе А.Н. Туликов излагает идею реализации ситуационного управления, основанной на методах искусственного интеллекта для управления режимами реактивной мощности и напряжения СЭС. Кроме того, основные идеи ситуационного управления были также представлены Д.А. Поспеловым в 60–80-х гг. XX века. Обращаясь к работам вышеназванных личностей, рассмотрим основные принципы управления.

Ситуационное управление – это метод управления сложными технологическими и организационными системами, основанный на идеях теории искусственного интеллекта.

В понятие ситуации помимо текущего состояния объекта также включаются возмущения, действующие на него, и текущие цели управления.

Анализ ситуации – это ее разложение на составляющие так, чтобы каждую составляющую можно было приписать к некому классу. Для каждого из классов, в свою очередь, заранее известно само решение или некоторая стратегия, определяющая дальнейшие действия.

На первом этапе классификации дается оценка параметров текущего состояния. Затем текущее состояние распознается.

Если же отнести текущее состояние к одному из известных классов не удастся, в таком случае производится идентификация и оптимизация нераспознанного состояния. Далее неизвестное состояние классифицируется. Если классификация удалась, осуществляется уточнение классификации. В противном случае классификация пополняется, т.е. открывается новый класс состояний. На последнем этапе осуществляется план оптимального управления.

Развитие интеллектуальных технологий привело к появлению методов искусственного интеллекта (ИИ), теории нечетких множеств и ситуационного управления, а также генетических алгоритмов и нейронных сетей [4].

3. Сравнение ситуационного метода управления в купе с FACTS и традиционных скалярных методов. Рассматривая совместное использование методов управления, основанных на искусственном интеллекте, и средств FACTS, возможно выделить ряд преимуществ. Начнем с FACTS. Это средство управления в целом позволяет решить проблему несимметрии напряжений и токов. Также здесь осуществляется борьба с неустойчивостями работы системы. FACTS, имея большое число технических средств, позволяет выбрать необходимое техническое решение, подходящее под конкретную задачу.

Перейдем к более общему вопросу – ситуационному методу. Для этого метода характерны большие затраты времени, идущие на создание предварительного запаса знаний об объекте управления. Такой аспект можно отнести к немногочисленным недостаткам данного метода. Классификация происходит с учетом тех ситуаций, о которых эксперты не сообщили системе. Язык описания ситуаций отражает как количественные факты и отношения, характеризующие объект, так и качественные. Еще одной особенностью является то, что первоначальное формирование эвристических правил происходит вследствие диалога с экспертами или без их участия путем извлечения. Дальнейшее уточнение правил происходит в процессе эксплуатации.

В любой момент контроль может выполняться вручную или в автоматическом режиме.

Теория нечетких множеств как математический аппарат ситуационного управления имеет немало достоинств: возможность извлечения большого количества информации, концептуальная простота, гибкость, нечувствительность к неточным данным, возможность использования опыта экспертов, совместимость с традиционными методами управления, использование естественного языка описания объектов. Если же говорить о совокупности ситуационного метода и FACTS, то, исходя из вышеизложенного, можно представить огромный спектр возможностей для решения различного рода задач. Векторное управление дает возможность ГЛЭП раскрыть весь потенциал, обеспечивая наиболее стабильную работу ЭЭС, нежели скалярное регулирование.

Заключение. В работе приведены основные недостатки существующих методов скалярного управления. Изложена сущность гибких линий электропередачи, приведены и описаны некоторые средства, используемые в ГЛЭП. Шла речь об управлении режимами СЭС методами искусственного интеллекта. Рассмотрены принципы ситуационного управления состояниями в СЭС.

В работе были выявлены преимущества и недостатки использования ситуационного управления в совокупности с FACTS. Практическое применение того или иного средства ГЛЭП обусловлено поставленными задачами.

Кроме того, преследуемые авторами цели управления по большей части разнонаправлены и взаимосвязаны таким образом, что при улучшении одного из параметров ухудшается один или несколько других, поэтому требуется разработка системы управления, включающей многофакторный анализ.

Библиографический список

1. Мисриханов М.Ш., Ситников В.Ф., Шаров Ю.В. Модальный синтез регуляторов энергосистемы на основе устройств FACTS // Электротехника. – 2007. – № 10. – С. 22–29.
2. Ромодин А.В., Лейзгольд Д.Ю. Подход к разработке моделей элементов гибких линий электропередачи на основании вольтамперных характеристик // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 8.

3. Ситников В.Ф. Совершенствование методов и средств управления режимами электроэнергетических систем на основе элементов гибких линий электропередач (FACTS): автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2009.

4. Туликов А.Н. Управление режимами реактивной мощности и напряжения систем электроснабжения предприятий методами искусственного интеллекта: дис. ... д-ра техн. наук. – Красноярск, 2007.

5. Казанцев В.П., Хорошев Н.И. Применение правил нечеткой логики при эксплуатации электротехнического оборудования // Электротехника. – 2011. – № 11.

Сведения об авторах

Талызин Денис Олегович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ЭС-13-16, г. Пермь, e-mail: deamon53@gmail.ru.

Лейзгольд Дмитрий Юрьевич – аспирант, ассистент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: dmleyz@mail.ru.

К.Г. Стертюков, О.А. Стародубцева

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ КПД В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

В статье рассмотрены понятия коэффициента полезного действия (КПД), проблемы низкого КПД в энергетике России, представлены индикаторы повышения энергетической эффективности, предложены мероприятия по повышению КПД.

Ключевые слова: энергозатраты, энергоиспользование, коэффициент полезного действия, коэффициент полезного использования энергии, индикаторы повышения энергетической эффективности, энергосетевой комплекс.

K.G. Stertyukov, O.A. Starodubtseva

DEVELOPMENT OF NEW TECHNOLOGIES AND TECHNICAL MEANS TO ENHANCE EFFICIENCY IN ENERGY

The article considers the concept of efficiency, the problem of low efficiency in the energy sector of Russia, presents indicators of energy efficiency, proposed measures to improve efficiency.

Keywords: energy consumption, energy consumption, efficiency factor, coefficient of utilization of energy, indicators of energy efficiency, power grid complex.

Актуальность выбранной темы вызвана тем, что российская энергетика за последние 20 лет отстала от ведущих зарубежных стран, и ей необходима модернизация. Разработка новых и совершенствование имеющихся технологий и технических средств, увеличивающих КПД, являются одним из важнейших обязательных пунктов для успешного развития российской энергетике. Увеличение КПД позволит снизить затраты на производство и передачу энергии, что, в свою очередь, увеличит прибыль энергетических компаний и позволит модернизировать предприятия энергетической промышленности.

Целью данной работы является анализ текущего состояния имеющихся технологий и технических средств в области энергетике для увеличения КПД.

Для раскрытия данной темы необходимо определиться с понятиями. Коэффициент полезного действия – характеристика системы

(устройства, машины) в отношении преобразования или передачи энергии. Иными словами, это показатель рационального использования энергии. Определяется отношением полезной энергии к суммарному количеству энергии, полученной этой системой (устройством, машиной). В различных системах для расчета могут использоваться различные значения, так для электродвигателей КПД будет рассчитываться как отношение совершаемой полезной работы к электроэнергии, полученной из сети, а тепловых машин – как отношение полезной совершаемой работы к затраченному количеству теплоты. Тем не менее для определения КПД все виды энергии и работа должны выражаться в одних единицах измерения для того, чтобы можно было сравнить любые объекты, например, атомные станции, генераторы электроэнергии и т.д., с точки зрения эффективности их работы. При производстве электрической энергии только часть (кинетической, тепловой и т.д.) преобразуется в электрическую энергию, остальное выделяется в виде тепла. Иными словами, часть тепловой энергии утилизируется на теплоснабжение. Соотношение между потраченной энергией и утилизированной, выраженное в процентах, называется тепловым КПД. Суммарный КПД (электрический + тепловой) называется КПД использования топлива. Чем выше электрический и суммарный КПД, тем экономичнее работа электростанции. На АЭС и ГРЭС чаще всего тепло не используется, и суммарный КПД равен электрическому [1].

Рассмотрим КПД для электрических станций (табл. 1–5). Для станций, которые работают на сжигании органического топлива для расчетов КПД, берется удельная теплоемкость топлива (табл. 1).

Таблица 1

Электрический КПД станций, работающих
на сжигании органического топлива

Тип генерации	Расшифровка	Электрический КПД	Сырье	Сезонность
ТЭС	Тепловые, вырабатывают электрическую энергию	33–35 %	Уголь, газ, мазут, торф	Способность вырабатывать электроэнергию без сезонных колебаний
ТЭЦ	Вырабатывающие электроэнергию + тепло (расстояние передачи тепла не более 20–30 км)	35–38 %	Уголь, газ, мазут, торф	Способность вырабатывать электроэнергию без сезонных колебаний

Окончание табл. 1

Тип генерации	Расшифровка	Электрический КПД	Сырье	Сезонность
ГЭС	Государственные районные электростанции	36–44 %	Уголь, газ, мазут, торф	Способность вырабатывать электроэнергию без сезонных колебаний
ПГУ	Парогазовые установки	50–65 %	Газ	Способность вырабатывать электроэнергию без сезонных колебаний
ГТЭС	Газотурбинные электростанции	30–35 %	Газ	Способность вырабатывать электроэнергию без сезонных колебаний
ГПЭС	Газопоршневые электростанции	40–46 %	Газ, дизтопливо (возможно на сырой нефти и жидких и газообразных нефтепродуктах)	Способность вырабатывать электроэнергию без сезонных колебаний

Для гидроэлектростанций и приливных электростанций при расчете электрического КПД ГЭС и ПЭС в расчет берется изменение потенциальной энергии воды (табл. 2).

Таблица 2

Электрический КПД гидроэлектростанций и приливных электростанций

Тип генерации	Расшифровка	Электрический КПД	Сырье	Сезонность
ГЭС	Гидроэлектростанции	92–94 %	Вода равнинных и горных рек	Способность вырабатывать электроэнергию без сезонных колебаний
ПЭС	Приливно-отливная электростанция	92–94	Движение воды во время приливов и отливов	Суточные колебания

При расчете электрического КПД АЭС берется суммарная энергия расщепляемого топлива (табл. 3)

Таблица 3

Электрический КПД атомных электростанций

Тип генерации	Расшифровка	Электрический КПД	Сырье	Сезонность
АЭС	Атомные электростанции	40–44 %	Ядерное топливо (плутоний и уран)	Способность вырабатывать электроэнергию без сезонных колебаний

Далее в табл. 4 и 5 представлены электрические КПД для ветрогенерации и солнечных батарей.

Таблица 4

Электрический КПД ветрогенерации

Тип генерации	Расшифровка	Электрический КПД	Сырье	Сезонность
Ветро	Ветроэлектростанции	50 %	Энергия ветра	Зависит от погоды

Таблица 5

Электрический КПД солнечных батарей

Тип генерации	Расшифровка	Электрический КПД	Сырье	Сезонность
Солнечные батареи	Солнечные батареи	40 %	Энергия солнца	Зависит от времени суток и погоды

Судя по данным таблиц, можно констатировать, что КПД станций оставляет желать лучшего, есть над чем работать, несмотря на то, что принят Федеральный закон (ФЗ-261) об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности для стимулирования повышения коэффициента использования топлива.

Рассмотрим проблемы низкого КПД в энергетике России.

Одна из ключевых проблем – это устаревшие технологии и изношенное энергетическое оборудование. Необходима комплексная модернизация всего энергетического комплекса: генерации, электрических и тепловых сетей. А это связано с очень большими инвестициями.

Следующей проблемой можно назвать централизованное теплоснабжение. Дело в том, что износ в сетях приводит к большим потерям (тепловым) – более 16 %. В результате неполучения тепла потребитель вынужден устанавливать собственные котельные, уходя от централизованного теплоснабжения, и в итоге снижается выработка электроэнергии на тепловом потреблении. А это приводит к недогрузке оборудования, к сокращению продажи тепла и электроэнергии, росту тарифов.

В связи с тем, что уровень жизни населения растет, а промышленный рост незначителен (в связи с различного рода катаклизмами: кризисы, войны, и т.д.), необходимо делать упор на надежность электросетевого комплекса в России.

Низкий уровень КПД приводит к огромному количеству проблем в энергетической промышленности. В связи с этим проводится множество мероприятий для увеличения энергоэффективности.

В табл. 6 представлены индикаторы повышения энергетической эффективности [2].

Таблица 6

Целевые значения основных индикаторов повышения энергетической эффективности

Показатели	Уровень		
	2000 г.	2007 г.	2000 г.
Удельный расход топлива на отпуск электроэнергии, г. у. т./кВт·ч	341,5	335,6	286,0
Коэффициент полезного использования топлива, %	58	56	60
КПД новых электростанций на природном газе, %	–	50	≥ 60
КПД новых электростанций на угле, %	–	41	≥ 48
Доля отпуска тепловой энергии от ТЭС, %	–	44	52
Доля потерь в электрических сетях, %	11,8	10,5	7,0
Собственные нужды электростанций, %	7,6	6,8	5,6

Анализируя данные таблицы, можно выделить основные мероприятия:

1. К 2020 г. КПД для станций на природном газе должен быть в пределах 60 %.
2. К 2020 г. минимальный уровень КПД новых электростанций на угле должен быть не менее 48 %;
3. От тепловых электростанций ожидается отпуск доли тепловой энергии увеличить до 51,5 % в 2020 г.;
4. Потери в электрических сетях должны быть снижены до 7–8 %.
5. Для районов, имеющих развитую инфраструктуру систем газо- и электроснабжения, необходимо провести мероприятия по совершенствованию систем энергоснабжения районов с низкой плотностью тепловой и электрической нагрузки.

Библиографический список

1. Коэффициент полезного действия электрических станций [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.spazint.ru/energetika/energoberezhenie/kpd-elektrostantsij.html> (дата обращения: 05.05.17).

2. Интегрированное планирование энергетических ресурсов в электроэнергетике [Электронный ресурс]. – URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4437 (дата обращения: 15.04.2017).

3. Какие технологии нужны в электроэнергетике? [Электронный ресурс]. – URL: <http://rb.ru/opinion/electroenergetics/> (дата обращения: 15.04.2017).

4. Мазанова Е.А., Стародубцева О.А. Основные направления развития инноваций в энергетике в мировом масштабе // Национальные традиции в развитии торговли, экономики и культуры : сб. материалов 13-й межвуз. студенч. науч.-практ. конф. – Уфа: Изд-во УИ (филиал) РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2016. – С. 160–162.

Сведения об авторах

Стертюков Константин Геннадьевич – студент Новосибирского государственного технического университета, гр. ЭК-32, г. Новосибирск, e-mail: s_ev54@mail.ru.

Стародубцева Ольга Анатольевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Производственный менеджмент и экономика энергетики» Новосибирского государственного технического университета, г. Новосибирск, e-mail: olgastarodubzeva@mail.ru.

В.В. Андросов

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ФОНДОВОГО РЫНКА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СЕГМЕНТЕ ЗА 2005–2016 ГГ.

В статье рассмотрены основные тенденции динамики фондового рынка в энергетическом сегменте экономики страны. В рамках анализа приводятся показатели индексов ММВБ энергетики и анализируется динамика за период с 2005 по 2016 г.

Ключевые слова: энергетика, отрасль, индекс, курс, динамика, биржа, фондовый рынок.

V.V. Androsov

ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF THE STOCK MARKET IN THE ENERGY SEGMENT FOR 2005-2016

The main tendencies of the stock market dynamics in the energy sector of the country's economy are considered in the article. In the framework of the analysis, the indices of the MICEX index of energy are given, and dynamics are analyzed for the period from 2005 to 2016.

Keywords: power, industry, index, exchange rate, dynamics, stock market, stock market.

Энергетика – основополагающая отрасль российской экономики. Электроэнергетика занимается производством и передачей электроэнергии и является одной из базовых отраслей тяжелой промышленности. Основная часть электроэнергии, производимой в России, используется промышленностью (60 %), причем большую часть потребляет тяжелая индустрия – машиностроение, металлургии, химическая, лесная промышленность.

Биржевой индекс ММВБ Энергетика – это взвешенный по рыночной капитализации индекс акций компаний, основными видами деятельности которых являются производство, передача и сбыт электроэнергии и тепловой энергии. Начальное значение индекса на 30 декабря 2004 г. составило 1000 индексных пунктов. Валютой расчёта индекса является рубль РФ. Пересмотр состава базы расчёта индекса осуществляется один раз в квартал.

На сегодняшний день в состав индекса входят 24 крупнейших российских энергетических предприятий:

1. Интер РАО ЕЭС,
2. Иркутскэнерго,
3. Квадра,
4. Ленэнерго,
5. Ленэнерго (прив.),
6. Мосэнерго,
7. МОЭСК,
8. МРСК Волги,
9. МРСК Севера-Запада,
10. МРСК Урала,
11. МРСК Центра и Приволжья,
12. МРСК Центра,
13. МРСК Юга,
14. ОГК-2,
15. Россети,
16. Россети (прив.),
17. РусГидро,
18. ТГК №1
19. ТГК №2
20. ТНС энерго
21. ФСК ЕЭС,
22. Энел Россия,
23. Юнипро,
24. Якутскэнерго.

Расчет индекса ММВБ Энергетика осуществляется на основе капитализации компаний, включенных в индекс, с учетом free – float. Free-float публичной компании – доля акций эмитента, находящихся в свободном обращении. Расчет значения рублевых индексов осуществляется в режиме реального времени при совершении каждой сделки с ценными бумагами, включенными в базу расчета соответствующего индекса.

Формула расчета индекса представлена в табл. 1.

Таблица 1

Формула расчета индекса ММВБ энергетика

Формула расчета индекса	$I_n = \frac{MC_n}{D_n},$ где I_n – значение индекса на n -й момент расчета; MC_n – суммарная стоимость (капитализация) всех акций по состоянию на n -й момент расчета; D_n – значение делителя на n -й момент расчета индекса
Формула расчета капитализации	$MC_n = \sum_{i=1}^N P_i \cdot Q_i \cdot FF_i \cdot W_i,$ где N – общее количество Акции; P_i – цена i -й акции, выраженная в рублях; Q_i – общее количество i -х акций одной категории одного эмитента; FF_i – поправочный коэффициент, учитывающий количество ценных бумаг i -го вида в свободном обращении (коэффициент free-float); W_i – коэффициент, ограничивающий долю капитализации i -й акции (весовой коэффициент)

В табл. 2 отражена структура индекса ММВБ Энергетика. Наибольшие веса при расчете индекса имеют 5 крупнейших компаний, суммарный вес которых более 65 %.

Таблица 2

Структура индекса ММВБ энергетика

Наименование	Количество выпущенных акций	Коэффициент, учитывающий free-float	Коэффициент, ограничивающий вес акции	Вес акции по сост. на 30.11.2016
ПАО «Интер РАО»	104 400 000 000	29 %	0,3274314	15,00 %
ПАО «РусГидро»	386 255 464 890	23 %	0,4510512	15,00 %
ПАО «ФСК ЕЭС»	1 274 665 323 063	21 %	0,7029474	15,00 %
ПАО «Юнипро»	63 048 706 145	18 %	1	12,74 %
ПАО «Россети»	195 995 579 707	11 %	1	10,38 %
ПАО «Россети2, ап	2 075 149 384	93 %	1	1,74 %
ПАО «Мосэнерго»	39 749 359 700	20 %	1	7,28 %
ПАО «ОГК-2»	110 441 160 870	18 %	1	3,66 %
ПАО «Иркутскэнерго»	4 766 807 700	10 %	1	3,04 %
ПАО «ТГК-1»	3 854 341 416 571	19 %	1	2,86 %
ПАО «Энел Россия»	35 371 898 370	17 %	1	2,51 %
ПАО «МРСК Центра»	42 217 941 468	34 %	1	2,07 %
ПАО «Ленэнерго»	1 658 814 839	9 %	1	0,29 %
ПАО «Ленэнерго», ап	93 264 311	76 %	1	1,22 %

Наименование	Количество выпущенных акций	Коэффи- циент, учитывающ ий free-float	Коэффициент, ограничивающ ий вес акции	Вес акции по сост. на 30.11.2016
ПАО «МРСК Центра и Приволжья»	112 697 817 043	21 %	1	1,49 %
ПАО «МОЭСК»	48 707 091 574	8 %	1	1,39 %
ПАО ГК «ТНС энерго»	13 668 239	10 %	1	0,87 %
ОАО «МРСК Урала»	87 430 485 711	13 %	1	0,76 %
ПАО «МРСК Волги»	181 094 601 146	21 %	1	0,76 %
ПАО «Квадра»	1 912 505 577 759	24 %	1	0,63 %
ПАО «МРСК Северо- Запада»	95 785 923 138	25 %	1	0,47 %
ПАО «МРСК Юга»	49 811 096 064	39 %	1	0,43 %
ОАО «ТГК-2»	1 458 404 850 747	21 %	1	0,23 %
ПАО «Якутскэнерго»	7 963 562 986	15 %	1	0,16 %

Далее следует проанализировать динамику индекса ММВБ энергетика за период 2005–2016 гг. График динамики биржевого индекса ММВБ энергетика за всю его историю представлен на рисунке.

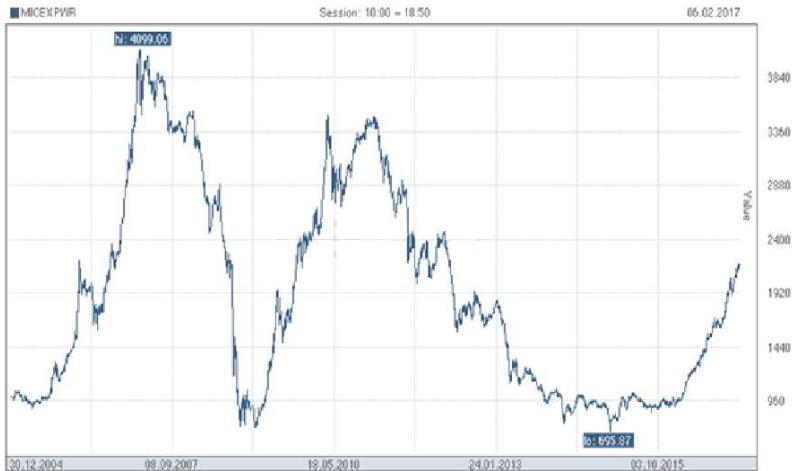


Рис. Исторический график динамики биржевого индекса ММВБ энергетика за 2005–2016 гг.

Начальное значение индекса на 30 декабря 2004 г. составило 1000 индексных пунктов и вплоть до предкризисного 2008 г. наблюдался его стремительный рост. Геополитическая и экономическая ситуация в мире непосредственно влияет на все энергетические предприятия, так как энергетика – основополагающая отрасль любой экономики. Исходя из этого, с сентября 2007 по 2009 г. капитализация предприятий энергетики упала более чем в 4 раза.

Аналогично предыдущему периоду отрасль развивалась в следующем цикле с 2009 по 2014 г. Бурный рост, связанный с восстановлением экономики РФ и ростом ВВП, сменился затяжным падением, связанным с геополитической ситуацией и санкциями со стороны западных государств.

В 2015 г. начался новый цикл. Приспособление к изменившимся экономическим условиям, а также переориентация на восточные рынки сбыта сделали возможным восстановление экономики РФ и, как следствие, восстановление энергетического рынка. На сегодняшний день наблюдается восходящий тренд, и если не случится каких-либо экономических шоков, то он имеет шанс продлиться на несколько лет вперед.

Библиографический список

1. Биржевой индекс ММВБ энергетика [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.investing.com/> (дата обращения: 12.05.2017).
2. Московская межбанковская валютная биржа. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <http://moex.com/> (дата обращения: 12.05.2017).

Сведения об авторе

Андросов Владимир Владимирович – магистрант Новосибирского государственного технического университета, гр. ЭКМ-51, г. Новосибирск, e-mail: s_ev54@mail.ru.

В.А. Будаян, Н.М. Труфанова

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В МЕСТЕ ПРОКЛАДКИ КАБЕЛЯ С УЧЕТОМ ЛУЧИСТОГО ТЕПЛООБМЕНА

В данной статье рассматривается процесс тепломассопереноса в месте прокладки электропроводок через различные электромонтажные трубы. Рассматривается вопрос моделирования данного процесса с целью проведения оценки влияния конструкции и материала электромонтажных труб на длительно допустимые токи кабелей.

Ключевые слова: тепломассоперенос, прокладка кабелей, моделирование.

V.A. Budayan, N.M. Trufanova

RESEARCH OF PROCESS OF THE HEATMASS TRANSFER IN THE PLACE OF LAYING OF THE CABLE TAKING INTO ACCOUNT RADIANT HEAT EXCHANGE

In this article process of a heatmass transfer in the place of laying of electroconductings through various electroassembly pipes is considered. The question of modeling of this process for the purpose of evaluating influence of a design and material of electroassembly pipes is considered on it is long admissible currents of cables.

Keywords: heatmass transfer, laying of the cable, modeling.

В настоящее время при прокладке кабелей и проводов широко используются гофрированные электромонтажные трубы, изготовленные из различных материалов, в то время как нормативные требования к длительно допустимым токам устанавливают величину такового только для прокладки в трубе, без учета специфики материалов и ее конструкции. Возникает необходимость установления зависимостей между материалами, а также конструкцией электромонтажных труб и длительно допустимыми токами для кабелей, проложенных внутри таковых.

Для определения токовых нагрузок, при которых происходит нагрев элементов кабеля до предельно допустимых температур, необходимо решить задачу тепломассопереноса.

При решении таких задач учитывались естественная конвекция воздуха, гравитационная составляющая для описания конвективного тепломассопереноса.

Математическая модель движения и теплоперенос воздуха основываются на законах сохранения массы, количества движения и энергии.

При создании модели сделаны следующие допущения:

- 1) процесс стационарный;
- 2) теплофизические свойства твердых материалов постоянны;
- 3) течение воздушных масс ламинарное;
- 4) плотность воздуха зависит от температуры по закону Буссинеска.

Граничные условия:

– для скоростей на поверхности стенки канала и кабелей – непроникновения и прилипания;

– на границах расчетной области и на границах контакта разнородных сред задаются граничные условия четвертого рода и условия сопряжения температур.

Мощность внутреннего источника тепла в токопроводящей жиле определяется согласно закону Джоуля–Ленца.

Выбран набор образцов сравнения (рис. 1), позволяющий оценить влияние степени заполнения трубы и материала на длительно допустимые токи и перегрев кабеля.

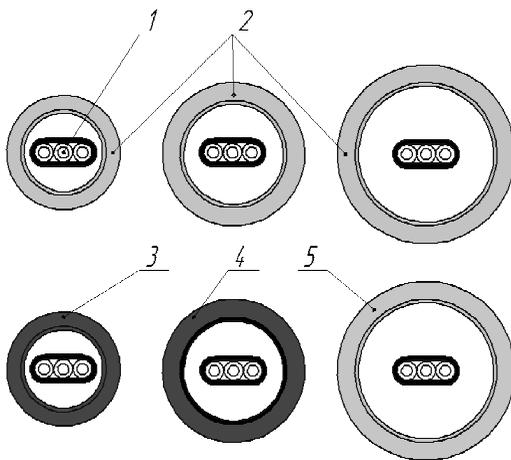


Рис. 1. Схема заполнения образцов кабелем ВВГнг-LS 3×2,5 мм²: 1 – кабель, 2 – гофрированные трубы из ПВХ-пластика серого цвета (ГТ1 D16, ГТ1 D20, ГТ1 D25), 3 – гофрированная труба из ПНД фотостабилизированного (ГТ2 D16), 4 – металлический (стальной) рукав в сплошной оболочке из ПВХ пластика (MP1 D20), 5 – гофрированная труба из ПНД с повышенной химической стойкостью (ГТ3 D25)

Предложенная модель тепломассопереноса реализуется в программном комплексе ANSYS. Для исследования данного процесса в ICEM CFD создается расчетная область, включающая в себя кабель и элементы окружающей среды с учетом требований, предъявляемых к данному способу прокладки. Размеры элементов кабеля воспроизводятся на основе замеров образца, использованного в натурном исследовании (рис. 2). Для решения задачи полученная геометрия разбивается на конечные элементы (рис. 3).

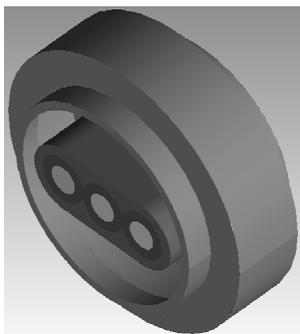


Рис. 2. Элемент гофрированной трубы и кабеля в ICEM CFD

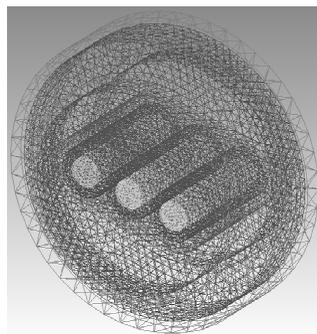


Рис. 3. Сетки конечных элементов

Для уточнения применяемой модели тепломассопереноса в качестве одного из способов перераспределения тепловой энергии вводится лучистый теплообмен. В программе для моделирования ANSYS fluent применяется модель лучистого теплообмена S2S (Surface To Surface), описывающая процесс передачи тепла между двумя поверхностями с учетом степени черноты материала поверхностей.

Применяемая модель имеет следующее допущение:

– твердые материалы оптически непроницаемы (поглощение лучистой энергии происходит на поверхности без проникновения в толщу вещества);

– лучистый теплообмен происходит в двух изолированных в (оптическом плане) средах – теплообмен между поверхностью кабеля и внутренней стенкой кабеленесущей трубы, излучение с поверхности трубы с поглощением лучистого тепла стенами помещения.

Результаты моделирования с учетом лучистого теплообмена представлены в таблице. Проведено сравнение результатов моделирования (рис. 4).

Сравнение результатов моделирования

Модель			Натурное исследование		Модель			Натурное исследование	
ГТ2 D16			ГТ2 D16		MP1 D20			MP1 D20	
<i>I</i> , А	Без ЛТ* <i>T</i> , °С	С ЛТ* <i>T</i> , °С	<i>I</i> , А	<i>T</i> , °С	<i>I</i> , А	Без ЛТ* <i>T</i> , °С	С ЛТ* <i>T</i> , °С	<i>I</i> , А	<i>T</i> , °С
18,3	54	48	18,3	48	18,1	63	54	18,1	56
23,3	71	62	23,3	63	22,7	75	70	22,7	71
27,8	89	78	27,8	79	26,8	93	89	26,8	90

*ЛТ – лучистый теплообмен.

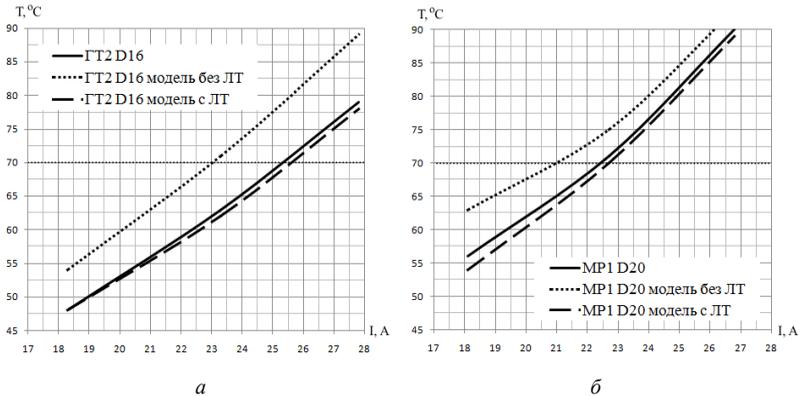


Рис. 4. Сравнение результатов моделирования: *а* – для гофрированных труб из ПВД; *б* – для металлорукава в ПВХ оболочке

Введение в модель лучистого теплообмена позволяет получить результаты, близкие к результатам натурального эксперимента, отклонение в 1–2 °С не превышает погрешности в 2,5 %, что является приемлемым результатом в рамках решаемой задачи.

Моделирование процесса тепломассопереноса с учетом лучистого теплообмена позволяет получить достаточно точные значения температур для тепловых полей в местах прокладки кабелей с использованием различных кабеленесущих конструкций.

Применение труб при прокладке кабелей требует снижения длительно допустимых токов на 13–23 % от длительно допустимых токов для открытой прокладки. Максимальное снижение длительно допустимого тока наблюдается для прокладки в металлорукаве с ПВХ-оболочкой, минимальное для гофрированной трубы из ПВД черного цвета.

Длительно допустимые токи в % от длительно допустимого тока при открытой прокладке (28,5 А) для кабеля ВВГнг-LS 3×2,5, проложенного:

- в металлорукаве в ПВХ-оболочке черного цвета 77 % (22 А);
- гофрированных трубах из ПВХ серого цвета 80 % (23 А);
- гофрированных трубах из ПНД оранжевого цвета 85 % (24,5 А);
- гофрированных трубах из ПНД черного цвета 87 % (25 А).

Изменение степени заполнения трубы кабелем (увеличение диаметра труб) не оказывает существенного влияния на перегрев кабеля и длительно допустимые токи, при изменении степени заполнения в 3 раза зафиксировано изменение длительно допустимого тока на 1 А, что составляет 3,5 %.

Библиографический список

1. Кудинов И.В. Исследование сложного теплообмена в многослойной конструкции, включающей энергосберегающие газовые прослойки. – Самара: Изд-во Самар. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2014.
2. Ковтинюк А.Е. Стационарная задача сложного теплообмена / Дальневост. федерал. ун-т. – Владивосток, 2014.
3. Завалий А.А., Снежкин Ю.Ф. Разработка и тепловое моделирование устройств инфракрасной сушки термолабильных материалов. – Симферополь: Ариал, 2016. – 24 с.
4. Крутов В.И. Техническая термодинамика. – М.: Высшая школа, 1981. – 440 С.
5. Луканин В.К. Теплотехника: учеб. для вузов. – М.: Высшая школа, 2000. – 261 с.
6. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во МЭИ, 2005. – 550 с.

Сведения об авторах

Будаян Валентин Алексеевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-15-1м, г. Пермь, e-mail: shaoran@live.ru.

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

И.В. Бурдышев, А.В. Казаков

РАСЧЕТ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СТЕН

В данной статье рассмотрены теплоизолирующие свойства конструкций стен, выполненных из блоков несъемной опалубки различных материалов. Проанализированы характеристики энергоэффективности данных материалов и конструкций.

Ключевые слова: расчет, энергоэффективность.

I.V. Burdyshev, A.V. Kazakov

CALCULATION OF ENERGY EFFICIENCY OF WALLS

This article describes the insulating properties of walls, made of blocks of permanent formwork of different materials. Analyzed energy efficiency data of materials and structures.

Keywords: calculation, energy efficiency.

Данная работа посвящена оценке энергоэффективности стен. Проблема энергоэффективности сегодня актуальна как никогда. Дело не только в повышении цен на энергоресурсы, но и в ухудшение экологической ситуации, связанной с парниковым эффектом.

Целью данной работы является сравнение теплоизолирующих свойств различных материалов и конструкций стены из блоков несъемной опалубки [1].

Для решения данной задачи была выбрана универсальная программная система конечно-элементного анализа – ANSYS. Данная программа предназначена для решения задач механики деформируемого твердого тела, механики конструкций, задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей.

Были проведены исследования свойств упрощенной конструкции стены, состоящей из однородных слоев. Так как температура будет изменяться только в направлении оси x (рис. 1), был рассмотрен тонкий кусочек стены. Материал стенок – опилкобетон. Сравнивались три вида утеплителя – пенополистирол, минеральная вата и керамзит. Толщина опалубки 50 мм, бетона 150 мм. Толщина утеплителя 100 мм.

На внутренней стенке заданы условия конвективного теплообмена с коэффициентом теплоотдачи $10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ и температурой $+20 \text{ }^\circ\text{C}$, на внешней температура $-30 \text{ }^\circ\text{C}$, коэффициент теплоотдачи $10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

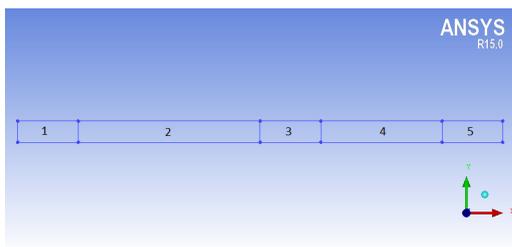


Рис. 1. Схема части блока: 1 – внутренняя стенка; 2 – бетон; 3 – перегородка между бетоном и утеплителем; 4 – утеплитель; 5 – внешняя стенка

В результате проведенных расчетов были получены распределения температуры в стенке для трех вариантов утеплителя: пенополистирол (рис. 2), минеральная вата (рис. 3), керамзит (рис. 4).

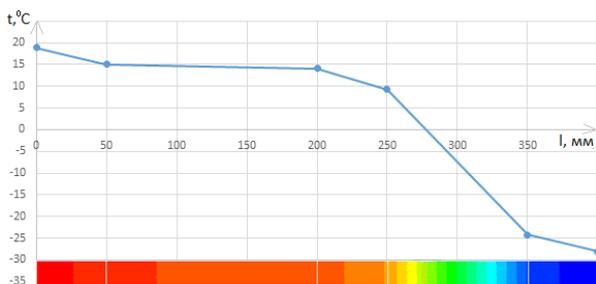


Рис. 2. Распределение температуры в стенке с утеплителем из пенополистирола

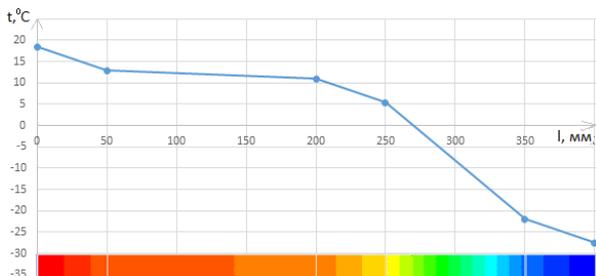


Рис. 3. Распределение температуры в стенке с утеплителем из минеральной ваты

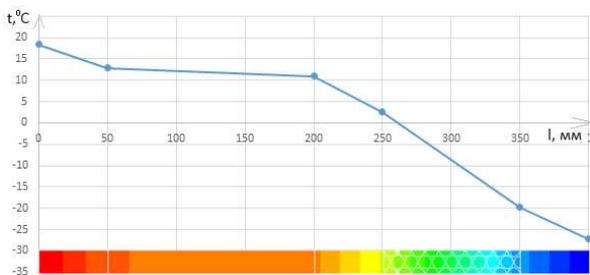


Рис. 4. Распределение температуры в стенке с утеплителем из керамзита

Численные результаты эксперимента сведены в табл. 1.

Таблица 1

Численные результаты первого эксперимента

l, мм	Температура, °C		
	Пенополистирол	Минеральная вата	Керамзит
0	18,93	18,54	18,44
50	15,1	12,9	12,85
200	14,14	11,02	10,98
250	9,35	5,37	2,6
350	-24,18	-21,91	-19,75
400	-28,02	-27,55	-27,2

При анализе полученных результатов был сделан вывод, что лучший утеплитель – пенополистирол, так как в нем, а также в самой стенке больший перепад температуры. Хуже всех утеплитель из керамзита. Далее была рассмотрена та же самая стена, но уже с перегородками.

В ней изучалось влияние перегородок на энергоэффективность для двух вариантов опалубки – из опилкобетона и гиперпрессованного кирпича. В качестве утеплителя был выбран пенополистирол. Размеры и граничные условия те же самые.

Результаты расчетов для блока из опилкобетона (рис. 5) и гиперпрессованного кирпича (рис. 6) представлены на рисунках в виде графиков.

Численные результаты эксперимента сведены в табл. 2.

Численные результаты второго эксперимента

l , см	Без перегородок	С перегородками		Без перегородок	С перегородками	
		Перегорodka	Утеплитель		Перегорodka	Утеплитель
0	18,93	18,74	18,74	18,73	15,58	15,58
50	15,1	14,93	13,03	18,73	13,06	13,06
200	14,4	10,17	12,08	16,83	7,18	8,86
250	9,35	3,5	7,31	15,88	1,3	7,18
350	-24,18	-20,3	-24,11	-27,72	-18,02	-24,75
400	-28,02	-27,92	-27,92	-27,72	-23,9	-25,59

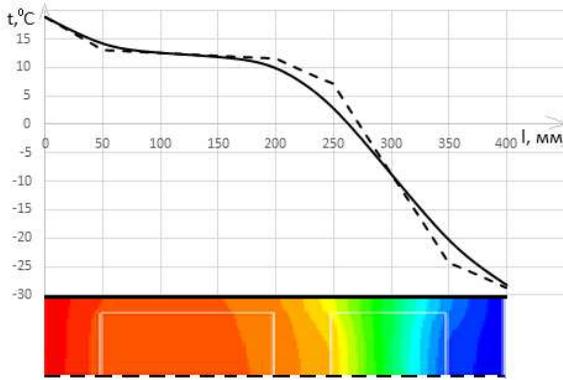


Рис. 5. График распределения температуры в блоке из опилкобетона

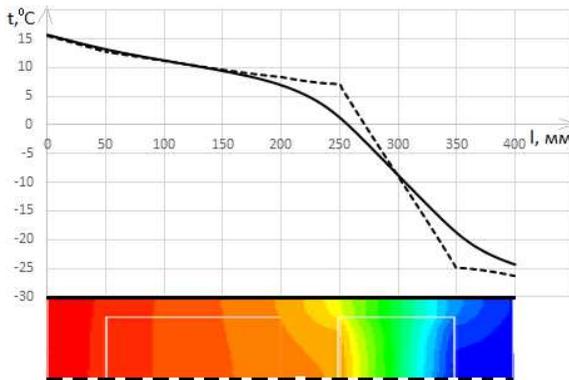


Рис. 6. График распределения температуры в блоке из гиперпрессованного кирпича

В результате расчетов можно прийти к выводу, что наличие перегородок в блоке из гиперпрессованного кирпича существенно увеличивает теплопроводность конструкции, в блоке из опилкобетона их наличие также увеличивает теплопроводность стены, но не так существенно.

Библиографический список

1. Щербинин А.Г., Черняев В.В. Теплопередача: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 138 с.
2. Ковригин Л.А. Основы кабельной техники: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2006. – 94 с.

Сведения об авторах

Бурдышев Иван Васильевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭИ-13-16, г. Пермь, e-mail: iburdyshev@mail.ru.

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

Д.А. Бурылов, А.Л. Симонов, В.А. Гурко

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РЕЗОНАНСНЫХ ФИЛЬТРОВ

В данной статье был построен выпрямитель с резонансным фильтром, целью которого было изменение $U_{нд}$ путем изменения одной из емкостей колебательного контура.

Ключевые слова: фильтр, испытания.

D.A. Burylov, A.L. Simonov, V.A. Gurko

RESEARCH OF THE PROPERTIES OF RESONANT FILTERS

In this article, a rectifier was built with a resonant filter, the purpose of which was to change the $U_{нд}$ by changing one of the capacitances of the oscillatory circuit.

Keywords: filter, testing.

Исследование свойств резонансных фильтров

Цель: изменить $U_{нд}$ в определенном диапазоне за счет изменения C_1 и посмотреть, как будет влиять это изменение на контур L_2C_2 .

Задачи: изменяя значение C_1 , зафиксировать в таблице изменение $U_{нд}$. Изменяя значение C_2 , зафиксировать в таблице изменение $U_{нд}$. Просмотреть отличия $U_{нд}(C_1)$ от $U_{нд}(C_2)$. Найти величину C_1 , при которой будет наблюдаться минимум $U_{нд}$.

Фильтр: необходимо использовать параллельный фильтр (C_1L_1 , C_2L_2) для управления входным и выходным напряжением, а для снижения коэффициента пульсации – последовательный фильтр C_3L_3 , а также емкость 20 мкФ.

Для начала был построен выпрямитель со средней точкой с емкостным и резонансным фильтром с 2 параллельными, 1 последовательным контуром.

Основа фильтра схемы взята из (рис. 1) [2].

Изменяя значение C_1 , при значениях L_1 , L_2 и $L_3 = 200$ мГн $C_2 = 50$ мкФ, $C_3 = 13$ мкФ, мы повысили значение $U_{нд}$, при этом сохраняя прежний коэффициент пульсации. Причем, чем величина C_1 ближе к величине, на которой происходит резонанс на частоте 100 Гц, тем ниже значение $U_{нд}$ (рис. 1).

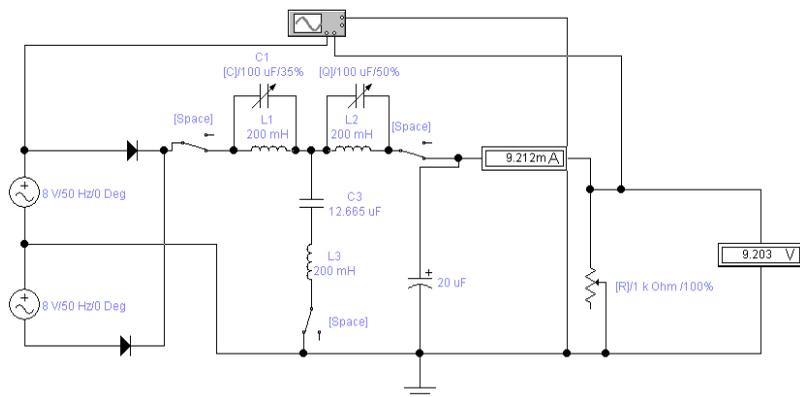


Рис. 1. Исходная схема резонансного фильтра

Расчет ε произведем по формуле

$$\varepsilon = \frac{U_{nd}}{U_1}. \quad (1)$$

Рассчитали f_p по формуле

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}. \quad (2)$$

Формулы для расчета взяты из [2].

Все полученные величины были записаны в табл. 1.

Таблица 1

Сводная таблица полученных величин

C_1 , мкФ	5	10	13	15	20	25
U_{nd} , В	9614	6,91	6,661	6,834	8,098	8,745
U_1 , В	0,897	0,641	0,819	0,773	0,434	0,5001
ε	0,093	0,093	0,123	0,113	0,054	0,057
f_p	159,15	112,53	98,70	91,88	79,57	71,17
C_1 , мкФ	30	35	40	45	50	
U_{nd} , В	9,044	9,212	9,315	9,421	9,432	
U_1 , В	0,684	0,819	0,910	0,869	0,994	
ε	0,076	0,089	0,098	0,092	0,100	
f_p	64,97	60,15	56,26	53,05	50,32	

Чтобы посмотреть, как величина C_1 влияет на напряжение U_{nd} и действительно убедиться, что на частоте колебание контура $C_1 L_1$ будет наименьшее U_{nd} , построили график зависимости: $U_{nd} = f(C_1)$ (рис. 2).

$$U_{nd} = f(C_1)$$

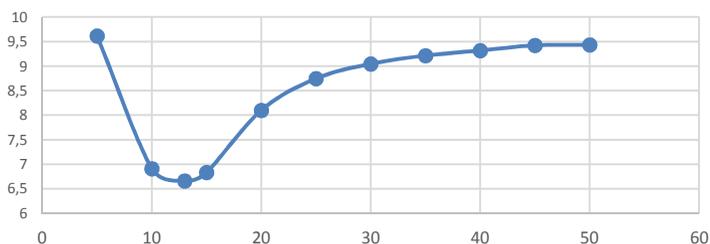


Рис. 2. Зависимость U_{nd} от величины емкости C_1 , с емкостью $C_2 = 50$ мкФ

При входном напряжении 16 В максимальное значение U_{nd} приблизительно 9,4 В, минимальное 6,7 В. При дальнейшем увеличении C_1 напряжение U_{nd} будет расти, но незначительно.

Также привели осциллограмму момента, когда $C_1 = 35$ (рис. 3).

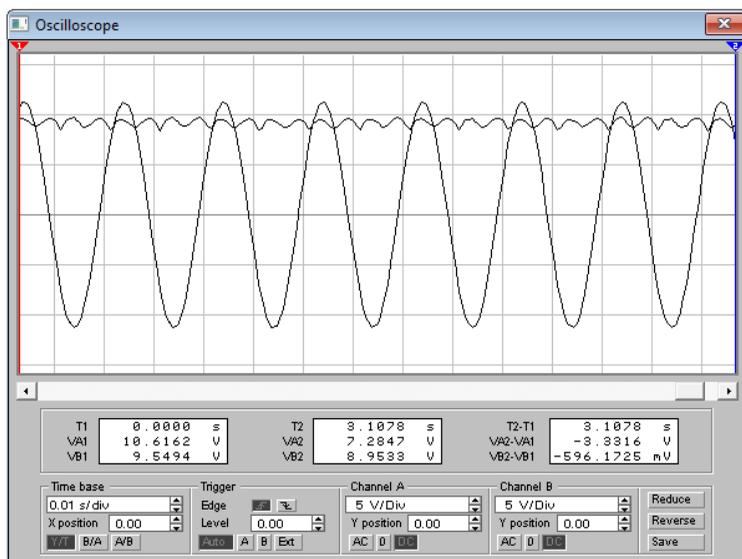


Рис. 3. Осциллограмма при $C_1 = 35$, $C_2 = 50$.

Далее изменили значение C_2 на 13 мкФ и повторили все предыдущие действия. Заметим, что 13 мкФ – это именно та емкость, при которой в контуре L_2C_2 наступит резонанс для нашей частоты в 100 Гц.

Таблица 2

Сводная таблица № 2

C_1 , мкФ	5	10	13	15	20	25
$U_{нд}$, В	9,617	6,791	6,545	6,709	8,264	8,826
U_1 , В	0,973	0,790	1,16	0,839	0,399	0,368
ε	0,101	0,116	0,177	0,125	0,048	0,041
f_p	159,15	112,53	98,70	91,88	79,57	71,17
C_1 , мкФ	30	35	40	45	50	
$U_{нд}$, В	9,059	9,2	9,26	9,340	9,4	
U_1 , В	0,483	0,657	0,840	0,992	1,1003	
ε	0,053	0,071	0,091	0,106	0,117	
f_p	64,97	60,15	56,26	53,05	50,32	

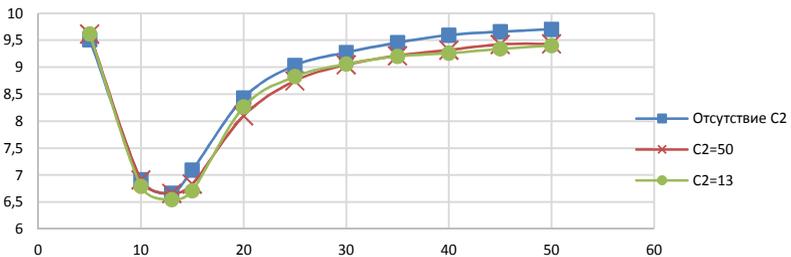
Следующим этапом убрали полностью контур L_2C_2 и проделали такие же действия, как до этого, и посмотрели на изменение параметров.

Таблица 3

Сводная таблица № 3

C_1 , мкФ	5	10	13	15	20	25
$U_{нд}$, В	9,51	6,916	6,664	7,094	8,428	9,031
U_1 , В	1,687	0,864	1,251	1,157	0,479	0,57
ε	0,177	0,125	0,188	0,163	0,057	0,063
f_p	159,15	112,53	98,70	91,88	79,57	71,17
C_1 , мкФ	30	35	40	45	50	
$U_{нд}$, В	9,271	9,453	9,593	9,656	9,702	
U_1 , В	0,912	1,164	1,339	1,443	1,489	
ε	0,098	0,123	0,139	0,149	0,1534	
f_p	64,97	60,15	56,6	53,05	50,32	

Для большей наглядности объединили графики для всех трех случаев с целью выявления закономерностей и некоторых выводов (рис. 4).

Рис. 4. Зависимость $U_{нд}$ от величины емкости C_1 для всех трех случаев

Как видно из графиков, величина емкости C_2 контура L_2C_2 влияет на величину $U_{нд}$. При минимальной C_1 разница в 0,1 В очень мала, поэтому ею в нашем случае можно пренебречь. При постепенном увеличении C_1 увеличивается и разница между зависимостями, и в конце исследуемого участка она доходит до 0,27 В, что больше в 2,7 раза начальной.

Выводы. В данной работе был построен выпрямитель с резонансным фильтром, целью которого было изменение $U_{нд}$ путем изменения одной из емкостей колебательного контура. Проведен опыт по моделированию построенного прибора. Все полученные результаты заносились в таблицу и по ним строились необходимые зависимости. Схема получилась рабочей, и опытным путем было выявлено, что наилучший вариант ее построения – это исключение из цепи контура L_2C_2 , ведь именно при этом достигается наибольший диапазон изменения $U_{нд}$, что и является целью исследования. Исходя из полученных результатов, можно предложить методическое указание для выполнения лабораторной работы студентами.

Библиографический список

1. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: пер. с англ.: в 3 т. Т.1. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Мир, 1993.

Сведения об авторах

Бурылов Дмитрий Анатольевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КЗИ-14-1б, г. Пермь, e-mail: burylov.dmitriy@gmail.com.

Симонов Анатолий Леонидович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КЗИ-14-1б, г. Пермь, e-mail: tolik.simonov@inbox.ru.

Гурко Владимир Алексеевич – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: vlgurko@gmail.com.

Р.И. Газизов, А.Г. Щербинин

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОВИСАНИЯ СОСТЫКОВАННОГО КАБЕЛЯ В ВУЛКАНИЗАЦИОННОЙ КАМЕРЕ

В данной работе рассмотрены проблемы возникновения дефектов изоляции кабеля при переходе с одного маркоразмера на другой. На основе проведенного исследования предлагается методика расчета параметров провисания кабеля в трубе с использованием уравнения цепной линии.

Ключевые слова: вулканизационная камера, провис, цепная линия.

R.I. Gazizov, A.G. Shcherbinin

CALCULATION OF JOIN CABLE SLACK PARAMETERS IN THE VULCANIZATION CHAMBER

In this paper, the problems of the appearance of defects in cable insulation during the transition from one mark-size to another are considered. Based on the study, a technique is proposed for calculating the sag of cable in a pipe, using the equation of the chain line.

Keywords: vulcanization chamber, sag, chain line.

Пероксидная сшивка полиэтиленовой изоляции кабелей на среднее и высокое напряжение происходит в наклонной вулканизационной трубе, имеющей геометрию цепной линии (рис. 1).

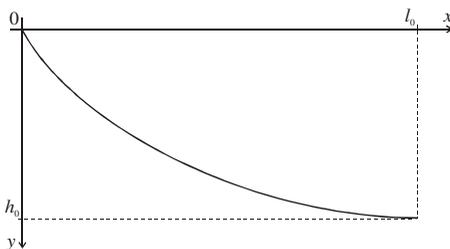


Рис. 1. Профиль осевой линии наклонной трубы

Автоматическая система управления экструзионной линии обеспечивает необходимое натяжение кабеля в трубе. При переходе кабеля с одного маркоразмера на другой, как правило, появляются дефекты, связанные с соприкосновением изделия с внутренними стенками

вулканизационной камеры. Для решения этой проблемы предлагается методика расчета параметров провисания состыкованных кабелей в трубе с использованием уравнения цепной линии, имеющего вид

$$y = \frac{1}{k_0} [\operatorname{ch}(k_0 l_0) - \operatorname{ch}(k_0(l_0 - x))], \quad (1)$$

где k_0 – параметр цепной линии; l_0 – расстояние по координате x между головкой пресса и точкой расположения затвора в трубе (см. рис. 1).

Параметр k_0 определяется из условия, что при $x = l_0$ $y = h_0$. Тогда уравнение (1) преобразуется к виду

$$h_0 k_0 = \operatorname{ch}(k_0 l_0) - 1. \quad (2)$$

При заданных l_0 и h_0 параметр k_0 наклонной трубы определяется приближенным методом из решения уравнения (2).

Проекция силы натяжения кабеля на ось x определяется по формуле

$$T_{x0} = \frac{mg}{k_0}, \quad (3)$$

где m – удельная масса кабеля, кг/м. При этом для любой точки по координате x – $T_{x0} = \operatorname{const}$.

Модуль вектора силы натяжения вычисляется как

$$T = \frac{T_{x0}}{\cos \alpha_0} = T_{x0} \operatorname{ch}(k_0(l_0 - x)), \quad (4)$$

а проекция этой силы на ось y определяется по формуле

$$T_y = T_{x0} \operatorname{tg} \alpha_0 = T_{x0} \operatorname{sh}(k_0(l_0 - x)). \quad (5)$$

Для определения натяжения двух состыкованных кабелей разной удельной массы при заданной координате местоположения точки стыковки задается координата стыковки кабелей x_p , y_p на оси наклонной трубы (рис. 2). Для каждого участка кабелей введем свою локальную систему координат (x_1, y_1) и (x_2, y_2) . Тогда координата стыковки кабелей в локальных системах координат определится как $x_{p1} = x_p$; $y_{p1} = y_p$; $x_{p2} = 0$; $y_{p2} = 0$. Усилия натяжения кабелей T_{x12} определяется итерационным методом из условия

$$T_{y1} \Big|_{x=0}^{x_1=0} - T_{y2} \Big|_{x=l_0}^{x_2=l_0-x_p} = s_1 m_1 g + s_2 m_2 g, \quad (6)$$

где T_{y1} и T_{y2} – проекции силы натяжения кабелей на ось y в начале и конце линии; m_1 и m_2 – удельные массы первого и второго участков кабелей; s_1 и s_2 – длины первого и второго участков кабелей.

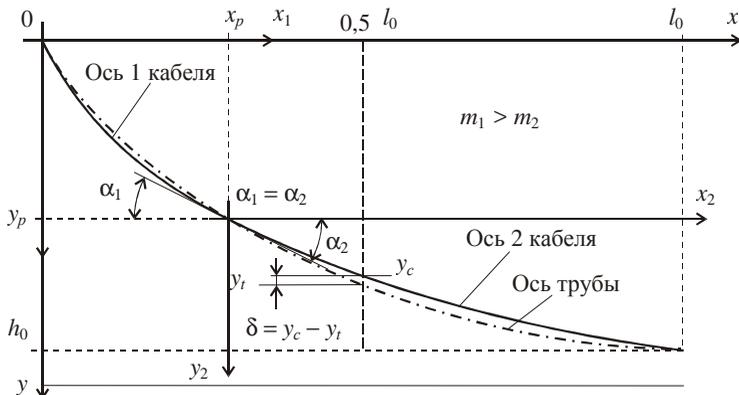


Рис. 2. Профиль состыкованных кабелей в наклонной трубе

В качестве примера приведем расчет для ЛКНВ с параметрами: $h_1 = 4,8$ м; $l_0 = 61,81$ м, масса изолируемых жил $m_1 = 1,65$ кг/м и $m_2 = 1,85$ кг/м. По уравнению (5) приближенными методами вычисляем k_1 , затем находим T_{x0} и T_M .

Для данного примера, получаем следующие значения:

$$0,078 = \frac{[\cosh(k_1 \cdot 61,81) - 1]}{k_1 \cdot 61,81} \rightarrow k_1 = 0,00251,$$

$$T_{x0} = \frac{1,65 \cdot 9,81}{0,00251} = 6448,8 \text{ Н}, \quad T_M = 6526,4 \text{ Н}$$

$$k_{T1} = 0,00251, \quad k_{T2} = 0,00281,$$

$$k_1 l_{T1} = 0,155 \rightarrow l_{T1} = 61,8 \text{ м},$$

$$k_2 l_{T2} = 0,164 \rightarrow l_{T2} = 58,44 \text{ м},$$

$$s_1 = 24,918 \text{ м}, \quad s_2 = 37,337 \text{ м},$$

$$1004,5 - (-61,2) = 403,34 + 677,61; \quad 1065,8 \neq 1080,9.$$

Условие при изначальном натяжении $T_{x12} = 6448,8$ не сошлось, далее итерационно подбираем то натяжение, при котором условие будет выполнено, для этого примера это $T_{x12} = 6253,7 \text{ Н}$.

$$1004,76 - (-76,37) = 403,42 + 677,71;$$

$$1081,13 = 1081,13.$$

Таким образом, в этой работе была предложена методика, позволяющая рассчитать оптимальное усилие натяжения состыкованного кабельного изделия в вулканизационной камере наклонного типа.

Библиографический список

1. Холодный С.Д., Харченко Д.А. Расчет усилия натяжения кабельного изделия в вулканизационной камере наклонной кабельной линии непрерывной вулканизации // Кабели и провода. – 2009. – № 3. – С. 10–11.

2. Ковригин Л.А. Основы кабельной техники: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2006. – 94 с.

Сведения об авторах

Газизов Руслан Ильдарович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-16-1м, г. Пермь, e-mail: gazizovruslan_55@mail.ru.

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

А.С. Гушчин, Е.В. Субботин, А.Г. Щербинин

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В данной статье выполнены экспериментальные работы по установлению закономерностей влияния низких температур на физико-механические параметры электроизоляционных материалов. С помощью динамического механического анализа получены температурные зависимости модуля упругости для исследуемых полимеров и определена условная критическая отрицательная температура их эксплуатации. По результатам сравнительного анализа полученных данных определены наиболее устойчивые к воздействию низких температур полимеры.

Ключевые слова: кабель, хладостойкие электроизоляционные материалы, натурный эксперимент, динамический механический анализ.

A.S. Gushchin, E.V. Subbotin, A.G. Shcherbinin

COMPARATIVE ANALYSIS OF PHYSICO-MATHEMATICAL PARAMETERS OF ELECTRICAL INSULATING MATERIALS AT LOW TEMPERATURES

This article will discussed experiments on establishing the regularities of the effect of low temperatures on mechanical-and physical parameters of electrical insulating materials. It presents a comparative analysis, and obtained the dependences of their characteristics on temperature. By dynamic mechanical analysis the temperature dependences of the elastic modulus for the studied polymers are received and conditional critical negative temperature of their operation is defined. According to the results of comparative analysis of the obtained data, the most resistant to low temperatures polymers are determined.

Keywords: cable, cold-resistant electrical insulating materials, full-scale experiment, dynamic mechanical analysis.

Непрерывно возрастающие потребности отечественной экономики в энергоресурсах вызывают необходимость освоения и развития северных областей страны.

Обязательной составляющей при этом является налаживание инфраструктуры, включающей в себя кабельные линии. Надежность работы средств передачи энергии напрямую зависит от эксплуатац

онных характеристик кабельных изделий, в особенности при низких температурах. Поэтому разработка новых рецептур электроизоляционных материалов является одним из важных и экономически перспективных направлений развития полимерной промышленности.

Целью данного исследования являлось проведение сравнительного анализа физико-механических параметров электроизоляционных материалов при низких температурах.

В качестве объекта исследований были рассмотрены образцы пластин электроизоляционных материалов шириной 6,2 мм, длиной 35 мм, идентифицированных цифровой маркировкой.

Исследование механических характеристик представленных образцов в области отрицательных температур проводилось методом динамического механического анализа [1] в соответствии с ASTM D4065-12 [2] в режиме осциллирующих деформаций (приложение к образцам периодических растягивающих усилий с определенной частотой и заданной величиной деформации) с частотой 2 Гц в температурном диапазоне от плюс 20 °С до минус 80 °С при постоянной скорости охлаждения 5 °С/мин. В результате исследований были построены зависимости модуля упругости образцов от температуры, представленные на рис. 1, 2.

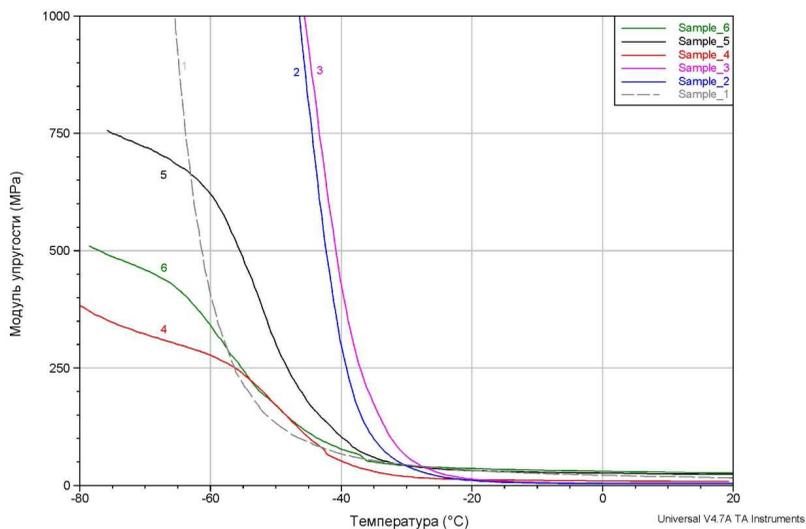


Рис. 1. Зависимости модуля упругости от температуры

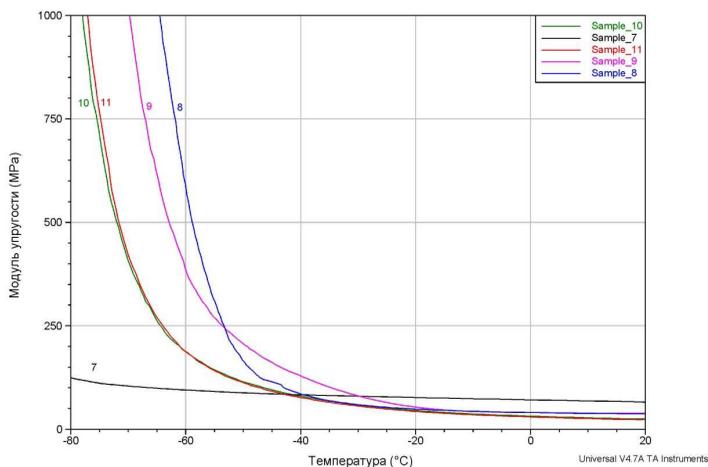


Рис. 2. Зависимости модуля упругости от температуры

Модуль упругости характеризует жесткость материала. Из рис. 1, 2 видно, что полученные температурные зависимости модуля упругости представленных электроизоляционных материалов существенно отличаются как качественно, так и количественно.

Необходимо отметить, что для материалов под № 2 и 3 технические возможности прибора не позволили построить температурные зависимости модуля упругости ниже минус 50°C (см. рис. 1).

Сравнительный анализ остальных образцов проводился по значениям модуля упругости при температурах минус 60 °С, плюс 20 °С и их отношению (таблица).

Результаты измерений

№ образца	E_{+20} , МПа	E_{-60} , МПа	E_{-60}/E_{+20}	$T_{\text{Крит}}$, °С	E_{-70} , МПа	$E_{T_{\text{Крит}}}$, МПа	$E_{T_{\text{Крит}}} / E_{+20}$
1	16,41	404,7	24,66	-65,3	2276	965,3	58,82
2	3,48	–	–	-38,9	–	233,4	67,07
3	3,98	–	–	-36,5	–	224,8	56,48
4	8,62	277,3	32,17	-38,7	322,1	45,0	5,22
5	23,21	620,9	26,75	-43,1	720,1	145,8	6,28
6	26,44	340,9	12,89	-44,6	458,9	109,4	4,14
7	65,58	94,8	1,45	-67,3	104,4	101,4	1,55
8	37,04	589,3	15,91	-55,4	–	321,1	8,67
9	38,63	384,7	9,96	-60,9	1029	424,5	10,99
10	25,36	187,1	7,38	-71,2	406,4	461,4	18,19
11	23,21	186,8	8,05	-69,4	421,5	397,5	17,13

Кроме того, была введена критическая температура $T_{\text{Крит}}$, которую условно можно рассматривать как минимально допустимую температуру эксплуатации материала. определялась как точка пересечения двух касательных, проведенных к температурной кривой модуля упругости (рис. 3). Также для более полной оценки поведения материала в области отрицательных температур необходимо учитывать величину отношения $E_{T_{\text{Крит}}} / E_{+20}$ (см. табл. 1).

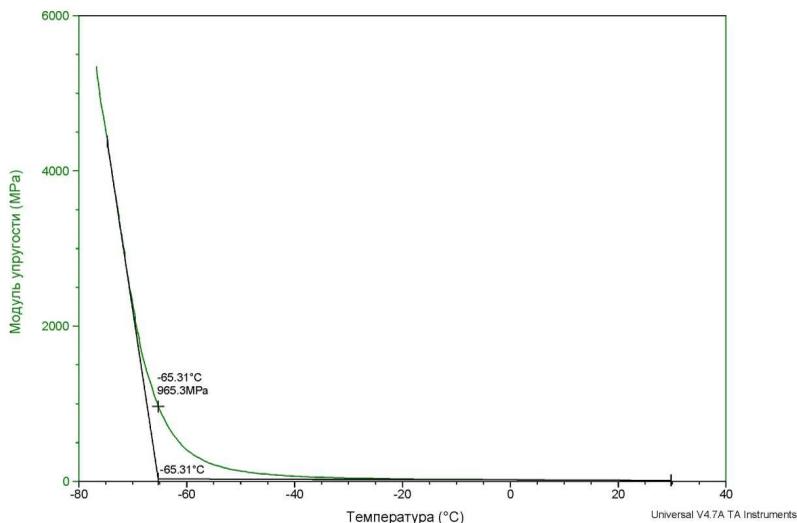


Рис. 3. Определение критической температуры ($T_{\text{Крит}}$) на примере образца № 1

Таким образом, с помощью динамического механического анализа можно сравнительно быстро определить наиболее устойчивые к отрицательным температурам полимерные материалы, которые в дальнейшем могут быть использованы при производстве кабельных изделий, предназначенных для эксплуатации в районах с холодным климатом.

Библиографический список

1. Шах В. Справочное руководство по испытаниям пластмасс и анализу причин их разрушения: пер. с англ. / под ред. А.Я. Малкина. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 732 с.
2. ASTM D4065-12 (Standard Practice for Plastics) Dynamic Mechanical Properties: Determination and Report of Procedures.

Сведения об авторах

Гущин Антон Сергеевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. МЭ-13-16, г. Пермь, e-mail: toshan_95@inbox.ru.

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

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

М.С. Девятков, Е.В. Субботин, А.Г. Щербинин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В данной работе проведены экспериментальные исследования физико-механических параметров электроизоляционных материалов при высоких температурах. Определена теплостойкость полимерных композиций по Вика. Выполнен термомеханический анализ исследуемых материалов.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, теплостойкость, термомеханический анализ

M.S. Devyatkov, E.V. Subbotin, A.G. Shcherbinin

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF PHYSICAL-MECHANICAL PARAMETERS OF ELECTRO-INSULATION MATERIALS AT HIGH TEMPERATURES

In this paper, experimental studies of the physico-mechanical parameters of electrical insulating materials at high temperatures have been carried out. The heat resistance of polymer compositions according to Vic was determined. Thermomechanical analysis of the materials was performed.

Keywords: experimental studies, heat resistance, thermomechanical analysis

В настоящее время полимеры широко используются практически во всех отраслях промышленности. Следует отметить, что надежность и срок службы готовых изделий, выполненных из данных материалов, могут в значительной степени зависеть от условий их эксплуатации. В данной работе проводятся экспериментальные исследования теплостойкости полимера, используемого в кабельной промышленности для изготовления электроизоляционных оболочек.

Исследование температуры размягчения образца изоляции проводилось в соответствии с ГОСТ 15088-2014 [1].

Исследование механических характеристик представленного образца в области высоких температур проводилось методом термомеханического анализа [2] путем приложения к данному полимерному материалу постоянной нагрузки в условиях нагрева с постоянной скоростью.

Определение теплостойкости по Вика [1] проводилось на образце в виде круглой пластинки диаметром 12,75 мм, толщиной 2,00 мм. Испытания проводились путем внедрения металлического индентора в образец с постоянной нагрузкой 10 Н/мм² при скорости нагрева 2°С/мин. Из рис. 1 видно, что теплостойкость по Вика для исследуемого материала составляет 101,9 °С.

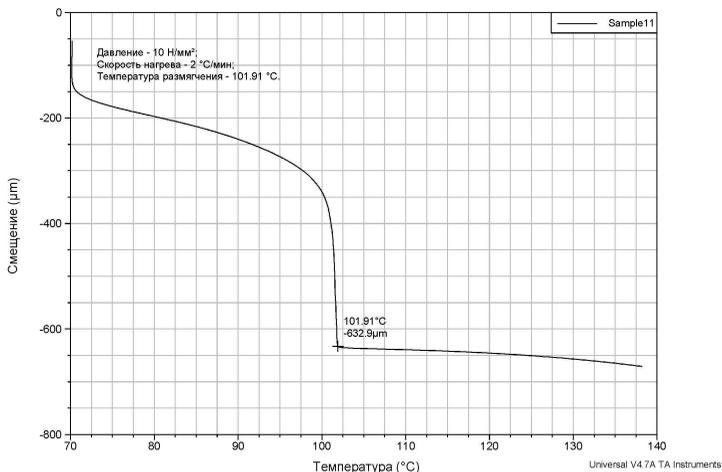


Рис. 1. Глубина продавливания образца индентором в зависимости от температуры

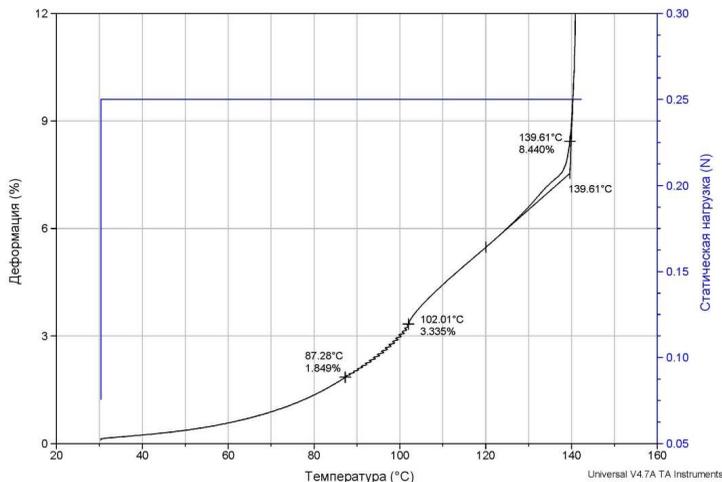


Рис. 2. Зависимость деформации от температуры для образца полимера при нагрузке 0,25 Н

Целью термомеханического анализа являлось определение температуры, при которой происходит разрушение материала под действием заданной малой нагрузки. Для испытаний был подготовлен образец в форме пластины шириной 6,2 мм, длиной 35 мм. Толщина образца 3 равнялась 1,45 мм, а образца 11 – 2,0 мм. Испытания проводились при скорости нагревания 5°С/мин под действием растягивающей нагрузки 0,25 Н. Результат эксперимента представлен на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что температура разрушения для исследуемого электроизоляционного материала под действием заданной нагрузки составляет 139,6°С. Кроме того, необходимо отметить, что на кривой деформации в диапазоне температур от 87,28 до 102,01°С присутствует «пилообразный» участок. Это может указывать на локальные разрушения пространственно-ориентированных структур в исследуемом материале.

Библиографический список

1. ГОСТ 15088-2014 Пластмассы. Метод определения температуры размягчения термопластов по Вика // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

2. Шах В. Справочное руководство по испытаниям пластмасс и анализу причин их разрушения: пер. с англ. / под ред. А.Я. Малкина – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 732 с.

Сведения об авторах

Девятков Максим Сергеевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭИ-13-16, г. Пермь, e-mail: devyatkovmak22031995@gmail.com.

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

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

Х. Джонг

ТЕОРИЯ НЕПОЗВОЛЕННОГО УСТРЕМЛЕНИЯ И НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

В данной статье предлагается новая теория, объясняющая принцип работы аккумулятора без химической реакции. Основной принцип работы этого источника питания позволяет ему работать значительно дольше традиционных источников питания. Данная статья также показывает простую демонстрационную конструкцию этого источника питания.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, химическая реакция, продолжительный срок службы.

H. Jung

THEORY OF NOT ALLOWED DESIRES AND NEW GENERATION OF POWER SOURCES

This article proposes a new theory to explain the principle of battery without a chemical reaction. The basic principle of operation of this power supply allows it to work much longer than traditional power sources. This article also shows a simple demonstration of this power source.

Keywords: battery, chemical reaction, long life-time.

В современном мире одной из самых главных проблем является энергетическая проблема. Не только в промышленности, но и в быту потребляют все больше и больше энергии, обычно в виде электричества. Многие люди пытаются решить эти проблемы с помощью новой технологии или государственным регулированием, но значительный прогресс пока не произошел.

Чтобы полностью решить энергетическую проблему, необходимо создать технологию практически вечного двигателя или аккумулятора. Но большинство людей отвергают эту идею так как они сильно верят во второй закон термодинамики, говорящий, что физический мир замкнутый. Поэтому мало людей пробовали создать вечный двигатель или аккумулятор.

Второй закон термодинамики на самом деле верен на механическом уровне. Если входящая энергия равна 12 В , ни одна система не может работать больше 12 В . Например, если подать 12 В и 1 А

в повышающий преобразователь напряжения и замкнуть цепь без сопротивления, напряжение может повышаться до 50 В, но сила тока подает меньше 240 мА. Некоторые повышающие преобразователи напряжения сохраняют электричество в несколько периодов в конденсаторе и отдают 50 В и 1 А одновременно, но в обоих случаях КПД меньше 100 %.

Но никто пока не задавал такие вопросы: может ли аккумулятор работать без химической реакции и чем действующий механизм аккумулятора отличается от традиционной теории? Чтобы найти ответ на этот вопрос, я решил исследовать аккумуляторы самым простым способом: разобрать некоторые виды батареек и аккумуляторов, и провести несколько экспериментов, чтобы узнать их конструкцию и компоненты.

Сперва я разбирал солевую батарейку. Она состоит из угольного (графитового) катода, цинкового анода (цинкового корпуса) и в качестве электролита содержит мокрую смесь диоксида марганца и хлорида аммония по традиционной теории. Я добавил гидрокарбонат натрия (пищевая сода) в электролит солевой батарейки, чтобы проверить существование хлорида аммония. Я почувствовал запах аммиака. Это значит, что в этой смеси есть хлорид аммония. Но я также наблюдал и выделение углекислого газа, как будто в электролите солевой батарейки тоже есть разбавленная кислота. Я проводил тот же самый опыт с солевыми батарейками других производителей. Результаты были те же самые: солевая батарейка содержит кислоту, разрушающую цинковый анод (цинковый корпус) со временем.

Производители литиевого аккумулятора говорят, что у литий-ионного есть медный катод, алюминиевый анод и электролит с ионным литием (гидроксида лития, или подобных литиевых веществ). У них действительно есть медный катод и алюминиевый анод. Но одновременно я почувствовал сильный запах спирта, как будто они наливали водку в эти аккумуляторы. Я поместил электролит литиевого аккумулятора под пламя зажигалки, чтобы проверить, существует ли в нем литий или литиевые вещества. Если бы там был литий, он должен был показать характерное красное пламя или искру лития. Но электролит литий-ионного аккумулятора не только не показал литиевое пламя, он даже не горел.

Производители аккумуляторов и батареек обманывают людей. Они создали свои товары так, чтобы они «разряжались».

Чтобы узнать реальный принцип работы аккумулятора и батареи, я провел еще один опыт. Я сделал гальванический элемент с медным катодом, алюминиевыми анодом и водяным электролитом. Я использовал обыкновенную пищевую фольгу, изготовленную по ГОСТ 745-2003, голую медную проволоку, также по ГОСТ 4752-2012 и дистиллированную воду по ГОСТ 6709-72 из магазина автозапчастей. Он давал примерно 0,7~0,8 В. Это не мощный аккумулятор, но он доказывает, что аккумулятор работает без химической реакции.

Я построил новую теорию, теорию непопозволенного устремления, чтобы объяснить реальный принцип работы аккумулятора. Основной идеей этой теории является устремление предметов к уравнению. У всех предметов есть различные потенциалы. Например, у металлов есть больше потенциалов, чем у оксидов. Они устремляются уравнять эти потенциалы. Но они не могут получить такое уравнение, если они не касаются друг друга в молекулярном уровне. Присутствие пространства в физическом мире не позволяет им достичь эту цель в большинстве случаев. В конструкции аккумулятора устремление электродов улучшилось благодаря электропроводящей жидкости.

Эта теория даже может объяснить причины молнии, которые ни одна физическая теория в настоящее время не может объяснить полно. В воздухе есть огромное количество пыли. Эта пыль работает ядром в создании облаков. Часто образуются облака с низкопотенциальной пылью, а в другом случае с высокопотенциальной пылью. Пыль работает как электроды. Когда устремление между этими облаками достаточно большое и их расстояние достаточно близкое, устремление двух облаков становится молнией. Но огромное напряжение разгоняет эту пыль после этого, поэтому обычно молния долго не длится. Иногда такое устремление между облаками и землей достаточно сильное, и молния возникает не с другим облаком, а с землей. Обычно там, где находятся предметы с большими потенциалами. Например, металлическая антенна отлично работает анодом, и облако с оксидной пылью работает катодом. Когда они довольно близко находятся друг к другу, электричество проходит между ними в виде молнии. Но после нескольких миллисекунд пыль в облаке разгоняется и больше не работает катодом.

Аккумулятор без химической реакции работает существенно дольше традиционных батареек и аккумуляторов. Их срок службы

практически не ограничен, так как электроды не разрушаются. Эта характеристика такого типа аккумулятора может помочь человечеству решить энергетическую проблему.

Библиографический список

1. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200035187>
2. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200104380>
3. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200005680>

Сведения об авторе

Ходжунг Джонг – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гражданин Республики Кореи, г. Пермь, e-mail: hojungjeong123@yandex.ru.

А.С. Зыков, Н.М. Труфанова

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ МУФТЫ СИЛОВОГО КАБЕЛЯ НА НАПРЯЖЕНИЕ 10 кВ

В данной статье разработана трехмерная математическая модель процессов теплопереноса в кабельной линии с учетом соединительной муфты, проложенной в земле и на воздухе. Численная реализация осуществлялась с помощью метода конечных элементов в среде Ansys.

Произведен анализ работы кабельной линии и муфты кабеля ПвП 1×400-10 кВ. Определены температурные поля в муфте кабеля.

Ключевые слова: муфта, распределение температурного поля.

A.S. Zykov, N.M. Trufanova

NUMERICAL ANALYSIS OF THE TEMPERATURE FIELDS OF THE CLUTCH OF A POWER CABLE WITH A VOLTAGE OF 10 kV

In this paper, a three-dimensional mathematical model of heat transfer processes in a cable line has been developed, taking into account the couplings laid in the ground and in the air. The numerical implementation was carried out using the finite element method in the Ansys environment.

The analysis of the work of the cable line and cable clutch PvP 1x400-10 kV is made. The temperature fields in the cable clutch are determined.

Keywords: joint, temperature field distribution.

Для прокладки кабелей на большие расстояния используют не одну, а несколько строительных длин, которые соединяются между собой кабельной муфтой. Такие муфты называются соединительными. Нужно отметить, что многочисленные отказы при эксплуатации кабелей связаны с некачественным монтажом муфт, с повышенным электрическим сопротивлением в месте соединения жил. Известно, что допустимые максимальные токи определяются условием работы, при котором максимально температур жилы не превысит допустимого значения.

Математическая модель, описывающая процессы теплопереноса в кабельной линии и муфте, основанная на законе сохранения энергии, в дифференциальной постановке имеет следующий вид

$$\rho_j c_j \frac{\partial T}{\partial t} + v_i \frac{\partial T}{\partial x_i} = -\lambda_j \Delta T + q_v,$$

где x_i – декартовы координаты; ρ_j, c_j, λ – плотность, теплоемкость, коэффициент теплопроводности жилы, изоляции и муфты, кг/м^3 , $\text{Дж/кг}\cdot\text{С}$, $\text{Вт/м}\cdot\text{С}$; T – температура, $^{\circ}\text{С}$; q_v – мощность внутренних источников тепла в токопроводящей жиле, в уравнении для изоляции данная составляющая отсутствует, Вт/м^3 ; t – время процесса, с.

При этом сделаны следующие допущения:

– экраны из полупроводящего полиэтилена и оболочка совмещены с изоляцией в один слой, так как их теплофизические характеристики сравнительно похожи. В действительности муфта представляет собой набор слоев, и по конструкции она аналогична соединяемому кабелю, но в данной задаче муфта представляет однородный материал со средневзвешенными характеристиками;

– теплофизические свойства материалов постоянны.

Граничные условия задаем на поверхностях геометрии:

– на твердых границах контакта разнородных сред (жила-изоляция, жила-муфта) задаются условия 4-го рода и равенство температур;

– на поверхности изоляции и муфты задается граничное условие конвективного теплообмена. Задаются: α – коэффициент теплоотдачи с поверхности муфты и изоляции в окружающую среду, $\alpha = 10 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{С}$ и $T_{\text{ср}} = 18 \text{ }^{\circ}\text{С}$ – температура окружающей среды.

На торцевой стороне кабеля задаются адиабатические условия по температуре.

Материалы, используемые в модели, и геометрические размеры представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Теплофизические характеристики материалов

Материал	Плотность ρ , кг/м^3	Теплопроводность λ , $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$	Теплоемкость C , $\text{Дж/кг}\cdot\text{К}$
Медь	8978	387,6	381
Полиэтилен	950	2100	0,34
Земля влажная	1700	0,658	2100
Воздух	1,2	0,0242	1006,43

Таблица 2

Радиальные размеры конструкции

Радиус элемента, мм	Жила	Изоляция	Муфта
	1,3	15	46,5

Реализация разработанной математической модели осуществлялась методом конечных элементов в среде Ansys. Дискретный аналог модели выстроен с помощью блочной структуры, которая в дальнейшем была разбита на сетку. Последовательность действий приведена на рис. 1, 2.

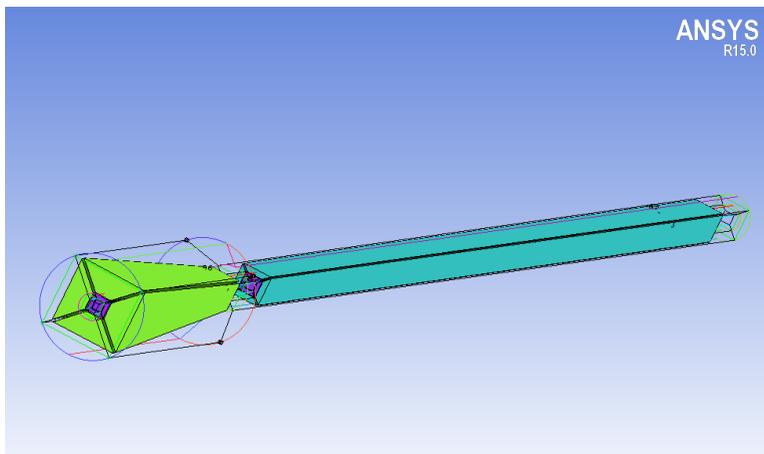


Рис. 1. Блочная структура

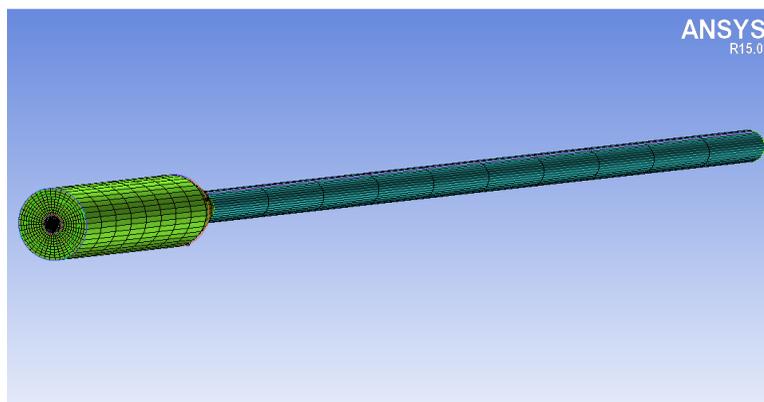


Рис. 2. Сетка, построенная на блочной структуре

В результате численной реализации предложенной математической модели были получены поля температур в кабельной линии и муфте при различных условиях прокладки.

Кабель с муфтой проложен в земле на глубине 3 м.

На рис. 3 представлено температурное поле в поперечном сечении муфты. Видно, что максимальная температура изоляции реализуется на поверхности жилы и равна 89,9, при этом значение тока составило 640 А.

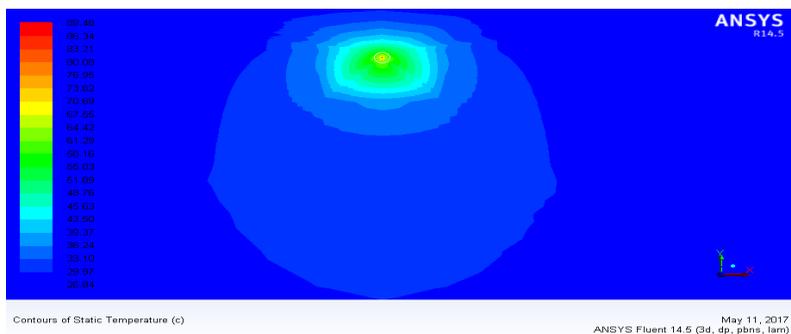


Рис. 3. Распределение температурного поля по сечению муфты

На рис. 4 представлена зависимость температуры на поверхности жилы по длине. Из графика видно, что температура в месте расположения муфты выше на 1,5 град в сравнении с температурой кабеля.

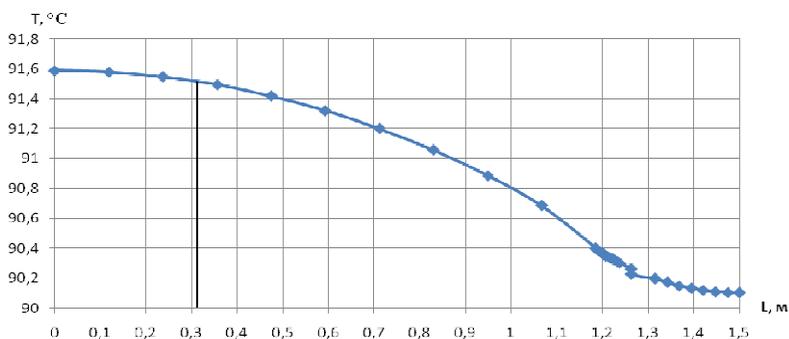


Рис. 4. Зависимость температуры на поверхности жилы по длине кабеля с муфтой при прокладке кабеля в земле

Кабель с муфтой находится в воздухе, радиус воздушного слоя 0,5 м.

На рис. 5 показано распределение температурного поля в кабеле с муфтой и окружающем воздушном слое при значении тока 950 А. Максимальное значение температуры на поверхности жилы определяется в области расположения муфты. Видно, что значение максимальной температуры превышает допустимое значение 90, следовательно, значение тока должно быть снижено.

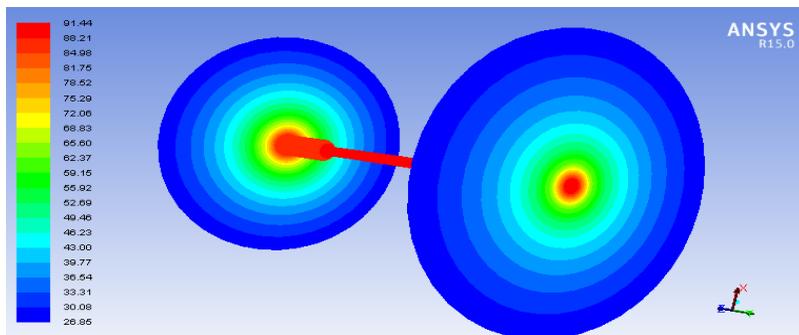


Рис. 5. Распределение температурного поля в кабеле с муфтой в воздухе

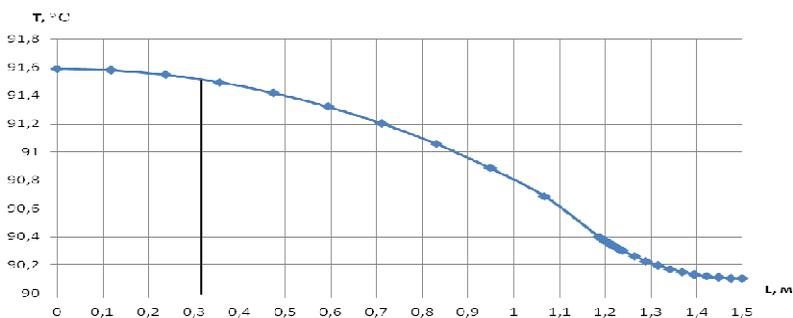


Рис. 6. Зависимость температуры изоляции на поверхности жилы по длине при прокладке кабеля на воздухе

Заключение. Превышение температуры в области муфты вызвано большим тепловым сопротивлением конструкции муфты в сравнении с термическим сопротивлением кабеля. При прокладке кабеля с соединительной муфтой необходимо учитывать этот факт и рассчитывать допустимые токи и передаваемую мощность.

Библиографический список

1. Федорова Н.Н. Основы работы в ANSYS 17. – СПб.: ДМК-Пресс, 2016.

2. ГОСТ Р 55025-2012. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение от 6 до 35 кВ включительно // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

Сведения об авторах

Зыков Антон Сергеевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭИ-13-16, г. Пермь, e-mail: toni.zykov.95@mail.ru.

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

Н.В. Истомин, Н.М. Труфанова

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПРОКЛАДКАХ ПО МОСТУ

В статье рассмотрены математические модели процессов тепло-массопереноса при различных прокладках кабельных линий в подвесном мосту и приведена их численная реализация. Задача решалась с помощью программного обеспечения ANSYS Fluent, методом конечных элементов. Определено влияние расположения кабельной линии на величину максимальной температуры изоляции и токовой нагрузки. Представлены поля скоростей и температур в исследуемой области.

Ключевые слова: математическая модель, кабельная линия, температурное поле, итерационный метод.

N.V. Istomin, N.M. Trufanova

ANALYSIS OF TEMPERATURE FIELDS IN CABLE LINES WITH DIFFERENT GASKETS ALONG THE BRIDGE

This article describes the mathematical model of heat and mass transfer processes at different pads cables in a suspension bridge and their numerical implementation. The problem was solved using the software ANSYS Fluent, iterative method. The influence of the location of the cable line on the maximum temperature and current loads. Fields of velocities and temperatures in the study area.

Key words: mathematical model, cable line, temperature field, iterative method.

В настоящее время существует высокая потребность использования кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена при передаче энергии среднего и высокого напряжения. Прокладка кабельных линий реализуется множеством способов – от обустройства подземных каналов до фиксации контура в специальных сооружениях. Каждый вариант монтажа предполагает соблюдение особых норм и технических условий в зависимости от условий прокладки. Вопросам математического моделирования процессов тепло-массообмена в кабельных линиях посвящено большое число работ.

В статье [1] рассматривалась двумерная задача процессов тепло-массопереноса для кабельных линий, проложенных в кабельном канале. В статье [2] авторы решали двумерную стационарную задачу

тепловых процессов в одножильном силовом кабеле с постоянными теплофизическими характеристиками, проложенном в земле.

В данной работе рассматриваются возможные варианты прокладки кабелей в мостовой конструкции. Поскольку срок службы кабельных линий определяется температурным режимом при эксплуатации [3], то необходим анализ температурных полей в кабельных линиях при различных прокладках по мосту. Для выбора наиболее рациональной прокладки кабельных линий была разработана двухмерная стационарная математическая модель процессов теплопереноса в кабельной линии, проложенной в мостовой конструкции с учетом конвективного теплообмена.

Геометрические размеры исследуемой области и возможные варианты расположения кабельных линий представлены на рис. 1. В качестве элемента конструкции моста была выбрана бетонная балка. Вокруг кабельных линий циркулирует воздух, скорость потока 5 м/с. Температура окружающей среды 20 °С.

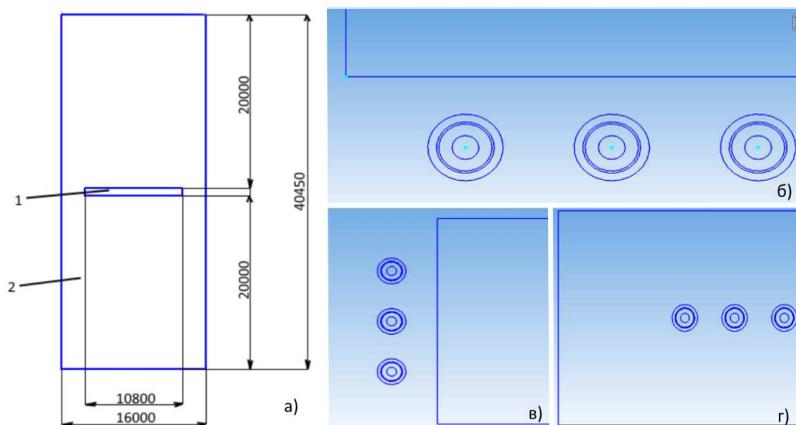


Рис. 1. Расчетная область: *а* – геометрические размеры (*1* – среда, *2* – бетонная балка); *б* – расположение кабельных линий под балкой; *в* – расположение кабельных линий с торцов балки; *г* – расположение кабельных линий внутри балки

Кабельная линия состоит из 3 кабелей. Рассмотренная конструкция кабеля состоит из жилы, изоляции из СПЭ, проволочного экрана и оболочки. Наружный диаметр кабеля составляет 54 мм, диаметр токопроводящей жилы 20 мм. Расстояние между кабелями 60 мм.

Поставленная задача решена с помощью метода конечных элементов в программном комплексе ANSYS Fluent.

Результаты расчета:

1. Расположение кабельных линий под балкой. На рис. 2 представлено векторное поле скоростей воздушного потока. Из рисунка видно, что наибольшая скорость потока слева, что приводит к более интенсивному конвективному теплообмену и, как следствие, меньшей температуре в крайнем левом кабеле (рис. 3). Температура в кабелях каждой из линий различна, что связано с условиями теплоотдачи. Отличие по температуре в крайневых кабелях каждой из линий (левое и правое расположение) составляет $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Допустимая токовая нагрузка составляет 590 А.

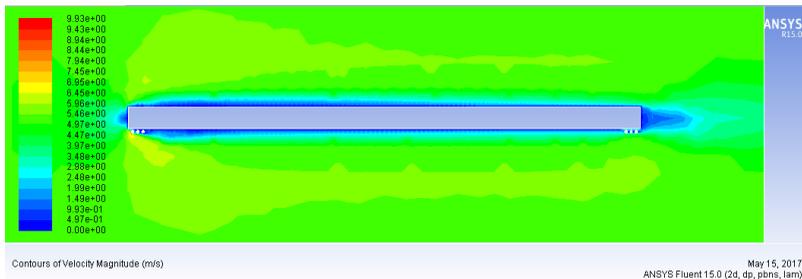


Рис. 2. Векторное поле распределения скоростей

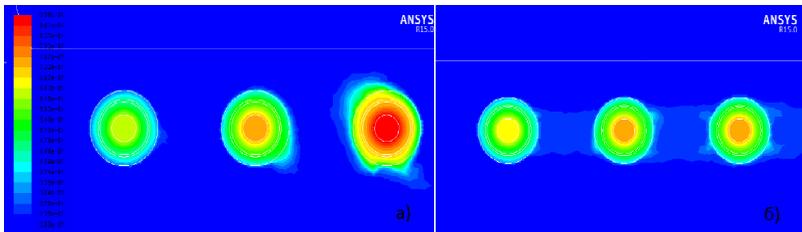


Рис. 3. Температурное поле: *a* – в левой части балки; *б* – в правой части балки

2. Расположение кабельных линий с торца балки. На векторном поле (рис. 4) показано распределение скоростей воздушного потока. Вследствие низкого теплообмена в правом расположении кабельных линий значение температур выше. Разница температур между левым и правым расположением кабельных линий составляет $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Допустимая токовая нагрузка равна 516 А.

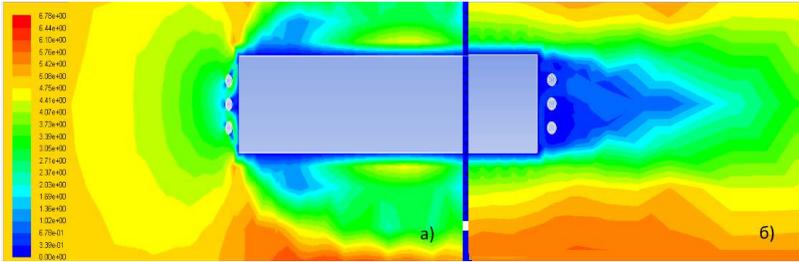


Рис. 4. Векторное поле распределения скоростей: *а* – в левой части; *б* – в правой части

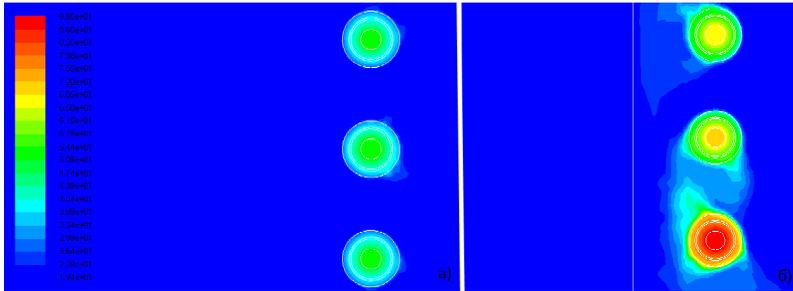


Рис. 5. Температурное поле: *а* – в левой части балки; *б* – в правой части

3. Кабели внутри конструкции бетонной балки. При расположении кабельных линий внутри бетонной конструкции (рис. 6) видно, что конвективного теплообмена между кабельными линиями и окружающей средой нет. Допустимая токовая нагрузка составляет 400 А.

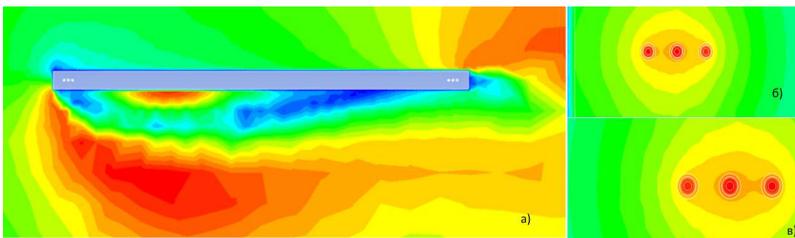


Рис. 6. Поле распределения: *а* – скоростей; *б* – температур в левой части балки; *в* – температур в правой части балки

В результате анализа наибольшие токовые нагрузки были получены при расположении кабельных линий под бетонной конструкцией балки вследствие того, что происходит более интенсивный теплообмен.

Библиографический список

1. Труфанова Н.М., Навалихина Е.Ю., Марковский М.В. Математическое моделирование нестационарных процессов тепломассопереноса в прямоугольном кабельном канале // Электротехника. – 2015. – № 11. – С. 37–41.

2. Vollaro Roberto de Lieto, Fontana Lucia, Vallati Andrea. Thermal analysis of underground electrical power cables buried in non-homogeneous soils // Applied Thermal Engineering. – 2011. – Vol. 31. – P. 772–778.

3. ТУ 16.К71-335-2004. Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10, 20, 35 кВ // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

Сведения об авторах

Истомин Никита Владимирович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-17-1м, Пермь, e-mail: ktei@pstu.ru.

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

А.П. Капустин, А.Г. Соколов, Н.Н. Сенной, П.А. Чигринец

ИНДУКТИВНЫЙ ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСНЫХ ТОКОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПУШКИ

В данной статье рассматривается новый подход к питанию электромагнитной пушки. На сегодня электромагнитное вооружение не является эффективным, но оно имеет ряд преимуществ относительно современных артиллерийских пушек. Теоретическая скорострельность такой пушки, с использованием емкостного генератора импульсных токов, составляет от 6 до 10 выстрелов в минуту, что по меркам современного традиционного вооружения недостаточно. Увеличить этот показатель поможет применение индуктивного генератора импульсных токов в качестве основного элемента питания пушки.

Ключевые слова: электромагнитная пушка, пушка Гаусса, индуктивный генератор импульсных токов.

A.P. Kapustin, A.G. Sokolov, N.N. Sennoy, P.A. Chigrinets

INDUCTIVE PULSE CURRENT GENERATOR FOR THE ELECTROMAGNETIC GUN

The article considers a new approach to the power supply of electromagnetic gun. Today electromagnetic weapons are not effective but it have several advantages in comparison with modern artillery guns. Theoretical firing rate of considered gun is from 6 to 10 shuts per minute using capacity pulse current generator. This value is not enough by standards of modern weapons and can be improved by the using of inductive pulse current generator as a main power supply source.

Keywords: electromagnetic gun, Gauss gun, inductive pulse current generator.

Современные артиллерийские пушки представляют собой сплав новейших технологий, ювелирной точности поражения и возросшей мощности боеприпасов. И все же, несмотря на колоссальный прогресс, пушки XXI века стреляют так же, как и в далекие времена, используя энергию пороховых газов.

Шелохнуть монополию пороха смогло электричество. Электромагнитный способ приведения снаряда в движение был предложен еще в начале XIX столетия, но отсутствие надежных средств накопления электрической энергии мешало его реализации.

Анализ вероятных средств нападения противника указывает на необходимость новых систем вооружения, обладающих большей

дальностью действия и улучшенной эффективностью, а пушки, приводимые в действие обычным способом, к следующему своему поколению, вероятно, уже достигнут своих рабочих пределов. Физические законы, управляющие электромагнитной тягой снаряда, допускают более высокие скорости, чем скорости снарядов, приводимых в действие обычным способом, – это существенное преимущество электромагнитной пушки. Электрическая энергия для электромагнитной пушки может быть получена от любого первичного источника энергии.

Также огромными преимуществами электромагнитной пушки является то, что при выстрелах отсутствуют гильзы, неограниченность в выборе начальной скорости снаряда, возможность бесшумного выстрела (если скорость достаточно обтекаемого снаряда не превышает скорости звука), имеет малую отдачу, равную импульсу вылетевшего снаряда.

Для достижения высоких скоростей снаряда электромагнитную пушку необходимо запитать от мощного импульсного источника электромагнитной энергии, способного генерировать импульсы тока с амплитудой более 1 мА [1].

В качестве такого источника используются в основном емкостные генераторы импульсных токов (ГИТ). Емкостной ГИТ представляет собой накопитель энергии, разряд которого на небольшую активно-индуктивную нагрузку сопровождается интенсивной передачей энергии, протеканием больших импульсов токов и возникновением сильных магнитных полей (рис. 1).

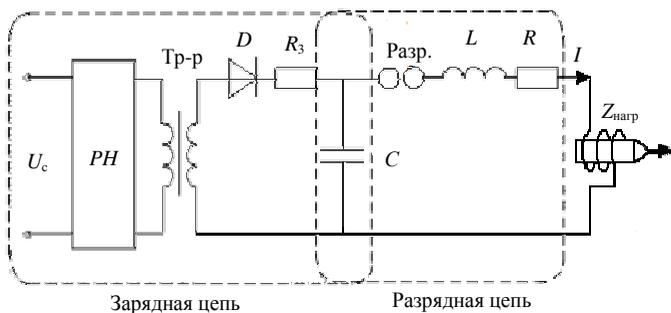


Рис. 1. Принципиальная схема емкостного ГИТ

Схема ГИТ может быть представлена 2 отдельными блоками, связанными между собой: зарядная цепь, разрядная цепь.

Зарядная цепь включает в себя испытательный трансформатор напряжения с регулятором напряжения, схему выпрямления напряжения, защитное сопротивление, а также блок накопительных конденсаторов, которые заряжаются от испытательного трансформатора напряжения.

Разрядная цепь состоит из блока накопительных конденсаторов, которые разряжаются на нагрузку ($Z_{\text{нагр}}$) через коммутатор(ы). При этом форму разрядного тока определяют параметры разрядного контура C, R, L .

Однако, несмотря на кажущуюся простоту электромагнитной пушки, использование её в качестве оружия сопряжено с серьёзными трудностями, главное из которых – большие затраты энергии.

КПД пушки очень низкий (приблизительно 1–7 % заряда конденсаторов переходят в кинетическую энергию снаряда), большие габариты и вес, длительное время зарядки конденсаторов.

Исходя из перечисленных минусов, такой вид вооружения на сегодняшний день является неэффективным, несмотря на его выдающиеся характеристики и дальность поражения цели. Теоретическая скорострельность такой пушки, с использованием емкостного генератора импульсных напряжений, составляет от 6 до 10 выстрелов в минуту, что по меркам современного традиционного вооружения явно недостаточно.

Увеличить данный показатель можно с помощью применения импульсных источников с индуктивными накопителями электромагнитной энергии с размыкающимися (взрывными) коммутаторами, являющимися наиболее мощными генераторами импульсов тока с удельной запасаемой энергией в индуктивном накопителе до 5 Дж/см³ и более [2, 4, 6].

Индуктивный генератор используется с тиристорными коммутаторами, трансформатором и с используемым для зарядки первичной обмотки трансформатора специальным синхронным электромашинным генератором кратковременно-ударного действия [3, 5, 7]. Синхронный генератор может быть однофазным для питания одного контура пушки Гаусса (рис. 2) или трехфазным для одновременного питания трех контуров, а повышающий ток трансформатор выполняется воздушным и однофазным с числом витков первичной обмотки w_1 , существенно превышающим число витков вторичной обмотки w_2 , т.е. $w_1 \gg w_2$.

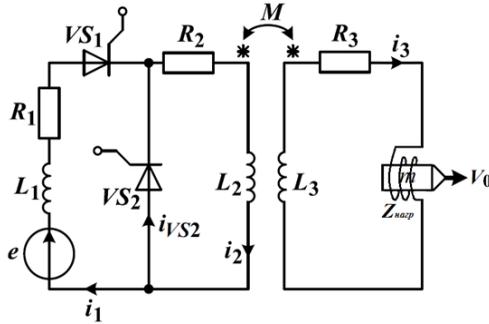


Рис. 2. Электрическая схема фазы генератора

Индуктивный генератор импульсов тока работает следующим образом. Внешним приводным двигателем (турбина, дизель, газопоршневой механизм, электрический двигатель) ротор синхронного генератора раскручивается до номинального числа оборотов. Обмотка ротора подключается к источнику постоянного напряжения, создается постоянный магнитный поток возбуждения, который вращается вместе с ротором и наводит в неподвижной фазной обмотке статора переменную ЭДС (см. рис. 1):

$$e = E_m \sin \omega t.$$

В момент времени $t = 0$, когда ЭДС равна нулю, управляющим импульсом включается группа тиристоров VS_1 , токи $i_1 = i_2$ начинают нарастать от нуля до первого максимального значения i_{m1} , когда $t = \pi/\omega$. В этот момент времени управляющим импульсом включается группа тиристоров VS_2 , при уменьшении тока i_1 начинает нарастать от нуля ток i_{VS2} . Как только наступает равенство токов $i_{VS2} = i_2$, ток переходит через нулевое значение, и группа тиристоров VS_1 запирается. Далее при токе $i_1 = 0$ токи $i_{VS2} = i_2$ уменьшаются с постоянной времени первичной обмотки трансформатора $\tau_2 = L_2/R_2$. В момент времени $t = 2\pi/\omega$, когда ЭДС равна нулю, управляющим импульсом снова включается группа тиристоров VS_1 , и ток i_1 начинает нарастать от нуля до i_2 . В результате ток i_{VS2} уменьшается, и при переходе тока i_{VS2} через нулевое значение группа тиристоров VS_2 запирается. Затем токи $i_1 = i_2$ нарастают до второго максимального значения i_{m2} , когда $t = 3\pi/\omega$. В этот момент времени управляющим импульсом включается группа тиристоров VS_2 ; при уменьшении тока i_1 начинает нарастать от нуля ток i_{VS2} и т.д.

При уменьшении токов $i_1 = i_2$ ток i_3 нарастает от нуля до максимального значения. В момент времени $t \approx 2(n_1 + 0,25)\pi/\omega$, когда ток i_3 максимален, токи $i_1 = i_2$ переходят через нулевое значение, и группа тиристоров VS_1 запирается. При максимуме тока i_3 давление магнитного поля на ускоряемое тело максимально, тело приходит в движение и ускоряется за время $t = (2n_2\pi)/\omega$. Ток i_3 и запасенная в магнитном поле трансформатора энергия уменьшаются практически до нуля.

При мощности приводного двигателя в районе 8 МВт с учетом нагрева индуктивных катушек электромагнитной пушки трехфазная установка способна производить импульсы тока каждые 5 с (36 выстрелов в минуту) с последующей паузой в течение нескольких минут для восстановления магнитного потока возбуждения синхронного генератора, охлаждения его обмоток и обмоток трансформаторов, охлаждения тиристоров и индуктивных катушек электромагнитной пушки.

Заключение

1. Рассмотрено применение индуктивного генератора для питания электромагнитной пушки в частотном режиме. Показано, что такие генераторы могут с высокой эффективностью использоваться на автономных объектах и конкурировать с другими источниками электромагнитной энергии.

2. По сравнению с традиционными источниками импульсных токов индуктивный генератор позволяет значительно увеличить скорострельность электромагнитного оружия.

3. Чтобы улучшить эти показатели, потребуется огромная работа во всех аспектах ускорителей масс, включая снаряды и энергосбережение. Важнейшую роль сыграют новые материалы. Для реализации такого проекта потребуются мощные и компактные источники электрической энергии, а также высокотемпературные сверхпроводники.

Библиографический список

1. Witt W., Loffler M. The electromagnetic Gun-CCloser to Weapon System Status // Military Technology. – 1998. – № 5.
2. Носов Г.В. Расчет импульсных источников тока с индуктивными накопителями энергии // Известия Томск. политехн. ун-та. – 2007. – Т. 311. – № 4.

3. Носов Г.В. Генерирование мощных импульсов тока электромашиными источниками с изменяющейся индуктивностью // Известия Томск. политехн. ун-та. – 2005. – Т. 308. – № 7.

4. Взрывные генераторы мощных импульсов электрического тока / Э.И. Асиновский, Е.Ф. Лебедев, А.А. Леонтьев [и др.] / под ред. В.Е. Фортова. – М.: Наука, 2002.

5. Глебов И.А., Кашарский Э.Г., Рутберг Ф.Г. Синхронные генераторы кратковременного и ударного действия. – Л.: Наука, 1985. – 224 с.

6. Импульсные системы большой мощности / под ред. Э.И. Асиновского. – М.: Мир, 1981.

7. Пат. на ПМ 87847 Рос. Федерация № 2009118719/22 // Индуктивный генератор импульсов тока. Заявл. 18.05.09; опубл. 20.10.09. Бюл. № 29. – 4 с.

Сведения об авторах

Капустин Александр Петрович – оператор научной роты, матрос Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург, e-mail: alexander.kapustin@mail.ru.

Соколов Антон Григорьевич – адъютант, капитан-лейтенант Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия», e-mail: 15963alex@mail.ru.

Сенной Николай Николаевич – начальник кафедры «Электроэнергетических систем кораблей», канд. техн. наук, доцент, капитан 1-го ранга Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург.

Чигринцев Павел Алексеевич – оператор научной роты, матрос Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург, e-mail: chigrra@inbox.ru.

Н.А. Костарев, Н.М. Труфанова

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЕ С УЧЕТОМ ПРОЦЕССА ПАРАФИНООБРАЗОВАНИЯ

Разработана математическая модель процессов теплообмена нефти в вертикальной скважине с учетом процессов парафинообразования. В результате решения получены поля скоростей и температур в поперечных сечениях скважины и по ее длине. Анализ полученных результатов позволил определить области возможного выпадения парафина на стенках насосно-компрессорной трубы и условия предотвращения процесса парафинообразования в целом.

Ключевые слова: уравнение энтальпии-пористости, парафины, ANSYS Fluent, теплообмен, АСПО, нефтяная скважина.

N.A. Kostarev, N.M. Trufanova

PROCESS OF HEAT AND MASS TRANSFER IN AN OIL WELL WITH INFLUENCE OF PARAFIN PRODUCTION PROCESS

In this paper, a mathematical model of the processes of heat and mass transfer of oil in a vertical wellbore, taking the processes of paraffin formation, has been developed. As a result of the solution, velocity and temperature fields were obtained in the cross sections of the well and along its length. The analysis of the obtained results allowed to determine the areas of possible fallout of paraffin on the walls of the tubing and the conditions for preventing the paraffin formation process as a whole.

Keywords: enthalpy equation-porosity, paraffins, ANSYS Fluent, heat and mass transfer, oil well.

Одной из самых наболевших проблем в нефтяной отрасли является выпадение парафиновых отложений на внутренних поверхностях стенок труб, по которым движется нефтяная жидкость. Решение задачи по предотвращению формирования асфальтосмолопарафиновых отложений позволит снизить текущие и капитальные затраты в технологии нефтедобычи.

Постановка задачи. Рассматривается продольное сечение скважины глубиной 2000 м. Конструкция скважины изображена на рис. 1.

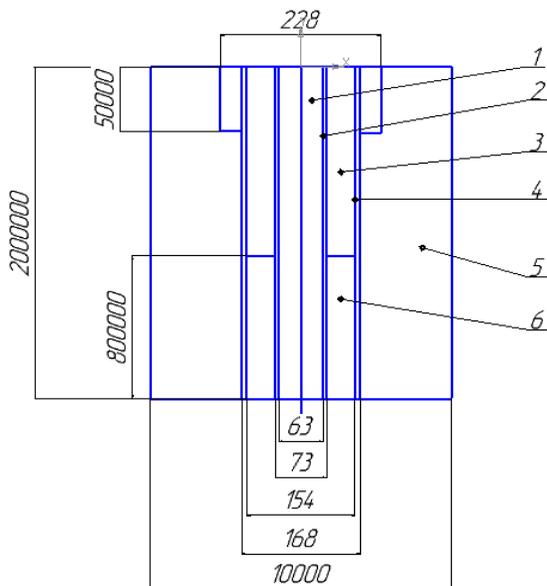


Рис. 1. Конструкция нефтяной скважины: 1 – нефтяная жидкость, которая добывается насосно-компрессорной трубой; 2 – насосно-компрессорная труба; 3 – воздух в затрубном пространстве; 4 – обсадная колонна; 5 – грунт, окружающий скважину; 6 – нефтяная жидкость в затрубном пространстве

Математическая модель движения и теплопереноса в нефтяной скважине основывается на законах сохранения массы, количества движения и энергии.

Были сделаны следующие допущения: задача плоская, стационарная, течение ламинарное, теплофизические свойства твердых материалов и нефтяной жидкости не зависят от температуры, бесконечный массив земли заменен ограниченной областью «нефтяная жидкость – псевдопористая среда», где объем жидкой фракции определяется коэффициентом, значение которого лежит в диапазоне от 0 до 1 (ноль соответствует твердой среде, а единица – жидкой).

С учетом сделанных допущений система дифференциальных уравнений имеет вид:

– уравнение неразрывности:

$$\rho_i \left(\frac{\partial U_{i,x}}{\partial x} + \frac{\partial U_{i,y}}{\partial y} \right) = 0, \quad (1)$$

– уравнение движения:

$$\rho_i \left(U_{i,x} \frac{\partial U_{i,x}}{\partial x} + U_{i,y} \frac{\partial U_{i,x}}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P_i}{\partial x} + \mu_i \left(\frac{\partial^2 U_{i,x}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_{i,x}}{\partial y^2} \right), \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \rho_i \left(U_{i,x} \frac{\partial U_{i,y}}{\partial x} + U_{i,y} \frac{\partial U_{i,y}}{\partial y} \right) = \\ = -\frac{\partial P_i}{\partial y} + \mu_i \left(\frac{\partial^2 U_{i,y}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_{i,y}}{\partial y^2} \right) + k\beta(T - T_0)g \end{aligned}, \quad (3)$$

где k – коэффициент, который для нефти равен 0, а для воздуха равен 1;

– уравнение энергии для нефтяной жидкости, с учетом механизма затвердевания/плавления:

$$\rho_H \left(U_x \frac{\partial H}{\partial x} + U_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) = \frac{\lambda_H}{c_H} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right). \quad (4)$$

H -энтальпия нефти, которая вычисляется как сумма реальной энтальпии h и скрытой теплоты ΔH :

$$H = h + \Delta H, \quad (5)$$

$$h = h_{\text{ref}} + \int_{T_{\text{ref}}}^T c_p dT, \quad (6)$$

$$\Delta H = \alpha L, \quad (7)$$

где h_{ref} – энтальпия при температуре, равной T_{ref} ; T_{ref} – температура окружающей среды; c_p – теплоемкость; α – коэффициент жидкой фракции, который определяется так:

$$\text{при } T < T_{\text{solidus}} \quad \alpha = \frac{T - T_{\text{solidus}}}{T_{\text{liquidus}} - T_{\text{solidus}}};$$

$$\text{при } T_{\text{solidus}} < T < T_{\text{liquidus}} \quad \alpha = 0;$$

$$\text{при } T > T_{\text{liquidus}} \quad \alpha = 1,$$

где T_{solidus} – температура, при которой происходит затвердевание; T_{liquidus} – температура, при которой происходит плавление;

– уравнение энергии для воздуха:

$$\rho_B c_B \left(U_x \frac{\partial T}{\partial x} + U_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \lambda_B \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right). \quad (8)$$

Плотность воздуха определяется законом Буссинеска:

$$\rho_v(T) = \rho_0[1 - \beta(T - T_0)]; \quad (9)$$

– уравнение теплопроводности для твердых элементов конструкции скважины:

$$\lambda_j \left(\frac{\partial^2 T}{dx^2} + \frac{\partial^2 T}{dy^2} \right) = 0, \quad (10)$$

где x, y – декартовы координаты; i, j – индексы исследуемых областей; U_{ix}, U_{iy} – компоненты вектора скорости; T – температура; P_i – отклонения давления от гироскопического; ρ_i – плотность среды; μ_i – вязкость среды; c_i – теплоемкость среды; λ_j – теплопроводность твердых материалов; $\lambda_{н}$ – теплопроводность нефти; $\lambda_{в}$ – теплопроводность воздуха; β – коэффициент объемного теплового расширения воздуха.

Система дифференциальных уравнений (1)-(10) замыкается следующими граничными условиями (рис. 2).

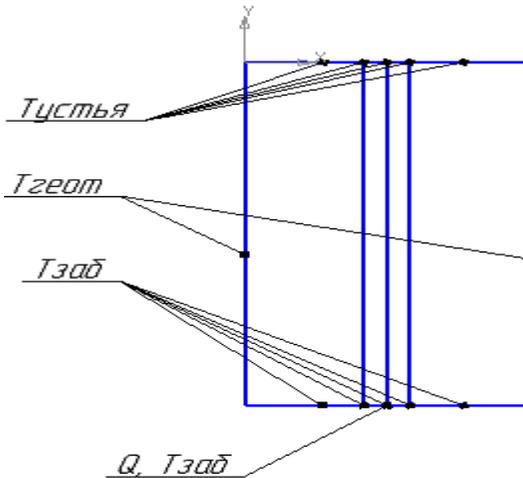


Рис. 2. Граничные условия

На границе раздела разнородных сред задается равенство тепловых потоков и температур (11)-(12). На границе массива земли, окружающего скважину, задается температура, соответствующая геотерме (13).

В забое скважины задаются температура забоя ($T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) и расход через столб насосно-компрессорной трубы (40 т/сут), температура на поверхности земли равна $3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$\lambda_n \left(\frac{\partial T^{(n)}}{\partial x} = \lambda_{n+1} \frac{\partial T^{(n+1)}}{\partial x} \right), \quad (11)$$

$$T|_n = T|_{n+1}. \quad (12)$$

$$T|_{\text{гр.земли}} = T(h). \quad (13)$$

Результаты исследования. Задача (1)-(13) решалась численно, методом конечных элементов. Для расчетов использовалась среда инженерных расчетов ANSYS Fluen. Из рис. 3 видно, что на кривой, полученной с учетом отложения парафина, возникает участок с неизменной температурой нефти при достижении температуры $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (на высоте 1800 м). Это происходит потому, что парафин прилипает к стенкам НКТ, не двигается выше по трубе и не участвует в конвективном теплообмене.

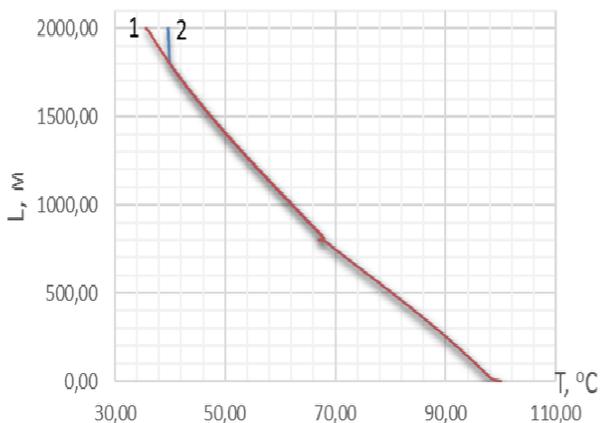


Рис. 3. Распределение температур на стенке насосно-компрессорной трубы по глубине с учетом отложения парафина и без: 1 – кривая, полученная при расчете без учета отложения парафинов на стенке насосно-компрессорной трубы; 2 – кривая с учетом отложения парафинов на стенке трубы

Из рис. 4 видно, что на стенках НКТ находятся отложения твердого парафина, они обозначены синим цветом. Красным цветом на рисунке изображена жидкая нефть.



Рис. 4. Распределение жидкой и твердой фаз в НКТ

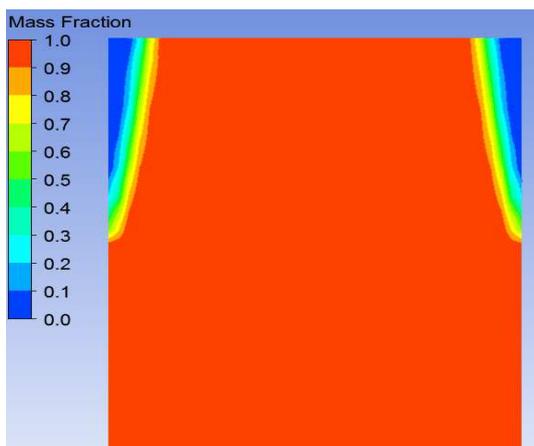


Рис. 5. Зависимость толщины парафина на стенке НКТ от глубины скважины

На границе между твердой и жидкой фазой имеется переходная зона, в которой присутствует как твердый парафин, так и жидкая нефть. Например, для оттенков зеленого цвета содержание жидкой фазы составляет 40–70 %. Длина участка возможного выпадения парафина равна 202 м. Как видно из рис. 5, наибольшей толщины, равной 9,5 мм, парафин достигает на выходе из скважины.

Минимальное же значение из представленных, равное 1,6 мм, соответствует глубине в 200 м. Кривая имеет нелинейный характер.

Библиографический список

1. Voller V.R. Modeling Solidification Processes: Technical report // Mathematical Modeling of Metals Processing Operations Conference. Palm Desert, CA American Metallurgical Society. – 1987.

2. Сорокин С.А., Хавкин С.А. Особенности физико-химического механизма образования АСПО в скважинах // Бурение и нефть. – 2007. – № 10. – С. 30–31.

3. Малышев А.Г., Черемисин Н.А., Шевченко Г.В. Выбор оптимальных способов борьбы с парафиногидрообразованием // Техника и технология добычи нефти. – 1997. – № 9. – С. 62–69.

4. Труфанова Н.М. Переработка полимеров: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009. – 159 с.

Сведения об авторах

Костарев Никита Александрович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ 15-1м, г. Пермь, e-mail: nikostarev@gmail.com.

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.

А.О. Краснова

НОВАЯ МОДЕЛЬ РОЗНИЧНОГО РЫНКА ЭНЕРГИИ: АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ ДЛЯ ЭКОНОМИКИ РЕГИОНА

В конце 2016 г. были определены направления реорганизации розничного рынка энергии в РФ. Основные положения предлагаемой модели имеют неоднозначные последствия для экономики регионов. В статье смоделированы ситуации «открытия» оптового рынка для потребителей через ЕГТП.

Ключевые слова: розничный рынок энергии, новая модель рынка энергии, потребители розничного рынка энергии.

A.O. Krasnova

NEW MODEL OF THE RETAIL MARKET OF ENERGY: ANALYSIS OF CONSEQUENCES FOR THE ECONOMY OF THE REGION

At the end of 2016, the directions for the reorganization of the retail energy market in the Russian Federation were determined. The main provisions of the proposed model have ambiguous consequences for the economy of the regions. The article models the situation of the "opening" of the wholesale market for consumers through IGTP.

Keywords: retail energy market, a new model of the energy market, consumers of the retail energy market.

В конце 2016 г. появились варианты реорганизации розничного рынка энергии. Новая модель рынка, еще так называемая инновационная модель, которая не так давно была принята к рассмотрению, предполагает расширение возможностей по выходу потребителей на оптовый рынок. Создаваемая модель рынка предусматривает: снятие барьеров для распределённых энергетических рынков, дефенотипизацию конкуренции, единые недискриминационные условия, синергию ЕАС и децентрализацию распределённой энергетической инфраструктуры, т.е. получается, что инновационная модель энергетического рынка предлагает такие изменения, как:

- возможность розничным потребителям электроэнергии (далее по тексту – ээ) приобретать энергию у оптовых производителей напрямую или через электросетевую компанию (далее по тексту – ЭСК);
- введение возможности упрощенного выхода на оптовый рынок для любых потребителей (промышленные и непромышленные организации);

– участие потребителей и ЭСК на оптовом рынке по упрощенной схеме в единой группе точек поставки (далее по тесту ГТП или ЕГТП), зарегистрированной за гарантирующим поставщиком.

В итоге мы получим снижение монопольной силы гарантирующего поставщика (далее по тексту – ГП), конкуренцию за каждого потребителя, договорные условия по ценам и качеству обслуживания, быструю смену энергосбытовой компании и увеличение состава участников.

Участниками данного рынка в отношениях по купле-продаже э/э и мощности на оптовом рынке по единым группам точек поставки (далее по тексту – ЕГТП) могут быть потребители, которые будут удовлетворять таким требованиям, как:

– наличие у потребителя с сетевой компанией заключенного отдельного договора на услуги по передаче э/э;

– точки поставки потребителя оснащены приборами учета, позволяющими измерять почасовое потребление э/э.

Таким образом, потребители смогут участвовать в отношениях на оптовом рынке самостоятельно или через энергосбытовую компанию.

Теперь перейдем к сравнению текущей модели рынка и так называемой инновационной. В табл. 1 приведен сравнительный анализ моделей рынка.

Таблица 1

Сравнение действующей и инновационной модели рынка э/э и мощности

Действующие правила ОРЭМ	Новые правила ОРЭМ
Возможность выхода на ОРЭМ ограничена для некоторых потребителей, которые не проходят критерии выхода ПП 1172 (такие как присоединенная мощность оборудования не больше 20 МВА, каждая точка не оснащена системой контроля учета электроэнергии). Выход на ОРЭМ практически не дает право потребителю влиять на цены	Объединение непромышленных и промышленных потребителей в ЕГТП, что позволит покупать потребителям ЭЭ на ОРЭМ без регистрации группы точки поставки и с прощенным коммерческим учетом
Перекрёстное субсидирование. Форсирование регулирования. Делегирование ответственности за функционирование ЕАС. Монополизация рынка. Борьба с децентрализацией	Снятие барьеров для распределённого энергетического рынка. Дефенотипизация конкуренции. Единые недискриминационные условия Синергия ЕАС и децентрализация распределённой энергетической инфраструктуры

Из представленного описания напрашивается такой вопрос: «А не получится ли так, что энергосбытовые компании и гарантирующий поставщик станут терять прибыль и вообще исчезнут как субъекты рынка?»

Чтобы понять, как отразится новая модель рынка на сбытовых компаниях и гарантирующих поставщиках, для наглядности смоделируем ситуацию.

Ситуация 1. Для текущей модели представим, каких потребителей обслуживает сбытовая компания и по какой цене(тарифу) продает им энергию (на приближённо реальных значениях).

В данной ситуации энергосбытовая компания имеет следующих потребителей: это население, а также непромышленные и промышленные организации (до 20 МВА) со следующим потреблением мощности, количеством рабочих часов и тарифом (пример представлен как идеальный, что все потребители платят своевременно и не имеют долгов перед сбытовой компанией):

– промышленные потребители: $N_1 = 1000$ МВт, $t_1 = 6500$ ч и $T_1 = 1,5$ руб/кВт·ч;

– непромышленный потребители: $N_2 = 800$ МВт, $t_2 = 4500$ ч и $T_2 = 4$ руб/кВт·ч;

– население: $N_3 = 700$ МВт и $t_3 = 3500$ ч, $T_3 = 2$ руб/кВт·ч.

Общее годовое потребление: $\Sigma = 2500$ МВт.

Посчитаем количество общей потребляемой энергии и каждого потребителя в год.

$$\mathcal{E}_1 = N_1 \cdot t_1 = 1000 \text{ МВт} \cdot 6500 \text{ ч} = 6\,500\,000 \text{ МВт}\cdot\text{ч};$$

$$\mathcal{E}_2 = 3\,600\,000 \text{ МВт}\cdot\text{ч};$$

$$\mathcal{E}_3 = 2\,450\,000 \text{ МВт}\cdot\text{ч};$$

$$\begin{aligned} \Sigma \mathcal{E} &= \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 = 6\,500\,000 + 3\,600\,000 + 2\,450\,000 = \\ &= 125\,500\,000 \text{ МВт}\cdot\text{ч}. \end{aligned}$$

Теперь посмотрим, какую необходимую валовую выручку (далее по тексту – НВВ) имеет энергосбытовая компания при текущей модели:

$$\begin{aligned} \text{НВВ} &= \mathcal{E}_1 \cdot T_1 + \mathcal{E}_2 \cdot T_2 + \mathcal{E}_3 \cdot T_3 = 6,5 \cdot 10^3 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \cdot 1,5 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч} + \\ &+ 3,6 \cdot 10^3 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \cdot 4 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч} + 2,45 \cdot 10^3 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \cdot 2 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч} = \\ &= 29,05 \text{ млрд руб}. \end{aligned}$$

В этой ситуации мы видим, что согласно представленным тарифам сбытовые компании вынуждены продавать электроэнергию населению не по справедливой рыночной цене, а по более низкому

тарифу, установленному субъектом Федерации. Причем экономически обоснованная цена может отличаться от тарифа в 2 раза и более. А если компания имеет задолженности от потребителей, то чтобы покрыть свои убытки, сбытовая компания завышает цену электроэнергии для предприятий. В результате непромышленные и некоторые промышленные организации ежегодно оплачивает примерно четверть электроэнергии, потребляемой населением.

Также некоторые крупные промышленные организации имеют низкий тариф, который как раз покрывает сбытовую надбавку. Данные потребители важны для сбытовой компании. Поэтому энерго-сбытовые компании устанавливают для данных организаций тариф ниже, чем на оптовом рынке, чтобы эти крупные потребители не ушли на этот рынок и не работали напрямую с производителями энергии или электросетевыми компаниями.

Ситуация 2. Начинает свою работу на энергетическом рынке инновационная модель, при которой непромышленным и мелким промышленным организациям следует объединяться в группы, так называемые ЕГТП. Все происходит будет постепенно, и не сразу мы можем наблюдать отчаянное положение сбытовых компаний. Для наглядного примера приведена табл. 2.

Таблица 2

Пример постепенно ухода потребителей, изменения тарифов и НВВ

Наименование	N_1 , МВт	N_2 , МВт	N_3 , МВт	t_1 , ч	t_2 , ч	t_3 , ч	T_1 , руб/кВт·ч	T_2 , руб/кВт·ч	T_3 , руб/кВт·ч	НВВ, млн руб.	Себестоимость, млн руб.	Прибыль до налогообложения
Текущая модель рынка э/э	1000	800	700	6500	4500	3500	1,5	4	2	29050	14525	14525
Новая модель рынка э/э												
dN2 – 10 %, в связи с этим меняется T_2	1000	720	700	6500	4500	3500	1,5	4,4	2	28906	26365,26	2540,74
dN2 – 50 %, в связи с этим меняется T_2	1000	400	700	6500	4500	3500	1,5	6	2	25450	24257,10	1192,9
dN2 – 100 %	1000	0	700	6500	4500	3500	1,5	8	2	14650	17669,10	-3019,1

Окончание табл. 2

Наименование	N_1 , МВт	N_2 , МВт	N_3 , МВт	t_1 , ч	t_2 , ч	t_3 , ч	T_1 , руб/кВт·ч	T_2 , руб/кВт·ч	T_3 , руб/кВт·ч	НВВ, млн руб.	Себестоимость, млн руб.	Прибыль до налогообложения
dN2 – 100 %, в связи с этим меняется T_1	1000	0	700	6500	4500	3500	8	8	2	56900	39639,10	17260,9
dN1 – 30 %, dN2 – 100 %, в связи с этим меняется T_1	700	0	700	6500	4500	3500	10,4	8	2	52220	36784,30	15435,70
dN1 – 100 %, dN2 – 100 %	0	0	700	6500	4500	3500	10,4	8	2	4900	7919,10	-3019,10

Примечание: при условии, что нет дебиторской задолженности.

Исходя из полученных результатов, следует вывод, что сбытовая компания начнет постепенно терять потребителей по тарифу 4 руб. за кВт в час. Им придётся завязать тарифы для крупных потребителей для компенсации убытков, которые образуются в результате потребления энергии населением. Следовательно, тариф для промышленных организаций станет в несколько раз выше, чем был, и данным потребителям будет выгоднее выходить на оптовый рынок. Получается, что энергосбытовая компания после повышения тарифа потеряет и крупных потребителей*.

В итоге остаются население и категория потребителей, приравненных к нему, которые платят по низким тарифам, установленным субъектом Федерации. Так же данные потребители нестабильно платят и имеют высокие задолженности по оплате за электроэнергию.

После введения данной модели в действие сбытовая организация постепенно будет терять потребителей и иметь минус в строке «прибыль» в отчете о финансовых результатах. Таким образом, субъект «энергосбытовая компания» исчезнет, а все потребители будут либо работать напрямую с поставщиком электроэнергии или через электросетевую компанию.

*Официальный сайт Ассоциация «НП «Совет рынка»» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.np-sr.ru> (дата обращения: 12.05.2017).

В заключение можно добавить, что подобная ситуация была уже на рынке, когда хотели избавиться от перекрёстного субсидирования, в результате чего было, что сбытовые компании, работающие с населением (в первую очередь, гарантирующие поставщики), могли предложить промышленным потребителям конкурентные цены. При этом потребителей легко могут переманить независимые сбытовые компании, не привязанные к населению. А крупные потребители могли уходить на оптовый рынок с его конкурентными ценами. Тогда получилось бы, что либо разорится гарантирующий поставщик (ведь ему придется самому платить за население), либо перекрестное субсидирование ляжет на меньшее число предприятий, для которых цена энергии вырастет до запредельных величин. Чтобы подобного не произошло, следует обеспечить приход на рынок альтернативных акторов, гарантирующих поставщикам сбытовых компаний цены, а уход потребителей на оптовый рынок должен быть ограничен и на федеральном, и на региональном уровне. Поэтому, вероятно, если новая модель рынка будет реализована, скорее примут похожий закон для ограничения потребителей выход на оптовый рынок.

Сведения об авторе

Краснова Алена Олеговна – магистрант Новосибирского государственного технического университета, гр. ЭКМ-61, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, д. 20, корп. II, e-mail: s_ev54@mail.ru.

Н.Д. Кузнецова

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ СИСТЕМ В АСЭС

В данной статье будет рассмотрена эффективность применения аккумуляторных батарей в качестве средства покрытия пиков мощности суточного графика нагрузки автономных систем электроснабжения. В первой части данной статьи приведена актуальность данной проблемы и рассмотрены основные теоретические положения. Во второй части статьи произведено сравнение вариантов различных накопителей энергии, различных по типу аккумуляторных элементов и выходному напряжению.

Ключевые слова: автономная система электроснабжения, мини-ГЭС, аккумуляторные батареи, электрохимические накопители энергии, технико-экономическое сравнение.

N.D. Kuznetsova

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF BATTERY SYSTEMS IN THE ASEU

In this article, will be considered the efficiency of using battery batteries as a means of covering the peaks of the power of the daily load profile of autonomous power supply systems. In the first part of this article, is given the urgency of this problem and are considered the main theoretical positions. In the second part of the article, a comparison is made of the variants of different energy storage devices, different in type of battery cells and output voltage.

Keywords: autonomous power supply system, Mini HPP, rechargeable batteries, electrochemical energy storage, feasibility comparison.

Большая часть территории России находится в зоне децентрализованного электроснабжения. Поэтому весьма актуальной является задача электроснабжения небольших населенных пунктов, особенно децентрализованных, в которых отсутствует централизованное электроснабжение. Однако следует отметить, что значительная удаленность от линий электропередачи, высокая рассредоточенность на большой территории, малая мощность делают подключение к унитарной энергосистеме неэффективным с точки зрения периода окупаемости.

Вследствие этого в значительно отдаленных поселках электроснабжение потребителей осуществляется автономными электростанциями.

В настоящее время существует огромное множество вариантов реализации автономного электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии. Источников энергии в вашей автономной системе может быть один или несколько. Ими могут быть: жидко-топливный генератор, фотоэлектрическая батарея, ветроэлектрическая установка или мини-ГЭС. Однако следует учитывать, что в системах на возобновляемых источниках энергии, в силу непостоянства возобновляемого ресурса, аккумуляторная батарея – необходимый элемент.

Задача оптимизации автономной системы электроснабжения (АСЭС), использующей ВИЭ и накопители энергии, является в настоящее время весьма актуальной. Опыт российских и зарубежных исследовательских коллективов показывает, что комбинированное применение ВИЭ и накопителей энергии в АСЭС является экономически эффективным способом энергообеспечения потребителей. В сравнении с дизельными электростанциями комбинированное применение ВИЭ и накопителей энергии в несколько раз уменьшает выбросы углекислого газа, значительно сокращает зависимость от привозного топлива, улучшает экологическую обстановку [1, 2]. Вопросам моделирования и оптимизации АСЭС, использующих ВИЭ и накопители энергии, посвящено значительное число работ, выполненных как в нашей стране, так и за рубежом [1].

В данной работе будут рассмотрены электрохимические накопители энергии. Электрохимические накопители энергии, в свою очередь, бывают: натрий-серные (NaS); ванадий-редоксные (VRB); свинцово-кислотные (Pb); цинк-бромидные (ZnBr); литий-ионные (Li-ion).

В данной работе произведён анализ литий-ионных и свинцово-кислотных аккумуляторных батарей.

Все расчеты велись для поселка Уймень, Алтайский край. Рассмотрен вариант автономного электроснабжения поселка на базе мини-ГЭС, так как рядом с поселком протекает река Уймень. Для покрытия дефицита мощности и электроэнергии в зимние месяцы, особенно в часы пиковой нагрузки, используется блок аккумуляторных батарей. А также для покрытия недостающей мощности МГЭС в часы пика в работу включается дизельная электростанция.

Отметим также, что применение АКБ совместно с дизель-генераторными установками очень эффективно. Это обеспечивает работу дизель-генераторных установок с постоянной, наиболее экономичной нагрузкой. Результаты – снижение затрат топлива в среднем на 15–20 %, улучшение экологической обстановки.

При реализации автономного электроснабжения от нескольких источников встаёт задача распределения режима работы и степени загрузки электростанций во времени.

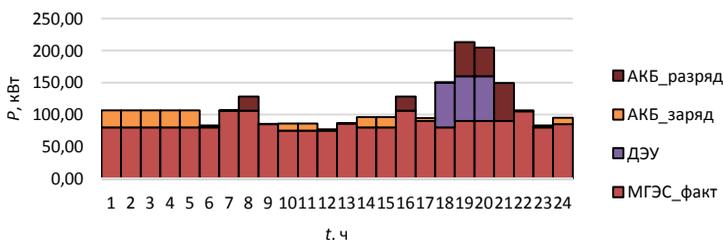


Рис. Покрытие суточного графика нагрузки поселка Уймень различными источниками электроэнергии

Как видно из рисунка, МГЭС работает в базовой части графика нагрузки с целью наибольшего вытеснения дизельной электростанции из покрытия графика нагрузки. ДЭС включается в часы максимальной нагрузки. Обычно это часы вечернего пика. ДЭС работает с высокой степенью загрузки, чтобы избежать неэффективного потребления топлива, а излишки электроэнергии расходуются на заряд аккумуляторных батарей. В периоды, когда потребление превышает мощность работы МГЭС, а включение ДЭС нецелесообразно, пики мощности покрываются с помощью аккумуляторных батарей. Суммарная недостающая мощность МГЭС и ДЭУ составила 209 кВт.

Для эффективной работы АСЭС необходимо выполнение следующего условия: баланс вырабатываемой и потребляемой мощности. Однако наличие в системе блока аккумуляторных батарей приводит к тому, что генерация и потребление электроэнергии могут не совпадать. В этом случае появляется возможность запастись излишки энергии в часы, когда нагрузка уменьшается, и выдавать дополнительную энергию в сеть в периоды пика нагрузки. Это условие представлено следующим выражением:

$$0 = P_{\text{ген}} - P_{\text{нагр}} \pm P_{\text{АКБ}},$$

где $P_{\text{нагр}}$ – активная и реактивная мощность нагрузки, $P_{\text{ген}}$ – мощность генерирующих установок, $P_{\text{АКБ}}$ – активная мощность, выдаваемая или потребляемая аккумуляторными батареями.

Выполнение этого условия обязательно при покрытии суточного графика нагрузки. Оно выступают в роли технологических ограничений для режима работы автономной системы электроснабжения [3].

Расчет ёмкости аккумуляторных батарей. Требуемая емкость аккумуляторных батарей определяется по следующему выражению:

$$C_{\Sigma \text{ АКБ}} = \frac{W}{U \cdot k_{\text{раз}}} = \frac{209,24 \cdot 8}{24 \cdot 0,7} = 99,635 \text{ кА} \cdot \text{ч},$$

где W – объем электроэнергии, не покрываемый МГЭС, кВт·ч; U – напряжение аккумуляторной батареи, равное 12, 24 или 48 В; $k_{\text{раз}}$ – коэффициент, учитывающий глубину разряда аккумуляторной батареи (принимается равным 0,7 в данной задаче).

Довольно часто для обеспечения требуемой ёмкости недостаточно одной аккумуляторной батареи. В этом случае отдельные аккумуляторы соединяются последовательно или параллельно в общий блок АКБ. Параллельное соединение аккумуляторов позволяет увеличить емкость, не изменяя напряжения на выходящих зажимах. Последовательное соединение увеличивает напряжение на зажимах аккумулятора, однако не влияет на величину емкости. Необходимое число аккумуляторов рассчитывается по формуле:

$$n = \frac{C_{\Sigma \text{ АКБ}}}{C_i} = \frac{99,635}{0,7} = 142,34 \text{ шт.},$$

где C_i – ёмкость одного аккумулятора [3].

Однако следует заметить, что вариант с 12 В не рассматривается, так как он не соответствует большой мощности системы. АКБ напряжением 12 В применяются для систем с мощностью не более нескольких десятков кВт.

Технические характеристики аккумуляторных батарей

Тип аккумуляторной батареи		1. Li-ion (Литий-ионные)	2. Pb (Свинцово-кислотные)
Марка		LT-LFP 700P	7 GroE 700
Номинальная емкость, Ач		700,00	700,00
Номинальное напряжение, В		3,20	2,00
Количество параллельных элементов, шт	24 В	142,34	142,34
	48 В	71,17	71,17
Количество последовательных элементов, шт	24 В	7,50	12,00
	48 В	15,00	24,00
Количество циклов (заряд/разряд)		3000,00	1500,00
Обслуживаемые/Необслуживаемые		Нет	Да
Стоимость одной, руб.		49 000,00	31 350,00

По приведенным техническим характеристикам аккумуляторных батарей (таблица) можно отметить следующие особенности. Литий-ионные АКБ выигрывают у свинцово-кислотных АКБ по количеству циклов, по количеству последовательных элементов, а также они не требуют обслуживания. Помимо этого литий-ионные АКБ могут утилизироваться без предварительной переработки, и у них быстрый процесс заряда батарей – до 90 % емкости за 30–40 мин. При всем этом они не лишены недостатков.

У литий-ионных АКБ достаточно быстрое старение аккумулятора – большинство аккумуляторов резко снижают свои характеристики при хранении или использовании более 5 лет; есть вероятность взрыва при механическом повреждении или перезарядке аккумулятора; для создания аккумуляторных батарей требуется сложная система управления батареями; у них относительно высокая стоимость.

Свинцово-кислотные АКБ, в свою очередь, имеют более низкую стоимость, у них относительно простая система обслуживания, четкая отработанная технология, невысокий уровень саморазряда – 3–10 % в месяц, тогда как у литий-ионных уровень саморазряда – до 5 % в месяц. Однако к ним предъявляются жесткие требования по экологической безопасности при утилизации, у них малое количество циклов – до 2000. Исходя из рассмотренных особенностей АКБ в рамках заданного объекта, принимается решение по установлению свинцово-кислотных АКБ.

Технологии накопления энергии развиваются высокими темпами, накопители энергии находят все более широкое применение в практике регулирования и управления режимами электроэнергетических систем. Малое время отклика, значительные величины мощности и энергоемкости открывают большие возможности в применении накопителей для управления как переходными, так и установившимися режимами электроэнергетической системы.

По оценкам экспертов в ближайшие 10 лет рынок накопителей энергии будет расти со среднегодовыми темпами, превышающими 30 %, с тенденцией к снижению удельной стоимости запасенной энергии. Рассмотренные в статье типы накопителей энергии не являются исчерпывающими.

В процессе исследований могут появиться новые виды (технологии) накопления, так же, как и совершенно новые области их применения.

Библиографический список

1. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.

2. Карамов Д.Н. Актуальность применения возобновляемых источников энергии в децентрализованных населенных пунктах России на примере Ленского района республики Саха (Якутия) // Вестник ИрГТУ. – 2013. – № 11(82). – С. 279–283.

3. Митрофанов С.В., Зубова Н.В. Автономные системы электроснабжения: учеб. пособие. – Новосибирск, 2016.

Сведения об авторе

Кузнецова Наталья Дмитриевна – студентка Новосибирского государственного технического университета, гр. ЭН2-33, г. Новосибирск, e-mail: nata.20.07@mail.ru.

Е.Г. Лиске, Д.С. Сельменова, Д.Е. Шевцов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ УПРАВЛЯЕМОМ ВКЛЮЧЕНИИ КОНДЕНСАТОРНОЙ БАТАРЕИ

В данной статье рассмотрен метод управляемой коммутации, позволяющий значительно уменьшить амплитуду бросков тока при включении конденсаторной батареи. Представлены результаты моделирования и определены оптимальные алгоритмы включения конденсаторных батарей.

Ключевые слова: управляемая коммутация; батарея конденсаторов; бросок тока.

E.G. Liske, D.S. Selmeneva, D.E. Shevtsov

RESEARCH OF TRANSITION PROCESS AT THE CONTROLLED INCLUTION OF CAPASITOR BANK

In this article the method of controlled switching, which makes it possible to significantly reduce the amplitude of inrush current when capasitor bank are included are considered. The results of modeling and selection of the optimal circuits for switching capacitors are presented.

Keywords: controlled switching; capasitor bank; inrush current.

Введение. Включение конденсаторных батарей в электрическую сеть может сопровождаться значительными бросками тока. Бросок тока является причиной появления повышенных электродинамических усилий в токопроводящих элементах сети, что приводит к ускоренному износу оборудования. Также переходной ток способен вызвать перенапряжения, ведущие к старению изоляции, и ложное срабатывание релейной защиты [1].

Исследование переходных процессов при включении конденсаторной батареи в электрических сетях 6–10 кВ является актуальным, что также подтверждается важностью и повсеместным распространением рассматриваемой нагрузки.

Существует несколько путей снижений бросков тока, которые применяются в настоящее время: использование постоянно включенных резисторов или реакторов; использование предвключаемых

резисторов или реакторов; введение выдержки времени перед повторным включением конденсатора для снижения остаточного заряда; использование устройств управляемой коммутации и специальных алгоритмов включения конденсаторных батарей.

Использование постоянно включенных резисторов или реакторов часто оказывается экономически невыгодным, а использование предвключаемых резисторов или реакторов требует дополнительных коммутационных аппаратов и устройств управления, что снижает надежность работы всей системы в целом.

После отключения батареи конденсаторов в соответствии с ПУЭ необходимо выждать время до её разрядки перед повторным включением в работу. В случае, когда необходимо оперативно компенсировать реактивную мощность, данное ограничение может оказаться неприемлемым.

Указанные решения могут оказаться малоэффективными, ненадежными и дорогими и в конечном счете не позволяют решить проблему кардинально. В настоящее время в мире имеются исследования и выполнен ряд разработок устройств управляемой коммутации, позволяющих решить проблему бросков тока. Однако основная часть данных исследований применима лишь для оборудования высших классов напряжений (от 110 кВ и выше). Поэтому возникает необходимость проведения исследований управляемой коммутации в электрических сетях 6–10 кВ.

Особенности управляемой коммутации. Концепция управляемой коммутации заключается в последовательной коммутации полюсов выключателя по заданному алгоритму. Такая коммутация позволяет предотвратить появление опасных бросков тока, высокочастотных перенапряжений и увеличивать коммутационный ресурс оборудования.

На примере емкостной нагрузки управляемое включение представляет собой процесс замыкания контактов выключателя в строго определенный момент времени с опережением момента перехода напряжения источника через ноль:

$$T_{\text{cont}} = T_{\text{zero}} - T_m - (T_{\text{closing}} - T_{\text{prestriking}}) = T_{\text{zero}} - T_m - T_{\text{making}}. \quad (1)$$

На рис. 1 представлен принцип управляемого включения индуктивной нагрузки. Оптимальным временем включения является пик напряжения при условии, что время предпробоев при включении

меньше полупериода. Контроллер задерживает команду на включение на некоторое время T_{total} , которое является суммой времени реакции контроллера T_w и преднамеренной задержки времени синхронизации T_{cont} .

Контроллер вводит задержку T_{cont} относительно соответствующего перехода напряжения источника через ноль, которая рассчитывается по (1) с учетом времени включения выключателя $T_{closing}$ и времени предпробов $T_{prestriking}$. Ток начинает течь в момент времени t_{make} . Интервал T_m определяется временем t_{make} и следующим за ним временем перехода напряжения источника через ноль.

Время включения $T_{closing}$ есть интервал времени от момента подачи питания на катушку включения выключателя до момента механического касания контактов. Время предпробов при включении $T_{prestriking}$ – это интервал времени между моментом начала предпробов и моментом механического касания контактов. Время T_{making} является промежутком времени от момента подачи питания на катушку включения до момента начала предпробов t_{make} [2].

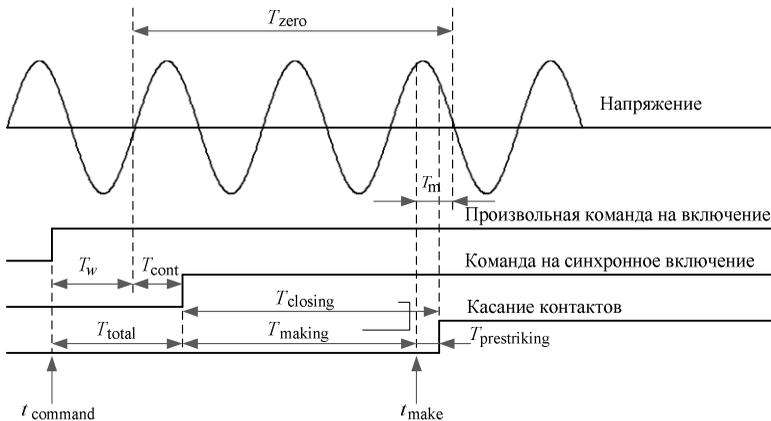


Рис. 1. Принцип управляемого включения

Алгоритм управляемого включения. Разработана модель управляемого включения, выполненная в программном комплексе MatLab/Simulink, который позволяет моделировать сложные электроэнергетические системы, сочетая методы имитационного и структурного моделирования. Общий вид разработанной модели отражен на рис. 2.

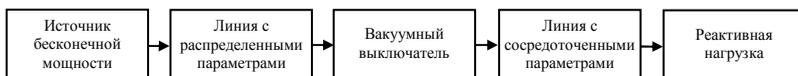


Рис. 2. Блок-схема разработанной модели

Ниже представлены осциллограммы токов при управляемом и неуправляемом включении конденсаторной батареи. В ходе моделирования определена оптимальная последовательность включения фаз *CB-A*. Включение по алгоритму *CB-A* подразумевает коммутацию первых фаз при переходе линейного напряжения через ноль, третьей фазы – при минимальном фазном напряжении.



Рис. 3. Неуправляемое включение конденсаторной батареи

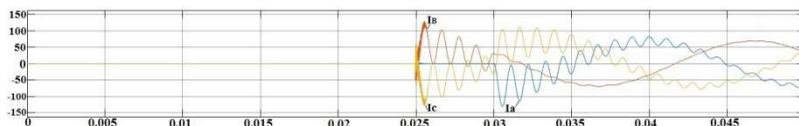


Рис. 4. Управляемое включение конденсаторной батареи

Во время управляемого включения кратности бросков тока уменьшились в 9,8 раз.

Закключение. Применение традиционных способов снижения бросков тока в большинстве случаев оказывается неэффективным или экономически невыгодным. Принципиально иным способом снижения негативного воздействия переходных процессов является использование управляемой коммутации.

Разработан алгоритм включения конденсаторной батареи. По полученным зависимостям можно отметить эффективность использования управляемой коммутации и сделать вывод, что использование указанного метода применительно к конденсаторной батарее позволит задействовать уже существующие на станциях установки и сократить расходы на введение нового оборудования.

Библиографический список

1. Белкин Г.С. Применение самоуправляемых аппаратов (аппаратов, обладающих «интеллектом») для коммутации цепей высокого напряжения // Электротехника. – 2005. – № 12. – С. 3–9.

2. Павлюченко Д.А., Шевцов Д.Е. Особенности управляемой коммутации при нормальных и аварийных режимах в электрических сетях среднего напряжения // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2015. – № 5. – С. 41–44.

Сведения об авторах

Лиске Елена Генриховна – студентка Новосибирского государственного технического университета, гр. ЭН2-33, г. Новосибирск, e-mail: foniku@gmail.com.

Сельменова Диана Сергеевна – студентка Новосибирского государственного технического университета, гр. ЭН2-33, г. Новосибирск, e-mail: dianaselmeneva@mail.ru.

Шевцов Дмитрий Евгеньевич – старший преподаватель кафедры «Системы электроснабжения предприятий» Новосибирского государственного технического университета, г. Новосибирск, e-mail: dmitriy_shevtsov@mail.ru.

И.И. Лютак, А.А. Францева

АНАЛИЗ РАБОТЫ ТЕПЛОВОГО НАСОСА НА РАЗЛИЧНЫХ РАБОЧИХ ТЕЛАХ

В данной статье представлены принципиальная схема и термодинамический цикл теплового насоса. Приведены основные характеристики, по которым выбраны рабочие тела. Представлена таблица с энтальпиями определенных точек. Сделаны расчеты определенных взаимосвязанных факторов, прямым образом влияющих на конкурентоспособность, и получена их сравнительная эффективность.

Ключевые слова: пароконденционные тепловые насосы, аммиак, фреон, коэффициент использования первичной энергии.

I.I. Lyutak, A.A. Frantseva

THE ANALYSIS OF OPERATION OF THE THERMAL PUMP ON VARIOUS COOLANTS

The schematic diagram and thermodynamic cycle of the thermal pump have presented in this article. Have provided the main characteristics according to which coolants have been chosen. Have provided the table with enthalpies of certain points. Also have carried out calculations defined the interconnected factors, a direct image influencing competitiveness and their comparative efficiency.

Keywords: vapor-compression thermal pumps, ammonia, Freon, efficiency of primary energy.

Наибольшее распространение среди пароконденционных тепловых насосов (ПКТН) получили машины, в которых реализуется обратный термодинамический цикл (рис. 2, 3) [1]. Представленная на рис. 1 [1] принципиальная схема включает в себя все основные элементы не только ПКТН, но и некоторых схемных решений пароконденционных холодильных машин (ПКХМ), что позволяет в процессе термодинамического анализа выявить принципиальные различия между этими типами технических систем. Более сложные схемы и циклы ПКТН базируются на представленных выше основных структурных элементах и термодинамических процессах.

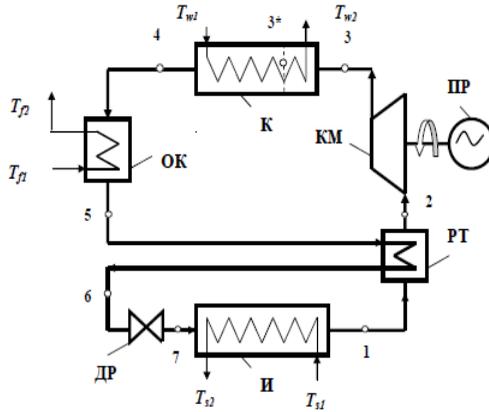


Рис. 1. Принципиальная схема парокompрессионного теплового насоса

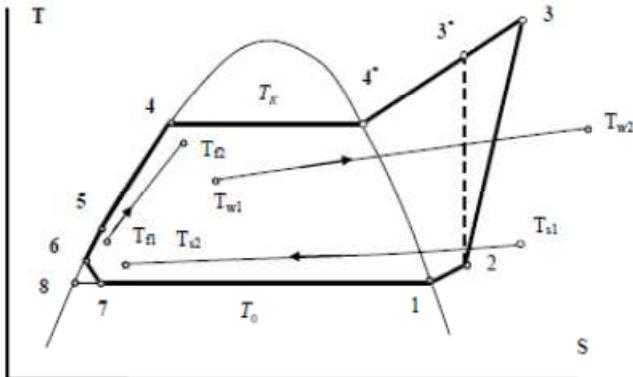


Рис. 2. Термодинамический цикл парокompрессионного теплового насоса с одноступенчатым сжатием в координатах «температура T – энтропия S » с теплоносителями систем низкопотенциального источника тепла (с индексом « S »), системы отопления (с индексом « W ») и горячего водоснабжения (с индексом « F »)

Расчеты были проведены по двум хладагентам: R-134a и R 717 (аммиак). Обоснование данного выбора представлено далее, где указаны основные характеристики рабочих тел по сравнению с заменяемым R22. Заменой для R22 и R12 из группы хлорсодержащих фреонов самым подходящим является R134a. В настоящее время он получил наибольшее распространение во многих холодильных установках и системах кондиционирования. Помимо применения в чистом виде R134a используется так же, как компонент множества смесей. У R134a

отсутствует озоноразрушающий потенциал ($ODP = 0$) в отличие от R22 ($ODP = 0,05$), а термодинамические свойства аналогичны R12 [2].

Если искать замену для R22 и R12 в группе безгалоидных, то альтернативой можно выбрать аммиак (NH_3), который не имеет озоноразрушающего потенциала и прямого воздействия на глобальное потепление. Отрицательные черты данного хладагента – это высокая токсичность (считается, что предельно допустимая концентрация аммиака в рабочих помещениях должна быть не выше 20 мг/м^3 , однако даже при более слабой концентрации характерный запах аммиака в случае его появления вызывает сильную панику; при более высоких концентрациях появляются серьезные затруднения дыхания вплоть до удушья; смертельная концентрация аммиака – 30 г/м^3), легковоспламеняемость (требующая особых мер безопасности), высокий адиабатный показатель (ввиду этого высокие температуры нагнетания, из-за этого следует применять двухступенчатое сжатие), коррозионное воздействие на медьсодержащие материалы. Аммиак не может использоваться как хладагент-заменитель для существующих установок, они должны быть полностью изготовлены заново. Стоимость NH_3 по сравнению со стоимостью с R22 значительно ниже [2].

Для определения удельных тепловых нагрузок понадобились основные параметры состояния рабочего тела. С помощью программы CoolPack были определены энтальпии некоторых точек, которые понадобились в дальнейшем. Параметры приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры состояния РТ

Точка	R-134a(энтальпия, кДж/кг)	R 717(энтальпия, кДж/кг)
2	409,16	1495,49
3	465,89	1852
4	304,55	535,54
5	223,65	266,2

Удельная внутренняя работа компрессора КМ:

$$L_d = h_3 - h_2. \quad (1)$$

Удельная теплопроизводительность конденсатора К:

$$q_k = h_3 - h_4. \quad (2)$$

Удельная тепловая нагрузка охладителя конденсата ОК:

$$q_{ok} = h_4 - h_5. \quad (3)$$

Следующие взаимосвязанные факторы, прямым образом влияющие на конкурентоспособность и их сравнительную эффективность:

1. Среднегодовой коэффициент преобразования:

$$\varphi^{\text{ТНУ}} = \frac{(q_k + q_{ok})\eta_{\text{эл.м.}}}{L_d}, \quad (4)$$

где q_k – удельная теплопроизводительность конденсатора; q_{ok} – удельная тепловая нагрузка охладителя конденсата; $\eta_{\text{эл.м.}}$ – электромеханический КПД компрессора; L_d – удельная внутренняя работа компрессора.

Увеличение значения $\varphi^{\text{ТНУ}}$ повышает экономическую эффективность работы, уменьшает экологическую нагрузку на окружающую среду при выработке электроэнергии для приводов ТНУ.

2. Качественный температурный уровень тепловой энергии, удовлетворяющий ее потребителя. Взаимосвязь количества производимой тепловой энергии и ее коммерческого температурного уровня определяются характеристиками рабочего тела, конструктивными особенностями ТН и режимами работы системы теплоснабжения. В общем случае эффективность всех видов ТН, за исключением термоэлектрического и сорбционного типов, снижается с ростом температуры производимого тепла.

3. Среднегодовой коэффициент использования первичной энергии:

$$\text{КПЭ} = \varphi^{\text{ТНУ}} \cdot \eta^{\text{ТН}}, \quad (5)$$

где $\eta^{\text{ТН}}$ – эксергетический КПД цикла теплового насоса.

Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов

Факторы	R-134a	R717
L_d	56,7334	441,71
q_k	161,3434	1401,66
q_{ok}	80,9	269,34
$\varphi^{\text{ТНУ}}$	4,056	3,594
$\eta^{\text{ТН}}$	0,677	0,641
КПЭ	2,746	2,30376

В заключение можно отметить, что сравнение производилось по двум критериям: среднегодовой коэффициент преобразования и среднегодовой коэффициент использования первичной энергии. Для R-134a эти критерии составили $\varphi^{\text{THY}} = 4,056$, КПЭ=2,746. Для аммиака $\varphi^{\text{THY}} = 3,594$, КПЭ = 2,30376.

По выбранным критериям применение R-134a в парокомпрессионных тепловых насосах является более эффективным.

Библиографический список

1. Елистратов С.Л. Комплексное исследование эффективности тепловых насосов: дис. ... д-ра техн. наук. – Новосибирск, 2005.
2. Бараненко А.В., Бухарин Н.Н., Тимофеевский Л.С. Холодильные машины: учебник для студентов вузов. – СПб.: Политехника, 2006. – 944 с.

Сведения об авторах

Лютак Илья Иванович – магистрант Новосибирского государственного технического университета, гр. ТЭМ – 61, г. Новосибирск, e-mail: lyutak-lut@mail.ru.

Францева Алина Алексеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые электрические станции» Новосибирского государственного технического университета, г. Новосибирск, e-mail: frantsevalina@gmail.com.

А.Н. Пастухов, А.Г. Щербинин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМИНАЛЬНЫХ ТОКОВЫХ НАГРУЗОК СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ С РЕЗИНОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

В данной статье рассматривается расчёт номинальной токовой нагрузки силового кабеля на 1 кВ с тремя медными жилами круглой формы, с изоляцией из этиленпропиленовой резины и оболочкой из резины марки РРГнг(А) четырёх маркозамеров 3×50, 3×70, 3×95, 3×120.

Ключевые слова: тепловое сопротивление, силовой кабель, номинальные токовые нагрузки.

A.N. Pastuhov, A.G. Shcherbinin

DEFINITION OF RATED CURRENT LOADS OF POWER CABLES WITH RUBBER ISOLATION

In this article calculation of rated current load of the power cable on 1 kV with three copper veins of a round form, with isolation from etilenpropilenovy rubber and a cover from rubber of brand RRGng(A) of four easily soiled sizes 3×50, 3×70, 3×95, 3×120 is considered.

Keywords: thermal resistance, power cable, rated current loads.

Предельно допустимые токовые нагрузки силовых кабелей РРГнг(А), предназначенных для передачи и распределения электрической энергии в стационарных установках на номинальное напряжение и 1 кВ частотой 50 Гц, зависят от допустимой температуры нагрева изоляции, которая для этиленпропиленовой резины составляет 90 °С. Тепловой расчет рассматриваемых кабелей сводится к определению температуры токопроводящей жилы с учетом потерь в жилах, изоляции, оболочках, тепловых сопротивлений кабеля и окружающей среды.

Конструкция кабеля марки РРГнг(А) приведена на рисунке.

Номинальная токовая нагрузка силового кабеля (см. рис) определяется по формуле [1–3]:

$$I = \frac{\Delta\theta}{\sqrt{R \cdot T_1 + n \cdot R(T_2 + T_3)}}, \quad (1)$$

где $\Delta\theta$ – перепад температур, °С; T_1 – тепловое сопротивление изоляции; T_2 – тепловое сопротивление оболочки; T_3 – тепловое сопротивление земли.

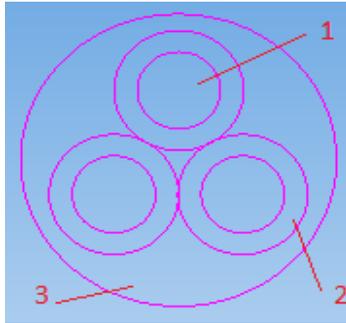


Рис. Кабель марки РРГнг(А) на напряжение 1 кВ:
 1 – медная многопроволочная токопроводящая жила;
 2 – изоляция из этиленпропиленовой резины;
 3 – наружная оболочка из резины

Сопротивление жилы переменному току R , Ом/м, на единицу длины при ее максимальной рабочей температуре определяется по формуле

$$R = R' (1 + y_s + y_p), \quad (2)$$

где R' – сопротивление жилы постоянному току при максимальной рабочей температуре, Ом/м; y_s – коэффициент поверхностного эффекта; y_p – коэффициент эффекта близости.

Сопротивление жилы постоянному току R' , Ом/м, на единицу длины при ее максимальной рабочей температуре Θ рассчитывается по формуле:

$$R' = R_0 [1 + \alpha_{20} (\Theta - 20)], \quad (3)$$

где R_0 – сопротивление жилы постоянному току при 20 °С, Ом/м; α_{20} – температурный коэффициент при 20 °С; Θ – максимальная рабочая температура, °С (определяется типом используемой изоляции). Для данного напряжения $\Theta = 90$ °С.

$$R_0 = \rho_0 \frac{L}{S}, \quad (4)$$

где ρ_0 – удельное сопротивление при 20 °С; L – длина жилы, 1 м; S – сечение жилы, мм²;

Коэффициент поверхностного эффекта определяют по формуле:

$$y_s = \frac{x_s^4}{192 + 0,8x_s^4}, \quad (5)$$

где $x_s^2 = \frac{8\pi f}{R'} 10^{-7} k_s$, f – частота, Гц.

Коэффициент эффекта близости для трёхжильных кабелей рассчитывается по формуле:

$$y_p = \frac{x_p^4}{192 + 0,8x_p^4} \left(\frac{d_c}{s} \right)^2 \left[0,312 \left(\frac{d_c}{s} \right)^2 + \frac{1,18}{\frac{x_p^4}{192 + 0,8x_p^4} + 0,27} \right], \quad (6)$$

где $x_p^2 = \frac{8\pi f}{R'} 10^{-7} k_p$.

Тогда сопротивление по переменному току определяется по формуле:

$$R = R'(1 + y_s + y_p). \quad (7)$$

Для кабелей на напряжение 1 кВ диэлектрические потери не учитываются.

Расчёты сопротивлений жил по постоянному и переменному току для четырёх маркоразмеров сведены в табл. 1.

Таблица 1

Сопротивления жил по постоянному и переменному току

Число и номинальное сечение жил, мм ²	R , Ом/м	R' , Ом/м
3×50	$18,6 \cdot 10^{-5}$	$18,74 \cdot 10^{-5}$
3×70	$24,8 \cdot 10^{-5}$	$23,62 \cdot 10^{-5}$
3×95	$31,88 \cdot 10^{-5}$	$31,99 \cdot 10^{-5}$
3×120	$44,64 \cdot 10^{-5}$	$44,73 \cdot 10^{-5}$

Тепловое сопротивление изоляции жилы рассчитывается по формуле:

$$T_1 = \frac{\rho T_1}{2\pi} G, \quad (8)$$

где ρT_1 – удельное тепловое сопротивление изоляции, К·м/Вт; G – геометрический фактор [2].

Тепловое сопротивление наружных оболочек определяется по формуле:

$$T_2 = \left(\frac{\rho T_2}{2\pi} \ln \left(1 + \frac{2t_2}{D_s} \right) \right), \quad (9)$$

где t_2 – толщина наружной оболочки, мм; ρT_2 – удельное тепловое сопротивление оболочки, К·м/Вт;

Тепловое сопротивление окружающей среды для кабелей с неметаллическими оболочками рассчитывается по формуле:

$$T_3 = \frac{1}{2\pi} \rho_{T_3} [\ln(2u)], \quad (10)$$

$$u = \frac{2L}{D_e}, \quad (11)$$

где L – расстояние от поверхности земли до оси кабеля, мм; D_e – наружный диаметр одного кабеля, мм; ρ_{T_3} – удельное тепловое сопротивление земли, К·м/Вт;

Расчёты тепловых сопротивлений и номинальных токовых нагрузок для четырёх маркоразмеров приведены в табл. 2.

Таблица 2

Тепловые сопротивления и номинальные токовые нагрузки

Число и номинальное сечение жил, мм ²	T_1 , К·м/Вт	T_2 , К·м/Вт	T_3 , К·м/Вт	I , А
3×50	0,334	0,127	0,874	224,36
3×70	0,334	0,131	0,847	268,16
3×95	0,334	0,118	0,807	309,39
3×120	0,334	0,109	0,808	361,19

Расчитанные значения токовых нагрузок обеспечат необходимый уровень передаваемой электрической энергии и безаварийный режим работы кабелей в течение всего срока эксплуатации.

Библиографический список

1. ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2009. Уравнение для расчёта номинальной токовой нагрузки и расчёт потерь. – М.: Стандартинформ, 2009.
2. ГОСТ Р МЭК 60287-2-1-2009. Тепловое сопротивление. Расчёт теплового сопротивления. – М.: Стандартинформ, 2009.
3. Ковригин Л.А. Основы кабельной техники: учеб. пособие – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2006. – 94 с.

Сведения об авторах

Пастухов Андрей Николаевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭИ-13-1б, e-mail: jama190794@mail.ru.

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

А.А. Порошин, А.С. Мансуров, А.Г. Щербинин

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ

Основной защитой кабельных цепей от взаимных и внешних помех, является экранирование. С помощью программного комплекса ANSYS было проведено исследование эффективности экранирования медного цилиндрического экрана для частот 500 кГц, 1 МГц, 5 МГц, 10 МГц. В результате исследования получены распределения напряженности магнитного поля от частоты. Проведены анализ и сравнение полученных результатов с аналитическим решением. Были сделаны выводы.

Ключевые слова: исследование, эффективность экранирования, цилиндрических экранов, математическое моделирование, ANSYS.

A.A. Poroshin, A.S. Mansurov, A.G. Shcherbinin

RESEARCH OF ELECTROMAGNETIC PROCESSES OF CYLINDRICAL SHIELDS

The main protection of cable circuits from mutual and external interference is shielding. Using ANSYS software, a study was made of the shielding efficiency of a copper cylindrical shield for frequencies of 500 kHz, 1 MHz, 5 MHz and 10 MHz. As a result of the investigation, the magnetic field strengths were obtained from the frequency. The analysis and comparison of the obtained results with the analytical solution is carried out. The conclusions were drawn.

Keywords: research, shielding efficiency, cylindrical shields, mathematical modeling, ANSYS.

Исследование проводилось для медного цилиндрического экрана толщиной 0,3 мм и радиусами экрана 1,7, 2,7, 4,7, 6,7 мм. Источником поля является, заданный на жиле, векторный магнитный потенциал $A = -1$ Вб/м.

Действие экрана определяется коэффициентом экранирования, для этого находимо определить напряженность магнитного поля (H , А/м) в указанной точке с экраном и без экрана (на расстоянии 15 мм от центра жилы).

Геометрические размеры экрана и исследуемая область изображены на рис. 1.

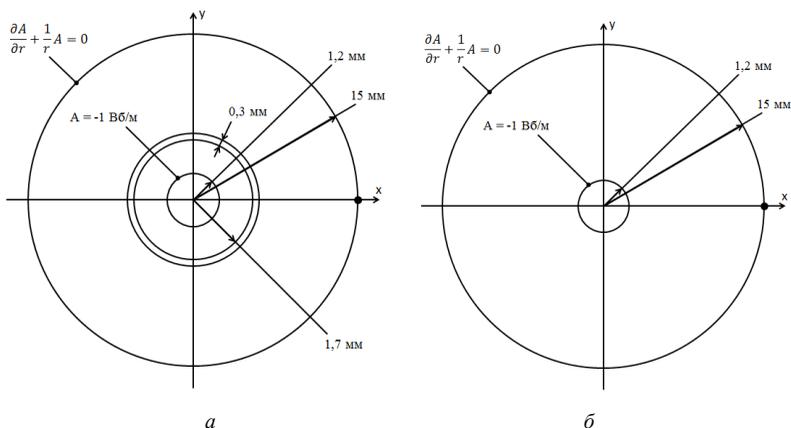


Рис. 1. Геометрические размеры экрана и исследуемая область:
a – с экраном; *б* – без экрана

При построении математической модели были сделаны следующие допущения:

- задача двумерная $H = f(x, y)$;
- задача квазистационарная (используется метод комплексных амплитуд);
- используется калибровка Кулона ($\text{div} A = 0$).

Исходя из принятых допущений, дифференциальные уравнения для комплексной амплитуды векторного потенциала A для проводящей и диэлектрической среды выглядят следующим образом:

Проводящая среда:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu_a} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu_a} \frac{\partial A}{\partial y} \right) - i\omega\sigma A + J_s = 0, \quad -i\omega\sigma A + J_s = J.$$

Диэлектрическая среда:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu_a} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu_a} \frac{\partial A}{\partial y} \right) = 0,$$

где A – магнитный векторный потенциал, Вб/м; μ_a – абсолютная магнитная проницаемость, Гн/м; σ – удельная электропроводность, См/м; J – результирующая плотность тока, А/м²; J_s – плотность тока, определяемая законом Ома в дифференциальной форме, А/м².

Зададимся следующими граничными условиями:

– на бесконечном удалении магнитный потенциал нулю и задается граничным условием Робина: $\partial A / \partial r + (1/r)A = 0$;

– на границе раздела сред нормальная и тангенциальная составляющие равны между собой $A_i = A_{i+1}$; $A_i - i$ среды; $A_{i+1} - i + 1$ среды.

В результате численного исследования получены следующие распределения напряженности магнитного поля от частоты (рис. 2–5).

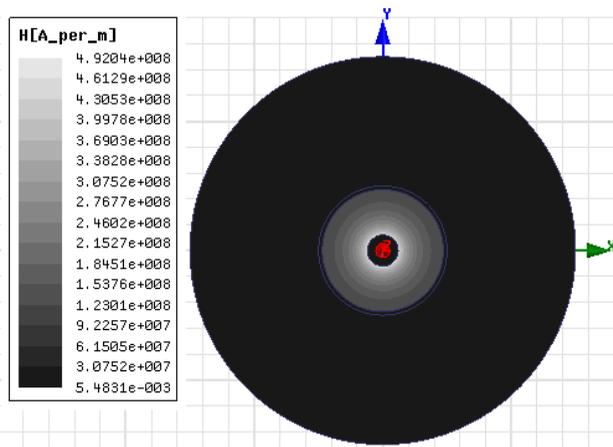


Рис. 2. Распределение напряженности магнитного поля при частоте 500 кГц

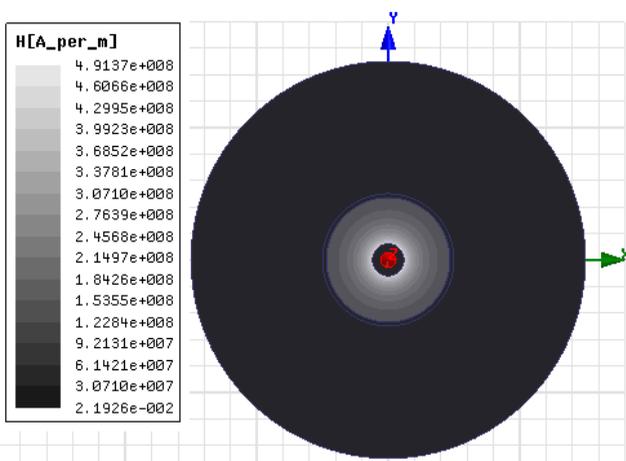


Рис. 3. Распределение напряженности магнитного поля при частоте 1 МГц

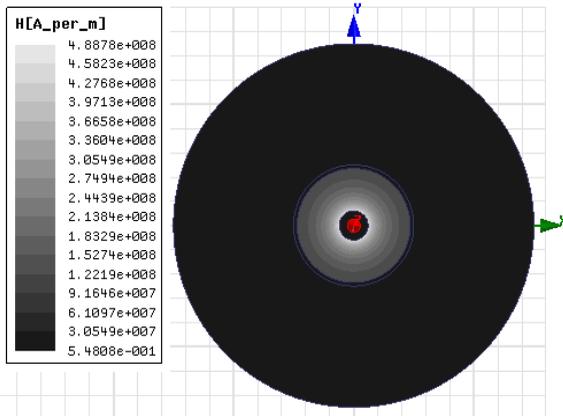


Рис. 4. Распределение напряженности магнитного поля при частоте 5 МГц

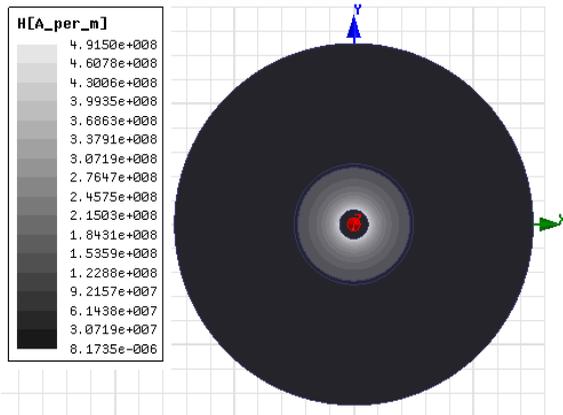


Рис. 5. Распределение напряженности магнитного поля при частоте 10 МГц

Аналитические уравнения для определения затухания экранирования. Экранирующий эффект определяется суммарным действием затухания поглощения и затухания отражения:

$$A_s = A_n + A_0.$$

Затухание поглощения обусловлено тепловыми потерями на вихревые токи в металлическом экране. Чем выше частота и толщина экрана, тем больше эффект экранирования:

$$A_n = 20 \log \left| \cosh \left(\sqrt{i} \cdot kt \right) \right|,$$

где k – коэффициент вихревых токов, $1/\text{м}$, $k = \sqrt{\omega \mu_a \sigma}$; ω – круговая частота, рад/с, $\omega = 2\pi f$; f – частота передаваемого тока, Гц; μ_a – абсолютная магнитная проницаемость, Гн/м, $\mu_a = \mu \mu_0$; σ – удельная электропроводность материала, $1/(\text{Ом}\cdot\text{м})$, $\sigma = 1/\rho$; t – толщина экрана, м.

Затухание отражения связано с несоответствием волновых характеристик (волнового сопротивления) металла, из которого изготовлен экран, и диэлектрика, окружающего экран. Чем больше различаются волновые сопротивления диэлектрика и металла (Z_d и Z_m), тем сильнее эффект экранирования за счет отражения [1, 3]:

$$A_0 = 20 \log \left| 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{Z_d}{Z_m} + \frac{Z_m}{Z_d} \right) \tanh(\sqrt{i} \cdot kt) \right|.$$

По результатам численного исследования было посчитано затухание экранирования по формулам.

Коэффициент экранирования

$$S = \frac{H_s}{H}; 1 \dots 0,$$

где H_s и H напряженность магнитного поля с экраном и без экрана, А/м.

Затухание экранирования [1, 2]:

$$A_s = 20 \lg \left| \frac{1}{S} \right|.$$

В таблице представлены затухания экранирования для аналитического и численного метода.

Затухание экранирования от частоты для аналитического и численного метода

$f, \text{Гц}$	$r_3 = 1,7 \text{ мм}$		$r_3 = 2,7 \text{ мм}$		$r_3 = 4,7 \text{ мм}$		$r_3 = 6,7 \text{ мм}$	
	Числ.	Аналит.	Числ.	Аналит.	Числ.	Аналит.	Числ.	Аналит.
	$A_s, \text{дБ}$							
500000	44,17	44,49	54,09	48,33	61,69	53,02	63,23	56,05
1000000	60,72	58,92	70,25	62,81	74,56	67,54	75,68	70,58
5000000	118,41	114,44	119,9	118,4	128,1	123,17	133,12	126,24
10000000	155,58	153,9	160,7	157,88	162,96	162,67	170,38	165,74

Сравнивая значения затухания экранирования численного исследования и аналитического расчета для заданного диапазона частот, видно, что погрешность не превышает 14 %.

Библиографический список

1. Андреев В.А., Портнов Э.Л., Кочановский Л.Н. Направляющие системы связи: учебник для вузов: в 2 т. Т. 1: Теория передачи и влияния. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 424 с.

2. Хандогина Е.Н., Владимиров Д.Н. Экранирование электромагнитных волн // Конфидент. – 1999. – № 6.

3. Шапиро Д.Н. Электромагнитное экранирование // Интеллект. – 2010. – 120 с.

Сведения об авторах

Порошин Александр Андреевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-15-1м, г. Пермь, e-mail: aleksandr-poroshin@mail.ru.

Мансуров Альфер Саматович – ассистент кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: alfer.mansurov@gmail.com.

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

А.А. Путилова, Т.В. Костыгова, Д.Р. Минулин

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭМАЛИРОВАНИЯ
И АНАЛИЗ РАБОТЫ ЭМАЛЬ-АГРЕГАТА
MATE SV 70-224/2 ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ В ЭМАЛЬ-ПЕЧИ**

В данной работе были проведены вычисления, для определения оптимальной скорости эмаль-печи, с учётом температуры и скорости воздуха внутри неё. Также была построена 2D-модель, которая наглядно показывает распределение температуры в эмаль-печи.

Ключевые слова: температура, скорость, эмаль-печь, катализатор.

A.A. Putilova, T.V. Kostygova, D.R. Minulin

**MODELING OF THE ENAMELING PROCESS AND ANALYSIS
OF THE MATE SV 70-224 / 2 ENAMELAGREGATE WORKING
WITH THE CHANGING OF THE TECHNOLOGICAL
CHARACTERISTIC OF THE ENAMELING-OVEN**

In this article were carried out calculations to identify optimal velocity of the enamelling-oven with considering temperature and air speed inside it. Also was developed 2D-model that visually shows temperature parceling at the enamelling-oven.

Keywords: temperature, velocity, enamelling-oven, catalyst.

На сегодняшний день производство проводов с эмалевой изоляцией возросло. Данный вид проводов производится путём эмалирование проволоки. Агрегат MATE SV70-224/2, который используется в ходе исследования, является вертикальным и предназначен для эмалирования круглых медных проводов диаметром от 0,70 до 2,24 мм.

Одним из основных этапов эмалирования является процесс термообработки покрытия эмаль-лака в эмаль-печи агрегата. Печь имеет две зоны: в первой зоне происходит испарение растворителя за счёт высокой температуры, вторая зона является конечным пунктом, в ней происходит процесс образования плёнки.

Необходимая скорость эмалирования зависит от температуры и скорости воздуха в эмаль-печи. Были проведены расчеты, в которых учитывались изменения скорости воздушного потока и температурной кривой внутри печи, их влияние на процесс плёнообразования.

Также было произведено моделирование эмали-печи с использованием программных сред «Компас-3D» V15, ICEM CFD 17.0 и ANSYS Fluent 17.0.

Математическая модель процесса описывается следующими уравнениями состояния:

$$1) \text{ уравнение энергии } c \cdot \rho \cdot v_i \cdot \frac{\partial T}{\partial x_i} = \lambda \Delta T + q_v;$$

$$2) \text{ уравнение движения } \rho \cdot v_j \cdot \frac{\partial v_i}{\partial x_j} = \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{i,j}}{\partial x_i};$$

$$3) \text{ Уравнение неразрывности } -\rho \cdot \frac{\partial v_i}{\partial x_i} = v_i \frac{\partial \rho}{\partial x_i},$$

где x_i – декартовы координаты; v_i – компоненты вектора скорости, м/с; ρ , c , λ – плотность, теплоемкость, коэффициент теплопроводности, кг/м³, Дж/кг·°С, Вт/м·°С; T – температура, °С; q_v – мощность внутренних источников тепла, Вт/м³; $\tau_{i,j}$ – компоненты девиаторного тензора напряжений.

Граничные условия: на входе и на выходе задается температура и скорость воздушного потока; на катализаторе, 3 устройствах нагрева и на устройстве предварительного нагрева задана температура; на вентиляторе установлена мощность всасываемого воздуха.

Были сделаны следующие допущения: процесс стационарный; теплофизические параметры постоянны; гравитационные силы не учитываются; геометрия упрощена. В результате проведенных исследований была разработана модель температурного поля эмали-печи. Результаты представлены на рис. 1.

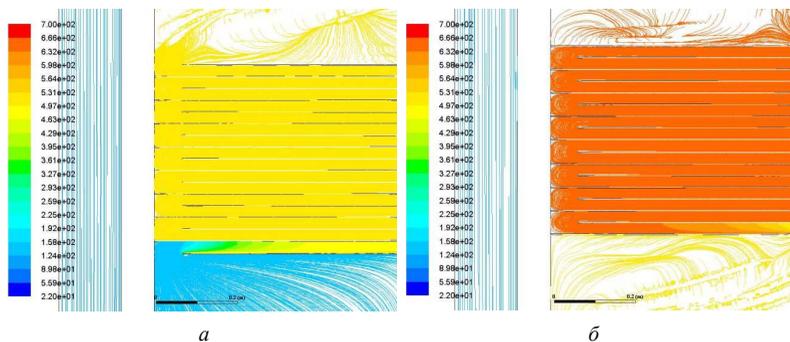


Рис. 1. Модель температурного поля эмали-печи: *a* – T °С нагревателя № 1; *б* – T °С нагревателя № 2; *в* – T °С катализатора; *г* – T °С нагревателя № 3

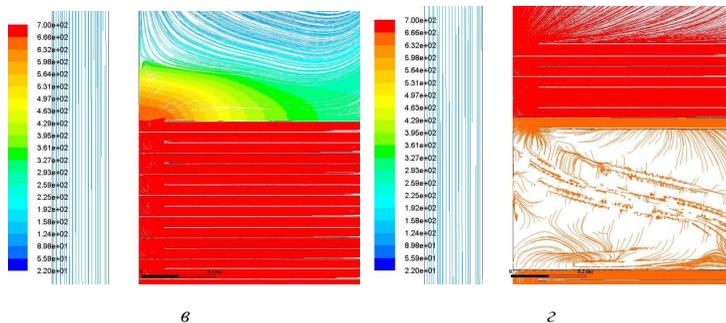


Рис. 1. Окончание

Для определения максимальной, минимальной и оптимальной скорости эмалирования необходимо вычислить зависимость средней степени плёнообразования (A_{cp}), степени пленкообразования по последнему проходу (A_n) и средней степени деструкции по слоям (B_{cp}) от скорости эмалирования. Необходимо учитывать, что для получения качественной изоляции должны выполняться следующие условия: $A_{cp} \geq 0,7$, $A_n \geq 0,5$, а $B_{cp} \leq 0,15$. Результаты расчётов представлены в табл. 1, а график зависимости A_{cp} , A_n , B_{cp} от $V_{эмалир}$ представлен на рис. 2 [1, 2].

Таблица 1

Результаты расчётов

$T_{катализ}, ^\circ C$	$V_{эм}, м/мин$	A_{cp}	A_n	B_{cp}
700	94	1	1	0,2
	98	1	1	0,15
	102	1	1	0,11
	106	1	0,99	0,08
	110	1	0,98	0,06
	114	1	0,95	0,04
	118	0,99	0,89	0,03
	122	0,98	0,82	0,02
	126	0,97	0,74	0,02
	130	0,95	0,65	0,01
	134	0,93	0,56	0,01
	138	0,9	0,48	0,01
	142	0,87	0,41	0,01
	146	0,82	0,34	0,01
	150	0,77	0,29	0
154	0,71	0,24	0	
158	0,65	0,21	0	

$V_{max}=136$ м/мин, $V_{min}=98$ м/мин, $V_{opt}=129$ м/мин

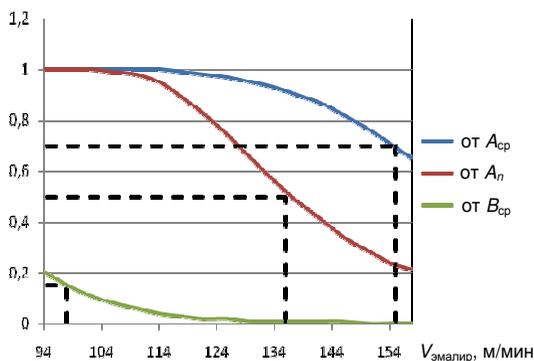


Рис. 2. График зависимости A_{cp} , A_n , B_{cp} от $V_{эмалир}$

Для выбора оптимально-приемлемой скорости эмалирования, был проведён анализ зависимости скорости эмалирования от изменения температуры внутри эмаль-печи. Распределение температуры термопары при изменении температуры на катализаторе от 500 до 750 °С представлено на рис. 3.

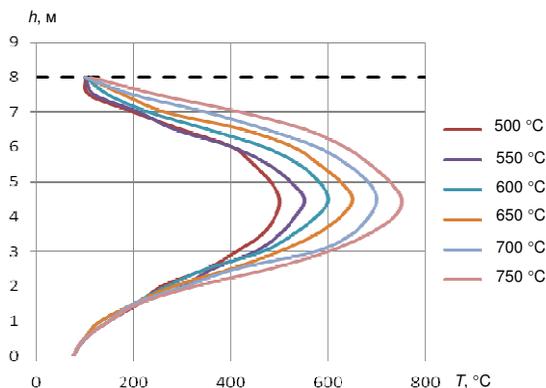


Рис. 3. Распределение температуры термопары при изменении температуры на катализаторе от 500 до 750 °С

Изменение скорости эмалирования при изменении температуры на катализаторе представлено в табл. 2. По результатам можно сделать вывод, что оптимальная скорость эмалирования увеличивается с увеличением температуры катализатора. График анализа представлен на рис. 4.

Таблица 2

Зависимость скорости эмалирования
от температуры катализатора

$T_{\text{катализ}}, ^\circ\text{C}$	$V, \text{ м/мин}$
500	$V_{\text{max}} = 62; V_{\text{min}} = 42; V_{\text{опт}} = 59$
550	$V_{\text{max}} = 73; V_{\text{min}} = 50; V_{\text{опт}} = 69$
600	$V_{\text{max}} = 89; V_{\text{min}} = 62; V_{\text{опт}} = 85$
650	$V_{\text{max}} = 110; V_{\text{min}} = 78; V_{\text{опт}} = 104$
700	$V_{\text{max}} = 136; V_{\text{min}} = 98; V_{\text{опт}} = 129$
750	$V_{\text{max}} = 165; V_{\text{min}} = 120; V_{\text{опт}} = 157$

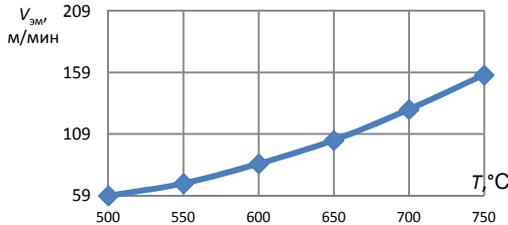
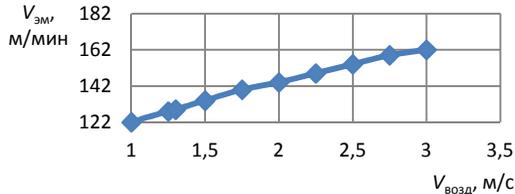


Рис. 4. Зависимость скорости эмалирования от температуры катализатора

Проведены расчёты, которые показывали влияние скорости воздушного потока в эмаль-печи на скорость эмалирования. Изначально скорость воздуха на высоте 1 м была взята равной 1,3 м/с. Скорость воздуха изменялась в диапазоне от 0,5 до 3,0 м/с. Результаты расчёта представлены в таблице на рис. 5. Зависимость $V_{\text{эмалир}}$ от $V_{\text{возд}}$ представлена на рис. 5.

$V_{\text{возд}}, \text{ м/с}$	$V_{\text{эмалир}}, \text{ м/мин}$
0,50	106
0,75	115
1,0	122
1,25	128
1,30	129
1,50	134
1,75	140
2,0	144
2,25	149
2,50	154
2,75	159
3	162

Рис. 5. Изменение скорости эмалирования от скорости воздуха (см. таблицу); зависимость $V_{\text{эмалир}}$ от $V_{\text{возд}}$

В ходе исследования можно сделать следующие выводы: с увеличением температуры на катализаторе скорость эмалирования возрастает, так как температуры в первой и второй зонах становятся так же выше, и быстрее происходят процессы удаления растворителя и плёнообразования. С увеличением скорости воздушного потока тепло интенсивнее переносится по зонам и температура в эмали-печи возрастает, поэтому скорость эмалирования также растёт.

Библиографический список

1. Костыгова Т.В., Курочкина Ю.П. Расчёт технологического режима эмалирования и оценка качества изоляции по температурной кривой $\text{tg}\delta$ // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2014. – № 1(9). – С. 93–103.

2. Костыгова Т.В. Технология производства проводов. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – 69 с.

Сведения об авторах

Путилова Анастасия Алексеевна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-16-1м, Пермь, e-mail: liminog_777@mail.ru.

Костыгова Татьяна Васильевна – доцент кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: 2391854@mail.ru.

Минулин Дамир Рустамович – технолог СГТ КТБ ВиОП ООО «Камский кабель», Пермь, (e-mail: minullin@kamkabel.ru.

А.А. Рыков, А.Г. Щербинин, Е.В. Субботин

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КАБЕЛЬНОЙ АРМАТУРЫ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ АНОМАЛЬНО НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

В данной статье выполнены численные исследования различных эксплуатационных режимов работы концевой муфты в условиях критически низких температур. Исследованы процессы конвекции. Получены результаты распределения температуры в поперечном сечении муфты.

Ключевые слова: концевая муфта, жидкий диэлектрик, температурное поле, моделирование.

A.A. Rykov, A.G. Shcherbinin, E.V. Subbotin

NUMERICAL RESEARCH OF OPERATIONAL MODES OF CABLE FITTING IN THE CONDITIONS OF INFLUENCE OF ABNORMALLY LOW TEMPERATURES

In this article numerical researches of different operational operation modes of an end sleeve in the conditions of critically low temperatures are executed. Convection processes are probed. Results of distribution of temperature in a transverse section of a sleeve are received.

Keywords: end sleeve, liquid dielectric, temperature field, simulation.

Постоянно возрастающие потребности российской экономики в энергетических ресурсах и полезных ископаемых вызывают необходимость освоения и развития регионов Дальнего севера и Сибири.

Освоение данных территорий невозможно без развития инфраструктуры (ЛЭП, дороги, газо- и водоснабжение). Для обеспечения бесперебойной подачи электроэнергии необходимо учитывать эксплуатационные характеристики устройств и оборудования кабельных линий. Важным элементом кабельных линий является кабельная арматура, эксплуатация которой в условиях воздействия отрицательных температур имеет ряд особенностей [1].

В данной работе выполнялись численные исследования [2, 3] режимов работы концевой муфты кабеля на напряжение 220 кВ в условиях воздействия низких температур. Источником нагрева для

исследования являлись тепловые потери в токопроводящей жиле сечением 400 мм^2 при номинальном токе 310 А и контактный нагреватель основания. Для расчета были использованы следующие условия:

1) температура окружающей среды была принята минус $60,0 \text{ }^\circ\text{C}$;
2) коэффициент теплоотдачи с поверхности внешнего изолятора концевой муфты – 30 и $50 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

3) значение коэффициента теплоотдачи $30 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ соответствует скорости ветра порядка $10 \text{ м}/\text{с}$, а коэффициента $50 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ – $20 \text{ м}/\text{с}$.

Схема расчета температурного поля концевой муфты представлена на рис. 1. Материал верхней и нижней крышки – металл; материал изолятора – стеклопластик; кабель – медная жила, изолированная сшитым полиэтиленом; масло – MIDEL 7131.



Рис. 1. Схема расчета температурного поля концевой муфты

На рис. 2 приведено температурное поле в концевой муфте и в области, заполненной маслом, при коэффициенте теплоотдачи с поверхности внешнего изолятора концевой муфты $30 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ и плотности теплового потока, приложенного к нижней крышке (см. рис. 1) $1000 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

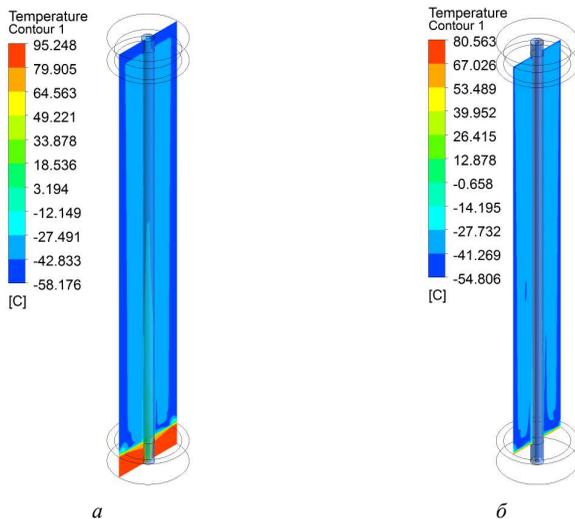


Рис. 2. Температурное поле в концевой муфте (а) и в области, заполненной маслом (б)

Из рис. 2 видно, что при использовании контактного нагревателя нижней крышки концевой муфты происходит конвективный теплообмен в области, заполненной маслом. Наибольший перепад температур (от 80 до -41 °С) при этом наблюдается в тонком слое, прилегающем к нижней крышке. Поле температур в остальной части масла достаточно равномерное. Максимальная температура металлического основания в этом случае достигает 95 °С. Результаты расчетов рассмотренных вариантов приведены в таблице.

Результаты расчетов рассмотренных вариантов

Варианты расчета	Коэффициент теплоотдачи с поверхности изолятора 30 Вт/(м ² ·°С)		Коэффициент теплоотдачи с поверхности изолятора 50 Вт/(м ² ·°С)	
	$P = 317$ Вт ($q = 1000$ Вт/м ²)	$P = 1268$ Вт ($q = 4000$ Вт/м ²)	$P = 317$ Вт ($q = 1000$ Вт/м ²)	$P = 1427$ Вт ($q = 4500$ Вт/м ²)
Максимальная температура нижней крышки, °С	95,3	517,7	90,4	568,9
Минимальная температура масла, °С	-54,8	-33,8	-56,4	-39,8
Максимальная температура масла, °С	80,6	458,6	75,8	502,4
Средняя температура масла, °С	-38,7	-0,9	-40,2	-0,1

В таблице: q – плотность теплового потока, прикладываемого к нижней крышке муфты; P – мощность, определяемая произведением q и обогреваемой площади (см. рис. 1).

Из таблицы видно, что когда температура нижней крышки муфты близка к максимальной рабочей температуре изоляции кабеля (90 °С), средняя температура масла имеет достаточно низкие значения (порядка –40°С). Чтобы повысить среднюю температуру масла до 0 °С, необходимо нагреть нижнюю крышку муфты до недопустимо высоких температур.

Таким образом, при практической реализации данного способа подогрева концевой муфты может оказаться достаточно сложно оценить и обеспечить необходимый уровень плотности теплового потока, подводимого к основанию муфты. Необходимо обратить внимание, что при таком способе подогрева может быть превышена допустимая рабочая температура для данного изделия.

Библиографический список

1. Рыжов С.В. Опыт применения арматуры спирального типа на воздушных ЛЭП // Электро. – 2005. – № 2.
2. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.
3. Пасконов В.М., Полежаев В.И., Чудов Л.А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. – М.: Наука, 1984. – 285 с.

Сведения об авторах

Рыков Александр Андреевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-15-1м, г. Пермь, e-mail: ktei@pstu.ru.

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

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

Н.А. Рябкова, Н.М. Труфанова

**ПОДБОР РЕОЛОГИЧЕСКОГО ЗАКОНА ДЛЯ ОПИСАНИЯ
ОДНОСЛОЙНОГО ТЕЧЕНИЯ РЕЗИНЫ В КАНАЛЕ
КАБЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ**

В работе с помощью специальных приборов проведено экспериментальное исследование по определению теплофизических и реологических характеристик образца резины. Произведен подбор реологического закона в Ansys Polymat.

Ключевые слова: резина, теплофизические характеристики, реологические характеристики, реологический закон, экспериментальные исследования.

N.A. Ryabkova, N.M. Tryfanova

**SELECTION OF THE RHEOLOGICAL LAW
FOR THE DESCRIPTION OF A RUBBER SINGLE-LAYER
FLOW IN THE CABLE HEAD**

In this work were conducted experiments to determine the thermophysical and rheological characteristics of the rubber sample with the help of special instruments. A rheological law was selected in Ansys Polymat.

Keywords: rubber, thermophysical characteristics, rheological characteristics, rheological law, experimental studies.

Знание реологических характеристик играет определяющую роль при выборе технологических параметров процесса наложения изоляции. Поэтому важной задачей является их изучение. Благодаря современным системам математического моделирования можно воссоздать любой технологический процесс и подобрать нужные параметры, что сократит затраты времени и средств на подбор режима в реальных условиях. С этой целью для подбора реологического закона, описывающего течение материала, загружаемого в кабельную головку, на основе экспериментальных данных использовался программный пакет – Ansys Polymat.

Чтобы получить реологические характеристики резины, были проведены натурные эксперименты на приборе DHR, в результате приложения осциллирующих деформаций к образцу были получены

значения вязкости, модуля упругости и модуля потерь при температуре 130 и 140 °С, по которым были построены экспериментальные кривые в Ansys Polymat (рис. 1). Также была определена зависимость теплоемкости материала от температуры на приборе DSK (рис. 2) Значения теплоемкости в дальнейшем моделировании были взяты при температуре 90 °С, так как при большей температуре наблюдается разложение части компонентов образца.

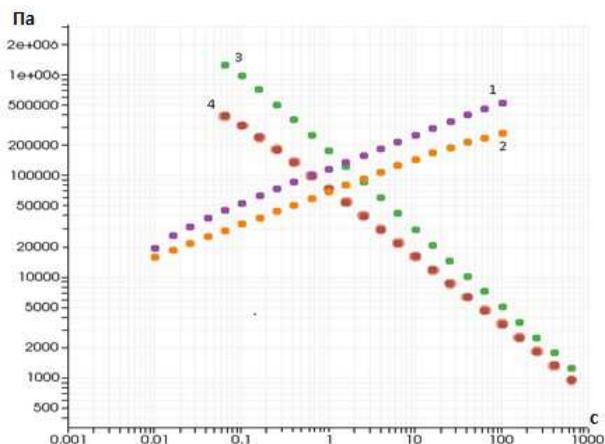


Рис.1. Модуль упругости 1, модуль потерь 2, вязкость 3 при 140 °С, вязкость 4 при 130 °С

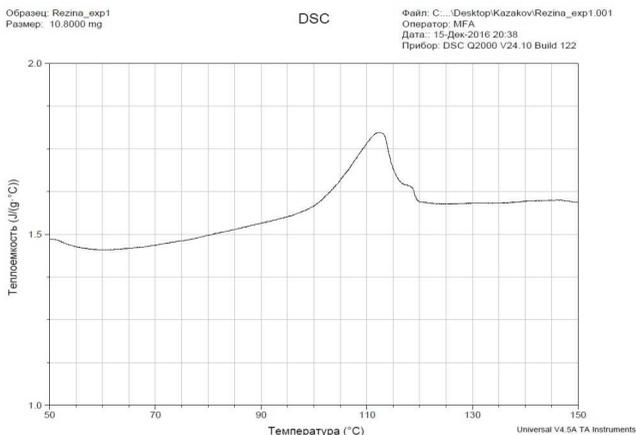


Рис. 2. Зависимость теплоемкости материала от температуры

Линейную вязкоупругость согласно модели Максвелла удобно описывать с помощью механических моделей, демонстрирующих поведение различных вязкоупругих материалов. Механические модели состоят из структурных элементов, таких как пружина (идеально-упругое тело), демпфер (вязкий элемент). [1] Последовательное соединение двух основных элементов дает модель твердого тела, обладающего свойствами жидкости. Скорости деформаций элементов складываются в суммарную скорость [2].

Обобщенная форма модели Максвелла:

$$\sigma + \lambda_{\sigma}^{\nabla} = 2\mu D \quad \text{и} \quad \sigma + \lambda_{\sigma}^{\Delta} = 2\mu D, \quad (1)$$

где символы ∇ и Δ стоят соответственно над верхней и нижней конвективными производными, σ – скорость изменения напряжения, μ – вязкость, λ – постоянная времени релаксации, D – тензор скоростей деформации.

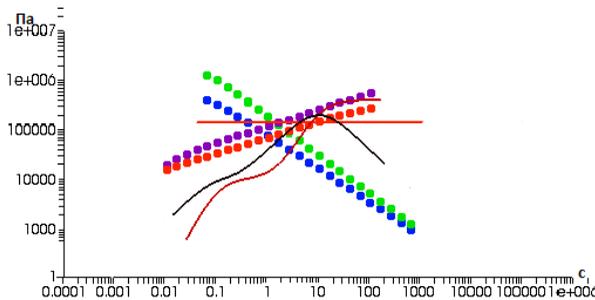


Рис. 3. Реологическая модель Максвелла в Ansys Polymat

Из рис. 3 видно, что эта модель не подходит для описания данного материала, так как полученные кривые не совпадают с экспериментальными.

Модель Леонова для наполненных эластомеров включает две тензорные величины и одну скалярную. Тензорные величины характеризуют поведение свободных и связанных макромолекулярных цепей эластомера, в то время как скалярная величина количественно характеризует степень повреждения конструкции [3].

Общий тензор напряжений можно разложить в виде суммы свободных и связанных частей, следующим образом:

$$\sigma = \sigma_k + \sigma_c + \sigma_2. \quad (2)$$

Как и для других вязкоупругих моделей, чисто вязкостный компонент добавляется в уравнение, чтобы получить общий тензор напряжений:

$$\sigma_2 = 2\mu_2 w. \quad (3)$$

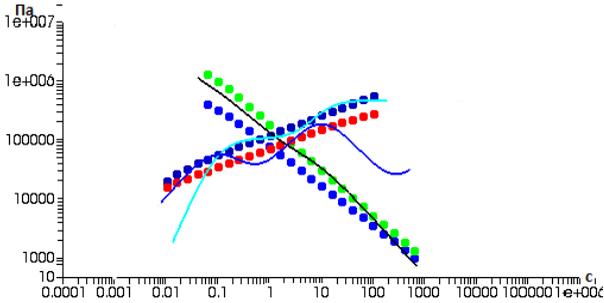


Рис. 4. Реологическая модель Леонова в Ansys Polymat

Эта модель более применима к данному материалу, так как вязкость почти совпала с экспериментальными кривыми, но модуль упругости и модуль потерь по прежнему не соответствуют образцу, они нелинейны.

Дифференциальная форма «Пом-Пом» модели:

$$A + \frac{1}{T_b} \left(A - \frac{1}{3} I \right) = 0; S = \frac{A}{I_A}, \quad (4)$$

$$\dot{\Lambda} = [w : S] - \frac{e^{v(\Lambda-1)}}{T_s} (\Lambda - 1), \quad (5)$$

$$\tau = \sigma - G_0 I = G_0 (3\Lambda^2 S - I), \quad (6)$$

где G_0 – модуль упругости полимерной жидкости, A – вспомогательный тензор, T_b и T_s – времена релаксации для ориентации и растяжения соответственно, I – первый инвариант тензора, A – параметр $v = 2/q$, где q – число боковых ответвлений полимерной цепочки. S – тензор ориентации, Λ – растяжение трубки.

Верхняя конвективная производная вспомогательного тензора A находится по формуле:

$$\frac{\delta A}{\delta t} = \frac{\partial A}{\partial t} + v \nabla A - \nabla v A - A (\nabla v)^T. \quad (7)$$

Модель предсказывает реалистичные первую и вторую разницу нормальных напряжений.

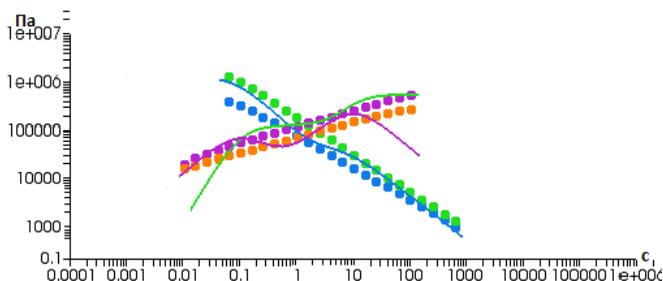


Рис. 5. Реологическая модель Пом-Пом в Ansys Polymat

В результате численных исследований была выбрана реологическая модель Пом-Пом, так как модуль упругости и модуль сдвига принимают более линейный вид. Кривая по вязкости максимально совпадает с экспериментальными данными.

Библиографический список

1. Хан Ч.Д. Реология в процессах переработки полимеров. – М.: Химия, 1979. – 366 с.
2. Мейз Дж. Теория и задачи механики сплошных сред: учебник. – М.: Мир, 1974. – 319 с.
3. Siginer D.A., Kee D. De, Chhabra R.P. Advances in the flow and rheology of non-Newtonian fluids: in 10 t. – Elsevier Science, 1999. – Т. 8. – 1514 p.

Сведения об авторах

Рябкова Наталья Андреевна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-16-1м, e-mail: nataha170694@yandex.ru.

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.

В.Э. Салаватов, Н.М. Труфанова

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ ОБОГРЕВА НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ В ЖИЛОЙ КОМНАТЕ

В данной статье рассмотрены способы обогрева жилой комнаты размерами 3×5,5×2,6 м. Рассматривался обогрев с помощью радиаторной батареи, теплого электрического пола и теплового электрического плинтуса. Цель исследования – посмотреть распределение температуры при различных способах отопления.

Ключевые слова: метод конечных элементов.

V.E. Salavatov, N.M. Trufanova

THE EFFECT OF DIFFERENT HEATING CONDITIONS ON THE TEMPERATURE FIELD IN THE LIVING ROOM

In this article, we consider ways to heat a living room measuring 3×5,5×2,6 meters. We considered heating using a radiator battery, a warm electric floor and a thermal electric plinth. The purpose of the study is to look at the temperature distribution for various heating methods.

Keywords: finite element method.

На сегодняшний день для поддержания комфортной температуры жилой комнаты существует много различных способов, такие как обогрев теплым полом, теплым плинтусом и самое простое и распространенное – радиаторные батареи. Преимуществами модифицированных систем отопления помещений являются снижение энергозатрат и повышение эффективности обогревателей помещений [2].

Наиболее распространённый вариант отопления – подогреваемый пол (теплый пол). Электрические тёплые полы, в зависимости от исполнения, могут быть: кабельные, пленочные, стержневые и на основе аморфной металлической ленты.

Вторым вариантом модифицированных систем отопления помещений является электроплинтус. Этот вариант теплового плинтуса работает от электрического ТЭНа мощностью 200 Вт/м. Все ТЭНы соединяются между собой параллельно, а режим их работы регулируется при помощи настенного электромеханического или электронного терморегулятора с встроенным датчиком температуры воздуха в помещении.

На рис. 1 изображен объект исследования – жилая комната площадью $16,5 \text{ м}^2$ и объемом $42,9 \text{ м}^3$. При решении задачи тепломассопереноса в рассматриваемом объекте были сделаны следующие допущения:

- поверхность пола нагревается равномерно;
- стены не отводят тепло;
- радиаторная батарея плоская.

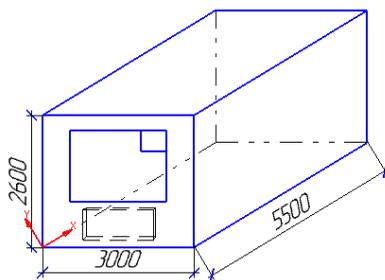


Рис. 1. Жилая комната

С учетом сделанных допущений процессы теплопереноса в жилом помещении описываются системой дифференциальных уравнений, включающих в себя уравнения движения воздуха, уравнение неразрывности, уравнение энергии, в реализации которых использовался метод конечных элементов. Для проведения численных исследований использовалась система автоматизированных инженерных расчетов ANSYS Fluent [1]. Построение геометрии и разбиение на сетку элементов будут производиться в среде ICEM CFD. Дискретизированный расчет области приведен на рис. 2, необходимое количество узлов элементов составляет 185 000.

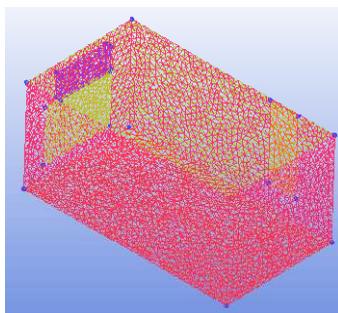


Рис. 2. Дискретизация области

Свойства воздушной среды приведены в таблице.

Свойства воздушной среды

Элемент	Материал	Плотность, ρ (кг/м ³)	Коэффициент удельной теплоемкости, C (Дж/кг·С)	Коэффициент теплопроводности, λ (Вт/м·С)
Среда	Воздух	1,225	1006,43	0,0242

Обогрев комнаты от радиаторной батареи. При рассмотрении теплового процесса в случае обогрева радиаторной батареей задаем температуру батареи $T_6 = 60^\circ\text{C}$, температуру на стенах $T_c = 16^\circ\text{C}$, температуру на окне $T_0 = 12^\circ\text{C}$.

На рис. 3, 4 представлены температурные поля без учета движения воздуха и с его учетом соответственно. В первом случае температура в центре помещения составила $16,5^\circ\text{C}$, а во втором 18°C . Во втором случае температура в помещении распределена достаточно равномерно.

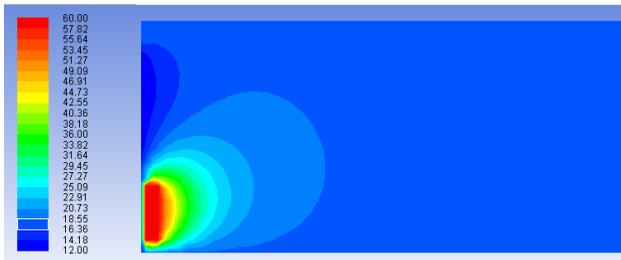


Рис. 3. Распределение температуры при нагреве от батареи без учета движения воздуха



Рис. 4. Распределение температуры при нагреве от батареи с учетом движения воздуха

Далее рассматривался случай обогрева жилой комнаты теплым полом, температура на поверхности пола $27\text{ }^{\circ}\text{C}$, потребляемая мощность при этом составляет 150 Вт/м . Температурные поля представлены на рис. 5 и 6.

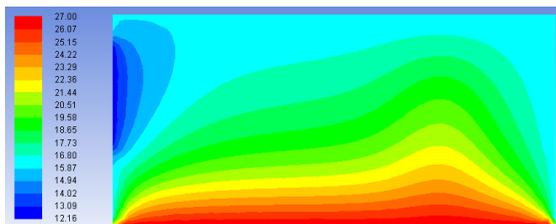


Рис. 5. Распределение температуры при обогреве комнаты теплым полом без учета движения воздуха

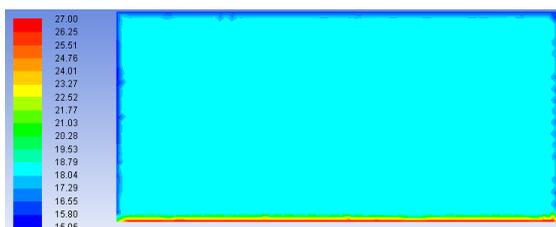


Рис. 6. Распределение температуры при обогреве комнаты теплым полом с учетом движения воздуха

При учете движения воздуха средняя температура составляет $18,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, без учета – $17,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. При обогреве комнаты с помощью электрического теплого плинтуса задаем температуру плинтуса $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, потребляемая мощность при этом составляет 200 Вт/м . Размеры плинтуса $140\times 30\text{ мм}$.

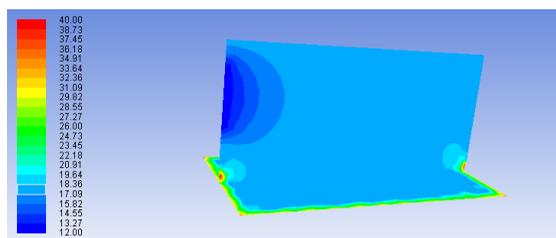


Рис. 7. Распределение температуры при обогреве комнаты теплым плинтусом без учета движения воздуха

При учете движения воздуха температура по вертикали и горизонтали распределена равномерно и равна 19 °С.

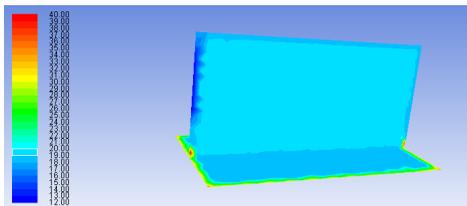


Рис. 8. Распределение температуры при обогреве комнаты теплым плинтусом с учетом движения воздуха

Отличительными особенностями теплого пола являются большая площадь нагрева и низкое расположение поверхности нагрева. Это способствует более равномерному распределению температуры по горизонтали и вертикали по сравнению с радиаторными источниками отопления, сосредоточенными в небольших зонах выше уровня пола. Равномерное распределение тепла по вертикали позволяет использовать более низкие температуры теплоносителя. В случае обогрева помещения теплым полом в сравнении с обогревом теплым плинтусом при одинаковой тепловой картине температура пола ниже, чем температура плинтуса, и, как следствие, ниже потребляемая мощность.

Библиографический список

1. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: справ. пособие. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.
2. Qian Wang, Adnan Ploskic, Sture Holmberg. Ventilation heat recovery jointed low-temperature heating in retrofitting – An investigation of energy conservation, environmental impacts and indoor air quality in Swedish multifamily houses // Journal of Energy and Buildings. – 2016. – P. 250–264.

Сведения об авторах

Салаватов Валерий Эдуардович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. МЭ-13-16, e-mail: salavatow@yandex.ru.

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.

Д.С. Сельменова, Е.Г. Лиске, Д.Е. Шевцов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ УПРАВЛЯЕМОМ ВКЛЮЧЕНИИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

В данной статье рассмотрен метод управляемой коммутации, позволяющий значительно уменьшить амплитуду бросков тока при включении силового трансформатора. Представлены результаты моделирования и определены оптимальные алгоритмы включения силового трансформатора.

Ключевые слова: управляемая коммутация; силовой трансформатор; бросок тока.

D.S. Selmeneva, E.G. Liske, D.E. Shevtsov

RESEARCH OF TRANSITION PROCESS AT THE CONTROLLED INCLUSION OF POWER TRANSFORMER

In this article the method of controlled switching, which makes it possible to significantly reduce the amplitude of inrush current when power transformer are included are considered. The results of modeling and selection of the optimal circuits for switching power transformer are presented.

Keywords: controlled switching; power transformer; inrush current.

Введение. Подключение к питающей сети силового трансформатора может сопровождаться возникновением переходного процесса, при котором возникают броски токов намагничивания (БТН), превышающие по величине в несколько раз номинальные токи трансформатора и в несколько сотен раз токи его холостого хода. БТН вызывают значительные электродинамические усилия на токоведущих элементах и обмотках трансформаторов, что приводит к уменьшению ресурса силовых трансформаторов. Также переходной ток способен вызвать перенапряжения, ведущие к старению изоляции, и ложное срабатывание релейной защиты (рис. 1) [1].

Исследование переходных процессов при включении трансформатора в электрических сетях 6–10 кВ является актуальным, что также подтверждается важностью и повсеместным распространением рассматриваемой нагрузки.

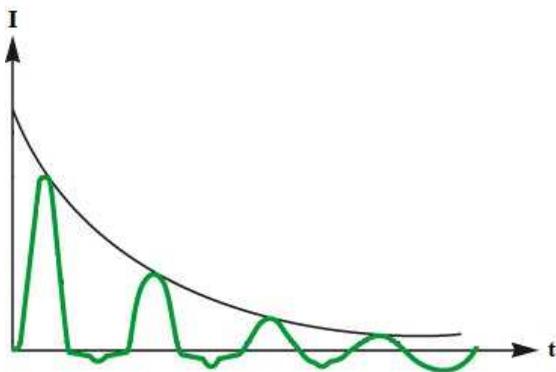


Рис. 1. Ток намагничивания трансформатора при включении

Способы снижения бросков тока. Существуют несколько путей снижения бросков тока намагничивания, которые применяются в настоящее время:

- использование постоянных включенных резисторов или реакторов;
- использование предвключаемых резисторов или реакторов;
- уменьшение рабочей магнитной индукции трансформатора;
- использование специальных устройств и алгоритмов включения трансформаторов.

Использование постоянно включенных резисторов или реакторов часто оказывается экономически невыгодным, а использование предвключаемых резисторов или реакторов требует дополнительных коммутационных аппаратов и устройств управления, что снижает надежность работы всей системы в целом.

Уменьшение рабочей индукции до уровня, приносящего эффект (в 1,5–2 раза по сравнению с обычной индукцией), приводит к неблагоприятному ухудшению массогабаритных характеристик трансформаторов, что в ряде случаев является неприемлемым. Кроме того, с улучшением качества изготовления шихтовки и резки магнитопровода возрастает и остаточная магнитная индукция. При современных тенденциях к улучшению качества изготовления трансформаторов это обстоятельство ведет к росту их бросков тока намагничивания.

Указанные решения могут оказаться малоэффективными, ненадежными и дорогими и в конечном счете не позволяют решить проблему кардинально. В настоящее время в мире имеются исследования

и выполнен ряд разработок устройств управляемой коммутации, позволяющих решить проблему бросков тока. Однако основная часть данных исследований применима лишь для оборудования высших классов напряжений (от 110 кВ и выше). Поэтому возникает необходимость проведения исследований управляемой коммутации в электрических сетях 6–10 кВ.

Особенности управляемой коммутации. Концепция управляемой коммутации заключается в последовательной коммутации полюсов выключателя по заданному алгоритму. Такая коммутация позволяет предотвратить появление опасных бросков тока, высокочастотных перенапряжений и увеличивать коммутационный ресурс оборудования.

На примере емкостной нагрузки управляемое включение представляет собой процесс замыкания контактов выключателя в строго определенный момент времени с опережением момента перехода напряжения источника через ноль,

$$T_{\text{cont}} = T_{\text{zero}} - T_m - (T_{\text{closing}} - T_{\text{prestriking}}) = T_{\text{zero}} - T_m - T_{\text{making}}. \quad (1)$$

На рис. 2 представлен принцип управляемого включения индуктивной нагрузки. Оптимальным временем включения является пик напряжения при условии, что время предпробоев при включении меньше полупериода. Контроллер задерживает команду на включение на некоторое время T_{total} , которое является суммой времени реакции контроллера T_w и преднамеренной задержки времени синхронизации T_{cont} .

Контроллер вводит задержку T_{cont} относительно соответствующего перехода напряжения источника через ноль, которая рассчитывается по (1) с учетом времени включения выключателя T_{closing} и времени предпробоев $T_{\text{prestriking}}$. Ток начинает течь в момент времени t_{make} . Интервал T_m определяется временем t_{make} и следующим за ним временем перехода напряжения источника через ноль.

Время включения T_{closing} есть интервал времени от момента подачи питания на катушку включения выключателя до момента механического касания контактов. Время предпробоев при включении $T_{\text{prestriking}}$ – это интервал времени между моментом начала предпробоев и моментом механического касания контактов. Время T_{making} является промежутком времени от момента подачи питания на катушку включения до момента начала предпробоев t_{make} [2].

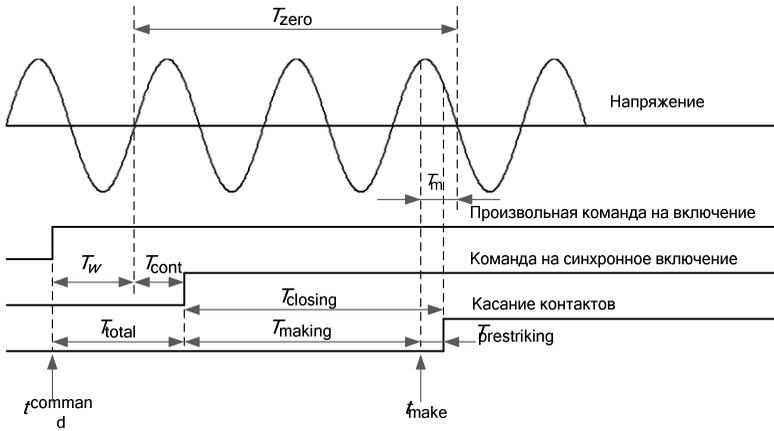


Рис. 2. Принцип управляемого включения

Алгоритм управляемого включения. Разработана модель управляемого включения, выполненная в программном комплексе MatLab/Simulink, который позволяет моделировать сложные электроэнергетические системы, сочетая методы имитационного и структурного моделирования. Общий вид разработанной модели отражен на рис. 2.

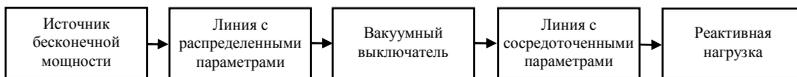


Рис. 3. Блок-схема разработанной модели

Ниже представлены осциллограммы токов при управляемом и неуправляемом включении силового трансформатора. В ходе моделирования определена оптимальная последовательность включения фаз СВ-А. Включение по алгоритму СВ-А подразумевает коммутацию первых двух фаз при переходе линейного напряжения через максимум, третьей – при максимальном фазном напряжении.

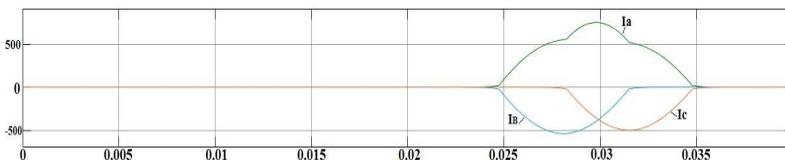


Рис. 4. Неуправляемое включение трансформатора

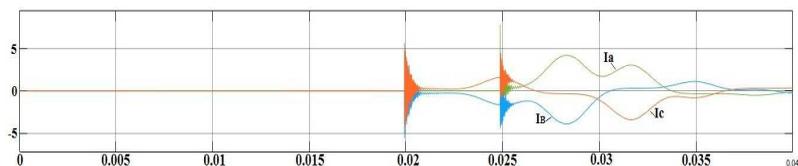


Рис. 5. Управляемое включение трансформатора

По полученным осциллограммам можно сделать вывод, что во время управляемого включения кратности бросков тока уменьшились в 184 раза.

Заключение. Применение существующих способов снижения бросков тока в большинстве случаев оказывается неэффективным или экономически невыгодным. Принципиально иным способом снижения негативного воздействия переходных процессов является использование управляемой коммутации.

Разработан алгоритм включения силового трансформатора. По полученным зависимостям можно отметить эффективность использования управляемой коммутации

Библиографический список

1. Белкин Г.С. Применение самоуправляемых аппаратов (аппаратов, обладающих «интеллектом») для коммутации цепей высокого напряжения // Электротехника. – 2005. – № 12. – С. 3–9.
2. Павлюченко Д.А., Шевцов Д.Е. Особенности управляемой коммутации при нормальных и аварийных режимах в электрических сетях среднего напряжения // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2015. – № 5. – С. 41–44.

Сведения об авторах

Сельменева Диана Сергеевна – студентка Новосибирского государственного технического университета, гр. ЭН2-33, г. Новосибирск, e-mail: dianaselmeneva@mail.ru.

Лиске Елена Генриховна – студентка Новосибирского государственного технического университета, гр. ЭН2-33, г. Новосибирск, e-mail: foniku@gmail.com.

Шевцов Дмитрий Евгеньевич – старший преподаватель кафедры «Системы электроснабжения предприятий» Новосибирского государственного технического университета, г. Новосибирск, e-mail: dmitriy_shevtsov@mail.ru.

А.Д. Слободчиков, Е.В. Субботин, С.В. Ершов

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕФТЯНЫХ МАСЕЛ
ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

В статье приведены результаты экспериментальных исследований реологических характеристик нефтяных масел в области отрицательных температур. Построены температурные зависимости вязкости исследуемых жидкостей. По результатам сравнительного анализа определены наиболее устойчивые к воздействию низких температур образцы нефтяных масел.

Ключевые слова: нефтяные масла, экспериментальные исследования, реометр, вязкость, температурная зависимость.

A.D. Slobodchikov, E.V. Subbotin, S.V. Ershov

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF RHEOLOGICAL
CHARACTERISTICS OF PETROLEUM OILS
AT LOW TEMPERATURES**

Results of experimental researches of rheological characteristics of petroleum oils in negative temperature's area are given in article. The temperature dependences of viscosity for tested samples are constructed. According to the results of comparative analysis, the most resistant to impact of low temperatures samples are determined.

Keywords: petroleum oils, experimental researches, rheometer, viscosity, temperature dependence.

Электрические машины и электрический привод находят всё большее применение в быту человека, и требования к надёжности и экономичности устройств в суровых климатических условиях также растут в связи с экспансией хозяйств, промышленности и исследований. Электрические машины и приводы содержат множество трущихся частей, которые определяют механические потери и долговечность деталей. Смазка, применяемая для обеспечения необходимого скольжения, должна обладать стабильной вязкостью даже при низких температурах, поэтому непрерывное совершенствование применяемых смазывающих материалов, внедрение новых технологий производства и непрерывные исследования их свойств необходимы для достижения идеализированных режимов работы оборудования во всём возможном температурном диапазоне.

В данной работе были проведены экспериментальные исследования реологических характеристик нефтяных масел в области отрицательных температур.

Для построения температурной зависимости вязкости исследуемых образцов жидкостей использовался ротационный реометр Discovery HR-2 (рис. 1) с измерительной системой «плоскость–плоскость» (рис. 2) [1, 2].

Эксперименты проводились в режиме течения для девяти различных масел в температурном диапазоне от 20 до минус 60 °С при скорости охлаждения 5 °С в мин.



Рис. 1. Схема реометра DHR-2 TA Instruments

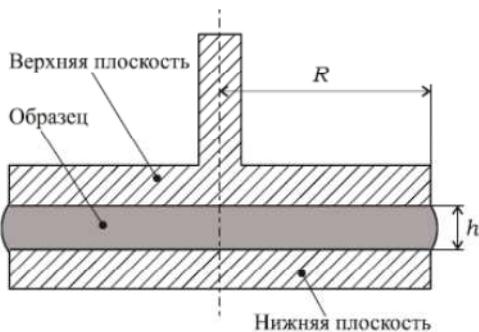


Рис. 2. Измерительная система «плоскость–плоскость»

Результирующие зависимости эффективной вязкости от температуры представлены на рис. 3, 4.

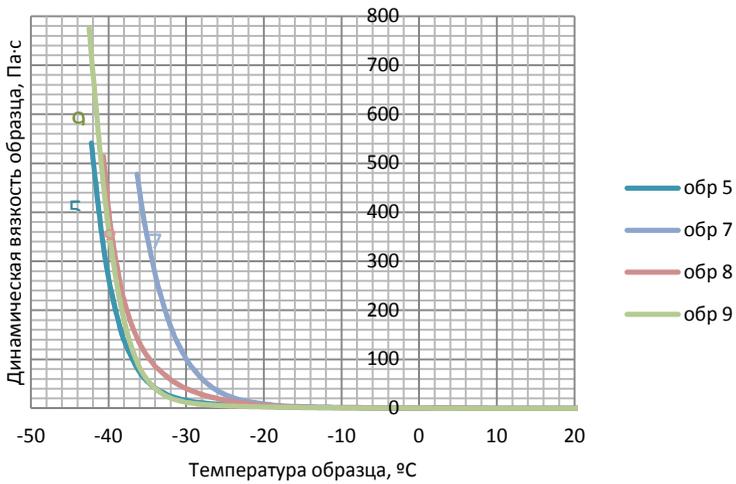


Рис. 3. Зависимости динамической вязкости от температуры образцов нефтяных масел пониженной хладостойкости

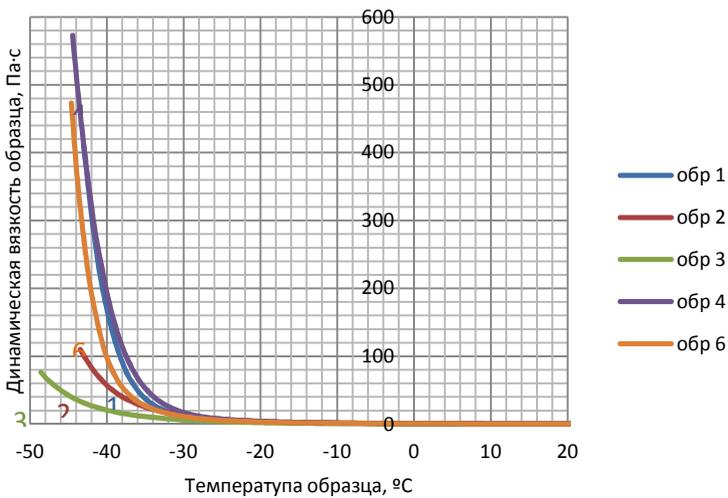


Рис. 4. Зависимости динамической вязкости от температуры образцов нефтяных масел повышенной хладостойкости

По результатам исследования видно, что образцы под номерами 3, 2 и 6 являются более устойчивыми к отрицательным температурам и могут эксплуатироваться в холодных регионах с незначительным изменением вязкостных свойств почти до минус 34 °С.

Таким образом, с помощью ротационного реометра можно сравнительно быстро и в лабораторных условиях выполнить сравнительный анализ различных жидкостей и определить подходящий материал для применения в конструкциях с тем или иным климатическим исполнением.

Библиографический список

1. Шрамм Г. Основы практической реологии и реометрии. – М.: КолосС, 2003. – 312 с.
2. Малкин А.Я., Исаев А.И. Реология: концепции, методы, приложения. – СПб.: Профессия, 2007. – 560 с.

Сведения об авторах

Слободчиков Анатолий Дмитриевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭИ-13-1б, г. Пермь, e-mail: cool.unit2017@yandex.ru.

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

Ершов Сергей Викторович – ассистент кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: ktei@pstu.ru.

А.Е. Терлыч, А.С. Поздеева

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ КАБЕЛЕЙ НЕПОСРЕДСТВЕННО НА ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА

Рассмотрен способ измерения электрического сопротивления токопроводящих жил (ТПЖ) кабелей в ходе технологического процесса. Рассмотрены причины, в силу которых для данной задачи невозможно использование обычных методов измерения сопротивления. Рассмотрена методика онлайн-измерения электрического сопротивления ТПЖ, используемого в измерительном оборудовании компании AESA. Рассмотрены достоинства и недостатки метода.

Ключевые слова: источник тока, паразитное сопротивление, токопроводящая жила кабеля, электрическое сопротивление.

A.E. Terlych, A.S. Pozdeeva

METHOD FOR MEASURING THE RESISTANCE OF CONDUCTORS CABLES DIRECTLY ON THE PRODUCTION LINE

The method of measuring the electrical resistance of conductors of cables during the technological process is considered. The reasons why it is not possible to use conventional methods of resistance measurement for this task are considered. The technique of online measurement of electrical resistance of conductors of cables, used in AESA measuring equipment, is considered. The advantages and disadvantages of the method are considered.

Keywords: Current source, parasitic resistance, conductors, electrical resistance.

При производстве кабельной продукции около 80 % себестоимости изделия составляют затраты на сырье и материалы, поэтому их снижение является серьезным инструментом повышения конкурентоспособности продукции. Данная тема актуальна и представляет особый интерес.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 22483-2012 (IEC 60228:2004) устанавливает требования к номинальному сечению токопроводящих жил электрических кабелей и в том числе к значению их электрического сопротивления [1]. При производстве ТПЖ нужно учесть два фактора:

выпускать необходимое сечение ТПЖ, электрическое сопротивление которой находилось в пределах допустимого стандартом, а также стараться сократить издержки на дорогостоящее сырье. Для осуществления экономии при производстве ТПЖ важно постоянно контролировать сечение ТПЖ и ее электрическое сечение.

Одним из способов снижения затрат при производстве ТПЖ является постоянный контроль не только сечения жилы, но и величины ее электрического сопротивления.

Для измерения сопротивления на постоянном токе существует несколько способов, рассмотрим два, которые чаще всего используются в производственных целях. На рис. 1 показана схема одианрного моста. Одианрными мостами называют четырехплечие мосты с питанием от источника постоянного тока.

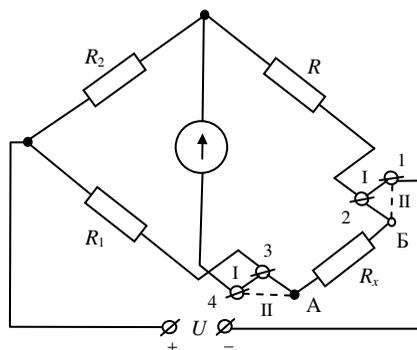


Рис. 1. Схема одианрного моста для измерения сопротивления на постоянном токе

При измерении весьма малых сопротивлений рассматриваемый мост имеет большие погрешности из-за низкой чувствительности, что является недостатком данного метода [3].

Наиболее распространен метод косвенного измерения сопротивлений – это метод измерений через амперметр и вольтметр.

Данный метод основан на измерении тока, протекающего через измеряемое сопротивление, и падения напряжения на нем. Достоинство схем метода измерения амперметром и вольтметром заключается в том, что по резистору с измеряемым сопротивлением можно пропускать тот же ток, как и в условии его работы, что является важным при измерении сопротивлений, значения которых зависят от тока [2].

Современные технологии не останавливаются на достигнутом и с каждым днем совершенствуются. На сегодняшний день разработано оборудование, которое измеряет сопротивление жилы непосредственно на технологической линии, что сокращает время измерения и снижает затраты на испытания. Существенным отличием от обычных испытаний является отсутствие тестируемых образцов, которые в дальнейшем утилизируются.

Однако обычными методами измерения сопротивления ТПЖ в онлайн-измерениях воспользоваться не удастся, так как при подключении измерителя к ТПЖ, проходящей через агрегаты технологической линии, образуется паразитное сопротивление, величина которого неизвестна и может изменяться. На рис. 2 показан механизм возникновения такого паразитного сопротивления, R_x – сопротивление ТПЖ на измерительном участке, R_3 – паразитные сопротивления, возникающие вследствие того, что все элементы линии оказываются заземлены.

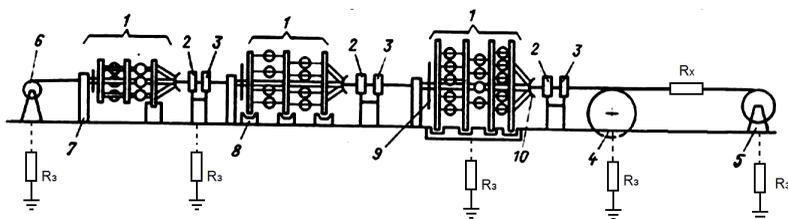


Рис. 2. Механизм возникновения паразитного сопротивления на машине скрутки:
 1 – крутильно-отдающее устройство; 2 – калибры; 3 – уплотняющие вальцы;
 4 – тяговое устройство; 5 – приёмное устройство; 6 – отдающее неподвижное устройство; 7 – опорная стойка; 8 – опорный ролик; 9 – откручивающее устройство;
 10 – распределительная розетка

На рис. 3 приведена эквивалентная схема измерительной установки. На схеме все паразитные сопротивления заменены одним общим R_3 . Паразитное сопротивление, величина которого остается неизвестной, включено параллельно сопротивлению жилы R_x , поэтому мы не можем его определить стандартными методами.

Немецкая компания AESA GmbH в серии своего измерительного оборудования ResTest использует индукционный нагрев проводника жилы на измерительном участке с целью определения величины паразитного сопротивления и его учета при измерении сопротивления жилы. Физический смысл измерения состоит в следующем. На пер-

вом этапе измеряется текущая температура T жилы и определяется падение напряжения U_x на измерительном участке при протекании через жилу R_x , а также паразитное сопротивление R_3 токов от источника тока I_0 . На втором этапе производится нагрев ТПЖ индукционными токами и повторное измерение температуры жилы T' и падения напряжения U'_x .

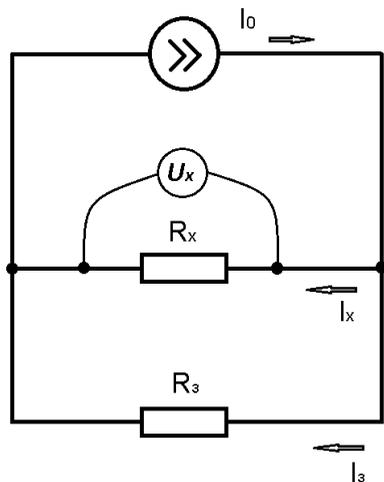


Рис. 3. Эквивалентная схема измерительной установки

Суммарное сопротивление R_Σ на участке измерения образуется параллельно соединенными R_3 и R_x :

$$R_\Sigma = \frac{1}{1/R_x + 1/R_3}.$$

Падение напряжения вследствие двух этапов измерения соответственно:

$$\begin{cases} U_x = I_0 R_\Sigma, \\ U'_x = I_0 R'_\Sigma. \end{cases}$$

Учитывая изменение сопротивления проводника от температуры:

$$R_x = R_0 (1 + \alpha(T - T_0)),$$

где R_0 – сопротивление проводника при температуре T_0 , α – температурный коэффициент сопротивления, можно записать:

$$R'_x = R_0(1 + \alpha(T' - T_0)) = R_x \frac{1 + \alpha(T' - T_0)}{1 + \alpha(T - T_0)},$$

или

$$R'_x = R_x k, \text{ где } k = \frac{1 + \alpha(T' - T_0)}{1 + \alpha(T - T_0)}.$$

Отношение

$$\frac{U_x}{U'_x} = \frac{R_3 / R'_x + 1}{R_3 / R_x + 1},$$

позволяет выразить паразитное сопротивление:

$$R_3 = \frac{R_x(U'_x - U_x)}{U_x - U'_x / k}. \quad (1)$$

По закону Кирхгофа ток источника тока I_0 разветвляется на два тока, один из которых протекает через жилу I_x , а второй I_3 – через паразитное сопротивление:

$$I_0 = I_x + I_3 = \frac{U_x}{R_x} + \frac{U_x}{R_3}.$$

Подставив (1) в последнее выражение, можно записать:

$$I_0 = \frac{U_x}{R_x} \left(1 + \frac{U_x - U'_x / k}{U'_x - U_x} \right),$$

а отсюда выразить искомое сопротивление жилы на измерительном участке:

$$R_x = \frac{U_x}{I_0} \left(1 + \frac{U_x - U'_x / k}{U'_x - U_x} \right).$$

Таким образом, зная ток источника тока, температурный коэффициент сопротивления материала ТПЖ и падения напряжения на измерительном участке при двух различных температурах жилы, можно определить сопротивление ТПЖ при исходной температуре. Паразитное сопротивление в этом методе не окажет никакого действия.

Данный метод измерения сопротивления ТПЖ имеет ряд преимуществ, таких как: экономия материала; значительная экономия времени; облегченное измерение непосредственно на производствен-

ной линии с использованием революционной технологии, исключая необходимость заземленной изоляции линии. Высокая стоимость оборудования является барьером для использования его на многих кабельных предприятиях.

Рассмотренный метод также требует высокой точности измерения температуры и равномерности нагрева токопроводящей жилы, что делает его довольно сложным в практической реализации.

Библиографический список

1. ГОСТ 22483-2012 (IEC 60228:2004). Жилы токопроводящие для кабелей, проводов и шнуров (с поправкой) (взамен ГОСТ 22483-77; введ. 2014.01.01 / Всерос. науч.-исслед., проектно-конструктор. и технологич. ин-т кабельной промышленности. –М.: Стандартинформ, 2014. – 19 с.
2. Шишмарев В.Ю. Средства измерений. – 4-е изд.. – М.: Академия, 2010. – С. 282.
3. Электрические измерения: учебник для вузов / Л.И. Байда, Н.С. Добротворский [и др.]; под ред. А.В.Фремке и Е.М. Душина. – 5-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергия: Ленинград. отд., 1980.

Сведения об авторах

Терлыч Андрей Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: andrew@pstu.ru.

Поздеева Анжелика Сергеевна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. МЭ-13-1б, г. Пермь, e-mail: pozdeeva.lika@yandex.ru.

В.А. Трусова, А.А. Францева

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НИЗКОКИПЯЩИХ РАБОЧИХ ТЕЛ

В данной статье приведено описание применения установок, работающих по циклу Ренкина на низкокипящем рабочем теле (НРТ). Также описаны преимущества и недостатки таких рабочих тел, а также их область применения в современной энергетике.

Ключевые слова: температура, низкокипящее рабочее тело, фреон, установка, теплота.

V.A. Trusova, A.A. Frantseva

FEATURES OF APPLICATION OF LOW-BOILING WORKING BODIES

In this article it is described uses of the installations working on Rankine cycle at the low-boiling working (LBWB). Also given are the advantages and downsides of such working bodies, as well as their application of the modern power engineering.

Keywords: temperature, low-boiling working body, freon, installation, heat energy.

В связи с ростом цен на энергетические ресурсы и попытки добиться увеличения эффективности их использования в последнее время становятся актуальными вопросы использования сбросного тепла и энергии возобновляемых источников для выработки электрической энергии.

В качестве рабочих тел, применяемых для утилизации низкопотенциальных источников теплоты, используют низкокипящие рабочие тела (НРТ), которые производятся для потребителей химической промышленности и нужд холодильных машин. К ним относятся: фреоны, природные хладагенты (аммиак, углеводороды, вода), смеси углеводородов [1].

Применяемые НРТ влияют на термодинамические показатели, а также на габариты оборудования.

Наибольшую перспективу показали фреоны, используемые с низкотемпературными источниками теплоты порядка 80–120 °С, а также органические вещества предельных углеводородов [1].

Широкое применение получили такие органические рабочие тела, как гексан, пентан, а также пропан и изобутан.

В геотермальной энергетике для источников тепла с температурой более 120 °С применяются пентан и изобутан.

Особое внимание к НРТ вызвано рядом преимуществ [1]:

- наиболее низкие критические, а также рабочие температуры (130–280 °С), что дает возможность утилизировать теплоту в широком диапазоне, и целесообразно использование низкопотенциального тепла;

- высокая температура конденсации при атмосферном давлении (35–45 °С), что позволяет применять воздушные конденсаторы даже в жарких условиях, сохраняя напоры в них;

- низкая температура замерзания (от –70 до –80 °С), что считается важным показателем для эксплуатации установки;

- высокая плотность паров НРТ, это подходит для паровых турбин, а также паропроводов с высокогабаритными характеристиками;

- упрощение конструкции турбин за счет низких скоростей звука в парах НРТ.

- Также имеются и недостатки использования НРТ [1]:

- взрывопожароопасность;

- низкая теплопроводность при передаче теплоты, что приводит к значительному изменению поверхностей теплообмена, а именно габариты и масса теплообменных установок;

- значительно низкая температура самовоспламенения, что ведет к искусственному снижению температур греющих сред до температуры ниже самовоспламенения, а также переход на двухконтурную схему установки с промежуточным высокотемпературным теплоносителем.

Низкокипящие рабочие тела применяются на установках, работающих по органическому циклу Ренкина (ОЦР) (рисунок) [3].

Возможные области применения энергетических установок на ОЦР [4]:

- геотермальная теплота (горячая вода или пар, высоконапорные источники);

- биомасса (древесина, свалки бытовых отходов, навоз крупного рогатого скота, растительные и древесные отходы);

- солнечная теплота (параболические коллекторы (нагрев до температуры 750 °С), солнечные башни (нагрев температуры 1000 °С));

- тепловые отходы рекуперации (металлургия, химические заводы, стекольная промышленность, тепловые электрические станции, компрессорные станции, производство цемента);
- транспорт (транспортные средства, судовые двигатели);
- мини-ТЭС (когенерационные установки с использованием биомассы, малые комбинированные циклы);
- удаленные источники (береговые (нефть и газ), морские (беспилотные платформы)).

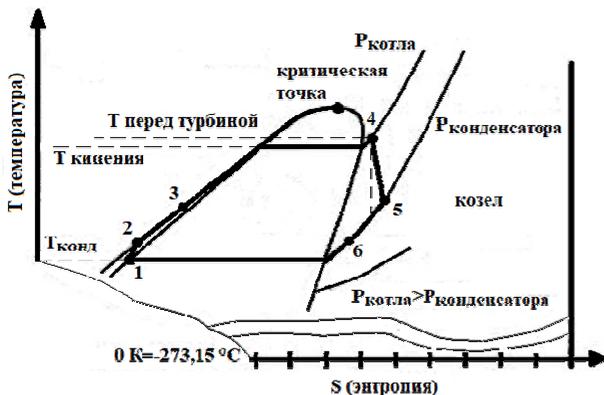


Рис. Схема цикла ORC в TS координатах (вид пограничной кривой фреона R 114): 1–2 – сжатие в насосе, 2–3 – нагрев в регенераторе, 3–4 – нагрев и испарение в котле, 4–5 – расширение в турбине, 5–6 – охлаждение в регенераторе, 6–1 – охлаждение и конденсация в конденсаторе

Основные преимущества ОЦР-электростанции [2]:

- отсутствие сложного паротурбинного оборудования (ХВО, деаэраторов паровых котлов и др.);
- надежная работоспособность системы до температуры наружного воздуха до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- быстрый монтаж, что свидетельствует о высокой степени заводской готовности модулей;
- применение в технологическом цикле вместо воды незамерзающие жидкости (пентан, бутан);
- за счет низкой частоты вращения, а также низких параметров (температуры и давления) увеличивает срок службы и снижает уровень шума.

Существуют станции, на которых применяется ОЦР [4]:

- завод в штате Аризона мощностью 1 МВт, использующий концентрацию солнечной энергии в ОЦР;
- Паратунская опытно-промышленная геотермальная электростанция на Камчатке.

В настоящее время ПАО «Газпром» начинает внедрение ОЦР-установки на компрессионной станции «Октябрьская» ООО «Газпром трансгаз Югорск».

Библиографический список

1. Сергиенко Р.В., Билека Б.Д., Кабков В.Я. Пути повышения эффективности рабочего цикла энергетических теплоутилизирующих установок с низкокипящими рабочими телами // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 8(95). – С. 38–42.

2. Цикл Ренкина на НРТ (низкокипящее рабочее тело) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.turbunist.ru/49625-cikl-renkina-na-nrt-nizkokipyashee-raboochee-telo.html> (дата обращения: 11.05.2017).

3. Высокоскоростные турбогенераторы для автономных энергетических установок малой мощности с использованием низкопотенциального тепла / М.Ю. Румянцев [и др.] // Повышение надежности и эффективности эксплуатации электрических станций и энергетических систем ЭНЕРГО-2010: труды всерос. науч.-практ. конф. – М., 2010. – Т. 1. – С. 240–243.

4. Гафуров А.М. Перспективные области применения энергетических установок на низкокипящих рабочих телах // Энергетика. – 2014. – С. 93–96.

Сведения об авторах

Трусова Вера Анатольевна – студентка Новосибирского государственного технического университета, гр. ТЭМ-61, г. Новосибирск, e-mail: verochka681gr@mail.ru.

Францева Алина Алексеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые электрические станции» Новосибирского государственного технического университета, г. Новосибирск, e-mail: frantsevaalina@gmail.com.

Н.М. Труфанова, К.В. Бородулина, И.Я. Дятлов

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПРОВОДАХ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ НА НАПРЯЖЕНИЕ 500 кВ

В данной работе было проведено математическое моделирование электрического поля проводов АС [1] воздушной высоковольтной линии (ВВЛ) 500 кВ с использованием метода конечных элементов в среде Ansoft Maxwell.

Были проанализированы четыре маркоразмера провода АС при четырех вариантах расположения в фазе. Получены картины электрического поля, построены кривые зависимостей напряженности поля у поверхности проводника в зависимости от сечения и количества проводов в фазе ВВЛ электропередачи. Результаты исследования сравнивались с аналитическим решением задачи [2].

Ключевые слова: высоковольтная воздушная линия, напряженность электрического поля, метод конечных элементов, расщепление фазы.

N.M. Trufanova, K.V. Borodulina, I.Ya. Dyatlov

NUMERICAL ANALYSIS OF ELECTRIC FIELD STRENGTH 500 kV AERIAL LINE WIRES

In this paper, a mathematical simulation of the electric field of wires [1] of an air high-voltage line 500 kV was carried out using the finite element method in the Ansoft Maxwell. Four types of wire were analyzed for four locations in the phase. The electric field patterns are obtained. The curves for the field strength at the conductor surface are plotted as a function of the cross section and the number of wires in the phase of the power transmission line. The results of the study were compared with the analytical solution of the problem [2].

Key words: high-voltage air line, electric field strength, finite element method, phase splitting.

В работах [3–5] рассмотрены численные методы для расчета напряженности электрического поля. Для приведенных задач разработаны математические модели, позволяющие исследовать электрическое поле.

Исследования [6, 7] посвящены численному анализу напряженности высоковольтных воздушных линий (ВВЛ) с использованием различных программных комплексов. Для приведенных задач используется допущение об идеально круглом сечении провода.

Стоит отметить, что в приведенных статьях не учитывалось влияние неровности поверхности провода на напряженность электрического поля ВВЛ, тогда как неровность поверхности – это основная причина локального повышения напряженности. В данной работе приведено исследование напряженности электрического поля с учетом неравномерности поверхности провода ВВЛ, а также проведено сравнение с результатами, полученными при допущении о гладкой поверхности.

Ход расчетов. Для исследования был выбран провод марки АС [1] с параметрами, приведенными в табл. 1.

Провод АС (рис. 1, а) состоит из стального сердечника, скрученного из проволок и нескольких повивов алюминиевой проволоки, выполняющей проводящую функцию.

Таблица 1

Параметры провода АС

Маркоразмер	Количество проволок, шт.		Диаметр проволок, мм
	Алюминий	Сталь	
АС 330(43)	54	7	2,80
АС 400(51)	54	7	3,05
АС 450(56)	54	7	3,20
АС 500(64)	54	7	3,40

Для расщепления фазы используются специальные распорки, предназначенные для ориентации проводов в пространстве на одинаковом расстоянии друг от друга. В данной работе были рассмотрены распорки марок, представленных в табл. 2.

Таблица 2

Параметры распорок

ТИП распорки	Количество проводов, шт.	Расстояние между проводами, мм
ЗРС-400	3	400
4РС-400	4	400
5РС-450	5	450

Основными назначениями расщепления фаз является уменьшение индуктивности линии, что, в свою очередь, дает увеличение пропускной способности и уменьшает вероятность образования коронного разряда на ВЛ.

На проводах ВЛ существуют неровности, обусловленные проволоками верхнего повива, которые приводят к местному увеличению напряженности электрического поля.

Так как коронный разряд зависит от напряжённости на поверхности провода, то для уменьшения этой напряжённости в ВЛ сверхвысокого напряжения применяют расщепление фаз. Этим уменьшается напряжённость на отдельном проводе, что, в свою очередь, уменьшает потери активной мощности на коронный разряд и снижает индуктивное сопротивление линии. Это определяет увеличение эквивалентного радиуса проводника.

Таким образом, следует учитывать, что неверно подобранное сечение провода и количество проводов расщепления может привести к повышенной напряженности электрического поля провода, а значит, и к потерям мощности и ускоренному старению проводов.

Для решения задачи исследования напряженности электрического поля ВЛ была выбрана двумерная электростатическая постановка.

Для упрощения расчетов были сделаны следующие допущения:

– электрофизические свойства используемых материалов постоянны;

– учитывается только неровность поверхности последнего повива провода (рис. 1, б);

– рассматривается одна фаза ВЛ;

– места соединений не рассматривались.

Дифференциальное уравнение Пуассона:

$$\nabla(\varepsilon_r \varepsilon_0 \nabla \Phi) = 0, \quad (1)$$

где ε_r – относительная диэлектрическая проницаемость среды; ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума; $\nabla \Phi$ – потенциал электрического поля как функция от координаты $\Phi = f(x, y)$.

Уравнение (1) дополнялось граничными условиями: на поверхности проводов задавалась величина потенциала 500 кВ, на поверхности земли задавался нулевой потенциал, на границе области исследования в бесконечном удалении задавался нулевой потенциал.

Рассмотрим поля напряженности электрического поля провода АС 500(64), приведенные на рис. 2.

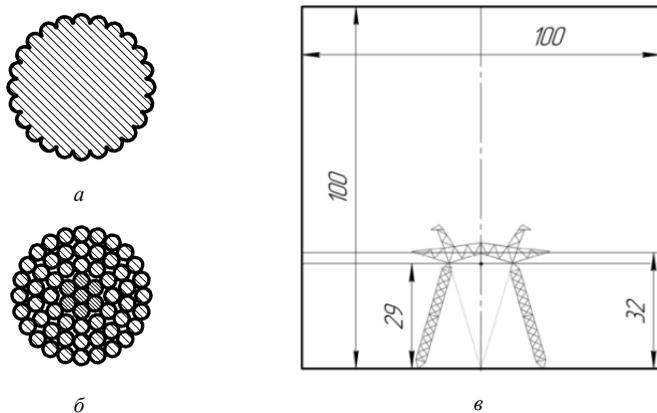


Рис. 1. Сечения: реального (а); смоделированного проводов (б);
схематичное изображение исследуемой области (в)

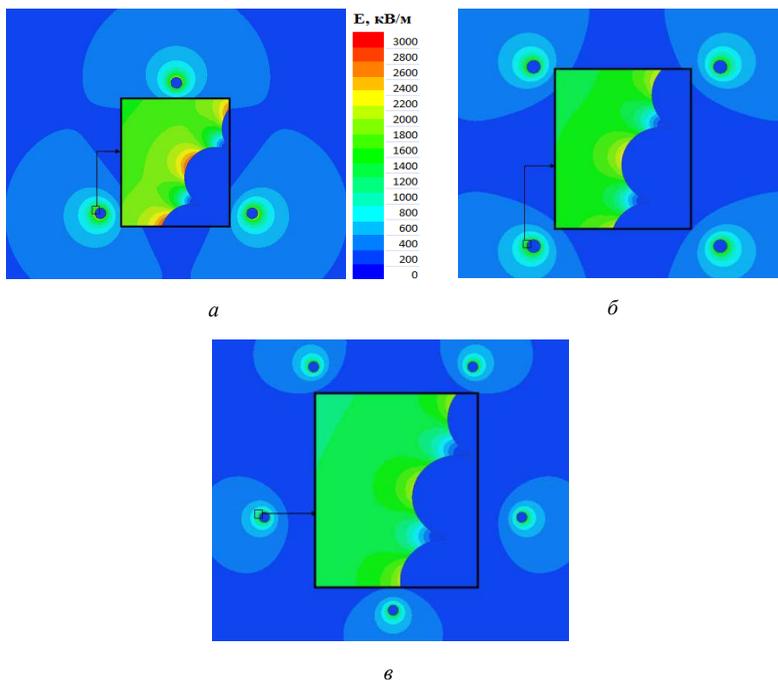


Рис. 2. Распределение напряженности электрического поля провода АС 500(64) при:
 $N_{\text{ПР}} = 3$, $E_{\text{МАХ}} = 3030$ кВ/м (а), $N_{\text{ПР}} = 4$, $E_{\text{МАХ}} = 2470$ кВ/м (б), $N_{\text{ПР}} = 5$, $E_{\text{МАХ}} = 2130$ кВ/м (в)

Наибольшая напряженность наблюдается у поверхности провода, а именно на проволоках последнего повива.

С увеличением числа проводов в фазе напряженность снижается: на 19 % при переходе с трех на четыре и на 30 % при переходе с трех на пять, что обусловлено общим увеличением геометрических размеров конструкции фазы.

Для остальных маркоразмеров были проведены аналогичные расчеты, результаты которых были сведены в общую диаграмму зависимости напряженности от сечения и количества проводов (рис. 3).

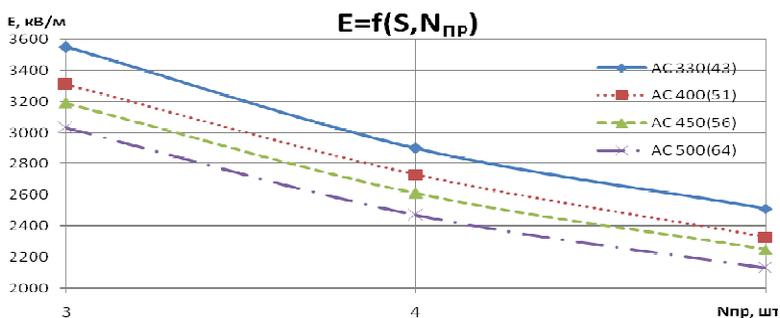


Рис 3. Сводная диаграмма зависимости напряженности кабеля от сечения и количества проводов

По полученным данным можно сделать следующий вывод: максимальная величина напряженности для всех маркоразмеров при расщеплении фазы на три провода оказалась выше 3000 кВ/м, что при эксплуатации такого типа ВЛ может вызвать эффект коронного разряда, что, в свою очередь, приведет к дополнительным потерям передаваемой мощности. Следовательно, применять расщепление на три провода при напряжении 500 кВ и данных сечениях крайне противопоказано ввиду большого риска коронного разряда.

При анализе системы расщепления фазы на пять проводов для всех рассматриваемых сечений величина напряженности находится в допустимом диапазоне.

Полученные данные сравним с аналитическими расчетами напряженности (E_A) для провода АС 450(56) (табл. 3) ВЛ приведенными в источнике [2], и численными результатами, полученными для гладкой поверхности провода (E_{II}), и с учетом неравномерности поверхности последнего повива провода ($E_{ч,MAX}$).

Сравнительная таблица напряженности электрического поля

Напря- жен- ность	АС 500(64)			АС 450(56)			АС 400(51)			АС 330(43)		
	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5
$E_{ч,МАХ},$ кВ/м	3030	2470	2130	2930	2610	2250	3310	2730	2330	3550	2900	2510
$E_{А.},$ кВ/м	2194	1820	1600	2310	1918	1689	2380	1950	1740	2590	2160	1900
$E_{Ц.},$ кВ/м	–	–	–	2310	1890	1610	–	–	–	–	–	–

Из табл. 3 можно увидеть, что значения напряженности, полученные аналитическим методом, в среднем меньше на 25 % величин напряженности, полученных с учетом неравномерности поверхности провода. Это объясняется тем, что в аналитическом методе не учитывается влияние неоднородностей, вносимых проволоками повива.

Заключение

1. Для эксплуатации на высоковольтных линиях 500 кВ рекомендуется использовать провода сечением не менее 400 мм² и числом проводов в фазе не менее четырех, так как при данных конфигурациях величина напряженности электрического поля находится в допустимых рабочих пределах, что позволяет минимизировать вероятность коронного разряда.

2. При численном моделировании можно учесть неровность поверхности проводов, что позволяет повысить точность расчетов, нежели при использовании аналитической модели.

Библиографический список

1. ГОСТ 839-80. Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи.

2. РД 34.20.17 СО 153-34.20.172. Руководящие указания по учету потерь на корону и помех от короны при выборе проводов воздушных линий электропередачи переменного тока 330-750 кВ и постоянного тока 800–1500 кВ.

3. Шевченко С.Ю., Окунь А.А. Анализ методов расчета электрических полей установок высоких напряжений // Электротехника и электромеханика. – 2010. – № 4.

4. Макенова Н.А. Моделирование электрического поля стержневого заземлителя // Известия Томск. политехн. ун-та. – 2009. – Т. 314. – № 4.

5. Красная Е.Г. Расчет распределения потенциала в межэлектродном пространстве электрогидродинамических устройств численными методами // Известия Пензен. гос. пед. ун-та им. В.Г. Беллинского. Физико-математические науки. – 2011. – № 26.

6. Байдин Г.В., Куропатенко В.Ф., Лупанов И.В. Математическое моделирование электрических полей в электрофизических установках // Вестник ЮУрГУ. Сер.: Математическое моделирование и программирование. – 2013. – Т. 6. – № 3.

7. Выковская Л.В., Чурикова Е.В. Моделирование электрического и магнитного полей воздушной линии электропередачи // Вестник Кузбас. гос. техн. ун-та. – 2016. – № 5.

Сведения об авторах

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

Бородулина Ксения Владиславовна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-16-1м, г. Пермь, e-mail: kseniya_borodulina@mail.ru.

Дятлов Илья Яковлевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-16-1м, г. Пермь, e-mail: d.i.994@yandex.ru.

Н.М. Труфанова, И.Я. Дятлов

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВУЛКАНИЗАЦИИ

В данной статье был проведен численный анализ процессов внутри вулканизационной трубы для резиновой изоляции. Произведен анализ влияния давления пара в трубе и скорости изолирования на степень сшивки. Построены кривые зависимости коэффициента вулканизации от длины трубы при определенных параметрах.

Ключевые слова: тепломассоперенос, вулканизация, сшивка, резина, паровая среда, численное моделирование, изоляция, кабель.

N.M. Trufanova, I.Ya. Dyatlov

NUMERICAL ANALYSIS OF VULCANIZATION PROCESS

In this article numerical analysis of process inside vulcanization tube for rubber insulation represented. Pressure and velocity Dependence for curing degree researched. Curves plotted for the dependence of the vulcanization degree on the tube length for certain parameters.

Keywords: Heat-mass transfer, vulcanization, curing, rubber, steam surrender, numerical modeling, Insulation, cable.

На сегодняшний день кабели с вулканизированной резиновой изоляцией очень востребованы на рынке. Это объясняется тем, что по сравнению с изделиями из невулканизированной резины они имеют ряд преимуществ: повышенная прочность, химическая стойкость, лучшие электротехнические свойства.

Данные преимущества возникают вследствие процесса вулканизации – процесса образования поперечных межмолекулярных химических связей, что существенно увеличивает прочность материала.

При производстве кабельных изделий с резиновой изоляцией очень важно контролировать такой параметр, как степень сшивки. Данный параметр показывает, какая доля молекул от общего числа была сшита в процессе вулканизации.

На коэффициент сшивки влияет множество факторов: температура, среда вулканизации и ее скорость, скорость линии, толщина и рецептура изоляционного слоя.

Подобная задача рассматривалась в работах [2, 3], где рассматривалась двухмерная модель вулканизационной трубы и оценивалась степень сшивки от времени нахождения в вулканизационной камере.

В статье [4] рассмотрено влияние параметров среды вулканизации на ее теплоотдачу. Оценке кинетических процессов при вулканизации посвящено исследование [5]. Рассмотрению протекания процесса вулканизации внутри массивных изделий уделено внимание в статье [6].

В данной работе будет представлено численное исследование зависимости степени вулканизации от параметров среды вулканизации и скорости линии.

В качестве объекта исследования был выбран изоляционный слой кабеля марки КГ 1×120 [1]. Конструкция кабеля состоит из токопроводящей жилы (ТПЖ) и одного слоя изоляции, геометрические параметры данного кабеля: толщина изоляции – 1,5 мм; сечение токопроводящей жилы – 120 мм.

Сшивка резиновой изоляции происходит в вулканизационной трубе наклонного типа с параметрами: длина трубы – 83 м; диаметр трубы – 114,3 мм; среда вулканизации – пар; средняя температура пара – 180 °С; давление пара – 10–18 Атм.

В качестве предмета исследования рассматривается величина коэффициента сшивки изоляции в зависимости от давления среды и скорости линии.

Так как величина сшивки напрямую зависит от толщины изоляции и времени нахождения изделия в вулканизационной трубе, то следует с большим вниманием относиться к подбору технологического режима. Недостаточно вулканизированная резина по сравнению со сшитой будет обладать худшими эксплуатационными параметрами.

Данная задача решалась в трехмерной постановке при стационарном режиме. Для снижения вычислительной сложности были сделаны следующие допущения:

- 1) наклонная геометрия трубы заменена на прямую горизонтальную;
- 2) теплофизические свойства материалов кабеля постоянны;

- 3) с внешней поверхности трубы утечки тепла не происходит;
- 4) давление в трубе постоянно.

Для описания процессов теплообмена (ТО) внутри вулканизационной трубы использовалась система уравнений, состоящих из следующих уравнений: энергии (1), движения (2), несжимаемости (3), которые дополнялись граничными условиями, приведенными в таблице.

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho c \left(\frac{\partial T}{\partial t} + v_i \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) = -\lambda \Delta T + q_v, \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho \left(\frac{\partial v_i}{\partial t} + v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j} \right) = \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{i,j}}{\partial x_i} + g\beta(T - T_0), \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -\rho \frac{\partial v_i}{\partial x_i} = \frac{\partial p}{\partial t} + v_i \frac{\partial p}{\partial x_i}, \end{array} \right. \quad (3)$$

где ρ , c , λ – плотность, теплоемкость, коэффициент теплопроводности соответственно, кг/м³, Дж/кг·С, Вт/м·С; x_i – декартовы координаты; v_i – компоненты вектора скорости, м/с; T – температура, С; q_v – мощность внутренних источников тепла, Вт/м³; t – время процесса, с; $\tau_{i,j}$ – тензор напряжений, g – ускорение свободного падения, м/с²; β – коэффициент термического расширения, К⁻¹.

Для расчета степени вулканизации резины применялось уравнение Аррениуса:

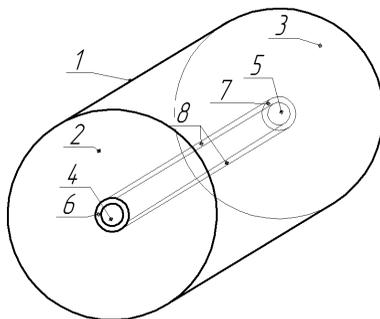
$$\frac{d\phi}{dt} = (1 - \phi)k_0 e^{\left(\frac{E_a}{RT} \right)}, \quad (4)$$

$$w_n = \rho_u \frac{d\phi}{dt}; \quad q_v = Q_n w_n,$$

где E_a – энергия активации реакции вулканизации, $E_a = 77$ кДж/моль; k_0 – количество связей в секунду, $k_0 = 500\,000\,000$ 1/с; ϕ – степень вулканизации; R – газовая постоянная; T – температура объекта, Q_n – энергия реакции.

Граничные условия

Зона	Граничное условие
1. Поверхность трубы	Температура [210 С°]
2,3 Вход/выход в трубу	Температура [210 С°], давление [17 атм]
4. ТПЖ Вход	Температура [70 С°], Скорость [0,5 м/с]
5 ТПЖ Выход	Адиабата, скорость [0,5 м/с]
6. Изоляция вход	Температура [70 С°], скорость [0,5 м/с]
7. Изоляция выход	Адиабата, Скорость [0,5 м/с]
8. Объем изоляции	Источник тепла от реакции вулканизации q_v



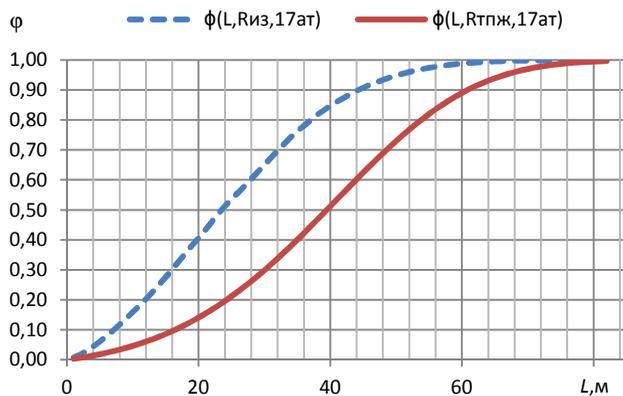
На начальном этапе определялся такой параметр k_0 , при котором для данной энергии активации и при данном техрежиме обеспечивалась степень вулканизации $\phi = 1$. Далее исследовалось зависимость степени вулканизации от давления пара. Данные зависимости можно увидеть на рис. 1.

Таким образом, с уменьшением давления уменьшается теплоотдача от пара к поверхности изоляции, тем самым меньше количество тепла подводится к изоляции и задействуется в процессе вулканизации, и, как следствие, уменьшается степень вулканизации. Поэтому так важно поддерживать стабильное давление в ходе технологического режима.

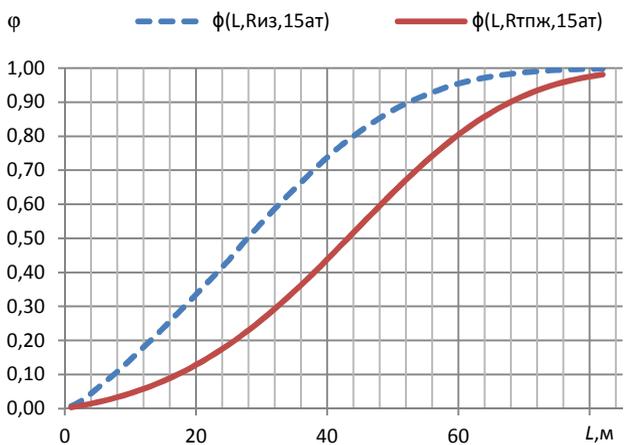
Общая зависимость степени вулканизации внутреннего слоя изоляции от давления представлена на рис. 2, а.

На следующем этапе рассматривалось влияние скорости линии при начальных условиях. Значения линейной скорости выбирались из диапазона 30–42 м/мин.

Стоит отметить, что при увеличении скорости на 12 м/мин (40 %) от начальной степень вулканизации снизилась на 13 %. Общий вид зависимости приведен на рис. 2, б.

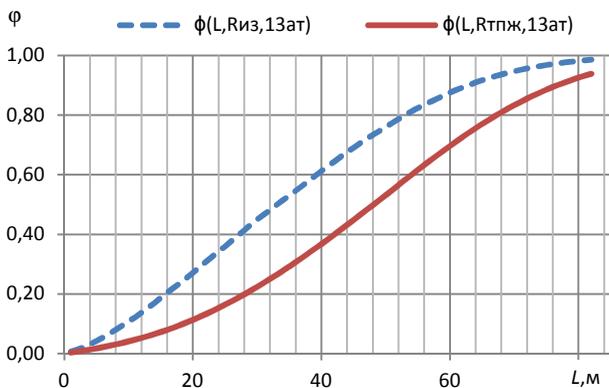


а

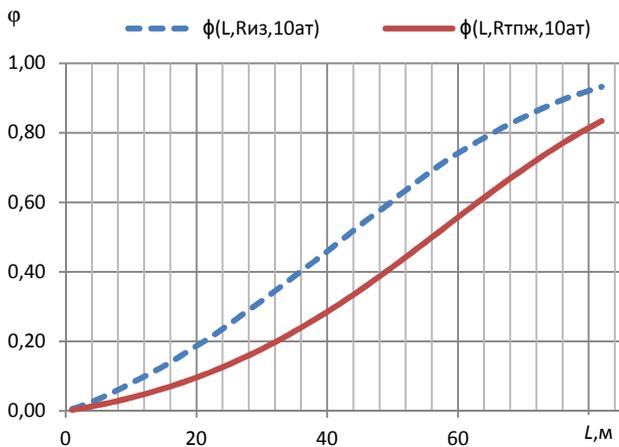


б

Рис. 1. Кривые зависимости степени вулканизации от давления пара.
Давление пара: а – 17 ат., б – 15 ат., в – 13 ат., г – 10 ат



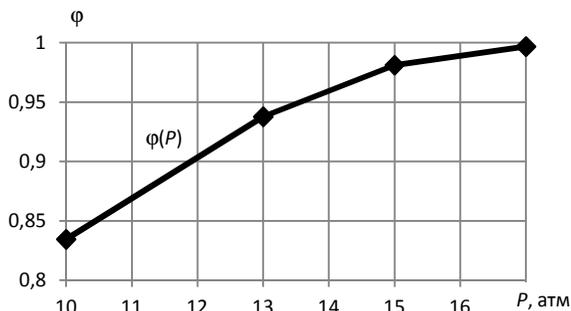
в



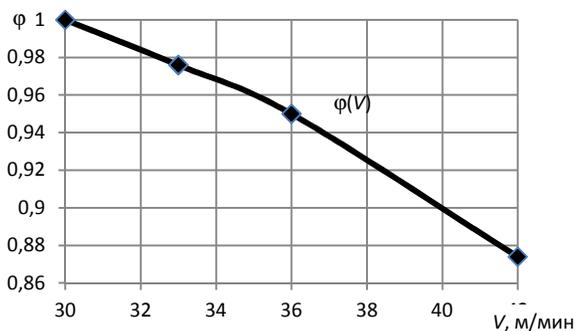
з

Рис. 1. Окончание

Снижение показателя ϕ можно интерпретировать следующим образом. С ростом линейной скорости изоляция быстрее проходит вулканизационную трубу, поэтому начинает получать меньше тепловой энергии, вследствие чего реакция вулканизации протекает не полностью.



a



b

Рис. 2. Зависимость степени вулканизации внутреннего слоя:
a – от давления; *b* – от линейной скорости

Заключение. В ходе работы была получена математическая модель процесса вулканизации резиновой изоляции, позволяющая анализировать влияние различных факторов на величину степени сшивки.

По полученным данным можно заключить следующее: на степень вулканизации заметно влияют такие параметры, как скорость линии и давление в вулканизационной трубе. Таким образом, для получения наиболее качественного кабельного изделия с вулканизированной изоляцией необходимо разрабатывать технологический режим, учитывающий влияние обоих факторов, т.е. при снижении давления среды следует уменьшить скорость, тем самым скомпенсировав недостаточный подвод тепла к поверхности изоляции.

Дабы избежать эмпирического подбора величин соотношения «скорость–давление», что чревато выпуском некачественной продукции,

следует использовать математическое моделирование процессов и вносить поправки в систему автоматического управления линией для коррекции скорости линии в зависимости от давления среды в режиме реального времени.

Библиографический список

1. ГОСТ 24334-80. Кабели силовые для нестационарной прокладки. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004.

2. Мамбетова Е.А., Труфанова Н.М. Математическое моделирование температурных полей и степени вулканизации в процессе вулканизации типичных кабельных изделий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2012. – № 6. – С. 152–158.

3. Труфанова Н.М., Пасынков Д.П. Математическая модель и численный анализ процесса вулканизации резиновой изоляции кабелей // Научно-технический Вестник Поволжья. – 2014. – № 5. – С. 304–307.

4. The effects of operational parameters in hot-air vulcanization / V. Schoppner, S. Brockhaus, C. Penner, J. Mockel, Gerlach Maschinenbau // International Polymer Science and Technology. – 2015. – Vol. 43. – № 7.

5. Кинетика и механизм вулканизации бутадиен-нитрильного каучука пара-динитрозобензолом / Я.О. Ключников, О.Р. Ключников, Т.В. Макаров, С.И. Вольфсон // Вестник Казан. технолог. ун-та. – 2011. – № 15 – С. 107–110.

6. Моделирование кинетики неизотермической вулканизации массивных резиновых изделий / В.И. Молчанов, О.В. Карманова, С.Г. Тихомиров, Ю.В. Пятаков, А.В. Касперович // Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2014. – № 4.

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.

Дятлов Илья Яковлевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-16-1м, г. Пермь, e-mail: d.i.994@yandex.ru.

М.В. Фроленко, А.В. Казаков

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕШНЕГО ТЕПЛООБМЕННИКА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

В данной статье рассмотрена проблема охлаждения трехфазного асинхронного малогабаритного электродвигателя. Была разработана математическая модель, численная реализация которой позволила определить наибольшую эффективность хладагента в контуре охлаждения малогабаритного электродвигателя. Были исследованы три хладагента: вода, масло, керосин. Были рассмотрены различные конструкции охлаждающих рубашек.

Ключевые слова: ANSYS Fluent, жидкостное охлаждение, малогабаритный электродвигатель.

M.V. Frolenko, A.V. Kazakov

ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF THE EXTERNAL HEAT EXCHANGER OF THE COOLING SYSTEM OF THE ELECTROMOTOR FOR DIFFERENT HEAT CARRIERS

In this article the problem of cooling of the three-phase asynchronous small-size electromotor is considered. The mathematical model which numerical implementation allowed to define the greatest efficiency of coolant of the cooling of the small-size electromotor used in a circuit was developed. Three coolants were probed: water, oil, kerosene. Different constructions of the cooling shirts were considered.

Keywords: ANSYS Fluent, liquid cooling, small-size electromotor.

На данный момент одной из наиболее распространенных проблем при эксплуатации электропривода является отвод тепла, выделяющегося за счет внутренних потерь. Для решения этой проблемы применяют охлаждающие контуры, в которых допустимо использовать воду, масло, керосин в качестве охлаждающей жидкости. Чем эффективнее будет теплоотвод, тем меньшему нагреву подвергнется сам двигатель, что существенно скажется на его ресурсе [1, 2].

Рассмотрим геометрию охлаждающей рубашки малогабаритного электродвигателя (рис. 1).

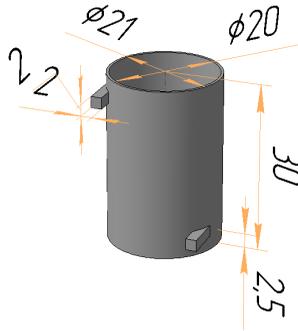


Рис. 1. Геометрия охлаждающей рубашки

Рубашка для охлаждения имеет два патрубка подачи и отъема жидкости из охлаждающего зазора.

Для упрощения были сделаны следующие допущения:

- процесс стационарный;
- теплофизические свойства охлаждающей жидкости постоянны;
- тепловой поток от двигателя равномерно передавался через цилиндрическую стенку;
- теплоноситель охлаждался во внешнем контуре до температуры окружающей среды;
- температура электродвигателя принималась равной температуре на его поверхности.

С учетом сделанных допущений система дифференциальных уравнение примет следующий вид:

– уравнения движения:

$$\begin{cases} \rho \left(v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z}, \\ \rho \left(v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z}, \\ \rho \left(v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z}; \end{cases}$$

– уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0;$$

– уравнение энергии:

$$c\rho\left(v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} + v_z \frac{\partial T}{\partial z}\right) = \lambda \Delta T.$$

Уравнения движения, неразрывности, энергии дополняются граничными условиями (расход жидкости на входном патрубке, задаваемый через эпюру скорости, температура окружающей среды на входе, нулевые скорости на неподвижных стенках канала, нулевой тепловой поток с внешних стенок канала, тепловой поток с поверхности двигателя) и физико-реологическими свойствами исследуемых хладагентов [3, 4].

В данной работе были рассмотрены в качестве хладагентов следующие жидкости: вода, масло, керосин.

Результаты расчета представлены в таблице: зависимость максимальной температуры на внутренней стенке охлаждающей рубашки от расхода жидкости при 0,0002, 0,001 и 0,01 кг/с. С целью определения наиболее эффективного хладагента результаты сведены на рис. 2. На графике показаны зависимости максимальной температуры на внутренней стенке охлаждающей рубашки от расхода жидкости.

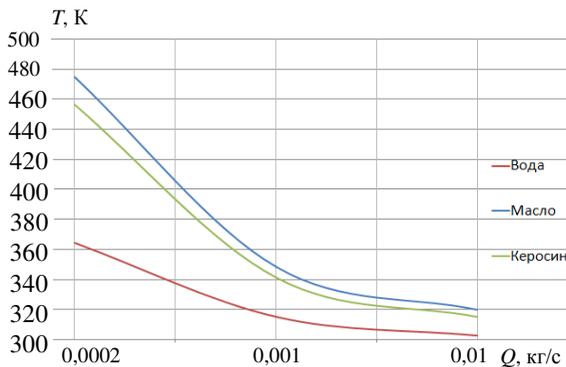


Рис. 2. Эффективность хладагентов

Результаты расчета

Хладагент	Расход, кг/с		
	0,0002	0,001	0,01
Максимальная температура, К			
Вода	364,11	314,8	302,35
Масло	474,59	348,36	319,98
Керосин	456,16	340,78	314,96

В ходе численных экспериментов была исследована возможность применения различных жидкостей для охлаждения электродвигателя: установлено, что наилучшим хладагентом является вода, так как она обеспечивает наименьшую температуру на электродвигателе, а так же наименьший расход хладагента.

Для определения оптимальной конструкции были смоделированы и посчитаны следующие конструкции: на рис. 3 модель имеет входные патрубки на одной стороне, оси патрубков проходят через ось кольцевого зазора; на рис. 4 в предлагаемом варианте патрубки на одной стороне и смещены в стороны относительно плоскости симметрии кольцевого зазора; на рис. 5 – полностью изолированный спиральный канал. На рис. 3, 4, 5 модели и геометрические размеры охлаждающих рубашек.

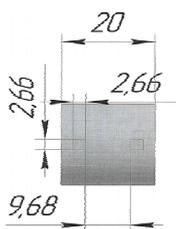


Рис. 3. Конструкция 1

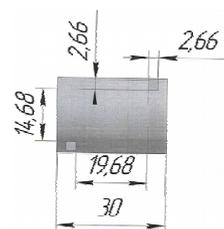


Рис. 4. Конструкция 2

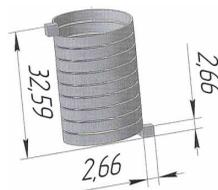


Рис. 5. Конструкция 3

В результате проведённых исследований было установлено, что наилучшими характеристиками обладает конструкция охлаждающего устройства 3. На рис. 6 приведено температурное поле конструкции 3 в программной среде ANSYS.

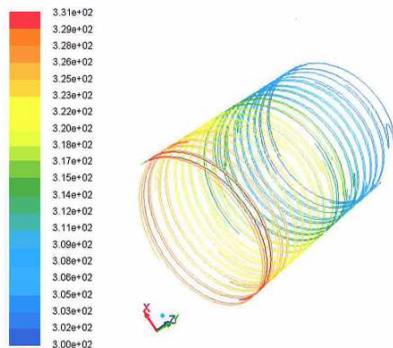


Рис. 6. Температурное поле конструкции 3

Конструкция, имеющая направленный поток многовиткового структурного течения охлаждающей жидкости, обладает наилучшим отводом тепла от электродвигателя.

Данные результаты могут быть использованы при проектировании различных установок электрического привода, также есть возможность динамического управления параметрами охлаждения на основании построенных зависимостей и динамического управления параметрами охлаждения от меняющейся нагрузки.

Библиографический список

1. Новожилов Ю.Н. Система охлаждения электродвигателей // Промышленная энергетика. – 2005.
2. Никитин М.Н. Исследование теплообмена с жидкой фазой в кольцевом канале охлаждающего корпуса смесительного теплогенератора // Тепловые процессы в технике. – 2013.
3. Марчук С. Решения для жидкостного охлаждения электрооборудования // Силовая электроника. – 2011.
4. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен. – М.: Изд-во МЭИ, 2005.

Сведения об авторах

Фроленко Максим Васильевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ 15-1м, г. Пермь, e-mail: mfrol8@mail.ru.

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

Ю.М. Хасянова, Е.В. Субботин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЗГАЛОГЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

В работе проведены комплексные экспериментальные исследования по определению теплофизических и реологических характеристик современных безгалогенных полимерных композиций. Для определения реологических параметров исследуемых материалов использовался ротационный реометр. Температурная зависимость удельной теплоемкости получена с помощью метода дифференциальной сканирующей калориметрии. Диапазон термической стабильности полимеров определялся в процессе выполнения термогравиметрического анализа. Для определения плотности использовался метод гидростатического взвешивания.

Ключевые слова: безгалогенные полимерные композиции, экструдер, теплофизические характеристики, реологические характеристики, экспериментальные исследования.

Yu.M. Hasyanova, E.V. Subbotin

EXPERIMENTAL STUDY OF THE THERMOPHYSICAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF HALOGEN-FREE POLYMER COMPOSITIONS

The work offers a comprehensive experimental study to determine the thermophysical and rheological characteristics of the modern halogen-free polymer compositions. For determining the rheological parameters of the studied materials was used a rotational rheometer. The temperature dependence of specific heat capacity obtained by using the method of differential scanning calorimetry. The range of thermal stability of polymers was determined in the process of performing a thermogravimetric analysis. For the density determination was used the method of hydrostatic weighing.

Keywords: halogen-free polymer composition, the extruder, thermal characteristics, rheological characteristics, experimental studies.

В настоящее время особую остроту приобрела проблема пожарной безопасности кабельных коммуникаций. Многочисленные пожары в кабельных трассах объектов самого разного назначения, в том числе и особо ответственных, показали, что эту проблему невозможно решить только за счет применения традиционных систем авто-

математического пожаротушения и конструктивных противопожарных мер. Поэтому при производстве современных кабельных изделий необходимо применять материалы, удовлетворяющие возросшим требованиям пожарной безопасности, например, такие как безгалогенные полимерные композиции. Основным способом переработки подобных материалов является экструзия. Однако следует отметить, что для совершенствования технологических режимов экструзионных процессов необходимо детальным образом изучить их особенности. Математическое моделирование на сегодняшний день является одним из основных инструментов, позволяющих решить данную задачу. Обязательным условием для успешного проведения численных исследований остается наличие данных о свойствах перерабатываемых материалов. В данной работе выполнены комплексные экспериментальные исследования по определению теплофизических и реологических характеристик современных безгалогенных полимерных композиций.

Исследование проводилось на ротационном реометре для безгалогенных полимерных композиций марок Megolon HF1876, Promvulk 23400, Revil GE 40 OF, в температурном интервале 150–190 °С с шагом $\Delta T = 10$ °С.

На рис. 1 представлены экспериментально определенные зависимости эффективной вязкости μ_e от скорости сдвига $\dot{\gamma}$, полученные при различных значениях температуры для материала Revil GE 40 OF.

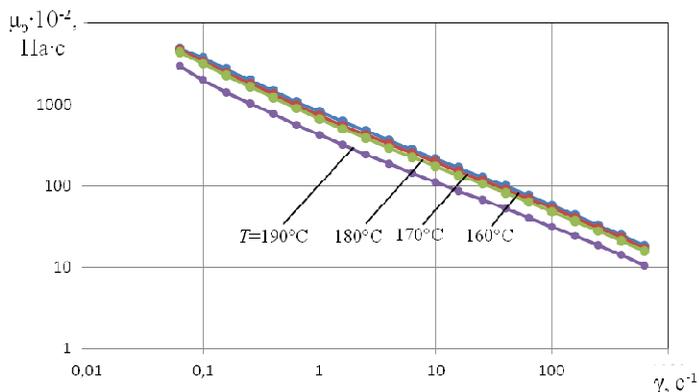


Рис. 1. Экспериментальные зависимости эффективной вязкости расплава полимера от скорости сдвига для материала Revil GE 40 OF

Из графиков (см. рис. 1) видно, что при любом значении температуры из заданного интервала эффективная вязкость исследуемого полимера уменьшается с увеличением скорости сдвига. Для теоретического описания данной зависимости в работе использовался степенной закон [1], который относительно переменной $\dot{\gamma}$ можно записать следующим образом:

$$\mu_{\text{ЭС}} = \mu_1 \dot{\gamma}^{n-1}, \quad (1)$$

где $\dot{\gamma} = \left(\frac{I_2}{2} \right)^{\frac{1}{2}}$; $\mu_{\text{ЭС}}$ – эффективная вязкость, описываемая степенным законом; μ_1 – коэффициент консистенции;

После обработки экспериментальных данных, представленных на рис. 1, с помощью программного обеспечения «TRIOS», были получены необходимые значения коэффициентов (табл. 1) для выражения (1).

Таблица 1

Значения коэффициентов для степенного закона

T, °C	Megolon HF 1876		Promvulk		Revil GE 40 OF	
	Степенной закон		Степенной закон		Степенной закон	
	$\mu_1, \text{Па} \cdot \text{с}^n$	n	$\mu_1, \text{Па} \cdot \text{с}^n$	n	$\mu_1, \text{Па} \cdot \text{с}^n$	n
150	77979,4	0,4279	–	–	–	–
160	66628,4	0,4393	98424,2	0,3998	90883,2	0,3964
170	58781,3	0,4455	90023,6	0,4047	80416,4	0,4062
180	52646,5	0,4491	81540,3	0,4086	71275,4	0,4107
190	49057,7	0,4460	72889,4	0,4096	44644,7	0,4208

Для теоретического описания зависимости реологических свойств исследуемого материала от температуры в работе применялось уравнение Рейнольдса, которое относительно коэффициента μ_1 , используемого в выражении степенной жидкости (1), может быть записано следующим образом:

$$\mu_1 = \mu_{1|_{T_0}} \exp(-\beta_1 (T - T_0)), \quad (2)$$

где $\mu_{1|_{T_0}}$ – значение коэффициента μ_1 при температуре T_0 ; β_1 – температурный коэффициент вязкости.

После обработки экспериментальных данных (табл. 1) методом наименьших квадратов были получены значения коэффициентов β_1 , $\mu_{1|_{T_0=160}}$.

Таким образом, используя свойство логарифмической аддитивности, определяющие реологические уравнения состояния, в которых функциональная зависимость эффективной вязкости расплава полимера от скорости сдвига описывается степенным законом, а от температуры уравнением Рейнольдса, можно представить в следующем виде:

$$\mu_{\text{ЭС}} = \mu_{|_{T_0}} \dot{\gamma}^n \exp(-\beta_1 (T - T_0)), \quad (3)$$

Результирующие значения реологических и температурных коэффициентов для выражения (3) приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов для определяющих реологических уравнений

T_0 , °C	Уравнение (3)								
	Megolon HF 1876			Promvulk			Revil GE 40 OF		
	$\mu_{ _{T_0}}$, Па·с ⁿ	β_1 , 1/°C	n	$\mu_{ _{T_0}}$, Па·с ⁿ	β_1 , 1/°C	n	$\mu_{ _{T_0}}$, Па·с ⁿ	β_1 , 1/°C	n
160	66628,4	0,011624262	0,441558	98424,2	0,010000049	0,32454	90883,2	0,022531856	0,326827

Термический анализ безгалогенных полимерных композиций марок Megolon HF1876, Promvulk 23400, Revil GE 40 OF проводился на приборах TGA и DSC компании TA Instruments.

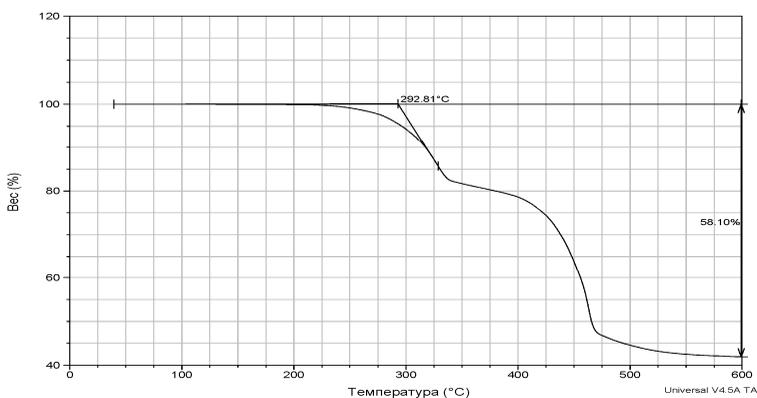


Рис. 2. Кривые потери массы и времени нагрева для материала Revil GE 40 OF

С помощью прибора TGA в работе была экспериментально определена температура начала деструкции исследуемых полимеров. Максимальная температура полимера в эксперименте составляла

600 °С, подъем до которой осуществлялся при скорости нагрева 10 °С/мин. Способ определения температуры начала деструкции для полимера марки Revil GE 40 OF проиллюстрирован на рис. 2. Результаты для всех исследуемых материалов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Значения температур начала деструкции

$T, ^\circ\text{C}$	Megolon HF1876	Promvulk 23400	Revil GE 40 OF	Revil GMB 47
	287	292,96	292,81	380,05

Для построения температурных зависимости удельной теплоемкости исследуемых материалов использовался метод дифференциальной сканирующей калориметрии [2]. Эксперименты проводились в диапазоне 100–200 °С при скорости нагрева 10 °С/мин. Результаты представлены на рис. 3.

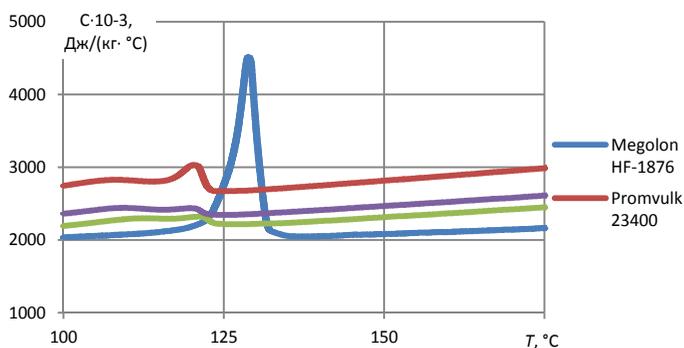


Рис. 3. Температурная зависимость удельной теплоемкости для материалов Megolon HF1876, Promvulk 23400, Revil GMB 47, Revil GE 40 OF

Для определения плотности безгалогенных полимерных композиций использовался метод гидростатического взвешивания [3]. Результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

Значения средних плотностей

	Megolon HF1876	Promvulk 23400	Revil GE 40 OF	Revil GMB 47
$\rho,$	1529,2	1516,1	1498,2	1678,3

Таким образом, следует отметить, что использование современного лабораторного исследовательского оборудования позволяет достаточно быстро получить необходимые для проведения численных исследований данные о теплофизических и реологических свойствах новых полимерных материалов,

Библиографический список

1. Шрамм Г. Основы практической реологии и реометрии. – М.: КолосС, 2003. – 312 с.
2. Шах В. Справочное руководство по испытаниям пластмасс и анализу причин их разрушения / пер. с англ. под ред. А.Я. Малкина. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 732 с.
3. ГОСТ 15139-69 (СТ СЭВ 891-78). Пластмассы. Методы определения плотности (объемной массы). – М.: Издательство стандартов, 1988.

Сведения об авторах

Хасянова Юлия Мансуровна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-16-1м, г. Пермь, e-mail: ymhasyanova@yandex.ru.

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

А.И. Черемухин, А.В. Казаков

РАСЧЕТ ДОПУСТИМОГО ТОКА НАГРУЗКИ ПРОВОДА ПВАМ В ЗАДАННЫХ УСЛОВИЯХ

В данной статье представлено численное моделирование процесса охлаждения провода с круглой токопроводящей жилой при открытой прокладке на воздухе. Рассматривался провод марки ПВАМ с одной медной токопроводящей жилой с изоляцией из ПВХ с сечением 4 мм^2 . Целью исследования ставилось определить температурное поле при длительном протекании допустимого тока.

Ключевые слова: допустимый ток, температурное поле, моделирование.

A.I. Cheremukhin, A.V. Kazakov

CALCULATION OF THE PERMISSIBLE LOAD CURRENT OF THE PVAM WIRE UNDER GIVEN CONDITIONS

In this paper, we consider the temperature field in a wire with a circular current-carrying conductor when the wire is laid open (in air). The wire of mark ПВАМ with one copper current-carrying vein with isolation from PVC with section 4 мм^2 was considered. The purpose of the study is to calculate the temperature field in the wire PVAM 1x4 when laying the wire openly (in the air), with a prolonged flow of the permissible current.

Keywords: allowable current, temperature field.

На рис. 1 изображена конструкция провода марки ПВАМ 1*4 с одной медной жилой круглой формы с изоляцией из ПВХ-пластиката.

Геометрические размеры кабеля: диаметр проволоки – $0,297 \text{ мм}$; число проволок – 56; диаметр жилы – $2,56 \text{ мм}$.

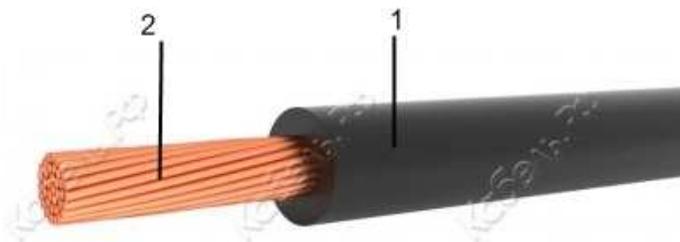


Рис. 1. Конструкция провода ПВАМ:
1 – ПВХ-пластикат, 2 – медная круглая ТПЖ

Провода автотракторные марки ПВАМ предназначены для гибкого соединения электрооборудования и приборов в автотракторном транспорте.

Основные уравнения, используемые при исследовании

1) Уравнение энергии:

$$C_p \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \lambda \Delta T + q_v.$$

2) Уравнение движения:

$$\rho \left(\frac{\partial v_i}{\partial t} + v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{i,j}}{\partial x_i}.$$

3) Уравнение неразрывности:

$$-\rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = \frac{\partial \rho}{\partial t} + v_x \frac{\partial \rho}{\partial x} + v_y \frac{\partial \rho}{\partial y} + v_z \frac{\partial \rho}{\partial z}.$$

Граничные условия:

1) На границе твердых материалов:

$$\lambda_{i+1} \frac{\partial T}{\partial r} \Big| = \lambda_i \frac{\partial T}{\partial r} \Big| ; T_{i+1} = T_i.$$

2) На границе материал – среда, среда – внешняя среда:

$$-\lambda_i \frac{\partial T}{\partial r} = \alpha(T - T_{cp}).$$

3) В центре ТПЖ:

$$\frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0.$$

Поставленная задача решалась численно в среде инженерных расчетов ANSYS [1–4].

Используя параметры провода, была построена геометрия провода в ICEM CFD, заданы граничные условия.

Для определения количество выделяемого в проводнике тепла был использован закон Джоуля–Ленца. В качестве тока, протекающего по проводнику, был принят длительно допустимый ток для провода ПВАМ. Был произведен расчет температурных полей при нахождении кабеля в воздухе. Теплофизические свойства воздуха постоянны (воздух не изменяет своих свойств при нагревании) (рис. 2).

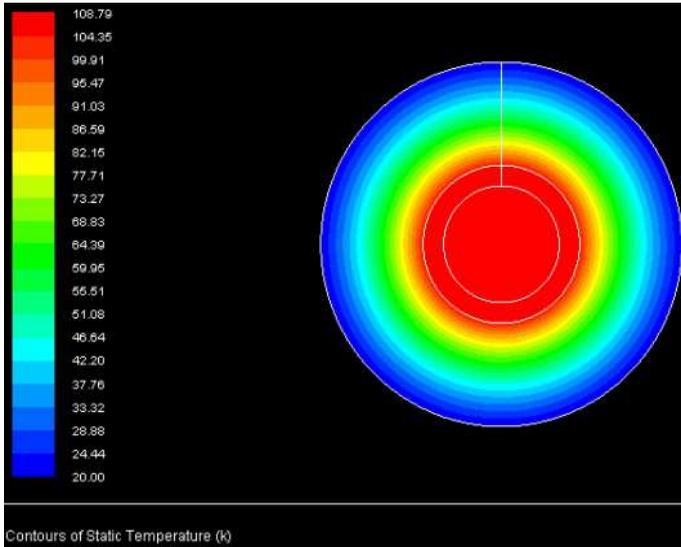


Рис. 2. Провод в воздухе, без конвекции

Далее был произведен расчет температурных полей в воздухе (рис. 3) с учетом силы всемирного тяготения и зависимости свойств воздуха от его температуры.

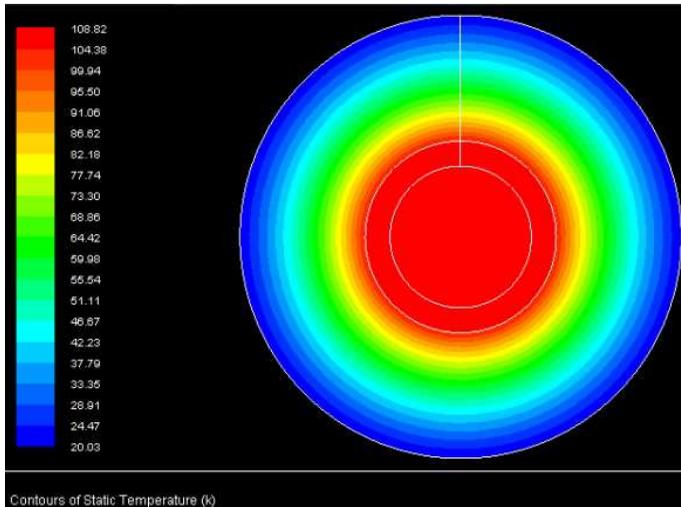


Рис. 3. Температурное поле. Провод в воздухе, конвекция

Таким образом, в данной работе было рассчитано распределение температуры в проводе ПВАМ, проложенном на воздухе без конвекции и с учетом конвекции. При длительном протекании допустимого тока максимальная температура на жиле получилась 108–110 град. Знание распределения температуры по изоляции позволит подбирать токовые нагрузки, исходя из конкретных условий прокладки провода или кабеля.

Библиографический список

1. Конюхов А.В. Основы анализа конструкций в ANSYS: учеб. пособие. – Казань: Изд-во КГУ, 2001. – 102 с.
2. ANSYS [Электронный ресурс]. – URL: <http://cae-expert.ru> (дата обращения: 19.03.2017).
3. ANSYS [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ansysadvantage.ru> (дата обращения: 19.03.2017).
4. Алямовский А.А. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М.: Изд-во ДМК, 2007. – 254 с.

Сведения об авторах

Черемухин Артем Игоревич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. МЭ-13-16, г. Пермь, e-mail: artem.cheremukhin95@mail.ru.

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

В.С. Черепок, А.Г. Щербинин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЕМКОСТИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ С СЕКТОРНЫМИ ТОКОПРОВОДЯЩИМИ ЖИЛАМИ

В данной статье изучены зависимости электрической емкости силовых кабелей с секторными жилами от радиуса закругления и толщины изоляции, полученных в среде инженерных расчетов ANSOFT Maxwell.

Ключевые слова: кабель с секторными жилами, электрическая емкость, электрическое поле.

V.S. Cherepok, A.G. Shcherbinin

DETERMINATION OF THE ELECTRIC CAPACITY OF THE POWER CABLES WITH SECTOR CORES

In this article we have investigated the dependence of electric capacity of the power cables with sector cores of the radius of curvature and thickness of the insulation obtained in an environment of engineering calculations ANSOFT Maxwell.

Keywords: cable with sector cores, electric capacity, electric field.

Электрические емкости относятся к основным из нормируемых параметров кабелей. Расчеты и измерения их проводят при разработке, производстве и эксплуатации кабелей с целью оценки соответствия кабеля техническим требованиям, стабильности технологического процесса и состояния кабелей при хранении, монтаже и эксплуатации.

Геометрические параметры конструктивных элементов кабеля с секторными жилами (высота и ширина сектора, толщина изоляции, радиус закругления) в той или иной степени влияют на его емкость. Необходимо выявить взаимосвязь между геометрическими параметрами элементов кабеля (толщина изоляции, радиус закругления) и емкостью.

Постановка задачи. На рис. 1 представлен силовой кабель с секторными токопроводящими жилами.

При построении математической модели сделаны следующие допущения: электрический потенциал не изменяется по длине кабеля, т.е. $(\partial\varphi)/\partial z = 0$; диэлектрическая проницаемость ε постоянна. К жилам кабеля приложены напряжения -190 , $+190$ и 0 В. Электрический потенциал на бесконечном удалении принимается равным 0 .

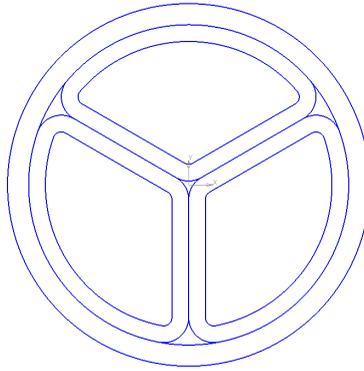


Рис. 1. Силовой кабель с секторными токопроводящими жилами

С учетом сделанных допущений, уравнение Лапласа в декартовой системе координат запишется в виде:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0. \quad (1)$$

Исследование емкости кабеля с секторными жилами произведено в зависимости от радиуса закругления и толщины изоляции (рис. 2), варианты изменения которых приведены в таблице. Значения емкости в таблице имеют размерность пФ/м.

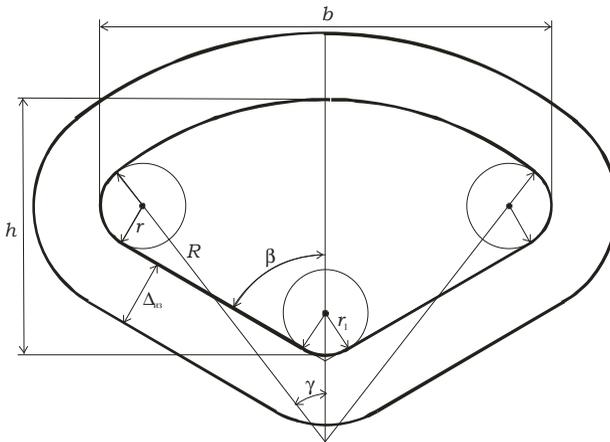


Рис. 2. Профиль изолированной секторной жилы

Емкость кабелей

r, мм	$\Delta_{из}$, мм				
	2	3	4	5	6
1	192,6	141,4	115,3	99,22	88,45
2	187,2	138,0	112,7	97,20	86,61
3	180,6	133,7	108,0	94,86	84,62
4	173,1	129,1	106,3	92,20	82,00
5	164,5	124,2	102,8	88,48	80,38

На рис. 3 показано распределение потенциала при толщине изоляции $\Delta_{из} = 2$ мм и радиусе закругления $r = 1$ мм.

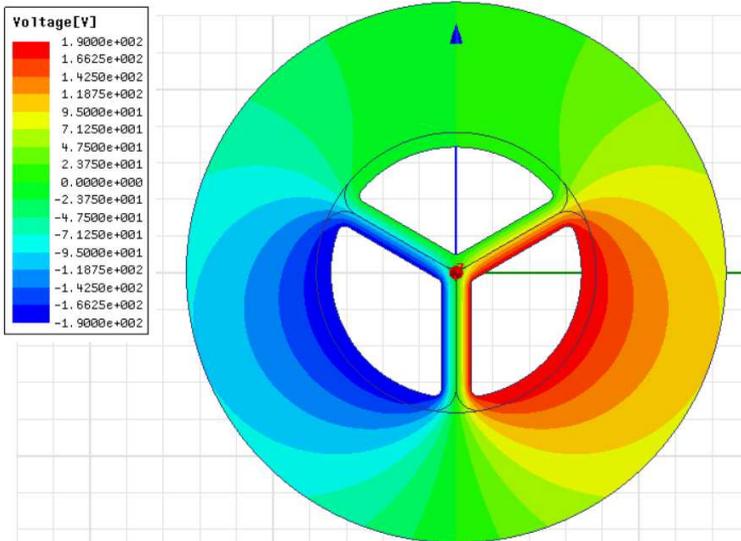


Рис. 3. Распределение потенциала

На рис. 4 показано распределение напряженности, которое определяется через распределение потенциала по формуле $E = -\text{grad}\phi$. Из рисунка видно, что наибольшие значения напряженности электрического поля наблюдаются в изоляции между ТПЖ с потенциалами 190 и -190 В, в областях с минимальными значениями радиуса закругления.

На рис. 5 приведены зависимости емкости от толщины изоляции. Из рисунка видно, что с увеличением толщины изоляции емкость

сти падают. На этом же рисунке приведена зависимость емкости кабеля с круглыми жилами, которая расположена ниже остальных зависимостей.

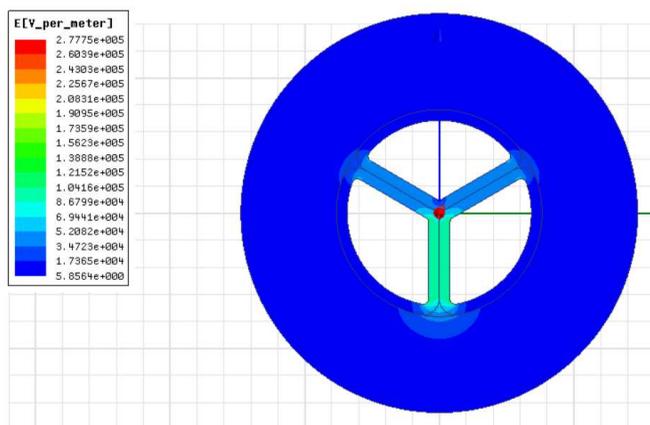


Рис. 4. Распределение напряженности

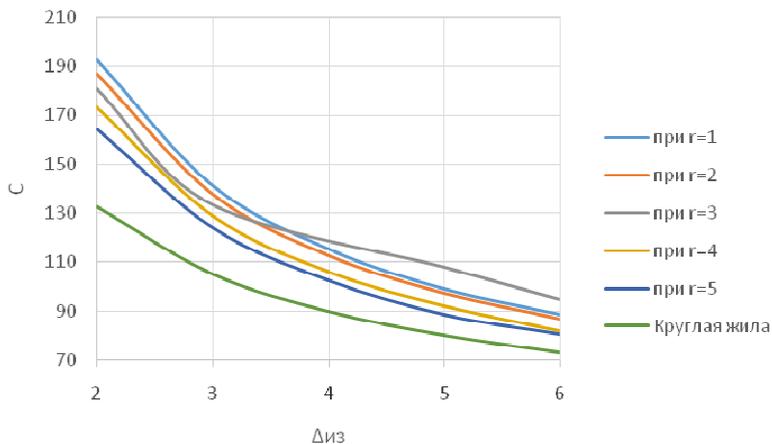


Рис. 5. Зависимость емкости от толщины изоляции

На рис. 6 аналогичным образом представлена зависимость емкости от радиуса закругления. Так же, как и при изменении толщины изоляции, с увеличением радиуса закругления значение емкости падает.

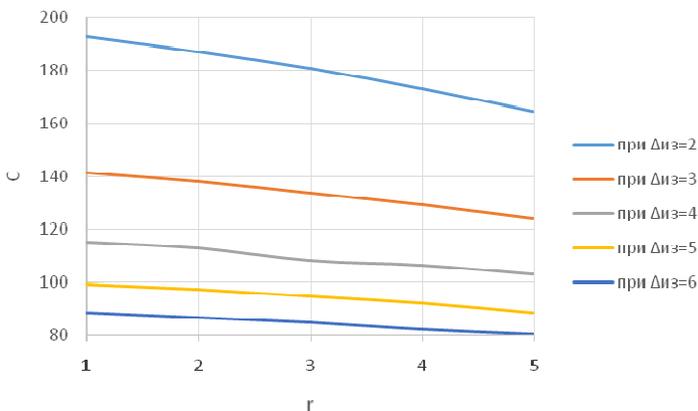


Рис. 6. Зависимость емкости от радиуса закругления

Предложенный в данной работе подход позволяет определить электрические параметры кабелей с токопроводящими жилами любой формы.

Библиографический список

1. Ковригин Л.А. Основы кабельной техники: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2006. – 94 с.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: учебник для электротехн., энерг., приборостроит. спец. вузов. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1986. – 263 с.

Сведения об авторах

Черепок Вероника Сергеевна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КТЭ-16-1м, г. Пермь, e-mail: ch.v.s_59@mail.ru.

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.

**П.А. Чигринец, А.И. Остапенко,
А.П. Капустин, Н.Н. Сенной**

ПЕРСПЕКТИВЫ МГД-ГЕНЕРАЦИИ НА МОРСКОЙ ВОДЕ

В данной статье рассматриваются принцип действия и преимущества МГД-генераторов. Одной из основных проблем реализации МГД-генераторов является использование плазмы в качестве рабочего тела. В связи с этим определенный интерес представляет применение в роли рабочего тела природного электролита, такого как морская вода.

Ключевые слова: МГД-генератор, электролит, морская вода.

**P.A. Chigrinets, A.I. Ostapenko,
A.P. Kapustin, N.N. Sennoy**

PROSPECTS OF MHD-GENERATION IN SEAWATER

The article considers the operation principle and advantages of MHD generators. The main problem with implementation of MHD generators is using of plasma as a working fluid. Thereby using of a natural electrolyte, for example seawater, as a working fluid piques particular interest.

Keywords: MHD-generator, electrolyte, seawater.

Еще с 60-х гг. прошлого века движение электропроводящих сред в электромагнитном поле стало предметом всестороннего исследования. Причина заключается в том, что подобные движения, с одной стороны, являются основными в астрофизике, где находящийся во внутренних областях и атмосфере звезд, и в межзвездных облаках ионизированный газ движется в магнитном поле, а с другой стороны, нашли практические применения в земных условиях для различных технических целей. Одной из таких целей является прямое превращение тепла в электрическую энергию, осуществляемое в так называемых магнитогидродинамических (МГД) генераторах преобразовании кинетической энергии ионизированного газа в электрическую при движении этого газа в магнитном поле.

Принцип устройства МГД-генератора заключается в использовании движения жидкого или газообразного проводника в магнитном поле. В потоке газа, протекающем в магнитном поле, возникает

электрический ток, а сам поток тормозится. В рабочем канале генератора происходит превращение кинетической энергии газа или преобразование тепла в электрическую энергию (рис. 1).

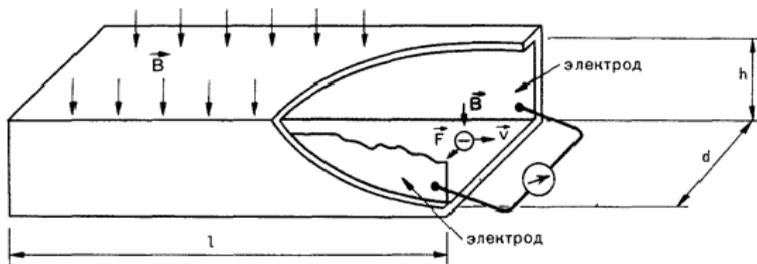


Рис. 1. Схема МГД-генератора

Преимущества МГД-генераторов заключается в сравнительной простоте процесса преобразования тепла в электрическую энергию, поскольку для этого не требуется каких-либо вращающихся частей типа лопастей газовой или паровой турбины и возможно достижение предельно высокого КПД комбинированием МГД-генератора с обычными энергетическими установками [1].

Развитие МГД-преобразователей и перспективы их применения будут зависеть от развития плазменных, электромагнитных и высокотемпературных технологий [2]. Основные исследования и разработки, связанные с МГД-генерацией, включают в себя исключительно использование в качестве рабочего тела плазму или нагретый до высоких температур газ с различного рода металлическими присадками (наиболее эффективно добавление калия и цезия). Помимо нагретого до высокой температуры газа в качестве рабочего тела возможно использование электропроводящих жидкостей (например, жидкие металлы или электролиты).

Морская вода – наиболее распространенный естественный электролит, который покрывает более 70 % поверхности земного шара. Большая концентрация ионов в морской воде приводит к тому, что ее удельная электропроводность оказывается высокой, составляя в океане 3–7 См/м. У дистиллированной воды проводимость составляет всего $2 \cdot 10^{-4}$ См/м. Для сравнения приведем зависимости электрической проводимости от температуры для нагретого воздуха (рис. 2) и морской воды при различной степени солёности (рис. 3).

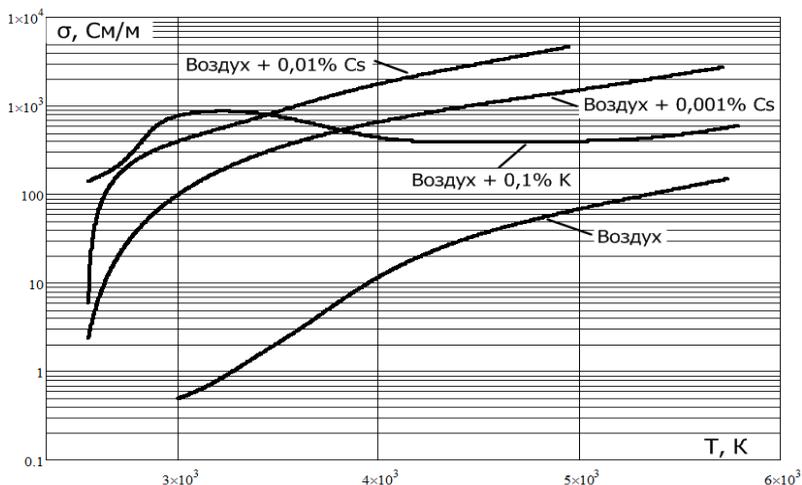


Рис. 2. Электрическая проводимость чистого воздуха с присадками калия и цезия при $p = 1000 \text{ Н/м}^2$

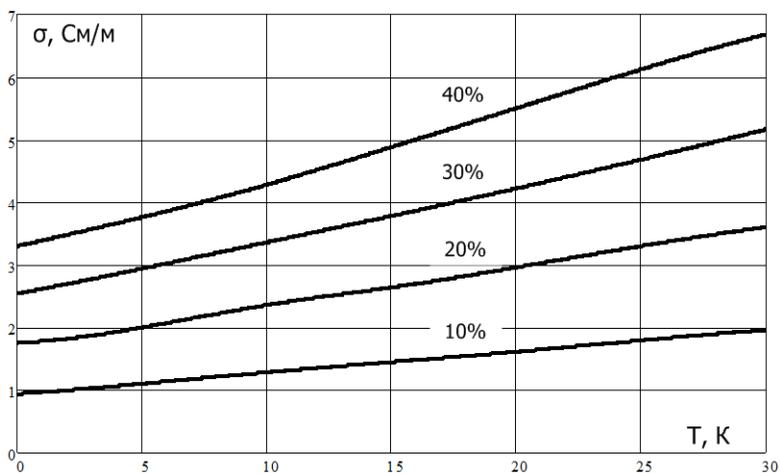


Рис. 3. Электрическая проводимость морской воды

Из представленных зависимостей можно сделать вывод о превосходстве нагретого воздуха с присадками над морской водой, но стоит обратить внимание на диапазон температур рабочего тела. Для применения в качестве рабочего тела плазмы и нагретого газа электродные и электроизоляционные материалы изготавливаются

высокотемпературными соединениями и композициями, что является достаточной проблемой и на сегодняшний день [3, 4, 5].

Морская вода не исключает проблем, связанных с применением материалов, так как и любой электролит является достаточно агрессивной средой, но не требует использования высоких температур, имея при этом хорошую электропроводность. Подвижность ионов, а следовательно, и электропроводность увеличиваются с ростом температуры (см. рис. 3). При этом происходит как возрастание собственной скорости ионов, так и уменьшение вязкости воды и увеличение степени диссоциации солей [3].

Наличие главного магнитного поля Земли, в котором движется морская вода, приводит к образованию теллурических токов в море. На рис. 4 представлена карта изодинам вертикальной составляющей напряженности геомагнитного поля [6].

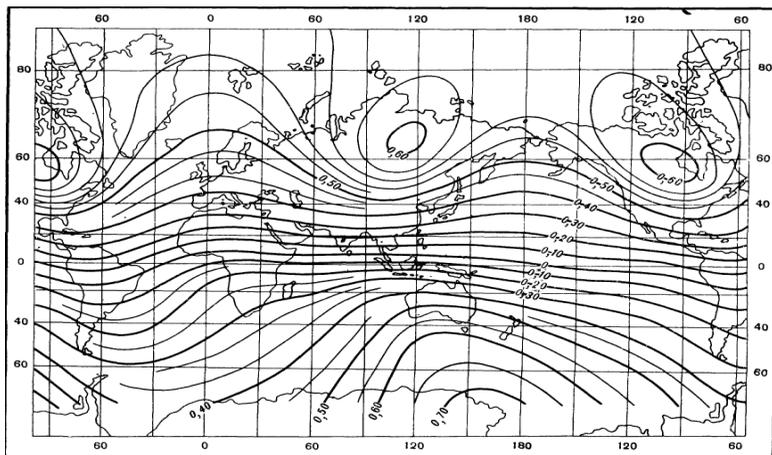


Рис. 4. Карта изодинам вертикальной составляющей геомагнитного поля

В 1945 г. измерения разности потенциалов были поставлены на Черном море. Разности потенциалов между электродами записывались регистрирующим потенциометром. Образец записи от 4 июня 1949 г. представлен на рис. 5 [6].

Колебания напряжения составляют милливольты на километры, но стоит обратить внимание, что течения в Черном море практически отсутствуют и индукция естественного геомагнитного поля земля составляет миллитесла.

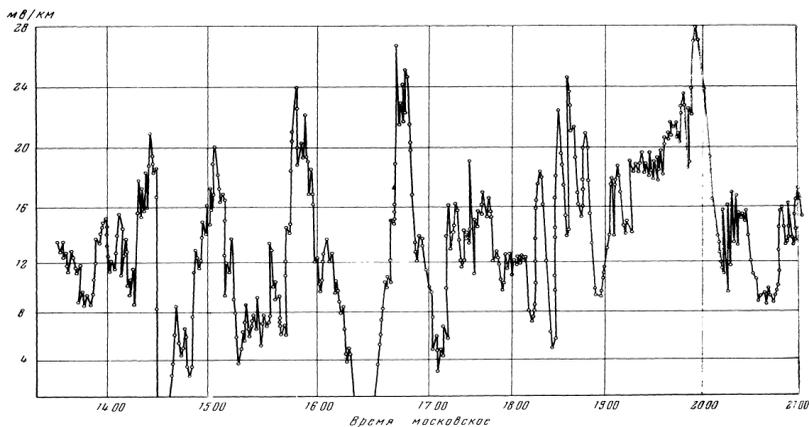


Рис. 5. Колебание напряжения в море

К примеру, можно оценить разницу потенциалов для электродов, погруженных в теплое морское течение Гольфстрим в Атлантическом океане. Зная, что ширина течения 70–90 км, средняя скорость 2 м/с, а индукция магнитного поля в районе экватора (см. рис. 4) составляет около 0,5 гауссов ($0,5 \cdot 10^{-4}$ Тл), получаем ЭДС, равную 7–9 В, что является низким показателем для таких габаритов, но если учесть, что достаточно только погрузить два электрода для выработки электроэнергии, то данную идею можно считать достаточно перспективной для дальнейшего исследования.

Библиографический список

1. Новиков И.И. Прикладная магнитная гидродинамика. – М.: Атомиздат, 1969. – 360 с.
2. Панченко В.П. Введение в магнитогидродинамическое (МГД) преобразование энергии [Электронный ресурс]. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2011. – URL: wwwcdl.bmstu.ru/e8/MGD-4/MGD-4.html (дата обращения: 02.02.2017).
3. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика: учеб. руководство для вузов: в 2 ч. Ч. 2. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1991. – 304 с.
4. Доронин Ю.П., Степанюк И.А. Электромагнитное поле океана: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во РГГМИ, 1992. – 87 с.

5. Ашкинази Л. МГД-генератор // Физико-математический журнал «Квант». – 1980. – № 11. – С. 2–7.
6. Шулейкин В.В. Физика моря. – М.: АН СССР, 1968. – 1090 с.

Сведения об авторах

Чигринец Павел Алексеевич – оператор научной роты, матрос Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург, e-mail: chigra@inbox.ru.

Остапенко Артем Ильич – старший оператор научной роты, старший матрос Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург, e-mail: ostar.art@yandex.ru.

Капустин Александр Петрович – оператор научной роты, матрос Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург, e-mail: alexander.kapustin@mail.ru.

Сенной Николай Николаевич – начальник кафедры «Электроэнергетические системы кораблей», кандидат технических наук, доцент, капитан 1-го ранга Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург.

А.Б. Шевчик, О.В. Боруш

ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ВОДОАММИАЧНЫМ ЦИКЛОМ КАЛИНЫ

Использование бинарной смеси аммиак-вода в энергетических установках связано с именем доктора Александра Калины. Комбинированная система с использованием цикла Калины на 10 % эффективнее цикла Ренкина. Такая разница обусловлена одним из свойств данной бинарной смеси – изменением температуры кипения в зависимости от доли аммиака в жидкой фазе смеси. В данной статье исследована модель низкотемпературной системы цикла Калины для производства электроэнергии из геотермального источника. Термодинамические свойства смеси аммиак-вода вычисляются с использованием уравнений свободной энергии Гиббса.

Ключевые слова: цикл Калины, комбинированный цикл, смесевое рабочее тело, водоаммиак.

A.B. Shevchik, O.V. Borush

THERMAL PERFORMANCE OF THE POWER PLANT WITH WATER-AMMONIA KALINA CYCLE SYSTEM

The use of a binary ammonia-water mixture in power plants is associated with the name of Dr. Alexander Kalin. The combined system using the Kalina cycle is 10 % more effective the classic Rankine cycle. This difference is due to one of the properties of this binary mixture - the change in the boiling point, depending on the fraction of ammonia in the liquid phase of the mixture. In this article, we study the model of low temperature Kalina cycle system is investigated for generating electricity from geothermal source. The thermodynamic properties of ammonia-water mixture are computed using Gibbs free energy equations.

Keywords: Kalina cycle, combined cycle, mixed working fluid, water ammonia.

Использование бинарной смеси вода-аммиак в качестве рабочей жидкости имеет свои положительные стороны в утилизации сбросового тепла для производства электроэнергии из низкотемпературных источников тепла. Все больше приобретают интерес разработки инновационных, экономичных, эффективных и надежных систем преобразования энергии с использованием технологии цикла Калины. Смесь аммиака и воды кипит при более низких переменных температурах в отличие от воды, которая кипит при постоянной температуре. Расширение интервала температур делает цикл

Калины идеальным для использования в промышленных отходах тепла, солнечной, геотермальной и комбинированной энергетике. В системе цикла Калины тепло передается в смесь аммиака и воды либо через теплообменник, либо через трубы котла. Смесь аммиака и воды, поступающая в сепаратор, существует в двухфазной области. Это означает, что насыщенные пары сосуществуют в равновесии с насыщенной жидкостью, и поэтому концентрации аммиака в жидкой и паровой фазах различны. Паровую смесь высокого давления из сепаратора затем пропускают через обычную паровую турбину для выработки электроэнергии.

Для анализа систем производства электроэнергии на основе аммиака и воды требуются термодинамические свойства смеси аммиак–вода при различных условиях давления, температуры и концентрации смеси. Из литературы следует, что входная концентрация турбины является ключевым параметром, который влияет на работу систем цикла Калины. Характеристики бинарной смесительной установки по отношению к входной концентрации турбины в литературе не сообщаются. Концентрация аммиака в рабочей жидкости принимается равной 0,64, что приводит к максимальной эффективности цикла.

На рис. 1 показана принципиальная схема цикла Калины. Тепло от геотермальной жидкости извлекается в парогенераторе 8–9. Рабочее тело разделяют на богатую аммиаком смесь паров 10 и слабую жидкую смесь 9 в сепараторе. Пар из сепаратора перегревается перед передачей его в турбину. Пар в 1 расширяется в турбине для выработки электроэнергии. Слабую жидкую смесь, поступающую из сепаратора, дросселируют 12–13 и смешивают с выходной жидкостью турбины в смесителе 3. Затем смесь пропускается через низкотемпературный теплообменник 3–4 и конденсируется до насыщенного жидкого состояния в конденсаторе 5. Конденсат перекачивается до давления сепаратора 6 и нагревается в низкотемпературном теплообменнике 6–7 и в высокотемпературном теплообменнике 7–8. Предварительно нагретую жидкую смесь 8 превращают в смесь жидких паров 9 в парогенераторе рекуперации тепла. Затем его подают в сепаратор, где разделяют жидкость и смесь паров. Цикл повторяется для непрерывной выработки электроэнергии. Рабочая жидкость на выходе сепаратора 1 находится в состоянии насыщенного пара. Давление сепаратора 10 можно определить по температуре сепаратора и кон-

центрации паров, так как это функция температуры и концентрации в состоянии насыщенного пара. Температура 11 на выходе жидкости в сепараторе равна температуре точки кипения.

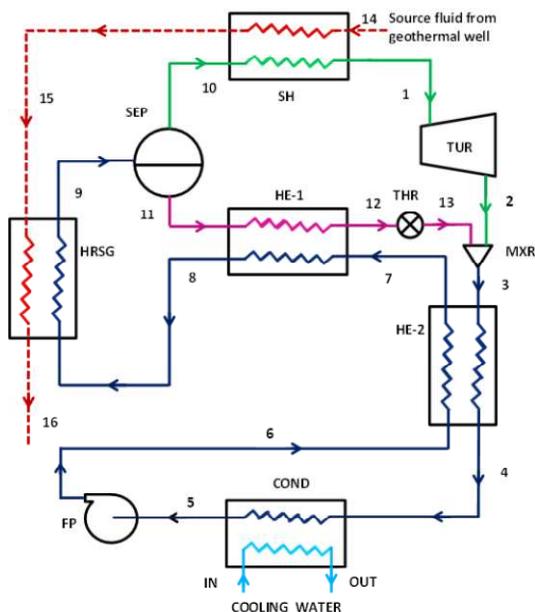


Рис. 1. Принципиальная схема геотермальной электростанции, работающей на цикле Калины; HRSG: теплоутилизационный парогенератор; SEP: разделитель; ТУР: турбина; THR: дроссельная заслонка; MXR: миксер; HE: теплообменник; COND: конденсатор

Падение давления и потеря тепла в трубопроводах игнорируются. Конденсат, выходящий из конденсатора, считается насыщенной жидкостью.

Характеристики и условия системы цикла Калины

Параметры	Значение
Температура исходной жидкости	145 °С
Температура окружающей среды	23 °С
Степень перегрева	10 °С
Разность температур в клеммах	10 °С
Эффективность генератора, η_g	98 %
Изэнтропическая эффективность насоса и турбины, η_i	75 %
Механический КПД насоса и турбины, η_m	96 %

Модель низкотемпературной модели цикла Калины исследована в рабочих условиях. Изучено влияние входной концентрации турбины, концентрации сильного раствора и температуры сепаратора на эффективность цикла и удельную мощность.

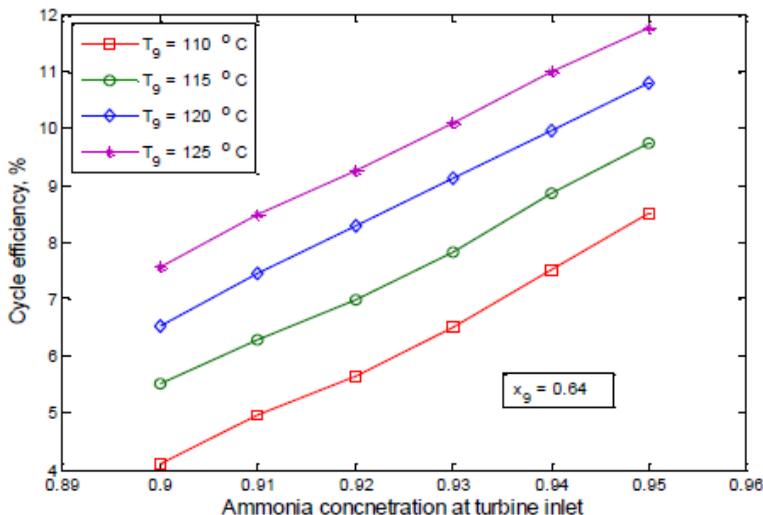


Рис. 2. Изменение эффективности цикла с входной концентрацией турбины

Текущая модель дает максимальную эффективность 11,77 % при температуре сепаратора 125 °C и 95 % концентрации пара. На рис. 2 показано влияние входной концентрации турбины на эффективность цикла при входной концентрации сепаратора 0,64. Концентрация на входе турбины варьируется от 0,9 до 0,95 для температур сепаратора 110, 115, 120 и 125 °C. Эффективность цикла увеличивается с концентрацией аммиака на входе в турбину, главным образом из-за увеличения входного давления.

Цикл Калины представляет множество новых идей для энергетики. С использованием цикла Калины и увеличением эффективности появляется возможность уменьшить размер некоторых компонентов турбины, так как требуются меньшие котлы, небольшие системы контроля за загрязнением, небольшие системы подачи топлива, обработки золы и системы охлаждения. Комбинация более высоких КПД и более низких издержек цикла Калины делает возможной эксплуатацию новых энергетических ресурсов. С повышением температуры

в сепараторе концентрация паровой смеси уменьшается при фиксированном давлении. Чтобы получить более высокую концентрацию пара, давление в сепараторе необходимо увеличить.

Библиографический список

1. Ziegler B., Trepp C. Equation of state for ammonia–water mixtures // International Journal of Refrigeration. – 1984. – Vol. 7. – № 2. – P. 101–106.
2. M.EL-Sayed, M. Tribus. A theoretical comparison of Rankine and Kalina cycles // ASME publication, AES. – 1985. – Vol. 1.
3. Patek and J. Klomfar. Simple functions for fast calculations of selected thermodynamic properties of the ammonia-water system, Refrigeration. – 1995. – 18: 228-234.

Сведения об авторах

Шевчик Анна Борисовна – студентка Новосибирского государственного технического университета, гр. ТЭМ-51, г. Новосибирск, e-mail: shevchika@yandex.ru.

Боруш Олеся Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые электрические станции» Новосибирского государственного технического университета, г. Новосибирск.

В.В. Тиунов, Д.С. Кирилловых, А.Е. Суханов

КОМПЬЮТЕРНОЕ ПОСТРОЕНИЕ ВЕКТОРНЫХ ДИАГРАММ ПРИ РАСЧЕТЕ И АНАЛИЗЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

В статье изложена компьютерная методика графического представления векторных диаграмм при расчете и анализе электрических цепей переменного тока с использованием двух программных продуктов: «Vertex v1.01» и «Vector Painter». Результаты работы применяются в учебно-научном процессе политехнического университета.

Ключевые слова: электрические цепи переменного тока, расчет и анализ, векторные диаграммы, компьютерное построение.

V.V. Tiunov, D.S. Kirillovikh, A.E. Sukhanov

VECTOR DIAGRAMS' COMPUTER REPRESENTATION IN THE CALCULATION AND ANALYSIS OF ALTERNATING-CURRENT CIRCUITS

The article shows the vector diagrams' computer representations in the calculation and analysis of alternating-current circuits with the usage of two programs: 'Vertex v1.01' and 'Vector Painter'. The results of the work is applying in the polytechnic university's scientific and educational process.

Keywords: alternating-current circuits, calculation and analysis, vector diagrams, computer representation.

Построение векторных диаграмм (ВД) является эффективным средством для контроля правильности расчетов и анализа процессов в электрических цепях переменного тока. Однако построение ВД «вручную» требует значительных усилий и затрат времени и зачастую не обеспечивает необходимой графической точности. Ввиду трудоемкости также весьма затруднен многовариантный анализ процессов в цепи при вариации ее параметров. Поэтому для указанных целей целесообразно использовать компьютер с установленными различными программами, например, с программами, представленными в работах [1, 2].

Использование программы 1 «Vertex v1.01». Программное средство «Vertex v1.01» может использоваться для отображения векторных диаграмм практически любой сложности [1].

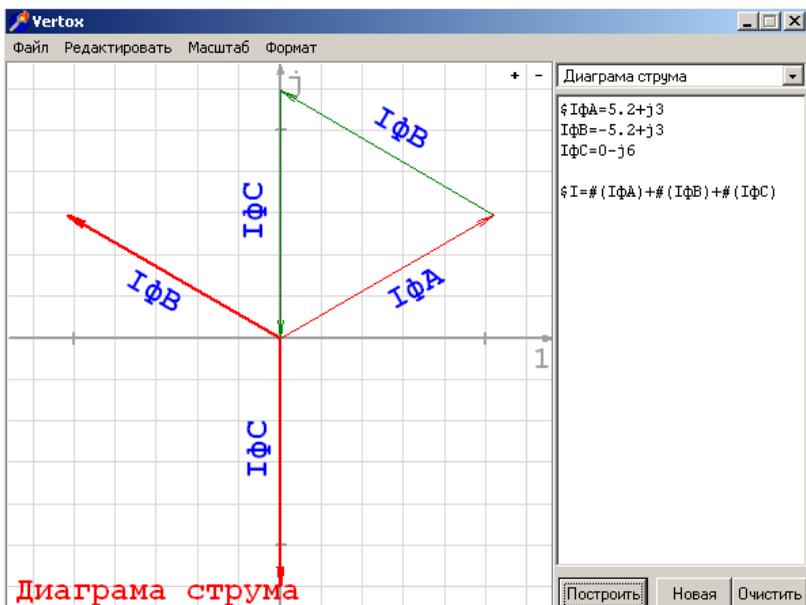


Рис. 1. Общий вид интерфейса программы

Программа предназначена для инженерно-технических работников и студентов, которые изучают такие дисциплины, как теоретические основы электротехники (ТОЭ), электротехника и др.

Общий вид программы 1. Диаграмма – визуальное отображение векторной плоскости (1, j). Вектор – комплексное число в виде суммы действительной и мнимой частей. Причем на диаграмме действительная часть отображается на оси абсцисс, а мнимая – на оси ординат. Задается векторным уравнением.

Требования к векторным уравнениям: они должны быть представлены в форме $y = f(x)$, где в левой части находится результирующее обозначение вектора, а в правой – его математическое выражение. Обозначение вектора (результатирующий идентификатор), или просто имя вектора, может быть длиной до 32 символов и содержать только символы русского и английского алфавитов и цифры. Другими словами, «U1min» и «U1Min» будут разными. В дальнейшем обозначения векторов будем также называть переменными:

– переменная одновременно может иметь действительную и мнимую части: « $U_{\min} = 124 + 240j$ », для выделения той или иной составляющей следует использовать $\text{Re}(x)$ и $\text{Im}(x)$;

– переменная не может быть задана повторно. Для этого или используйте другую переменную, или добавьте дополнительную диаграмму;

– количество символов в уравнении не ограничено;

– в правой части не могут находиться неопределенные переменные.

В математических описаниях векторов допустимы следующие специальные символы: \$ – определяет, что уравнение, начинающееся с этого символа, не отображается на векторной диаграмме, но устанавливает значение переменной, которая может использоваться в дальнейших расчетах; j – символ, указывающий, что данное числовое представление относится к мнимой части уравнения.

Также комплексную запись можно использовать при экспоненциальной форме представления величины. Пример: « $U_1 = 220 \cdot \exp(j \cdot 2/3 \cdot \pi)$ », что интерпретируется как поворот вектора $U = 220$ на угол 120° или $2/3$ Пи, где Пи – константа, $\pi = 3,14159$.

Математические функции, известные системе: $\sin()$ – возвращает значение функции, заданной в радианах, в значения в градусах. Для упрощения введена константа « π » ($\pi = 3,14159$); $\cos()$ – возвращает значение функции, заданной в радианах; $\text{Re}()$ – представляет действительную часть комплексного числа; $\text{Im}()$ – представляет мнимую составляющую комплексного числа; $\exp()$ – соответствует обозначению функции экспоненты. Если значение функции включает j то воспроизводится комплексная форма записи. Если же не включает, то рассчитывается числовое значение экспоненты при основании $2,73$; π – константа, $\pi = 3,14159$.

Порядок работы с программой 1: После запуска программы необходимо создать новую диаграмму, определив ее имя. Это имя будет отображено на диаграмме в виде подписи красного цвета в левом нижнем углу экрана. Подпись можно отключить, используя пункт меню «Формат». Также это название будет определять диаграмму в элементе выбора диаграммы. Теперь необходимо ввести векторные уравнения. Требования к ним мы определили раньше. На основании векторных уравнений строятся векторы на векторной диаграмме.

После этого нажатием кнопки «Построить» мы воспроизводим результирующую диаграмму в левом окне. В том же случае, если

отображения не произошло, можно предположить, что где-то в наших записях имеется ошибка.

Так же, если вектор активен, то двойным нажатием левой клавиши мы входим в форму определения вектора, в которой находятся два цветных прямоугольника – для цвета вектора и цвета подписи. Также здесь имеется поле для ввода и редактирования текстовой информации о векторе. Есть возможность сохранения информации в файл для последующего чтения.

Использование программы 2 «Vector Painter». Программа производит построение векторных диаграмм по данным, полученным от различных измерительных приборов, контролирует различные параметры векторных диаграмм и сигнализирует о выходе какого-либо параметра за допустимые пределы. Для того чтобы построить векторную диаграмму, прежде всего необходимо осуществить расчет цепи «классическим» («метод проводимостей») и «символическим» методами. Нам потребуются следующие значения: фазные напряжения; фазные токи; углы между векторами токов и напряжений в соответствующих фазах. Итак, приступим к построению диаграммы. Допустим, произведя расчет, мы получили следующие значения фазных величин:

$$1) I_a = 20,37 \text{ A} \quad U_a = 219,4 \text{ В} \quad \varphi_a = 68,2^\circ;$$

$$2) I_b = 40,74 \text{ A} \quad U_b = 219,4 \text{ В} \quad \varphi_b = 68,2^\circ;$$

$$3) I_c = 26,6 \text{ A} \quad U_c = 219,4 \text{ В} \quad \varphi_c = 14,1^\circ.$$

Нужно указать на экране тип подключения (2- или 3-элементное, рис. 2), «кликая» на иконку «3-элементное подключение». Нажав на картинку с устройством – источником данных, выбираем «ZERA TRZ 308».

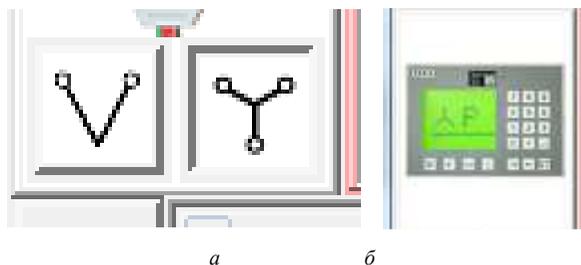


Рис. 2. Тип подключения (а), устройство-источник данных (б)

В левом столбце выбираем рабочее поле «диаграмма токов и напряжений» (рис. 3)

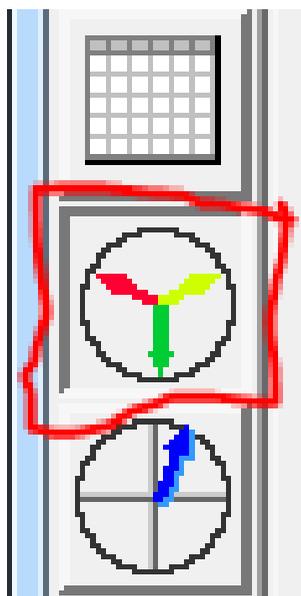


Рис. 3. Выбор поля для работы

Заносим значения напряжений в программу, величина углов неизменна и будет такой же, как указано на рис. 4.

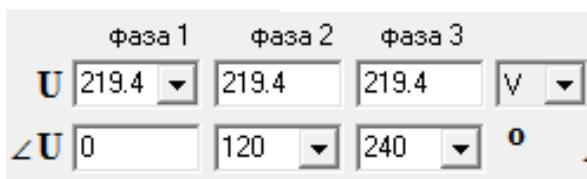


Рис. 4. Значения фазных напряжений

Указываем величину фазных токов, и под каждым значением следует указать угол между вектором тока и соответствующим ему напряжением (рис. 5). Следует помнить, если в вашей схеме имеются конденсаторы, то в таком случае ток будет опережать по фазе напряжение и следует угол записывать со знаком «минус», а если в вашей

цепи присутствует катушка индуктивности, то тогда ток будет отставать по фазе от напряжения, и в таком случае нужно записать значение со знаком «плюс». Далее, чтобы получить диаграмму, нажимаем на выделенную иконку (рис. 5).

	фаза 1	фаза 2	фаза 3	
I	20.37	40.74	26.605	A ▾
$\angle I$	-68	-68	-14	>>

Рис. 5. Значение фазных токов и углов сдвига фаз

В итоге получаем готовую векторную диаграмму токов и напряжений (рис. 6).

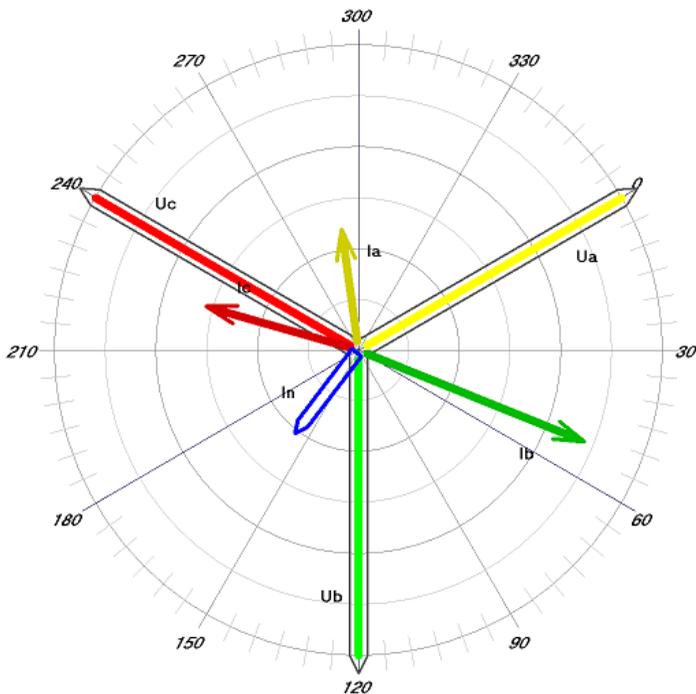


Рис. 6. Итоговый вид векторной диаграммы токов и напряжений, рассчитанный по программе 2

Библиографический список

1. Программа «VectorPainter» [Электронный ресурс]. – URL: <http://vectorpainter.ru/index/0-15> (дата обращения: 28.05.2017).
2. Шиян А.Ф. Использование свободных графических программ при изучении ТОО: учеб.-метод. пособие. – М., 2014.

Сведения об авторах

Тиунов Василий Васильевич – кандидат технических наук, профессор кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: tiuvas@mail.ru.

Кирилловых Дмитрий Сергеевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ГМ-15-1с, г. Пермь, e-mail: dkirillovikh@mail.ru.

Суханов Андрей Евгеньевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ГМ-15-1с, г. Пермь, e-mail: andy1997s@yandex.ru.

Секция IV
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Т.В. Белаш, В.И. Фрейман

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ АРИФМЕТИЧЕСКИХ КОДОВ В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Исследуются свойства и возможности арифметических кодов в инфокоммуникационных системах. Приведены модели контроля арифметических и логических операций для исследований.

Ключевые слова: арифметические коды, инфокоммуникационные системы, контроль по модулю простого числа, MatLab/Simulink, контроль арифметических операций, контроль логических операций.

T.V. Belash, V.I. Freyman

THE RESEARCH OF PROPERTIES AND POSSIBILITIES OF ARITHMETIC CODES APPLICATION IN THE INFOCOMMUNICATION SYSTEMS

The article considers the research of properties and possibilities of arithmetic codes application in the infocommunication systems. The author presents the models of arithmetic and logic operations control.

Keywords: arithmetic codes, infocommunication systems, prime number modular control, MatLab/Simulink, arithmetic operations control, logic operations control.

Актуальностью исследования является тот факт, что корректирующие коды обнаруживают и исправляют ошибки, возникающие вследствие действия шума при хранении, передаче и обработке информации по сетям связи. Основной проблемой здесь является экономное использование избыточности для достижения требуемой помехоустойчивости передачи данных по каналу с шумом или при их хранении на некотором носителе. Знание раздела теории кодирования необходимо для разработчиков как аппаратного, так и программного обеспечения современных информационных систем.

В процессе вычислений происходят постоянная передача и преобразование информации, находящейся в памяти ЭВМ, арифметическом или управляющем устройстве. Таким образом, при проектировании ЭВМ необходимо предусмотреть меры как

выявления ошибок, так и их исправления. Эта функция возлагается на систему контроля. Система контроля – совокупность аппаратных и программных методов и средств, обеспечивающих определение правильности работы автомата в целом или его отдельных узлов, а также автоматическое исправление выявленных ошибок.

Объект исследования – алгоритмы обнаружения и исправления арифметических ошибок.

Предмет исследования – арифметические коды, методика реализации помехоустойчивого кодирования.

Цель исследования – рассмотреть арифметические коды для организации обнаружения и исправления ошибок передачи данных.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выбрать среду моделирования;
- определить арифметические коды, использующие контроль по модулю простого числа;
- с помощью компьютерной модели в среде MatLab/Simulink построить модель для арифметических и логических операций.

Арифметические коды, использующие контроль по модулю простого числа. Рассмотрим арифметические коды, использующие числовой контроль по модулю простого числа, получивший широкое распространение в вычислительных системах и вычислительных устройствах систем передачи данных для контроля всех основных арифметических и логических операций. К их числу относятся: сложение, вычитание, умножение, логическое сложение (дизъюнкция), логическое умножение (конъюнкция), отрицание равнозначности (сложение по mod 2), инвертирование, операции сдвига разного рода (арифметического и логического сдвига влево-вправо, циклического сдвига). Обобщенная структурная схема, реализующая числовой контроль по модулю, приведена на рис. 1.

Суть контроля состоит в следующем. Обозначим основную контролируемую операцию над операндами A и B через $*$, а вычеты операндов A и B через r_a и r_b соответственно: $A \equiv r_a \pmod{p}$; $B \equiv r_b \pmod{p}$.

Процесс образования вычета (остатка) называется сверткой числа. Параллельно с основной операцией $*$ над операндами A и B в контролирующем устройстве выполняется определенная операция $*$ над операндами r_a и r_b . Затем результат операции C сворачивается, и ве-

личина r_c сравнивается с результатом r'_c , полученным в контрольном устройстве. Совпадение r_c и r'_c свидетельствует о правильном выполнении операции. Учитывая, что разрядность вычета значительно меньше размерности операнда, можно ожидать, что суммарная сложность контролирующего устройства и устройств свертки окажется меньше сложности устройства, дублирующего основное (контролируемое) устройство.

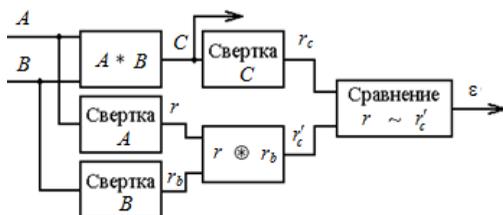


Рис. 1. Обобщенная структурная схема числового контроля по модулю простого числа

Объектами контроля являются устройства, реализующие названные выше операции: сумматоры, счетчики, сдвигатели, арифметические устройства и пр.

Приведем ряд математических операций над вычетами при числовом методе контроля основных операций по преобразованию информации в ЭВМ [1].

Контроль арифметических операций. Структурная схема модели в MatLab Simulink, реализующая контроль арифметических операций, приведена на рис. 2.

Данный вид контроля основан на использовании известных из теории чисел тождеств сравнимости между собой суммы (произведения) чисел с суммой (произведением) остатков этих же чисел по какому-либо модулю:

$$\sum_{i=1}^n A_i \equiv \sum_{i=1}^n r_{a_i} \pmod{p}. \quad (1)$$

$$\prod_{i=1}^n A_i \equiv \prod_{i=1}^n r_{a_i} \pmod{p}. \quad (2)$$

Таким образом, если в операции сложения (умножения) участвуют два числа A и B , а C есть результат операции сложения (умножения), то справедливы следующие правила:

{ при контроле операции сложения }

$$r_c \equiv (r_a + r_b) \pmod{p}, \quad (3)$$

{ при контроле операции умножения }

$$r_c \equiv (r_a \cdot r_b) \pmod{p}. \quad (4)$$

Пусть операция деления имеет вид

$$Z = \frac{X - W}{Y}; \quad X = ZY + W.$$

Тогда при контроле операций деления

$$r_x \equiv [(r_y r_z) + r_w] \pmod{p}, \quad (5)$$

где r_x , r_y , r_z и r_w – остатки от деления на модуль p делимого X , делителя Y , частного Z и остатка W соответственно [1].

При выборе одной из арифметических операций: умножения, сложения, вычитания или деления нужно настроить блоки А*В и га*гв под нужную операцию.

Пример блока А*В представлен на рис. 2.

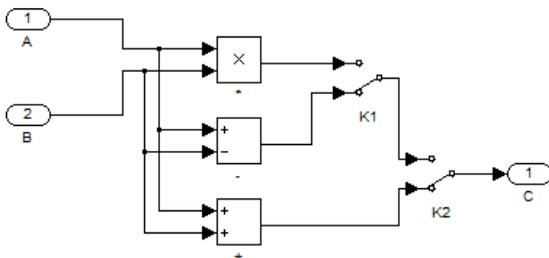


Рис. 2. Блок А*В для арифметических операций

Контроль логических операций. Структурная схема модели в MatLab/Simulink, реализующая контроль логических операций, приведена на рис. 3.

Для контроля операций логического сложения $C = A \vee B$, логического умножения $C = A \& B$ и поразрядного сравнения $C = A \oplus B$ справедливы следующие контрольные соотношения:

$$\begin{aligned} r'_\vee &\equiv (r_a + r_b - r_{\&}) \pmod{p}, \\ r'_{\&} &\equiv (r_a + r_b - r_\vee) \pmod{p}, \\ r'_{\oplus} &\equiv (r_a + r_b - 2r_{\&}) \pmod{p}. \end{aligned} \quad (6)$$

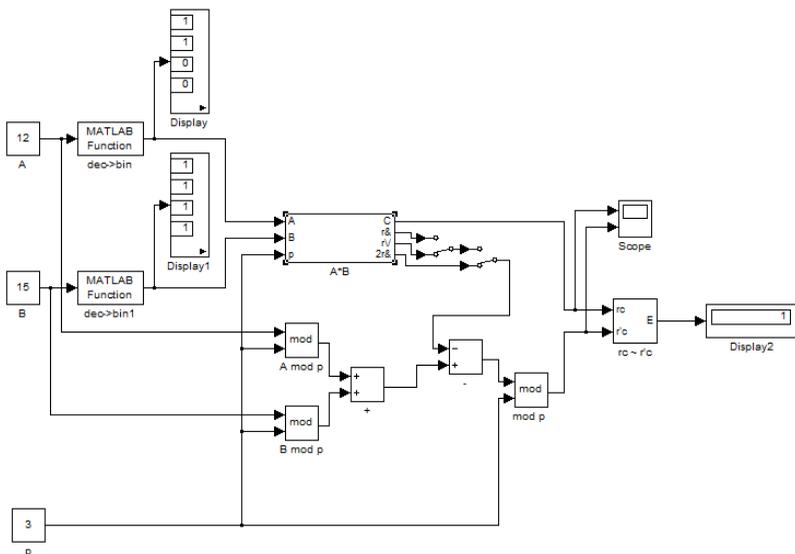


Рис. 3. Структурная схема модели контроля логических операций

При выборе одной из логических операций: логического сложения, логического умножения или поразрядного сравнения нужно настроить блок $A*B$ под нужную операцию. Пример блока $A*B$ представлен на рис. 4.

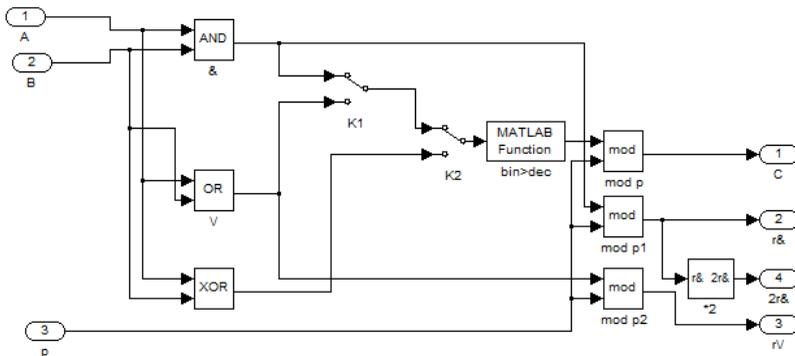


Рис. 4. Блок $A*B$ для логических операций

В заключение можно отметить, что все поставленные задачи были выполнены. Использование моделей, построенных в среде MatLab/Simulink, помогают эффективно проводить исследования

свойств и возможностей применения арифметических кодов в инфокоммуникационных системах. Дальнейшее направление исследования будет связано с усовершенствованием модели, анализом помехоустойчивости и поведением системы при различных начальных данных.

Библиографический список

1. Кон Е.Л., Фрейман В.И. Теория электрической связи. Помехоустойчивая передача данных в информационно-управляющих и телекоммуникационных системах: модели, алгоритмы, структуры. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 312 с.
2. Вернер, М. Основы кодирования: учебник для вузов. – М.: Техносфера, 2014. – 288 с.
3. MatLab Documentation [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mathworks.com/help/matlab/> (дата обращения: 14.05.2017).

Сведения об авторах

Белаш Тимофей Владимирович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК4-16-1м, e-mail: Tima-belash94@rambler.ru.

Фрейман Владимир Исаакович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: vfrey@mail.ru.

Е.А. Губарев, И.И. Безукладников

СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНО-ФИЗИЧЕСКОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕВЫХ ПРОТОКОЛОВ

В данной статье рассмотрено создание виртуально-физического стенда для исследования промышленных сетевых протоколов на примере Clipsal C-bus. Работа состояла из трёх этапов. Первый этап включает в себя аналитический обзор популярных промышленных сетевых протоколов. Во второй части работы описывается проектирование виртуально-физического стенда. Третий этап включает в себя применение разработанного виртуально-физического стенда для организации лабораторных работ студентов.

Ключевые слова: сетевые промышленные протоколы, виртуально-физический стенд, clipsal c-bus, лабораторная работа.

E. A. Gubarev, I. I. Bezukladnikov

CREATING A VIRTUAL-PHYSICAL STAND FOR RESEARCHES OF THE INDUSTRIAL NETWORK PROTOCOLS

This article considers creating a virtual-physical stand for researches of the industrial network protocols using the example of Clipsal C-bus. The work includes three parts. The first part includes an analytical review of popular industrial network protocols. The second part of the work describes the design of a virtual-physical stand. The third part includes the application of the developed virtual-physical stand for the laboratory works of students.

Keywords: industrial network protocols, virtual-physical stands, clipsal c-bus, laboratory work.

Процесс автоматизации промышленных производств развивается всё более ускоряющимися темпами: увеличивается количество «интеллектуальных» оконечных устройств, растёт число вовлечённых в процессы контроля и управления технологическим процессом вычислительных систем на базе микроконтроллеров. Правильное взаимодействие элементов автоматизации существует благодаря промышленным сетям, которые базируются на различных сетевых протоколах.

Технологии автоматизации промышленного производства, интеллектуального управления зданием, промышленного мониторинга и управления являются приоритетными технологиями нашего века.

Базовое знакомство с данными технологиями должно происходить во время обучения студентов в технических учебных заведениях.

На сегодняшний день существуют десятки разнообразных промышленных сетевых протоколов. В работе был произведён обзор наиболее популярных промышленных протоколов: Lonworks, CAN, C-bus, ZigBee.

Для выбора технологии, наиболее приемлемой для создания виртуально-физического стенда, был предложен метод многокритериальной оценки, учитывающий стоимость покупки оборудования заданного протокола, востребованность протокола на рынке телекоммуникационных услуг, совместимость с другими промышленными сетями, возможные среды передачи, количество уровней модели OSI/ISO.

По результатам взвешенной оценки наиболее выгодным протоколом для создания виртуально-физического стенда является протокол C-bus. Он имеет преимущества по цене, востребованности и совместимости с другими промышленными сетями.

При проектировании виртуально-физического стенда были решены следующие задачи:

- обозначены критерии для выбора оборудования и программного обеспечения для создания виртуально-физического стенда;
- по заданным критериям осуществлён выбор оборудования и программного обеспечения для создания виртуально-физического стенда;
- разработан виртуально-физический стенд по исследованию промышленных сетевых протоколов, который позволит проводить актуальное и эффективное обучение студентов по технологии C-Bus;
- проведена настройка работы виртуально-физического стенда.

Разработанный стенд представляет собой инфраструктуру, представленную на схеме (рисунок). Виртуально-физический стенд включает в себя персональный компьютер с подключенным к нему контроллером, устройствами и датчиками, связанными между собой.

Виртуально-физический стенд для изучения промышленных сетевых протоколов на примере C-Bus применим для организации лабораторных работ студентов. Разработан курс лабораторных работ для студентов-магистрантов 1-го курса: приведены темы возможных лабораторных работ, разработана методика лабораторной работы по одной из предложенных тем. Курс лабораторных работ призван решить задачу овладения базовыми знаниями в области промышленных сетевых протоколов.



Рис. Инфраструктура виртуально-физического стенда

В результате проведённой работы был создан, настроен и установлен виртуально-физический стенд для изучения технологии SlipSal C-Bus в лаборатории кафедры «Автоматика и телемеханика» электротехнического факультета, а также создано методическое обеспечение для одной из лабораторных работ курса.

Библиографический список

1. Безукладников И.И., Русских М.В., Кон Е.Л. Эмуляция прикладных протоколов промышленных сетей в базе виртуально-физической инфраструктуры // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы краевой науч.-техн. конф. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010.
2. Ву Т.З. Анализ систем автоматизированного управления умным домом // Молодой ученый. – 2011. – № 4. – Т. 1. – С. 28–31.

Сведения об авторах

Губарев Евгений Андреевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК3-16-1м, г. Пермь, e-mail: eugenegubarev@gmail.com.

Безукладников Игорь Игоревич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: corrector@at.pstu.ru.

А.В. Елтышев, А.И. Посягин

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ АРХИТЕКТУРЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ САМОМАРШРУТИЗИРУЮЩЕГОСЯ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

В данной работе выполнен краткий анализ недостатков архитектуры существующей искусственной нейронной сети самомаршрутизирующегося нейросетевого аналого-цифрового преобразователя, для устранения которых была предложена альтернативная архитектура нейронной сети. Представлены варианты новой архитектуры с распределением нейронов по секторам, а также измененный вариант архитектуры. Произведен анализ недостатков альтернативной архитектуры нейронной сети.

Ключевые слова: аналого-цифровой преобразователь, искусственная нейронная сеть, основной измерительный нейрон, отказоустойчивость, кольцевая архитектура, многоуровневое кольцо.

A.V. Eltyshv, A.I. Posyagin

ALTERNATIVE ARCHITECTURE DESIGN CONCEPTS OF NEURAL NETWORK FOR SELF-ROUTING ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER

The brief analysis of architecture disadvantages of exist artificial neural network of self-routing neural net analog-to-digital converter is offered in this paper. An alternative architecture is given as a remedial action. New architecture options with neurons distribution to sectors and changed architecture option are presented. The alternative architecture disadvantages of neural network are analyzed.

Keywords: analog-to-digital converter, artificial neural network, basic measuring neuron, fault tolerance, ring architecture, multilayer ring.

С развитием современных технологий растут требования к основным характеристикам автоматизированных систем управления, таким как быстродействие, время наработки, отказоустойчивость [1] и т.д. Для систем, связанных с фактором риска (система пожаротушения, различные системы контроля, и т.д.), ключевой характеристикой является отказоустойчивость, которая согласно теории надежности и диагностики зависит от отказоустойчивости каждого компонента системы. Поскольку системы данного типа, как правило, получают необходимую информацию об исследуемой среде (объекте) с помо-

щью датчиков, формирующих аналоговый сигнал, возникает необходимость обеспечить приемлемую отказоустойчивость аналого-цифрового преобразователя (АЦП). В связи с этим ведутся разработки самомаршрутизирующегося нейросетевого АЦП [2], отличительной особенностью которого является высокая отказоустойчивость, обеспечиваемая за счет потоково-динамической архитектуры преобразующей части (искусственной нейронной сети) АЦП.

В настоящее время нейронная сеть (НС) разрабатываемого самомаршрутизирующегося аналого-цифрового преобразователя имеет архитектуру кольца с дополнительными обходными связями (рис. 1) [3]. Такая архитектура обеспечивает гибкость маршрутизации входных аналоговых сигналов. Размещение входного сигнала происходит посредством активных основных измерительных нейронов (ОИН) сети. Активные ОИН собирают информацию о нейронах, число которых достаточно для обработки заявки максимальной разрядности, с помощью метода «эхо-локации» [4].

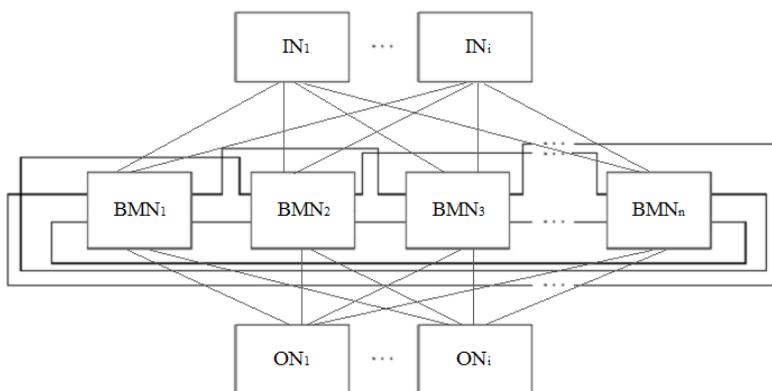


Рис. 1. Архитектура НС

Наличие у каждого ОИН связей с входными и выходными нейронами упрощает доступ входных сигналов к участкам сети, готовым к формированию индивидуального АЦП определенной разрядности и проведению измерения. Однако с ростом максимальной требуемой разрядности увеличиваются временные (число тактов опроса нейронов активным ОИН) и аппаратные затраты (число связей входного и выходного нейронов с каждым ОИН). Чтобы решить возникшие проблемы, была предложена альтернативная архитектура НС (рис. 2).

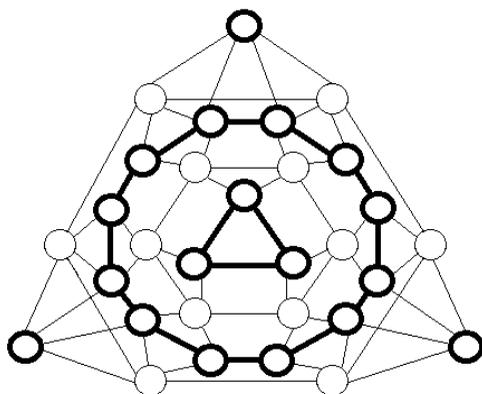


Рис. 2. Альтернативная архитектура НС

Особенностью данной архитектуры являются минимальные аппаратные затраты на связи между входными-выходными нейронами (ВВН) с ОИН и гибкость коммутации входного аналогового сигнала по НС. Весь массив ОИН разделен на равные сектора, число которых соответствует количеству ВВН (рис. 3).

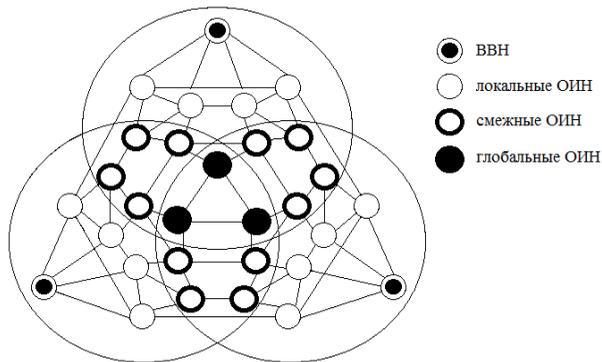


Рис. 3. Распределение ОИН по секторам

Изначально полагалось, что размер сектора соответствует максимальной разрядности, требуемой входным сигналом. Однако разделение по секторам может повлечь за собой простаивание ОИН, так как входному сигналу может не потребоваться весь сектор для формирования ИАЦП. В качестве решения возникшей проблемы было

предложено динамически распределять часть нейронов каждого сектора между остальными. Таким образом, каждый сектор состоит из локальных ОИН (принадлежат только к конкретным ВВН), смежных (общие для двух соседних секторов) и глобальных (доступны всем секторам). Первыми в приоритете размещения сигнала являются локальные, их число соответствует минимальной требуемой разрядности, затем смежные (используются в случае, когда локальных не хватает), и, наконец, глобальные.

Для реализации такой коммутации требуется достаточно большое число связей между ОИН, что с ростом сети подразумевает большие аппаратные затраты на них. Кроме того, в ходе моделирования процесса формирования ИАЦП была выявлена возможность простоя глобальных нейронов, так как при попытке разместить ИАЦП в сектор с занятыми смежными ОИН уменьшается шанс достигнуть глобальных ОИН, а также попасть обратно к ВВН.

На рис. 4 изображена архитектура, в которой отсутствуют глобальные ОИН и добавлены связи между смежными ОИН соседних секторов для увеличения возможности формирования ИАЦП по НС. Теперь в процессе формирования ИАЦП будет занимать поочередно по одному смежному, однако принятое решение не избавляет от простаивания ОИН.

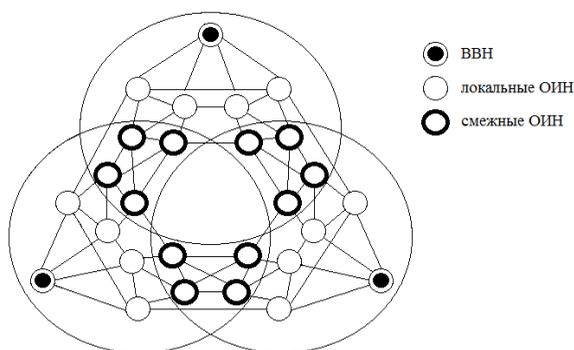


Рис. 4. Измененная альтернативная архитектура НС

Таким образом, альтернативная архитектура НС, несмотря на некоторые преимущества перед кольцевой структурой, для обеспечения адекватного функционирования нуждается в доработке алгоритма процесса формирования ИАЦП и, если это будет возможно, в уменьшении затрат на связи между ОИН.

В ходе работы были обозначены следующие дальнейшие задачи:

- доработать алгоритм процесса формирования ИАЦП;
- разработать аналитическую и имитационную модели альтернативной архитектуры НС;
- сравнить эффективность функционирования многоуровневой и кольцевой архитектур при одинаковых входных параметрах.

Библиографический список

1. Кучеров Б.А. Анализ проектных решений для автоматизированной системы распределения средств управления космическими аппаратами // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2015. – № 4. – С. 73–79.

2. Посягин А.И., Южаков А.А. Самомаршрутизирующийся аналого-цифровой преобразователь на основе двухслойной нейронной сети // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2013. – № 11.

3. Макогонов, Н.Г., Посягин, А.И., Южаков, А.А. Структура и алгоритм работы коммутатора в нейронной сети самомаршрутизирующегося аналого-цифрового преобразователя // Электротехника. – 2015. – №11. – С. 51–55.

4. Макогонов Н.Г., Посягин А.И., Южаков А.А. Принципы самомаршрутизации сигналов в аналого-цифровом преобразователе на основе однослойной нейронной сети // Электротехника. – 2016. – № 11. – С. 3–6.

Сведения об авторах

Елтышев Александр Владимирович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр.ТК4-15-1м, г. Пермь, e-mail: eltysheval322@gmail.com.

Посягин Антон Игоревич – ассистент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, e-mail: posyagin.anton@gmail.com.

С.С. Ермилов, С.А. Тюрин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ УРОВНЯ ЗАТУХАНИЯ СИГНАЛА

В данной статье рассмотрен метод определения местоположения субъекта с помощью одной из характеристик мобильной связи – затухание сигнала. В процессе работы были проведены измерения затухания сигнала с помощью мобильного телефона. В результате работы были сделаны промежуточные выводы о зависимости затухания от расстояния базовой станции.

Ключевые слова: базовая станция, сотовая связь, затухание сигнала, местоположение.

S.S. Ermilov, S.A. Tyurin

DETERMINATION OF LOCATION USING THE LEVEL OF SIGNAL ATTENUATION

In this article describes the method of determining the location of the subject using one of the characteristics of mobile communications – attenuation of the signal. In the process, we measured the attenuation using a mobile phone. The result was made interim conclusions about the dependence of attenuation on the distance of the base station.

Keywords: base station, mobile communication, signal attenuation, location.

Существует несколько способов определения местоположения какого-либо субъекта: спутниковая навигация, Wi-Fi точки доступа. Самый распространенный способ – GPS или ГЛОНАСС, которые используют для определения местоположения субъекта спутник. Передатчиком является спутник, а приемником сигнала может быть, например, обычный телефон, поддерживающий данную функцию.

Существует альтернативный способ определения местоположения – с помощью уровня затухания сигнала.

Цель работы – определить, существует ли зависимость расстояния от затухания сигнала, а также является ли расстояние главной причиной затухания сигнала в городской местности.

В данной работе были поставлены следующие задачи:

– выбрать программу или приложение для проведения измерений и фиксации данных;

– определить местоположение базовых станций с помощью мобильного телефона;

– провести измерения в различных местах;

– проанализировать полученную информацию и сделать вывод.

В данной работе используется технология UMTS. Технологии UMTS занимают полосу частот 1885–2025 МГц для восходящей линии связи и 2110–2200 МГц для нисходящей линии связи*. Измерения проводились на определенной местности, это один из районов города Перми. Необходимо установить местоположение базовых станций, так как данную информацию оператор сотовой связи не распространяет. Программа, с помощью которой была произведена работа, – Network Cell Info. Скриншот примера работы программы представлен на рис. 1.

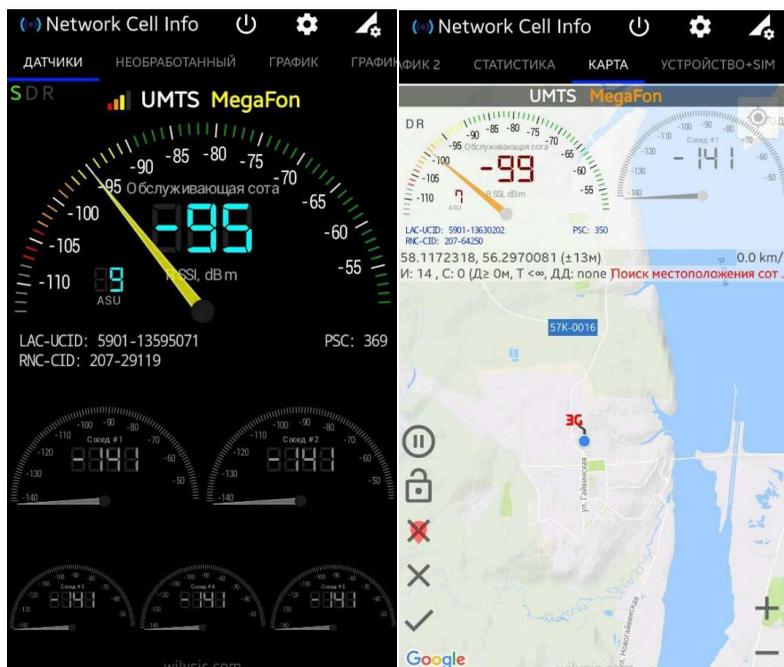


Рис. 1. Программа Network Cell Info

* Кон Е.Л., Тюрин С.А., Матушкин Н.Н. Перспективные технологии беспроводных городских инфокоммуникационных сетей. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 163 с.

но данная зависимость существует. При отдаленности от базовой станции более чем на 600 м уровень затухания непременно увеличивается во всех трех направлениях.

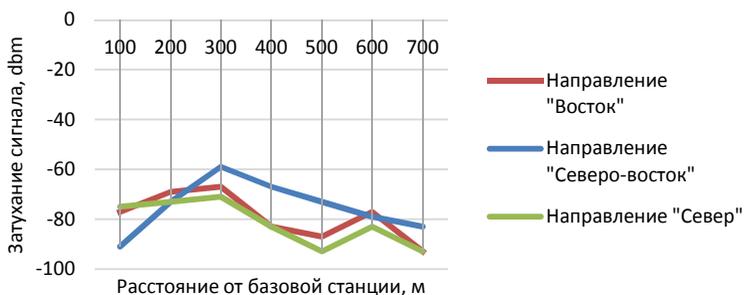


Рис. 3. Результаты измерений затухания сигнала в трех направлениях

В городской местности сигнал затухает в большей степени из-за таких процессов, как дифракция, отражение и рассеяние. Дальнейшее направление работы будет связано с рассмотрением моделей распространения радиоволн и применением их для дальнейших расчетов.

Сведения об авторах

Ермилов Сергей Сергеевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК4-16-1м, г. Пермь, e-mail: Ser-ermilo@yandex.ru.

Тюрин Сергей Александрович – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: tiurinsa@yandex.ru.

Ю.А. Жакова

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ КАНАЛОВ КОДИРОВАНИЯ В КВАНТОВЫХ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ СЕТЯХ

В работе рассмотрены основные технологии, применяемые при построении квантовых криптографических сетей, проведен сравнительный анализ систем квантовых коммуникаций. На основании полученных результатов выявлены характеристики, определяющие сложность построения систем динамической маршрутизации в разветвленных сетях с большим количеством узлов. В качестве решения предложены подход и набор средств для задания механизмов управления потоками данных.

Ключевые слова: квантовые криптографические сети, программно-конфигурируемые сети, OpenFlow.

Yu.A. Zhakova

RESEARCH OF METHODS OF SWITCHING CHANNELS OF CODING IN QUANTUM CRYPTOGRAPHIC NETWORKS

In work the basic technologies used at construction of quantum cryptographic networks are considered, the comparative analysis of systems of quantum communications is made. Based on the results obtained, the characteristics that determine the complexity of constructing dynamic routing systems in branched networks with a large number of nodes are identified. As a solution, an approach is proposed and a set of tools for specifying mechanisms for managing data flows.

Keywords: quantum cryptographic networks; software-defined networks; OpenFlow.

Возрастающий интерес к вопросам защиты информации в системах передачи данных определяет стремительное развитие технологий в этой области. Информационные данные, передающиеся в традиционных сетях, используют в качестве шифрования специализированные математические алгоритмы. Поэтому эти данные подвержены риску компрометации, ведь вероятность взлома определяется лишь мощностью вычислительной системы злоумышленника, которая способна рассчитать алгоритм шифрования передаваемой информации.

Квантовые криптографические сети (ККС) предлагают принципиально новый способ защиты информации, надёжность которого

основана не на сложности решения какой-либо математической задачи, а на фундаментальных законах природы. Практическая реализация квантовых линий связи – это технология квантового распределения ключа [1].

Широкий ряд достижений в области квантовых коммуникаций все больше приближает нас к возможности создания территориально распределенных многоканальных квантовых сетей, в которых узлы хранили бы квантовые состояния и обменивались ими через защищенные каналы. Однако на сегодняшний день такие системы не предусматривают механизмов управления коммутацией квантовых каналов, а также механизмов выбора оптимального маршрута передачи информации. Следовательно, разработка методов динамической маршрутизации в ККС является важной задачей.

Для реализации механизма переключения каналов в ККС необходима интеграция такой системы управления, которая имела бы средство определения изменения конфигурации сети и могла бы в режиме реального времени получать информацию о состоянии узлов и каналов в сети и на основании этой информации вычисляла совокупные метрики маршрута в распределенной сети. Для оперативного управления процессом переключения каналов такая система должна иметь набор средств для задания механизмов распределения потоков данных, способных динамически перестраиваться в зависимости от текущего состояния сетевой инфраструктуры и требований к передаче потоков данных.

Описанная архитектура во многом соответствует принципам программно-конфигурируемых сетей (ПКС) – технологии, которая бурно развивается в последнее время и имеет широкий спектр области использования [2]. Одной из стандартизированных реализаций концепции ПКС является протокол OpenFlow. В спецификации протокола описывается следующая архитектура.

Контроллер использует OpenFlow для взаимодействия с коммутаторами и программирования их таблиц форвардинга.

OpenFlow-агент на коммутаторе конфигурирует плоскость передачи, исходя из инструкций, полученных от контроллера. Плоскость передачи включает следующие компоненты [3]: OpenFlow-порты; потоки; таблицы потоков; классификаторы; действия.

OpenFlow-порты выполняют те же функции, что и порты коммутатора в традиционных сетях, т.е. являются точкой входа и выхода

трафика. Набор стандартных портов протокола: Physical – физические порты коммутатора; Logical – это логические порты, которые напрямую не привязаны к портам оборудования.

Изменение состояния порта не приводит к автоматическому перенаправлению потока через альтернативный маршрут, поэтому при изменении состояния порта коммутатор сначала должен отправить сообщение на контроллер, чтобы тот внес необходимые изменения в таблицу потоков коммутатора. В противном случае (если порт перешел в состояние «down», но не отправил контроллеру информацию о текущем состоянии порта) все последующие пакеты будут отбрасываться, поскольку запись о потоке, которая использует этот интерфейс для отправки, останется.

Поток определяется заголовком пакета – например, комбинацией адресов MAC, IP и номеров портов источника и получателя данных. Не все элементы этой комбинации должны быть определены – например, поток может быть определен как весь трафик к некоторому хосту. В этом случае определенным является только один элемент – IP-адрес получателя данных.

Таблица потоков содержит следующие классы полей:

1) классификаторы: это могут быть различные параметры (L1-L4), включая MAC- и IP-адреса отправителя и получателя, идентификатор VLAN, MPLS-метка, номера протокольных портов TCP и UDP и др.;

2) действия: возможными действиями могут быть «отправить в порт X», «отбросить», «отправить на контроллер», «модифицировать поле» (например, уменьшить TTL или добавить тег VLAN и др.) Это означает, что OpenFlow может быть использован для реализации функций L4;

3) статистика: число пакетов, байтов по проходящему трафику и пр.

Структурная схема ККС под управлением OpenFlow контроллера представлена на рисунке.

В ходе исследования описанный инструментарий был применен при построении имитационной модели квантовой криптографической сети под управлением OpenFlow-контроллера. В качестве виртуальной модели сетевой инфраструктуры использовался пакет Mininet, который благодаря механизмам ограничения и изоляции вычислительных ресурсов позволяет в пространстве ядра создавать сетевые интерфейсы, запускать сессии, чтобы создавать экспериментальные сети, которые работают как реальные. Контроль

состояния виртуальных каналов ведется управляющим контроллером, который посылает запросы для установки состояния каналов и получает сигналы о разрыве или компрометации соединения от подсистем обеспечивающих функциональность конкретных каналов (например, от оборудования, обеспечивающего канал передачи квантовых ключей). Формат поступающей информации – протокол HTTP. Запросы осуществляются по методам GET и POST. На основании этих сигналов формируется набор данных, определяющих конфигурацию каналов кодирования. Формат представления данных JSON.

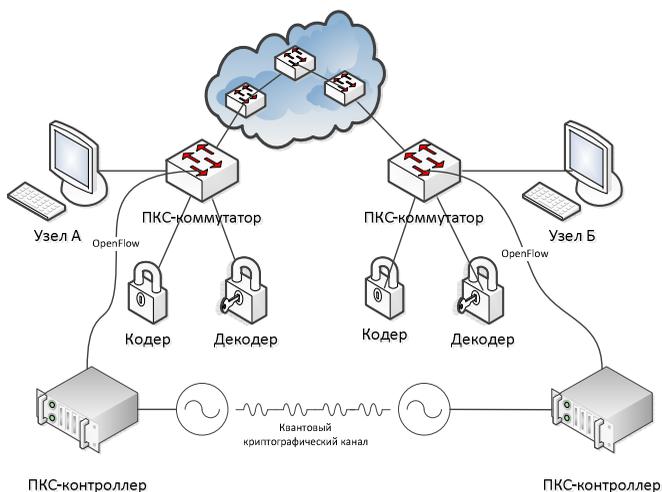


Рис. Структурная схема ККС сети под управлением OpenFlow

После обработки запроса вызываются следующие функции-обработчики: функция, выделяющая из запроса номер канала, адрес, с которого пришло обращение и ключ; функция, возвращающая текущую конфигурацию; функция, производящая установку новой конфигурации; функция, вызывающая номер канала и статус.

По каждому статусу производится одно из следующих действий: переключение на неквантовый канал scqrut; переключение на квантовый канал qscqrut; перечитывание ключа из файла; переключение на некодированный канал; удаление записи из таблицы коммутации; запуск процесса сбора данных, передаваемых по каналу; остановка процесса сбора данных, передаваемых по каналу.

Модель демонстрирует механизм объединения различных каналов кодирования и реализует алгоритм переключения между ними. Так, в случае обнаружения компрометации одного канала коммутатор получит инструкцию с переключением на резервный канал, если такой предусмотрен. Логика переключения каналов уровня L4 определена в таблице коммутации, пример которой приведен на рис. 2.

MAC src	MAC dst	IP src	IP dst	TCP src	TCP dst	Action	Count
10:20..	10:30..	10.0.0.3	10.0.0.5	1001	1002	Port 2	250

Рис. 2. Пример таблицы коммутации, реализующей переключение каналов

С точки зрения системы управления маршрутами передачи данных каналы кодирования представляют собой TCP-сервисы, уникально идентифицируемые по IP-адресам и TCP-портам для кодера на входящем конце и декодера на исходящем. В данной модели каналу с квантовым кодированием, который использует специальный модуль `qsgrt`, эмулятор генератора квантовых ключей `KeyByCURL`, соответствует TCP-порт 1001; каналу с кодированием по SSL-порт 1002, каналу без шифрования соответствует TCP-порт 1003.

Библиографический список

1. Иванова Е.Ю., Ларионцева Е.А. Введение в квантовую криптографию: основные понятия, подходы и алгоритмы // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – № 11. – С. 137–171.
2. Павлов А.В. Средство определения изменения конфигурации SDN сети // Кибернетика и программирование. – 2016. – № 4. – С. 73–80.
3. OpenFlow. Official Website [Электронный ресурс]. – URL: http://archive.openflow.org/wk/index.php/OpenFlow_Tutorial/ (дата обращения: 02.02.2017).

Сведения об авторах

Жакова Юлия Андреевна – студентка Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, гр. K4215, г. Санкт-Петербург, e-mail: zhakova.yulia@yandex.ru.

К.Д. Заборских, А.В. Гаврилов

ОПТИМИЗАЦИЯ СВЯЗНОСТИ СТРУКТУРЫ БЕСПРОВОДНОЙ МЭШ-СЕТИ

В данной статье рассматривается алгоритм оптимизации связности беспроводной мэш-сети по критерию «уровень сигнала». Целью оптимизации является снижение задержек в сети при передаче данных.

Ключевые слова: беспроводная мэш-сеть, связность, задержка, оптимизация.

K.D. Zaborskih, A.V. Gavrilov

THE OPTIMIZATION OF CONNECTIVITY WIRELESS MESH NETWORK

In this paper, we consider an algorithm for optimizing the connectivity of a wireless mesh network using the signal strength criterion. The goal of optimization is to reduce delay transmission in network.

Keywords: wireless mesh network, connectivity, delay transmission, optimization.

Одними из наиболее перспективных и популярных направлений в инфокоммуникационных технологиях на сегодняшний день являются «Интернет вещей» и беспроводные сенсорные сети. Особенностью при реализации проектов этих направлений является использование дешевых аппаратных сетевых узлов с применением топологии мэш-сети. Сеть на базе топологии мэш обладает массой достоинств, таких как высокая масштабируемость, надежность, отказоустойчивость, что позволяет строить самоорганизующиеся сети с большим радиусом покрытия [1].

Аппаратное обеспечение узлов мэш-сети обычно представляет собой микроконтроллер с встроенным приемопередатчиком и с поддержкой одной из технологий радиопередачи. Одним из таких микроконтроллеров является модуль ESP8266 фирмы Espressif [2]. Модуль использует для передачи технологию Wi-Fi, диапазон 2,4 ГГц. Его популярность обусловлена низкой стоимостью, а также широкими функциональными возможностями (поддержка интерфейсов SPI, UART и GPIO), что позволяет подключать к нему дополнительные

устройства. Однако исходно модуль разрабатывался как обычный узел в сети Wi-Fi с реализацией режима точки доступа или клиента. Позже компания Espressif разработала программное обеспечение (прошивку) для создания мэш-сети [3]. Прошивка задумывалась как расширение емкостных возможностей маршрутизатора, так как напрямую к нему можно подключить лишь ограниченное число устройств. Прошивка подразумевает создание меш-сети из устройств, требующих подключения. В ней выделяется одно корневое устройство, через которое меш-сеть подключается к маршрутизатору. Структура такой сети изображена на рис. 1.

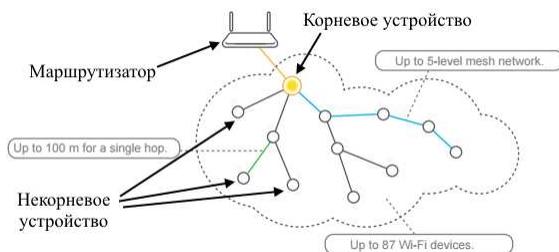


Рис. 1. Структура сети согласно прошивке от Espressif

Однако у этой прошивки есть один большой минус: все библиотеки с алгоритмами функционирования являются закрытыми, и предлагается использовать прошивку «как есть», т.е. исследовать и модернизировать прошивку возможности нет.

В связи с высокой популярностью модулей ESP8266 энтузиасты начали разработку альтернативной прошивки с открытым кодом PainlessMesh [3]. Прошивка PainlessMesh для передачи сообщений между модулями использует протокол JSON. Несомненным преимуществом прошивки PainlessMesh относительно прошивки мэш-сети от компании Espressif является то, что она имеет открытый код, а также то, что в ней уже реализованы механизмы синхронизации часов реального времени всех модулей в составе сети, что позволяет синхронизировать все события. Авторами было принято решение об использовании этой прошивки для практического исследования характеристик мэш-сетей.

В прошивке PainlessMesh заявлена поддержка самоорганизации сети. Анализ исходного кода и экспериментальные проверки позволили определить процедуру создания структуры сети: после запуска модулей каждый из них становится станцией и точкой доступа. Каждая

станция, которая еще не подключена к точке доступа в рамках этой сети, периодически сканирует пространство на наличие точки доступа. Она будет пытаться подключиться к точке доступа с самым сильным уровнем сигнала, если до нее еще не существует прямого или посреднического соединения, т.е. подключение возможно только к «свободной» точке с максимальным уровнем сигнала. При этом будут пропущены точки с еще большим уровнем сигнала, если они заняты. После подключения к точке доступа станция перестает сканировать окружение до тех пор, пока не будет потеряно соединение с текущей точкой доступа. Структура сети, образованной при помощи этой прошивки, изображена на рис. 2. Таким образом, формируемая структура сети не всегда будет оптимальной с точки зрения связности между узлами. Установленные связи между узлами не будут минимизированы по расстоянию и, соответственно, по уровню сигнала.

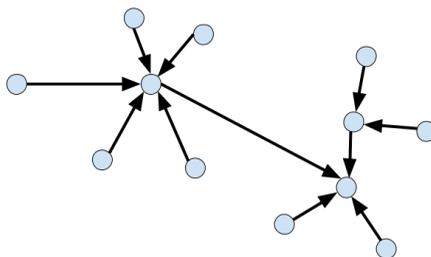


Рис. 2. Структура сети согласно прошивке PainlessMesh

Поскольку сеть в конечном итоге имеет не всегда оптимальную структуру соединений, за счет чего увеличивается задержка прохождения пакета от источника до адресата, то необходимо изменить алгоритм формирования структуры сети. Необходимо, чтобы станция периодически сканировала пространство на наличие точки доступа с более высоким уровнем сигнала, нежели соединение с текущей точкой доступа; в случае обнаружения точки доступа с более высоким уровнем сигнала станция должна разорвать соединение с текущей точкой доступа и установить новое оптимальное соединение с найденной точкой доступа; предполагается за счет такой оптимизации сети уменьшить задержки при прохождении пакета по сети.

Был разработан дополнительный алгоритм сканирования окружения, который запускается после того, как станция присоединится к точке доступа.

Алгоритм имеет следующую структуру:

1. Запуск дополнительного сканирования и проверка, подключена ли станция к точке доступа; если станция еще не подключена, то повторяем проверку через 5 с; в случае если подключена, то переходим к пункту 2.

2. Запуск сканирования в рамках сети с заданным SSID; сканирование подразумевает запись всех обнаруженных точек доступа и уровень сигнала к ним.

3. После того как составлен список из точек доступа и уровней сигнала к ним, начинаем перебор каждого варианта из списка; проверяем, если мы напрямую уже подключены к данной точке доступа, либо данный модуль напрямую подключен к нам (т.е. он выступает в качестве станции, а мы в качестве точки доступа), то удаляем его из списка.

4. После перебора в списке остаются только те точки доступа, к которым текущий не имеет прямого подключения; перебираем каждый вариант из вновь получившегося списка и ищем тот, уровень сигнала которого хотя бы на 10 dBm лучше уровня сигнала до текущей точки доступа; если список пуст, то возвращаемся к пункту 1.

5. При нахождении такого варианта необходимо разорвать подключение к текущей точке доступа и предпринять попытку подключения к найденному варианту; в случае ненахождения такого варианта возвращаемся к пункту 1.

Были проведены эксперименты на сети, состоящей из пяти модулей с использованием исходной и модифицированной прошивок. Структуры сетей изображены на рис. 3.

На рис. 3, *а* изображена сеть, полученная при использовании исходной прошивки. Модули 1, 2, 3 были включены одновременно первыми; модуль 4 включен вторым и модуль 5 последним; пакет передается от модуля 4 к модулю 5, задержка прохождения составляет 12 ms.

На рис. 3, *б* изображена ситуация, когда модуль 5 был перемещен, задержка уменьшилась, но нетрудно заметить, что структура подключений на данный момент неоптимальна, в этом и состоит решаемая проблема. Итоговая задержка при прохождении от модуля 4 к модулю 5 теперь составляет 10 ms.

На рис. 3, *в* изображена сеть, полученная с использованием модифицированной прошивки из ситуации, изображенной на рис. 3, *б*. Видно, что произошло переключение соединений, т.е. модуль 4 подключился на 5, и теперь задержка при передаче от модуля 4 к модулю 5 составляет всего 2 ms.

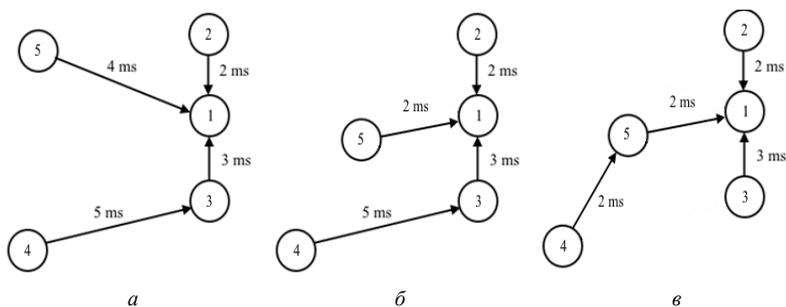


Рис. 3. Структуры сетей при экспериментах

Модернизация прошивки позволила оптимизировать связность узлов сети по критерию «уровень сигнала», что позволило уменьшить задержку прохождения пакета по сети. В дальнейшем авторы планируют реализовать многокритериальную оптимизацию связности сети: по степени загрузки узла и по уровню заряда батареи, питающей модуль.

Библиографический список

1. Безукладников И.И., Гаврилов А.В. Управление и мониторинг в беспроводных распределенных сетевых инфраструктурах // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2016. – № 8. – С. 18–23.
2. ESP8266 WROOM WI-FI MODULE [Электронный ресурс]. – URL: <https://espressif.com/en/products/hardware/esp-wroom-02/overview> (дата обращения: 14.05.2017).
3. ESP8266_MESH_DEMO [Электронный ресурс]. – URL: https://github.com/espressif/ESP8266_MESH_DEMO (дата обращения: 14.05.2017).
4. BLACKEDDER / PAINLESSMESH [Электронный ресурс]. – URL: <https://gitlab.com/BlackEdder/painlessMesh> (дата обращения: 14.05.2017).

Сведения об авторах

Заборских Кирилл Дмитриевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК-13-16, г. Пермь, e-mail: zbkd@bk.ru.

Гаврилов Алексей Викторович – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, e-mail: gaval@at.pstu.ru.

Р.Р. Ибрагимов, С.А. Даденков

СОЗДАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОТОКОЛА ПОИСКОВОГО СЕРВИСА DHT В P2P-СЕТЯХ

В статье анализируется протокол поискового сервиса DHT в P2P-сети. Представлены описание функционирования протокола децентрализованного поиска DHT и его сравнение с протоколом централизованного поиска BitTorrent. Разработано и представлено онтологическое описание децентрализованной DHT-сети, что позволило эффективно подойти к решению задачи создания имитационной модели протокола и его исследованию с использованием системы моделирования AnyLogic. Представлена постановка задачи на исследование протокола с целью оптимизации сетевых характеристик.

Ключевые слова: протоколы поиска данных, централизованные и децентрализованные протоколы, BitTorrent, DHT, P2P.

R.R. Ibragimov, S.A. Dadenkov

CREATION OF THE IMITATION MODEL OF THE PROTOCOL OF THE SEARCH SERVICE DHT IN P2P NETWORKS

In article the protocol of the DHT search service in network P2P is analyzed. The description of functioning of the protocol of decentral search of DHT and its comparing with the protocol of the centralized BitTorrent search is provided. The ontological description of a decentral DHT network is developed and provided that allowed to approach effectively the decision of the task of creation of a simulation model of the protocol and its research with use of system of simulation of AnyLogic. Problem definition on a protocol research for the purpose of optimization of network characteristics is provided.

Keywords: protocols of search, search of the data, the centralized and decentralized protocols, BitTorrent, DHT, P2P.

Введение. Распространенность централизованных и децентрализованных протоколов поиска информации в современных компьютерных сетях обусловлена большими объемами данных, востребованных миллионами пользователей глобальной информационной сети. При решении задачи организации доступа узлов к разделяемым сетевым ресурсам, в частности данным, централизованные системы поиска информации отходят на второй план. Во многом это обусловлено большой нагрузкой на серверы и хранилища данных со стороны

пользователей сети. Нагрузка вызвана постоянным обменом служебной информацией, поиском и передачей полезных данных. Низкая отказоустойчивость, недостаточная пропускная способность каналов связи определяют сложность использования централизованных систем поиска информации. Поэтому распространённость получают децентрализованные системы хранения и протоколы поиска информации, среди которых широкую популярность приобретает протокол поискового сервиса DHT (Distributed Hash Table). Однако применение децентрализованного хранилища связано с множеством трудностей. Основной проблемой является организация эффективного поиска необходимой (искомой) информации у пользователей сети. Указанное актуализирует решение задачи построения имитационной модели протокола поискового сервиса DHT и исследования влияния его параметров на показатели быстродействия поиска, нагрузки на сеть и результативности поиска.

Протоколы поиска данных в P2P-сетях. Примером принципов централизованного и децентрализованного поиска данных в P2P-сетях являются соответственно протоколы сети BitTorrent и DHT.

В протоколе BitTorrent перед началом скачивания информации (файла) пользователь подсоединяется к информационному серверу (трекеру) сети. Пользователь сообщает свой IP-адрес, порт, по которому он соединяется с трекером, «ключ» искомого файла, на что в ответ получает адреса других пользователей, обладающих запрашиваемым файлом или его частями. Далее пользователь взаимодействует с найденными адресатами и получает нужную информацию и периодически информирует трекер о ходе процесса и получает обновленный список адресов пользователей с искомыми данными [1].

DHT (distributed hash table – «распределённая хеш-таблица») – это класс децентрализованных распределённых систем поискового сервиса, работающего подобно хеш-таблице. Как структура данных, хеш-таблица может представлять собой ассоциативный массив, содержащий пары ключ–значение. Также с термином DHT связан ряд принципов и алгоритмов, позволяющих записывать данные, распределяя информацию среди некоторого набора узлов-хранителей, и восстанавливать их путём распределённого поиска по ключу. Особенностью распределённой таблицы является возможность распределить информацию среди некоторого набора узлов-хранителей таким образом, что каждый участвующий узел смог бы найти искомую

информацию, связанную с данным ключом. Ответственность за поддержание связей распределяется между узлами. Это позволяет легко масштабировать DHT, а также постоянно отслеживать добавление и удаление узлов и ошибки в их работе. DHT работает на прикладном уровне и выполняет основную функцию BitTorrent-сервера – помогает участникам файлообмена узнать друг о друге, а также найти узлы-хранители искомой или требуемой информации. Каждый узел в DHT-сети имеет свой уникальный идентификатор (ID узла) [2].

DHT характеризуется следующими свойствами [2]:

- децентрализация: форма системы коллективных узлов без координации;
- масштабируемость: система одинаково эффективно функционирует при тысяче или миллионах узлов сети;
- отказоустойчивость: система одинаково надежна (в некотором смысле) с узлами, постоянно подключающимися, отключающимися и выдающими ошибки.

Алгоритм работы протокола поиска DHT включает фазу соединения пользователя с сетью и фазу работы с ней (поиска).

Каждый новый пользователь сети для полноценного поиска информации заполняет свою пустую на данном этапе DHT-таблицу данными об определённом ограниченном количестве других случайно выбранных пользователей сети. Для этого пользователь единственный раз за время работы с сетью обращается на сервер `router.utorrent.com`, где получает и записывает в DHT-таблицу данные о первых $k = 8$ случайных идентификаторах (ID) узлов сети. Дальнейшее заполнение таблицы производится путём обращения пользователя к известным ему узлам с аналогичным запросом. От каждого узла пользователь может получить максимум k других записей в таблицу. Дальнейшее заполнение таблицы происходит по аналогичной процедуре. Для полноценной работы пользователю необходимо иметь в своей DHT-таблице около 1000 записей. По мере заполнения DHT-таблицы записи с ID распределяются по корзинам для быстрого поиска, каждая из которых может содержать максимум 8 узлов и занимает определенную часть пространства узлов в сети.

Поиск информации пользователем осуществляется следующим образом. Пользователь по известному ему идентификатору `HashID` искомых данных выбирает наиболее схожую с ним корзину с узлами и обращается к ним для получения информации о искомых данных.

Узел-ответчик сообщает о наличии данных у него либо сообщает k наиболее схожих ID-узлов с HashID-данных. В случае обнаружения каждого нового более близкого идентификатора узла пользователь обращается к нему с аналогичным поисковым запросом. Таким образом, пользователь, как правило, находит необходимую ему информацию на узлах сети на 5–6-ю итерацию (глубина поиска).

Создание модели протокола поискового сервиса DHT. Построение имитационной модели требует не только естественного описания алгоритмов работы протокола, но и представления онтологического описания исследуемой сети и протокола. Это способствует более эффективному созданию новой модели, в частности, сокращению времени создания модели и числа допускаемых в ходе разработки ошибок.

На рисунке представлена онтология DHT-сети. В онтологии показаны связи ключевых объектов модели DHT-сети. Каждый объект имеет свои параметры и функции, которые необходимы для описания функционирования сети, а также для сбора статистических данных о работе DHT-сети.

Корневым объектом модели DHT-сети является DHT_Network, который описывается параметрами:

- numberNodes (количество узлов в сети) – параметр устанавливает число узлов (пользователей), участвующих в работе DHT-сети;
- entriesNode (среднее количество записей на узел) – это количество записей об ID-узлов пользователей, которые занесены в DHT-таблицу пользователя на фазе установления соединения с сетью. Для работы в DHT достаточно иметь 1000 записей об узлах сети;
- depthSearch (допустимая глубина поиска) – это максимальное количество итераций (повторений) поиска информации у других пользователей сети;
- widthSearch (допустимая ширина поиска) – это число анализируемых записей в корзине таблицы. На каждой итерации пользователь анализирует 1 корзину в DHT-таблице, где, как правило, содержатся 8 узлов (записей);
- arrayNodes (массив узлов сети) – это упорядоченная структура необходима для хранения объектов «узлы (Node) сети»;
- newRequest (событие «новый запрос») – событие в модели, предназначенное для создания нового запроса на поиск случайных данных случайным узлом системы.

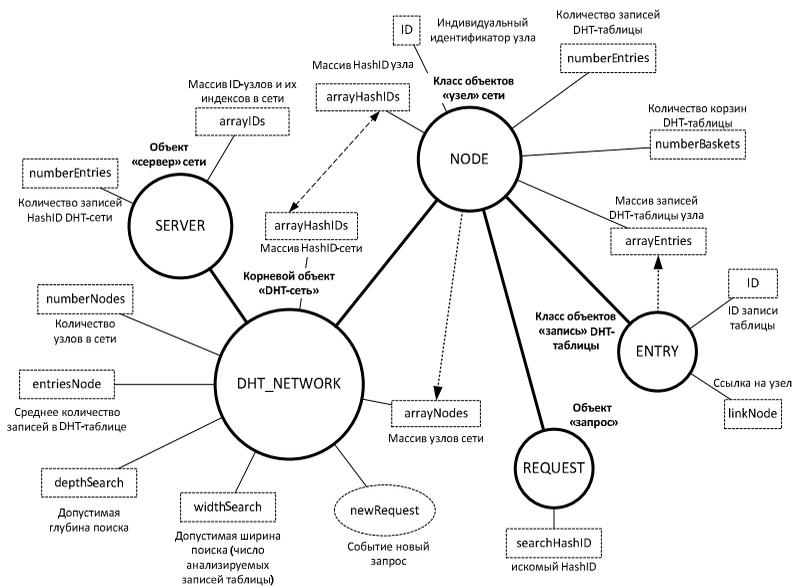


Рис. Онтология DHT-сети

DHT_Network содержит в своём составе объект Server (сервер сети). Данный объект используется на этапе создания модели для получения узлами сети данных с сервера о известных ему идентификаторах узлов.

Класс объектов Node, находящихся в DHT_Network, описывается параметрами:

- `numberEntries` (количество записей DHT-таблицы) – это число записей, которые содержит в своей таблице пользователь DHT-сети;
- `numberBuckets` (количество корзин DHT-таблицы) – данный параметр варьируется в зависимости от числа узлов в DHT-таблице. Количество корзин определяется отношением числа записей таблицы и ёмкости k одной корзины;
- `ID` (уникальный идентификатор узла в DHT-сети) – клиент DHT-сети, является отдельным узлом, у которого есть свой уникальный идентификатор ID;
- `arrayEntries` (массив записей DHT-таблицы) – упорядоченная структура записей DHT-таблицы, каждая из которых описывается параметрами: идентификатор-записи (ID) и адресная ссылка на данный узел `linkNode`.

Каждый узел сети содержит в своём составе объект Request (запрос), который определяет HashID искомым им по сценарию данных.

Для исследования протокола DHT согласно представленной онтологии создана архитектура модели сети в среде имитационного моделирования AnyLogic и в настоящий момент дополняется описанным алгоритмом поиска информации. С использованием создаваемой модели планируется исследование быстродействия и результативности поиска, нагрузки на DHT-сеть в зависимости от протокольных параметров DHT: число узлов в сети, ёмкость корзины, глубина и ширина поиска, общее первоначальное число записей в DHT-таблице, актуальность записей. Конечной целью проводимого анализа является оптимизация характеристик протокола поискового сервиса в зависимости от заданных исходных данных.

Библиографический список

1. BitTorrent (протокол). – URL: <http://ru.wikipedia.org/?oldid=82797191> (дата обращения: 14.05.2017).

2. Шилов С.Н., Кургалин С.Д., Крыловецкий А.А. Реализация инфраструктуры распределенной хеш-таблицы в рамках кластерной системы DNS // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Системный анализ и информационные технологии. – 2012. – № 2. – С. 74–79.

Сведения об авторах

Ибрагимов Ринат Рамилевич – студент Пермского национально-го исследовательского политехнического университета, гр. ТК-13-16, г. Пермь, e-mail: rinat_ibragimov95@mail.ru.

Даденков Сергей Александрович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика», Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: dadenkov@rambler.ru.

А.А. Ларионов, А.С. Мехоношин

РАЗРАБОТКА GPS-ТРЕКЕРА НА ОСНОВЕ ARDUINO И GSM/GPS-МОДУЛЯ SIM908

В данной статье рассмотрен процесс автоматизации сбора данных о местоположении транспортного средства.

На текущий день охранные системы достаточно совершенны, и в их разработке принимают участие большие команды специалистов. В статье рассмотрен один из аспектов таких систем, как отслеживание перемещения.

Ключевые слова: GPS-навигация, отслеживание местоположения, безопасность.

A.A. Larionov, A.S. Mekhonoshin

GPS TRACKER DEVELOPMENT WITH ARDUINO AND GSM/GPS MODULE SIM908

This article describes how to automate the collection of data of the location of the vehicle.

By this moment, security systems are quite perfect and large teams of specialists are involved in their development. This article describes one of aspects of such systems such as tracking.

Keywords: GPS-navigation, tracking, security.

Введение. В наше время очень много людей пользуются личными транспортными средствами. Иногда случаются попытки краж, и чтобы защитить своё имущество используются специальные охранные системы.

На текущий день они достаточно совершенны и в их разработке принимают участие большие команды специалистов, изготавливающие достаточно сложные устройства.

В статье рассмотрен один из аспектов таких систем, как отслеживание перемещения подвижного объекта путем получения его координат GPS и отправки их в централизованное хранилище.

Разрабатываемое устройство планируется установить на мотоцикл, так что помимо основных требований по соответствию нижеизложенной функциональности имеют место требования повышенной

надежности и влагозащищенности. Также необходимо обеспечить как можно меньший размер устройства. В целях обеспечения автономной работы устройства в случае отсутствия внешнего питания предусмотрено наличие аккумулятора. В отличие от аналогов данное устройство имеет ряд преимуществ. Например, данные о моем местоположении с меньшей вероятностью могут попасть в руки третьих лиц, поскольку устройство отправляет данные на мой собственный сервер. Прошивка и серверное ПО могут быть изменены для улучшения функциональности и характеристик устройства настолько, насколько представится возможным. Готовые же устройства, имеющиеся на рынке, не предоставляют таких возможностей.

Цель: обеспечить получение данных о местоположении ТС.

При разработке устройства должны быть выполнены следующие практические задачи:

1. Изучение теории работы с устройствами для получения информации о местоположении.
2. Определение требований к устройству.
3. Выбор элементной базы
4. Сборка прототипа и изготовление платы.
5. Написание прошивки МК.
6. Написание сервера для устройства.

Изучение теории работы с устройствами для получения информации о местоположении

Для того чтобы получить информацию о местоположении, необходимо устройство, которое может получать и отправлять сигналы на спутники GPS и производить вычисления, необходимые для определения местоположения с максимально возможной точностью. Такие устройства есть, и они доступны для пользователя.

Требования к устройству и функциональности:

Устройство должно выполнять следующие функции:

1. Получение своих координат посредством GPS с разной частотой в зависимости от внешних условий.
2. Отправка их на сервер посредством GPRS.
3. Прочие функции, такие как мониторинг изменения координаты, уровня зарядки аккумулятора, наличия/отсутствия внешнего питания и т.д.

Требования к надежности: корпус должен быть защищен от попадания влаги и пыли согласно стандарту IP67. Размер корпуса должен быть менее, чем 100×80×30 мм.

Выбор компонентов устройства:

1. *Контроллер для управления модулем.* В качестве средства для управления модулем была выбрана Arduino ProMini, поскольку может работать от 3 В при пониженной частоте контроллера (8 МГц вместо 16), так как необходимо обеспечение работы устройства от аккумулятора 3,7 В. Также в ней нет интерфейса USB, но она программируется с помощью обычного SPI, как и все контроллеры Atmel.

2. *Модуль GSM/GPS/GPRS.* В качестве инструмента для получения координат и последующей отправки их на сервер был выбран модуль GPS/GSM/GPRS SIM908. Достоинства данного модуля следующие: он сравнительно дешевый, имеет все необходимые интерфейсы (UART, I2C) и возможность подключения всех необходимых устройств для обеспечения функциональности мобильного телефона.

3. *Преобразователь напряжения.* В качестве преобразователя используется преобразователь 7–35 В → 5–28 В, изготовленный на микросхеме LM2576 ADJ.

4. *Аккумулятор.* Используемый аккумулятор имеет емкость 1100 mAh и напряжение 3,7 В.

Сборка прототипа и изготовление платы. Согласно разработанной принципиальной электрической схеме (рисунок) была изготовлена печатная плата устройства.

SIM908 обменивается данными с внешним миром посредством UART и использует AT-команды. Первичная настройка производилась с ПК с помощью терминала. Для настройки GPRS необходимо установить точку доступа, имя пользователя и пароль посредством команды AT+SAPBR=3,1,%parameter_name%,%value%. Далее тестировалась функция работы модуля с GPS. Узнавать статус GPS можно с помощью команды «AT+CGPSSTATUS?», ответ на которую может быть Location Unknown, Location Not Fix, Location 2D Fix и Location 3D Fix. Узнать координаты можно посредством «AT+CGPSINF=0». Число отвечает за формат NMEA строки данных GPS и может быть помимо 0 степенями двойки (до 7-й).

Для получения сигнала лучшего качества было решено использовать активную антенну, которая потребляет 3,3 В ~40 мА.

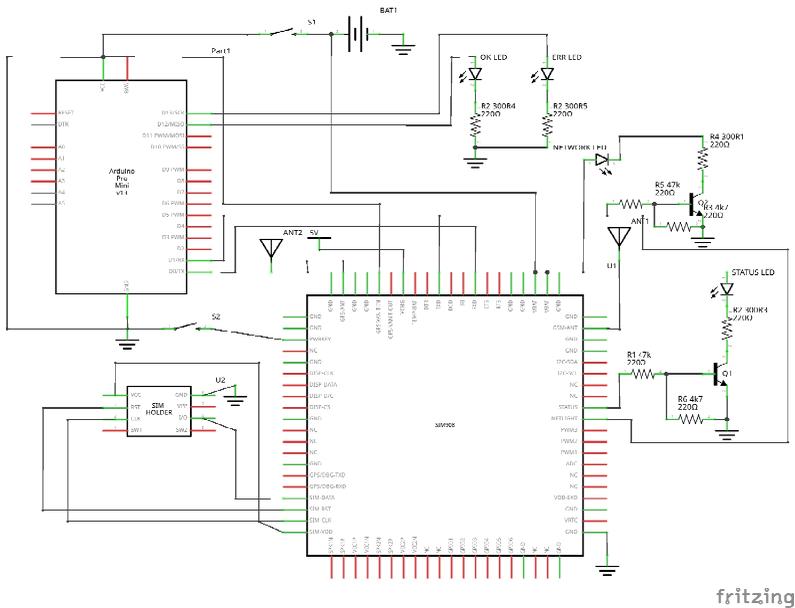


Рис. Принципиальная схема устройства

Таким образом, при тестировании с помощью терминала, без использования МК, было установлено, что модуль SIM908 работает нормально, и можно начинать автоматизировать процесс и продумать алгоритм работы устройства.

Написание прошивки микроконтроллера. Алгоритм работы получился следующий: при включении устройства в любом случае проверяется покрытие GSM и возможность использования GPRS. Если все нормально, то производится поиск спутников GPS до получения информации о местоположении. Далее устройство входит в главный рабочий цикл, в котором через определенное время происходит очередное определение координат и отправка их на сервер. В случае, если больше 20 минут не удастся определить местоположение, на сервер отправляется отчет об ошибке.

Для простоты написания прошивки было решено сделать 2 режима работы устройства. Первый – режим, в котором устройство узнает свои координаты с периодичностью ~ 1 раз в 20 мин, а остальное время контроллер и модуль находятся в режиме сна для экономии энергии. Второй – режим записи трека, когда координаты отправляются 1 раз

в 30 с для экономии заряда батареи, этот режим используется только при наличии внешнего питания. Переход из одного режима в другой осуществляется отправкой СМС-команды с номера владельца на устройство. Также при поступлении входящего вызова с номера владельца устройство сразу же отправит координаты на сервер.

Прошивка написана с минимальным использованием библиотеки Arduino, поскольку она (Arduino) создает сложности при построении системы реального времени, которая необходима всем устройствам такого рода. В работе устройства используются прерывания по таймеру, поскольку цикл «узнать координаты → отправить на сервер» занимает от 30 с до 20 мин, и без прерываний невозможно обрабатывать внешние случайные во времени события (приход байта по последовательному интерфейсу с модуля, получение СМС-команды или звонка и т.д.)

В модуле есть встроенная схема зарядки Li-ion аккумулятора 3,7 В и емкостью до 1100 мАч. Было решено использовать её и аккумулятор от мобильного телефона.

Написание сервера для устройства

Для хранения координат используется БД, её система управления PostgreSQL, поскольку psql является наиболее надежной при хранении больших объемов (в сравнении с MySQL). Естественно, Oracle и MSSQL Server мы не рассматриваем, так как первая слишком требовательна к ресурсам сервера, и MSSQL не имеет бесплатной версии. Было решено оперировать сущностью «точка», у которой будут следующие атрибуты: широта, долгота, уникальный ID-устройства, высота, timestamp и скорость. Чтобы нормализовать хранимые данные, ID-устройства выносятся в отдельную таблицу с полями PK и ID-устройства.

У системы есть несложный веб-интерфейс для просмотра местоположения своего ТС (мотоцикла, автомобиля и т.д.) в реальном времени.

Заключение. По завершении разработки выполнена цель и все поставленные задачи. Получено устройство, удовлетворяющее заявленным выше требованиям, которое с изменяемой пользователем периодичностью получает свои координаты и отправляет их на сервер.

Данная система очень примитивна относительно современных охранных систем, но устройство имеет дальнейшие перспективы развития. Например, в будущем необходимо уменьшить размеры, для

того чтобы сделать его еще менее заметным для угонщика, а также добавить функциональность, обеспечивающую автоматическую настройку всех параметров, необходимых для его работы.

Библиографический список

1. Документация на модуль SIM908 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.techshopbd.com/uploads/product_document/SIM908-C.pdf (дата обращения: 10.05.2017).
2. Гребнев В.В. Микроконтроллеры семейства AVR фирмы Atmel. – М.: ИП РадиоСофт, 2002. – 176 с.

Сведения об авторах

Ларионов Александр Андреевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. РИС-14-16, г. Пермь, e-mail: alarionov93@yandex.ru.

Мехоношин Антон Сергеевич – старший преподаватель кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: Akropag@gmail.com.

А.А. Липухин, И.И. Безукладников

СОЗДАНИЕ СЕТЕВОЙ ВИРТУАЛЬНО-ФИЗИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ LORA-СЕТЕЙ

В данной статье рассмотрено создание виртуально-физической инфраструктуры для исследования сетей на базе LoRa. Описано, что представляет из себя LoRa, рассмотрены устройства, классы, способы подключения, настройка и применение этой технологии.

Ключевые слова: LoRa, беспроводная связь, интернет вещей, виртуально-физическая инфраструктура, лабораторная работа.

A.A. Lipukhin, I.I. Bezukladnikov

CREATING A VIRTUAL-PHYSICAL INFRASTRUCTURE FOR RESEARCHES OF THE WIRELESS LORA NETWORKS

In this article describes creating virtual-physical infrastructure for LoRa network research. The article considers what represents LoRa and describe devices, classes, ways of installation, communicating and applying of this thechnology.

Keywords: LoRa; wireless communications, Internet of Things, virtual-physical infrastructure, laboratory work.

С каждым годом все стремительнее развиваются технологии и внедряются «интеллектуальные» устройства на базе микроконтроллеров в различные сферы. Для взаимодействия между этими устройствами необходима связь, которая бы отвечала определенным требованиям, таким как малое энергопотребление, дальность связи, доступность и т.д. Взаимодействие между устройствами посредством связи позволяет создать вычислительную сеть. Методология такой вычислительной сети называется интернетом вещей (IoT, от англ. Internet of Things).

Перспективность изучения этих сетей позволяет их рассматривать в качестве исследуемого объекта в рамках университета. Исследование сети такого типа даст базовые знания и навыки работы с такими устройствами студентам технических вузов. Одной из таких сетей является LoRa, которая была разработана в 2015 г.

Цель данной работы – это построение виртуально-физической инфраструктуры, результатом чего является взаимодействие нескольких устройств на базе сети LoRa.

Для этого необходимо рассмотреть, что представляет из себя LoRa, её особенности, достоинства и недостатки, подключение и настройка готовых модулей.

Технология LoRa появилась на свет под эгидой некоммерческой организации LoRa Alliance, основанной такими компаниями, как IBM, Semtech, Cisco и др., с целью принятия и продвижения протокола LoRaWAN (Long Range Wide Area Networks) в качестве единого стандарта для глобальных сетей с низким энергопотреблением (LPWAN – от англ. Low Power Wide Area Network).

Технология модуляции LoRa (от англ. Long Range) представляет собой метод модуляции, который обеспечивает значительно большую дальность связи (зону покрытия), чем другие конкурирующие с ним способы. Этот тип модуляции основывается на технологии модуляции с расширенным спектром и вариации линейной частотной модуляции (англ. CSS – chirp spread spectrum) с интегрированной прямой коррекцией ошибок FEC (англ. FEC – forward error correction).

Модуляция LoRa определяет физический уровень, который может использоваться с различными протоколами канального уровня и в различных вариантах сетевой архитектуры: mesh-сети, звезда, точка-точка.

LoRaWAN (Long Range Wide-Area Networks) – это MAC протокол канального уровня для сетей с множеством узлов с большим радиусом действия и низким собственным потреблением мощности. Сеть LoRaWAN имеет простую архитектуру типа «звезда» без ретрансляторов и mesh-связей. Для узлов сети характерны низкое энергопотребление, невысокая скорость обмена данными, большая дальность связи (15 км в сельской местности и 5 км в плотной городской застройке) и низкая стоимость окончательного оборудования.

Протокол LoRaWAN оптимизирован для конечных устройств, работающих от батарей, и включает в себя различные классы узлов, обеспечивая компромисс между скоростью доставки информации и временем работы устройств при использовании питания от батарей (аккумуляторов). Протокол обеспечивает полную двухстороннюю связь, а архитектура, посредством специальных методов шифрования,

обеспечивает общую надежность и безопасность всей системы. Архитектура LoRaWAN разрабатывалась с учетом возможности активной работы с мобильными оконечными устройствами (end node), что является одним из быстрорастущих направлений интернета вещей [1].

Типичная сеть LoRaWAN состоит из следующих элементов: конечные узлы, шлюзы, сетевой сервер и сервер приложений:

- конечный узел (End Node) предназначен для осуществления управляющих или измерительных функций. Он содержит набор необходимых датчиков и управляющих элементов;

- шлюз LoRa (Gateway/Concentrator) – устройство, принимающее данные от конечных устройств с помощью радиоканала и передающее их в транзитную сеть. Шлюз и конечные устройства образуют сетевую топологию типа «звезда»;

- сетевой сервер (Network Server) предназначен для управления сетью: заданием расписания, адаптацией скорости, хранением и обработкой принимаемых данных;

- сервер приложений (Application Server) может удаленно контролировать работу конечных узлов и собирать необходимые данные с них.

В технологии LoRa выделяются три класса абонентских устройств:

- двунаправленные конечные устройства «класса А» (Bi-directional end-devices, Class A). Устройства этого класса применяются, когда необходима минимальная потребляемая мощность при преобладании передачи данных к серверу;

- двунаправленные конечные устройства «класса Б» (Bi-directional end-devices, Class B). Основное отличие от устройств «класса А» заключается в выделении дополнительного окна приёма, которое устройство открывает по расписанию;

- двунаправленные конечные устройства «класса С» с максимальным приемным окном (Bi-directional end-devices, Class C). Устройства этого класса имеют почти непрерывное окно приёма данных и закрывает его лишь на время передачи данных, что позволяет их применять для решения задач, требующих получения большого объёма данных. Эти классы – результат компромисса между энергопотреблением и задержкой обратной связи.

В России в диапазоне, условно именуемом «868 МГц», для специализированных устройств официально доступны две полосы частот: 864,0–865,0 МГц с периодом активной работы не более 0,1 %

и запретом на работу вблизи аэропортов и 868,7–869,2 МГц без таких ограничений. В общем случае есть всего лишь 500 кГц доступной полосы частот.

В сетях LoRaWAN используются полосы в 125 кГц как основная, 250 кГц как дополнительный высокоскоростной канал. В LoRa при ширине 125 кГц каналов уместается всего три [2].

Скорость передачи данных по протоколу LoRaWAN в системе LoRa лежит в диапазоне от 0,3 до 11 кбит/с. Конечно, такой вариант не привлекателен для использования в приложениях реального времени, требующих более низкие задержки [3].

Подключаются и настраиваются устройства с использованием интерфейса UART (Microchip), настраивается с помощью AT-команд и SPI (Semtech).

Подключение модуля на примере Microchip RN2483: для настройки нужны RX, TX и GND (CTS и RTS не поддерживаются текущими версиями прошивок) для подключения USB-TTL и подключить питание к модулю (напряжение от 2,1 до 3,6 В, ток в режиме передачи менее 40 мА при 3 В).

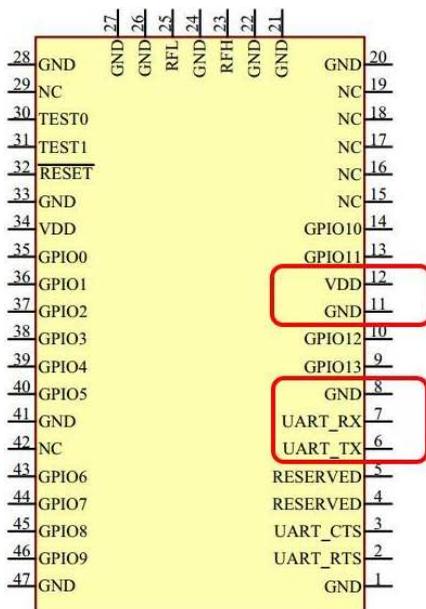


Рис. 1. Подключение к Microchip

Подключаться к RN2483 через USB-TTL 3,3 В можно любой терминальной программой (важно чтобы терминальная программа после каждой команды передавала <CR><LF>), скорость 57600 8N1. Для определения версии прошивки нужно дать команду `sys get ver`.

Подключение модуля на примере Semtech SX1276: для подключения по интерфейсу SPI понадобится контроллер с этим интерфейсом и с питанием 3,3 В, или следует использовать преобразователь уровней, а также библиотеку для работы с устройством по SPI.

Для SPI не требуется использовать все контакты, только GND, VCC SCK, MISO, MOSI, CS.

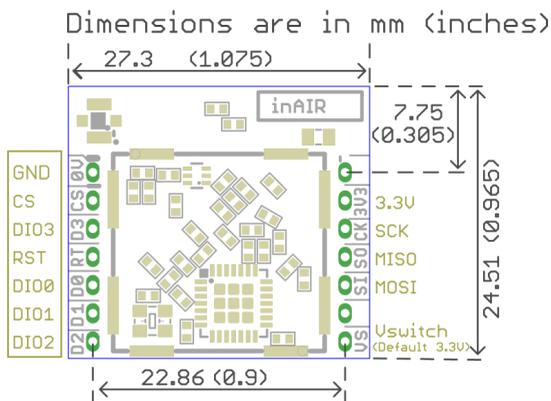


Рис. 2. Подключение к Semtech

Благодаря низкому электропитанию, дальности действия возможно применение этой технологии в следующих областях:

- энергетика. Построение автоматизированных умных сетей электроснабжения для повышения эффективности использования энергии в зданиях и на производственных предприятиях, а также для стабильности поставок электроэнергии;

- умный город. Популярная некогда концепция «умного дома» сменилась идеей «умного города», когда все устройства города соединяются между собой. Беспроводные модули осуществляют мониторинг механических, электрических и электронных систем, используемых в современных зданиях, а также контроль доступа, при этом они абсолютно не зависят ни от системы электропитания, ни от коммуникаций;

– ЖКХ. Применение интеллектуальных беспроводных счетчиков помогает легко организовать автоматизированный учет расходов энергоресурсов (воды, тепла, газа, электроэнергии) в квартирах, коттеджах и в офисных зданиях, а также в режиме реального времени отслеживать состояние применяемого оборудования и в случае возникновения аварийных ситуаций оперативно на них среагировать;

– бизнес. Вендинговые аппараты могут посылать автоматический сигнал дистрибьюторам, когда товары распроданы или оборудование нуждается в ремонте [4].

Умение рассчитывать параметры для настройки этих устройств, исследование потребления электропитания у различных классов, дальность связи, скорость будут результатом исследования на виртуально-физической инфраструктуре, что позволяет проводить лабораторные работы с этой технологией.

Библиографический список

1. Верхулевский К.М. LoRa – все, что вы хотели знать об этом // Компоненты и технологии. – 2016. – № 3. – С. 110–114.

2. Связь в интернете вещей: LoRa против UNB. Ч. 3: Технические тонкости [Электронный ресурс]. – URL: <https://geektimes.ru/company/unwds/blog/280198> (дата обращения: 10.05.2017).

3. Верхулевский К.М. Технология LoRa компании Semtech // Беспроводные технологии – 2015. – № 3. – С. 8–13.

4. Перспективные области внедрения LoRa устройств [Электронный ресурс]. – URL: <http://lo-ra.ru/lora-primenenie/> (дата обращения: 10.05.2017).

Сведения об авторах

Липухин Александр Анатольевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК4-16-1м, г. Пермь, e-mail: alexanderlipukhin@gmail.com.

Безукладников Игорь Игоревич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: corrector@at.pstu.ru.

Ю.В. Лихачева, С.А. Даденков

АНАЛИЗ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

В статье выполнен анализ свойств протоколов маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях. Анализируются широко распространённые протоколы SPIN, LEACH, TEEN, PEGASIS, GAF, GEAR. Основным критерием для оценки протоколов в работе выбрано свойство энергоэффективности.

Ключевые слова: беспроводные сенсорные сети, протоколы маршрутизации, энергоэффективность.

Yu.V. Likhacheva, S.A. Dadenkov

ENERGY EFFICIENCY ANALYSIS OF ROUTING PROTOCOLS IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

In this article analysis of routing protocols parameters is carried out. As survey object wireless sensor network protocols are used. The main investigated characteristic is energy efficiency of protocols.

Keywords: wireless sensor network, routing protocol, energy efficiency.

Технологию миниатюрных интеллектуальных сетей датчиков, известную как беспроводные сенсорные сети (БСС; Wireless Sensor Network – WSN), можно назвать стремительно развивающимся классом информационно-управляющих систем (ИУС). БСС – это распределённая, самоорганизующаяся и устойчивая к отказу отдельных элементов сеть множества датчиков (сенсоров) и вычислительно-коммуникационных устройств, объединённых между собой посредством радиоканала. Сенсоры являются автономными устройствами, которые обладают низкопроизводительным процессором, небольшим объемом памяти и маломощным передатчиком. Задачей подобных сетей является не только мониторинг, но и контроль объектов управления (ОУ), выполняемый с использованием процедур сбора, передачи и обработки узлами измерительных и управляющих данных в распределённой сети [1]. В связи с указанным пристальное внимание в современных практических и научных работах уделяется вопросам

эффективной маршрутизации данных в БСС, а к протоколам маршрутизации выдвигаются следующие требования:

- низкое время реакция при изменении маршрутов;
- регулирование скорости передачи и обработки данных;
- высокая энергоэффективность (низкое энергопотребление узлами сети);
- высокопроизводительный сбор и агрегация данных;
- обеспечение заданного уровня качества обслуживания;
- обеспечение безопасности передачи данных;
- максимизирование зоны покрытия сети.

Часто беспроводные сенсорные сети строятся на основе миниатюрных устройств с автономным источником питания (батарея). Для обеспечения продолжительности работы системы важнейшим требованием является низкое энергопотребление каждым ее узлом. Наибольшее энергопотребление сети связано с вычислительными операциями обработки данных и с работой беспроводного приемопередатчика (трансивера) как в режиме ожидания, так и в режиме приема/передачи. Одним из основных решений проблемы энергопотребления является применение алгоритмов и сетевых механизмов, сокращающих вычислительную нагрузку и обеспечивающих минимальное время нахождения трансивера в активном состоянии путем его периодического включения/выключения, а также промежуточной обработки данных на узле сети [2]. При этом важным является обеспечение указанных выше сетевых характеристик благодаря протоколам маршрутизации в сети. Таким образом, необходим компромисс между низким энергопотреблением и высокими характеристиками сетевого обмена, что определит энергетическую эффективность маршрутизации в современных беспроводных сенсорных сетях.

Применение в беспроводных сенсорных сетях протоколов реактивной и проактивной маршрутизации зарекомендовало себя в различных сетях, но зачастую не является возможным и обоснованным. Во-первых, это связано с иными, по отношению к другим сетям, критериями выбора маршрутов прохождения информации с учётом не только краткости, задержки передачи, но и энергопотребления, с учётом индивидуальных состояний всех узлов сети. Во-вторых, большое число узлов БСС, часто достигающее нескольких тысяч, не позволяет использовать уникальный идентификатор для каждого из них.

Поэтому чаще всего используется MAC-адрес или координаты узла, которые «по умолчанию» составляют часть полезной нагрузки сообщений. В-третьих, структура сети постоянно изменяется, что требует от протоколов низкого времени реакции на изменение маршрута. Наконец, ввиду автономности источников электропитания узлов актуальна задача обеспечения энергетической эффективности любого алгоритма и протокола. Именно эта задача задает основной критерий для анализа протоколов в данной работе. В работе анализируются 6 наиболее распространенных протоколов маршрутизации для БСС, нацеленных на уменьшение энергопотребления узлов в сети: SPIN, LEACH, TEEN, PEGASIS, GAF, GEAR.

Sensor Protocols for Information via Negotiation (SPIN) является адаптивным протоколом, который позволяет строить маршруты передачи информации с высокой энергетической эффективностью [1]. Сети, использующие протокол SPIN, работают с высокоуровневыми дескрипторами данных – мета-данными, т.е. передаются только дескрипторы данных, а сами данные рассылаются по запросу. Для того чтобы исключить передачу избыточной информации, в сети используются согласование мета-данных и знания о доступных ресурсах. Это позволяет узлам эффективно распределять информацию между ретрансляторами с ограниченным источником питания.

Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH). LEACH относится к кластерному типу протоколов, где все узлы делятся на группы-кластеры и выбирают внутри кластера узел-главу для управления обменом информацией. В алгоритме LEACH роль главы кластера периодически выполняют разные узлы сети для равномерного использования энергии. Преимущество LEACH заключается в использовании циклов. В каждом цикле заново выбирается глава кластера из числа узлов, которые не были главами кластеров, и для обеспечения процента глав кластеров относительно общего числа узлов сети. Затем глава кластера рассылает расписание доступа с временным разделением (TDMA) узлов к главе кластера. Это позволяет узлам включать передачу только тогда, когда глава кластера свободен. Также глава кластера отвечает за агрегацию данных, полученных от узлов своего кластера, для устранения избыточности.

Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol (TEEN) в отличие от иерархических протоколов используется для реактивных сетей, которые немедленно реагируют на изменение

различных параметров [3]. В этом протоколе глава кластера рассылает пороговые значения параметров из определенного набора атрибутов (*hard* и *soft*), при достижении которых узел передает информацию. Если параметр из набора атрибутов достигает жесткого порогового значения, узел включает передатчик и передает данные. Затем другие узлы передают данные в соответствующем временном промежутке при выполнении следующих условий: текущее значение атрибутов больше *hard*-порога и текущее значение атрибута отличается от заданного значения на величину, равную или большую, чем *soft*-порог. Обе стратегии направлены на уменьшение затрат энергии на передачу сообщений.

Основным недостатком этого алгоритма является то, что если контролируемое значение не достигнет порогового уровня, то узлы не будут связываться между собой и не будет никакой информации о работоспособности сети. Таким образом, данный алгоритм не применим для приложений, где передача информации должна быть регулярна.

Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems (PEGASIS) считается улучшением алгоритма LEACH. Вместо распределения узлов в кластеры он предусматривает формирование цепочек сенсорных узлов. На основе этой структуры каждый узел передает и принимает информацию только от одного ближайшего соседнего узла. Это позволяет регулировать мощность передачи. Узел выполняет агрегацию данных, пересылает их по цепочке до базовой станции. В каждом цикле только один узел из цепочки взаимодействует с базовой станцией. Цепочка строится с максимальной эффективностью по энергозатратам.

Geographic Adaptive Fidelity (GAF) – протокол, направленный на оптимизацию производительности БСС за счет поиска эквивалентных узлов с точки зрения передачи информации. Эквивалентными считаются такие узлы, которые могут поддерживать связь с одним и тем же множеством соседних узлов. Для определения эквивалентных узлов необходимо знать глобальное (или, по крайней мере, локальное) местоположение узлов сети. Формируется виртуальная сетка с таким размером ячеек, чтобы все узлы ячейки могли взаимодействовать с узлами соседней и наоборот. Таким образом, узлы в одной ячейке – эквивалентные. Для обеспечения энергоэффективности только один из узлов в ячейке будет обеспечивать связь, в то время как остальные будут резервными.

Geographic and Energy and Aware Routing (GEAR) алгоритм маршрутизации, который также основан на знании местоположения

узлов. Локализация происходит с помощью систем глобального позиционирования или других систем. Выбор узла-ретранслятора для построения маршрута основывается на эвристическом выборе из множества соседних узлов. Маршруты, построенные с использованием протокола GEAR, образуются за счет рекурсивной географической передачи пакета внутри сенсорного поля [4]. Таким образом, достигается высокая энергоэффективность при использовании в одноранговых сетях.

В таблице приведены обобщенные характеристики рассматриваемых протоколов [5].

Обобщенные характеристики протоколов маршрутизации

Протокол маршрутизации	Мобильность	Потребляемая мощность	Локализация	Сложность структуры	Масштабируемость	Множественность путей
SPIN	Возможна	Ограничена	Нет	Низкая	Ограничена	Да
LEACH	Фиксированные БС	Максимальна	Да	Сложные главные узлы	Хорошая	Нет
TEEN	Фиксированные БС	Минимальна	Нет	Сложные главные узлы	Хорошая	Нет
PEGASIS	Фиксированные БС	Максимальна	Да	Низкая	Хорошая	Нет
GAF	Ограничена	Ограничена	Да	Низкая	Хорошая	Нет
GEAR	Ограничена	Ограничена	Да	Низкая	Ограничена	Нет

На основе данных, представленных в таблице, можно сделать вывод, что наиболее подходящим протоколом для сетей, чувствительных к объему потребляемой узлами энергии, является протокол TEEN. Однако особенности реализации этого протокола не позволяют использовать его в сетях, где необходима регулярная передача. Для таких сетей необходимо анализировать и другие параметры, кроме потребляемой мощности, для поиска наиболее энергоэффективного протокола. В [5] сделан вывод, что таковым является GEAR, так как протоколы на основе методов географической передачи пакета узлам с локализацией позволяют снизить энергопотребление узлов по сравнению, например, с иерархическими протоколами, как LEACH и PEGASIS.

Отметим, что полученный вывод справедлив при оптимизации энергопотребления. Так, например, для обеспечения соответствия сети требованиям Quality of Service (QoS) необходим выбор протоколов Sequential Assignment Routing (SAR) и Stateless Protocol for Real-Time Communication in Sensor Networks (SPEED) [5].

Дальнейшим направлением исследовательской работы является построение имитационных моделей рассмотренных протоколов с целью количественной оценки энергопотребления узлов при их применении и других сетевых характеристик. Для моделирования выбран широко используемый при исследовании протоколов маршрутизации, а также беспроводных сетей сетевой симулятор NS3 [6].

Библиографический список

1. Routing Protocol in Wireless Sensor Networks / L.J.G. Villalba, A.L.S. Orozco, A.T. Cabrera, C.J.B. Abbas // *Sensors*. – 2009. – Vol. 9. – P. 8399–8421.

2. Зеленин А.Н., Власова В.А. Анализ энергоциклов узлов беспроводных сенсорных сетей // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий* – 2012. – № 3. – С. 13–17.

3. Parvin, Sh., Rahim M.S. Routing Protocols for Wireless Sensor Networks: A Comparative Study // *International Conference on Electronics, Computer and Communication (ICECC'2008)*. – University of Rajshahi, Bangladesh, 2008. – P. 891–894.

4. Ерохин С.Д., Махров С.С. Протоколы маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях: основанные на местоположении узлов и направленные на агрегацию данных // *Т Com Телекоммуникации и транспорт*. – 2013. – № 3. – С. 44–47.

5. Выбор предпочтительных протоколов маршрутизации узлов беспроводной сенсорно-актуаторной сети / В.М. Безрук, А.Н. Зеленин, Ю.В. Скорик, В.О. Власова, Ю.Н. Колтун // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2016. – Т. 1, № 9(79). – С. 4–9.

6. Борисенко А.С., Головкина Л.В. Программные средства моделирования mesh-сетей // *Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании*. – 2013.

Сведения об авторах

Лихачева Юлия Витальевна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК3-16-1м, e-mail: lijulia28@mail.ru.

Даденков Сергей Александрович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, e-mail: dadenkov@rambler.ru.

М.И. Норваткин, С.А. Тюрин

СЕТИ LTE: СТРУКТУРА И ПРИНЦИП РАБОТЫ

В данной статье приведены общая архитектура сетей мобильной связи четвертого поколения на основе технологии LTE, а также принцип работы.

Ключевые слова: мобильные сети, беспроводные технологии, LTE.

M.I. Norvatkin, S.A. Tyurin

LTE NETWORKS: STRUCTURE AND OPERATING PRINCIPLE

This article shows the general architecture of mobile communication networks of the fourth generation based on LTE technology, as well as the principle of operation.

Keywords: mobile networks, wireless technologies, LTE.

Введение. Сети Long Term Evolution (LTE) приходят на смену мобильным сетям третьего поколения, показывая лучшие результаты в скорости передачи данных, в задержке прохождения сигнала, а также в эффективности использования частотного спектра.

Сети LTE являются дальнейшим развитием сетей UMTS третьего поколения. Международным консорциумом 3GPP (3rd Generation Partnership Project) выпущено несколько релизов спецификаций, описывающих принципы построения сетей LTE. Впервые технология LTE была описана в спецификации 3GPP Release 8 и усовершенствована в Release 9. В спецификации 3GPP Release 10 технология получила новое название – LTE Advanced. Эта версия полностью отвечает требованиям, установленным МСЭ для IMT Advanced, и поэтому ее относят к технологиям сетей 4G. На сегодняшний день в коммерческой эксплуатации находятся сети LTEAdvanced Release 10. Дальнейшая эволюция сетей LTE представлена на рис. 1 [2].

Краткое описание LTE сети. Сети LTE могут работать в парном спектре частот в режиме FDD (Frequency Division Duplex). В этом случае для передачи в обоих направлениях связи выделяются фиксированные частотные ресурсы. Сети LTE также могут работать в непарной полосе частот в режиме TDD (Time Division Duplex). Технология LTE TDD имеет возможность гибкого назначения ресурсов для направлений передачи, что оптимально для передачи асимметричного трафика.

Всего под технологию LTE выделено более 40 диапазонов частот (bands) в диапазоне от 700 до 2,7 МГц. При этом использование спектра для LTE имеет региональные особенности. В России в основном используются диапазоны LTE 2600 FDD, Band 7 (2500–2530 МГц / 2620–2650 МГц) и LTE 800 FDD, Band 20 (854,5–862 МГц / 813,5–821 МГц).

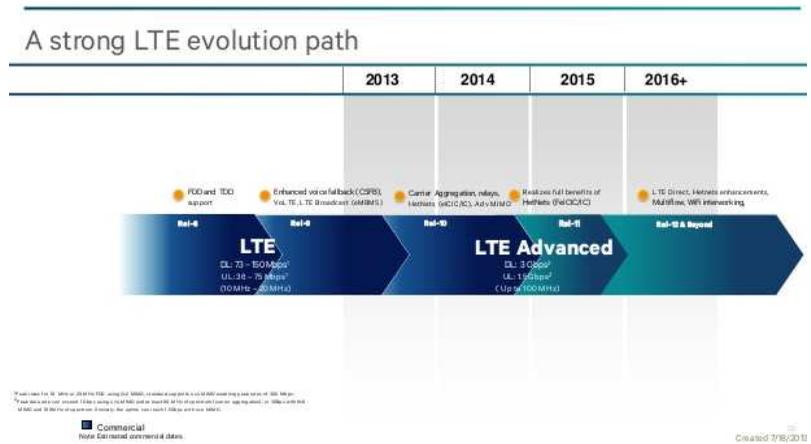


Рис. 1. Эволюция LTE

Для достижения высокой спектральной эффективности в радиоканале и обеспечения эффективного планирования во временной и частотной области, 3GPP был выбран вариант множественного доступа с множеством несущих. Для нисходящей линии связи было выбрано OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов доступа) и для восходящей линии связи – SC-FDMA (Single Carrier – Frequency Division Multiple Access, множественный доступ с частотным разделением на одной несущей).

Полоса частот, выделяемая для одной несущей, может быть 1.4, 3, 5, 10, 15 или 20 МГц. Для повышения скорости передачи используется технология MIMO (2×2, 4×4, 8×8). В радиоканале используется модуляция 64 QAM в нисходящем направлении и до 64 QAM в исходящем.

Пропускная способность составляет для нисходящего направления 73–150 Мбит/с, для восходящего 36–75 Мбит/с (FDD, полоса частот 10 и 20 МГц, 2×2 MIMO).

Обзор архитектуры LTE-сети. Схема сети 4G(LTE) представлена на рис. 2. Как видно из данной схемы, сети LTE включают в себя модули сетей 2,75G (EDGE) и 3G (UMTS). Из-за данной особенности строительство сетей четвертого поколения будет достаточно специфичным и похоже скорее на следующую ступень развития сегодняшних технологий, нежели на что-то принципиально новое.

К примеру, в соответствии с такой структурой звонок или интернет-сессия в зоне действия сети LTE может быть без разрыва соединения передана в сеть 3G (UMTS) или 2G (GSM). Кроме того, сети LTE довольно легко интегрируются с сетями Wi-Fi и Интернет.

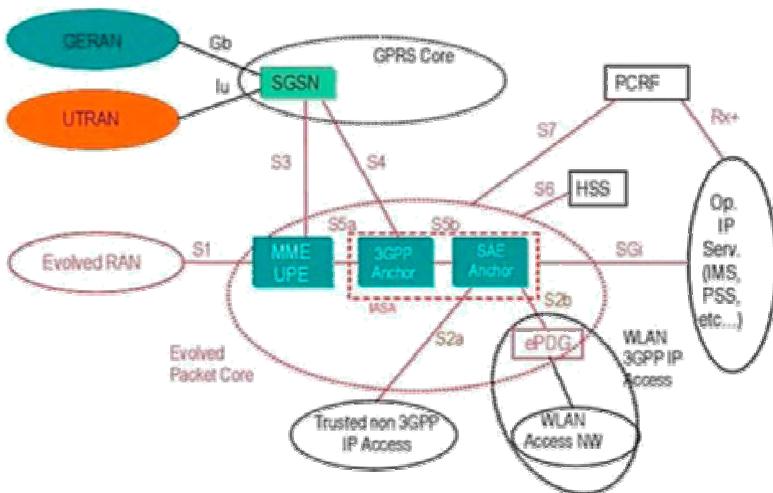


Рис. 2. Схема сети 4G

Основное изменение в сети радиодоступа связано с появлением интерфейса X2, который объединяет базовые станции в соттовую сеть Mesh Network и дает им возможность обмениваться данными между собой напрямую, не задействуя для этого контроллер RNC – Radio Network Controller (рис. 3). На сегодняшний день передача голосовой информации в сети LTE основана на технологии CSFB(Circuit Switch FallBack), которая использует существующий традиционный CS (Circuit switching) домен сетей 2G/3G (рис. 4).

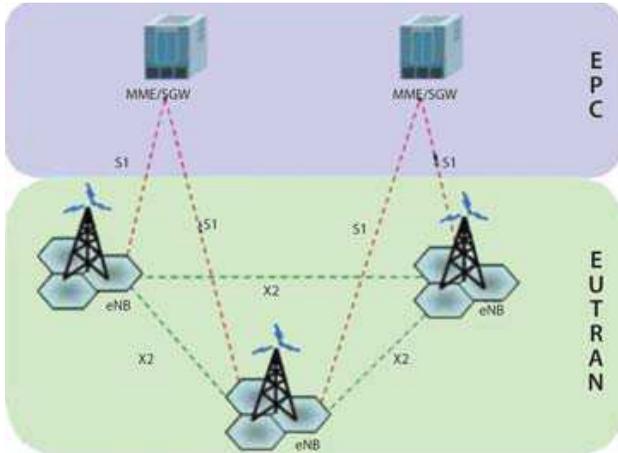


Рис. 3. Структура eUTRAN

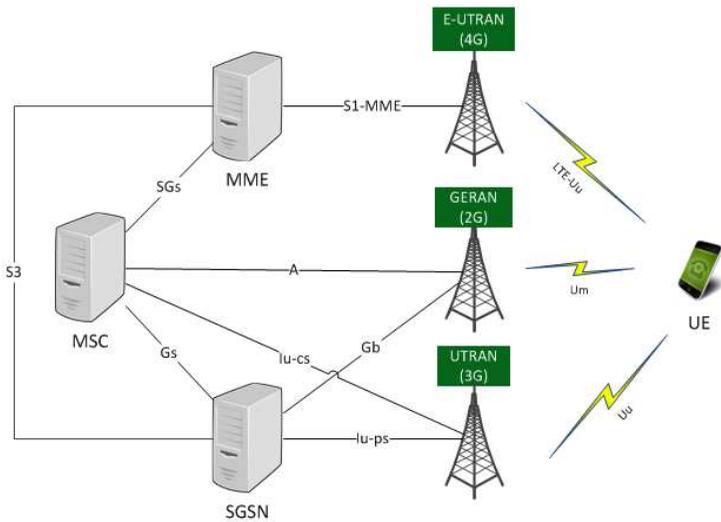


Рис. 4. Технология CSFB

Характеристики оборудования, поддерживающего CS fallback: UE, естественно, имеет доступ и к E-UTRAN/EPC, и к CS domain через сеть GERAN и/или UTRAN. MME использует LAI и hash-значение, получаемое из IMSI, для определения номера VLR в случае, если данный LAI обслуживают несколько MSC/VLR в SGSN

используется это же hash-значение/функция. С MSC всё понятно, но также возможно расширение функционала CS fallback поддержкой ICS и/или SRVCC.

В оригинальной технологии передачи голоса в LTE – VoLTE (Voice over LTE), голос передается уже по IP-сети.

Дальнейшее увеличение скорости передачи в технологии LTE основано на усовершенствовании технологии объединения несущих (carrier aggregation), использовании более сложных схем модуляции и MIMO, применении технологии Multiflow [1].

Работа сотовой сети LTE (4G) производится с коэффициентом переиспользования частот равном 1, т.е. получается, что все базовые станции LTE работают на одной несущей. Внутрисистемные помехи в подобной системе сводятся к минимуму благодаря частотно-селективной диспетчеризации, гибкому частотному плану и координации помех между отдельными сотами. Абонентам в центре каждой соты могут даваться ресурсы из всей полосы свободного канала, а пользователям на краях сот предоставляются частоты только из определенных поддиапазонов.

Библиографический список

1. Кон Е.Л., Тюрин С.А., Матушкин Н.Н. Перспективные технологии беспроводных городских инфокоммуникационных сетей. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 163 с.

2. LTE Advanced-Leading in Chipsets and Evolutionhttp [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.slideshare.net/qualcommwirelessevolution/lte-advancedleading-inchipsetsandevolutionv620130827>) (дата обращения: 10.05.2017).

Сведения об авторах

Норваткин Максим Иванович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК4-16-1м, г. Пермь, e-mail: norvatkin_maksim@mail.ru.

Тюрин Сергей Александрович – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: tiurinsa@yandex.ru.

А.К. Стафеев, С.А. Тюрин

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАНДАРТОВ ЦИФРОВЫХ ТРАНКИНГОВЫХ СЕТЕЙ

В данной статье рассмотрены цифровые стандарты транкинговых сетей: предоставляемые технические и функциональные возможности. В результате проведен сравнительный анализ цифровых стандартов транкинговой связи.

Ключевые слова: транкинговые системы, радиосвязь, стандарт связи, цифровая система связи.

A.K. Stafeev, S.A. Tyurin

COMPARATIVE ANALYSIS OF STANDARDS OF DIGITAL TRUNK NETWORKS

In this article digital standards of trunking networks, their technical capabilities and functionality are considered. The comparative analysis of digital standards of trunking communication has been carried out.

Keywords: trunked system, radio communication, standard of communication, digital communication system.

Введение. Транкинговые системы представляют собой радиально-зональные системы связи, осуществляющие автоматическое распределение каналов связи между абонентами. Под термином «транкинг» понимается метод доступа абонентов к общему выделенному пучку каналов, при котором свободный канал выделяется абоненту на время сеанса связи.

На рынке мобильной (подвижной) радиосвязи транкинговые системы занимают нишу между «обычными» радиостанциями и сотовыми системами связи. С технической точки зрения современные транкинговые системы близки к сотовым, а основные отличия заключаются в их функциональном назначении. Транкинговые системы разрабатывались специально для организаций, которым необходимо управлять персоналом на выезде [1].

К основным преимуществам транкинговых систем относятся:

- мгновенное соединение (0,1–0,3 с);
- минимальная вероятность занятой линии (не более 0,5 %);

- возможность организации группового или индивидуального вызова;
- администрирование с расстановкой приоритетов;
- вне зоны действия сети возможен режим обычной радиосвязи между радиостанциями;

- быстрота развертывания и надежность систем.

К основным недостаткам систем транкинговой связи следует отнести:

- наличие мелких систем, не связанных друг с другом;
- проблема выбора частотного диапазона;
- проблема «двойников»;
- проблема роуминга.

Рассматриваемые стандарты. Одним из первых цифровых стандартов является стандарт EDACS (Enhanced Digital Access Communication System), разработанный фирмой Ericsson. Система на основе стандарта EDACS может быть однозоновой и многозоновой.

С момента создания система была ориентирована на применение службами общественной безопасности, что не могло не повлиять на надежность и защищенность системы.

Стандарт TETRA создавался Европейским институтом телекоммуникационных стандартов (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) как единый общеевропейский стандарт цифровой транкинговой радиосвязи. Аббревиатуры TETRA расшифровывается как наземное транкинговое радио (TErrestrial Trunked RADio).

Стандарт TETRA разработан на основе технических решений и рекомендаций стандарта GSM. TETRA – открытый стандарт, т.е. предполагается, что оборудование различных производителей совместимо. Система TETRA поддерживает совместное использование сети несколькими организациями (виртуальные сети TETRA), сохраняя при этом секретность и взаимную безопасность.

Стандарт APCO 25 разработан Ассоциацией официальных представителей служб связи органов общественной безопасности (Association of Public Safety Communications Officials-International, APCO). Стандарт включает основные документы, определяющие принципы построения радиоинтерфейса и других системных интерфейсов, протоколы шифрования, методы речевого кодирования и поддерживает как транкинговые, так и обычные (конвенциональные) системы радиосвязи, в которых абоненты взаимодействуют между собой либо в режиме непосредственной связи, либо через ретранслятор.

Стандарт Tetrapol описывает цифровую транкинговую систему радиосвязи с выделенным каналом управления и частотным методом разделения каналов связи. Стандарт позволяет создавать как однозоновые, так и многозоновые сети связи различной конфигурации, обеспечивая возможность прямой связи между подвижными абонентами без использования инфраструктуры сети и ретрансляции сигналов на фиксированных каналах [2].

Анализ стандартов транкинговых сетей. Все показатели цифровых стандартов, которые можно рассматривать в качестве критериев для сравнения, с определенной долей условности можно разбить на две группы: эксплуатационно-технические и организационно-экономические. Мы же проанализируем только первую группу критериев. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение цифровых транкинговых систем

Характеристика стандарта	TETRA	APCO 25	Tetrapol	EDACS
Разработчик стандарта	ETSI	APCO	Matra Communications	Ericsson
Статус стандарта	Открытый	Открытый	Корпоративный	Корпоративный
Основные производители радиосредств	Nokia, Alcatel, Motorola, OTE	Motorola, E.F. Johnson Inc., Transcrypt, ADI Limited	Matra, Nortel, CS Telecom, Siemens	Ericsson
Возможный диапазон рабочих частот, МГц	Теоретически 150-900	138-174; 406-512; 746-869	70-520	138-174; 403-423; 450-470; 806-870
Разнос между частотными каналами, кГц	25	12,5; 6,25	12,5; 10	30; 25; 12,5
Эффективная полоса частот на один речевой канал, кГц	6,25	12,5; 6,25 (для фазы II)	25; 12,5	25; 12,5
Вид модуляции	p /4-DQPSK	C4FM (12,5 кГц) CQPSK (6,25 кГц)	GMSK (BT = 0,25)	GFSK
Метод речевого кодирования и скорость рече-преобразования	CELP (4,8 Кбит/с)	IMBE (4,4 Кбит/с)	RPCELP (6 Кбит/с)	Н/с
Скорость передачи информации в канале, бит/с	7200 (28800 – при передаче 4 информационных каналов на одной физической частоте)	9600	8000	9600

Окончание табл. 1

Характеристика стандарта	TETRA	APCO 25	Tetrapol	EDACS
Время установления канала связи, с	0,2 с – при индив. вызове (min); 0,17 с – при групповом вызове (min)	0,25 – в режиме прямой связи; 0,35 – в режиме ретрансляции; 0,5 – в радиоподсистеме	Не более 0,5	Не более 0,25
Метод разделения каналов связи	МДВР (с ЧР в многозональных системах)	МДЧР	МДЧР	МДЧР
Вид канала управления	Выделенный или распределенный (зависит от конфигурации сети)	Выделенный	Выделенный	Выделенный
Возможности шифрования информации	1) Стандартные алгоритмы; 2) Сквозное шифрование	4 уровня защиты информации	1) Стандартные алгоритмы; 2) Сквозное шифрование	1) Стандартные алгоритмы; 2) Сквозное шифрование; 3) Возможны свои алгоритмы шифрования

Под эксплуатационно-техническими критериями будем понимать обобщенные технические показатели, которые определяются параметрами систем связи, такие как дальность и оперативность связи, степень безопасности связи, спектральная эффективность, набор услуг связи. Каждый из этих критериев является комплексным, т.е., в свою очередь, складывается из нескольких показателей или зависит от определенного набора параметров, которые будут рассмотрены ниже.

Дальность связи зависит от большого количества факторов. Уместно провести сравнение только на основе факторов, определяемых непосредственно заложенными в стандарте принципами построения каналов связи (ширина полосы канала связи, скорость информации в канале, способ модуляции сигнала, алгоритм речевого кодирования, методы помехоустойчивого кодирования). Во многих источниках приводятся данные о приблизительно двухкратном снижении дальности связи в системах с TDMA по сравнению с системами с частотным разделением каналов связи.

Основным параметром, характеризующим оперативность связи, является время установления соединения (канала связи) между абонентами. Если рассматривать время установления канала связи в пределах зоны действия одной базовой станции, то все стандарты имеют близкие

показатели, в пределах от 0,2 до 0,5 с. Однако, как справедливо отмечают некоторые источники, преимущество стандартов, использующих FDMA (Tetrapol, APCO 25, EDACS), состоит в том, что минимальная длительность установления соединения сохраняется на более обширной территории, так как дальность связи для этих стандартов больше [3].

Вместе с тем все большее значение в современных сетях подвижной радиосвязи приобретает скорость передачи данных, которая также является показателем оперативности связи. Для стандарта TETRA она может достигать 28,8 Кбит/с (при использовании всех четырех временных интервалов для передачи массива данных). Для стандартов FDMA она в несколько раз меньше.

Основным показателем спектральной эффективности системы связи является эффективная полоса частот на один речевой канал, определяющая, какое количество каналов связи можно разместить в отведенной для развертывания сети связи фиксированной полосе частот. Из табл. 1 видно, что по этому показателю TETRA имеет преимущество по сравнению со стандартами с частотным разделением каналов. Стандарт APCO 25 также декларирует эффективную полосу частот, равную 6,25 кГц, однако она достигнута только во второй фазе реализации проекта.

Функциональные возможности, предоставляемые системами стандартов цифровой транкинговой радиосвязи, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Функциональные возможности цифровых транкинговых систем

№	Функциональные возможности системы связи	TETRA	APCO 25	Tetrapol	EDACS
1	Поддержка основных видов вызова (индивидуальный, групповой, широкоэмительный)	+	+	+	+
2	Выход на ТФОП	+	+	+	+
3	Передача данных и доступ к централизованным базам данных	+	+	+	+
4	Режим прямой связи	+	+	+	-
5	Автоматическая регистрация мобильных абонентов	+	+	+	+
6	Персональный вызов	+	+	+	+
7	Доступ к фиксированным сетям IP	+	+	+	+
8	Передача статусных сообщений	+	+	+	+
9	Передача коротких сообщений	+	+	+	+
10	Поддержка режима передачи данных о местоположении от системы GPS	+	н/с	+	+
11	Факсимильная связь	+	+	+	н/с

№	Функциональные возможности системы связи	TETRA	APCO 25	Tetrapol	EDACS
12	Возможность установки открытого канала	+	н/с	+	н/с
13	Множественный доступ с использованием списка абонентов	+	+	+	+
14	Наличие стандартного режима ретрансляции сигналов	+	+	+	+
15	Наличие режима «двойного наблюдения»	+	-	+	н/с

Рассматривая функциональные возможности представленных стандартов транкинговой связи, можно сказать, что они обеспечивают сравнимый уровень услуг связи. Все стандарты позволяют строить различные конфигурации сетей связи, обеспечивают разнообразные режимы передачи речи и данных, связь с телефонными сетями общего пользования (ТФОП) и фиксированными сетями.

Библиографический список

1. Овчинников А.М., Воробьев С.В., Сергеев С.И. Открытые стандарты цифровой транкинговой радиосвязи // Серия изданий «Связь и бизнес» / МЦНТИ ООО «Мобильные коммуникации». – М., 2000. – 166 с.
2. Цикин И.А., Бабков В.Ю. Сотовые системы мобильной радиосвязи. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 426 с.
3. Стандарты цифровой транкинговой радиосвязи [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.phreaking.ru/showpage.php?pageid=53685>. (дата обращения: 10.05.2017).

Сведения об авторах

Стафеев Александр Константинович – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК4-16-1м, г. Пермь, e-mail: stafa59@mail.ru.

Тюрин Сергей Александрович – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: tiurinsa@yandex.ru.

Л.В. Стрельникова

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ В СЕТЯХ 5G

В данной статье рассматривается применение кластеризации в сетях 5G при переходе от микросит к пикосотам.

Ключевые слова: 5G, кластеризация, FOREL, КНП.

L.V. Strelnikova

APPLICATION OF FAZZY CLUSTERING IN 5G NETWORKS

In this paper, we consider the application of clustering in 5G networks in the transition from microsite to picocells.

Keywords: 5G, clustering, FOREL, SOP.

Применение алгоритмов кластеризации при анализе трафиковых процессов в сетях мобильной связи пятого поколения позволяет разделять абонентов сети на кластеры, благодаря чему становится доступна экономия частотного ресурса.

Внедрение сетей пятого поколения предполагает использование сверхвысоких частот от 1 до 100 ГГц, что, в свою очередь, влечет переход от микросот к пикосотам.

Пикосота – это выносной маломощный блок для приема и передачи данных, соединенный с операторским контроллером базовой станции с помощью интернет-соединения.

Радиус действия такой пикосоты равен примерно 50 м, в то время как радиус микросоты 300 м.

Одним из входных параметров для работы алгоритма FOREL является радиус действия. Предполагается, что кластеризуются абоненты, находящиеся в радиусе действия одной базовой станции.

Важной проблемой при проведении анализа трафиковых процессов в сетях мобильной связи являются априорные сведения о количестве кластеров. Для решения данной задачи можно использовать алгоритм нечеткой кластеризации FOREL, в котором задается не число кластеров, а размер кластера R . В двумерной задаче на геометрической

плоскости под R понимается максимальное расстояние от элемента кластера до его центра масс (радиус) [1].

Алгоритм работы данного метода кластеризации:

1. Задание границ области, координат объектов (точек) и максимального размера кластера (R).

2. Выбирается случайная точка, которая назначается центром кластера на начальном этапе.

3. Все объекты, которые находятся на расстоянии, не превышающем R , приписываются к данному кластеру.

4. Для полученного кластера перевычисляется центр масс в соответствии с формулой

$$x_0 := \frac{1}{x_0} \sum_{x_i \in k_0} x_i.$$

Если рассчитанные координаты центра масс совпадают с точкой, то считается, что кластер i определен и все точки приписанные, данному кластеру, отмечаются как кластеризованные и исключаются из дальнейшего рассмотрения. Осуществляется переход к пункту 5 – поиску следующего кластера.

Если вычисленный центр масс не совпадают с точкой, то процесс поиска продолжается. Поиск происходит с пункта 3, где центром назначается вычисленный центр масс.

5. Проверятся, остались ли объекты, которые не относятся ни к одному кластеру. Если нет, то считается, что все кластеры найдены, и поиск завершается. Если объекты остались, то повторяется пункт 2 для поиска очередного кластера.

В ситуации, когда радиус действия БС станции является таким незначительным, может получиться что абонентов в одном кластере достаточно мало. И обслуживать несколько кластеров с малым числом абонентов неэффективно. С целью оптимизации распределения радиоресурса было бы эффективно объединить малые кластеры в один.

Для решения этой задачи можно использовать совместную работу алгоритма FOREL и КНП (кратчайшего незамкнутого пути). Сначала с помощью FOREL определяются центры кластеров первого уровня, затем к ним применяется алгоритм КНП, который строит граф на этих точках, объединяя мелкие кластеры первого уровня в более крупные кластеры второго уровня [2].

Алгоритм КНП выглядит следующим образом:

1) находится пара точек (x_i, x_j) с наименьшим расстоянием $\rho(x_i, x_j)$;

- 2) найденные точки (x_i, x_j) соединяются ребром;
- 3) находится пара точек (x_i, x_j) , изолированная x_i и связанную x_j с наименьшим расстоянием $\rho(x_i, x_j)$;
- 4) пара (x_i, x_j) соединяется ребром;
- 5) если в выборке остались изолированные точки, то повторяется на п. 3;
- 6) удаляются $k-1$ самых длинных рёбер;
- 7) конец алгоритма.

Работа алгоритмов была рассмотрена в ПО Octavian.

Результат совместной работы алгоритма FOREL и КНП представлен на рисунке.

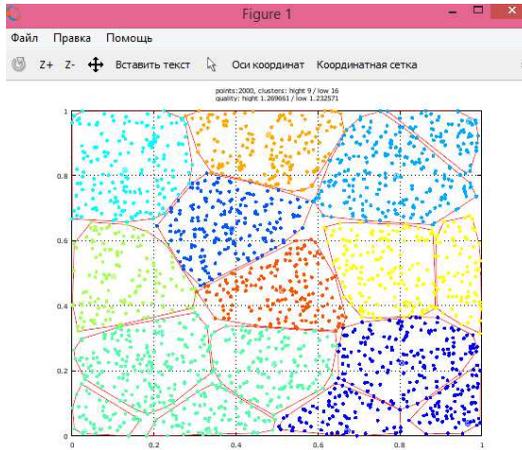


Рис. Результат работы совместной работы алгоритмов FOREL и КНП

Библиографический список

1. Парамонов А.И. Разработка и исследование комплекса моделей трафика для сетей связи общего пользования: дис. ... д-ра техн. наук: 05.12.13. – СПб., 2014. – 325 с.
2. URL: <http://mechanoid.kiev.ua/ml-forel.html#knp>

Сведения об авторе

Стрельникова Любовь Владиславовна – студентка Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, гр. K4215, г. Санкт-Петербург, e-mail: stelnikova0lubov@gmail.com.

Е.А. Сунегина, В.И. Фрейман

МОДЕЛИРОВАНИЕ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

В данной статье приведен сравнительный анализ групповых, циклических, сверточных и кодов Рида–Соломона, использующихся в телекоммуникационных сетях в целях повышения помехоустойчивости. Приведены результаты моделирования линий связи с данными методами кодирования.

Ключевые слова: помехоустойчивое кодирование, групповой код, циклический код, сверточное кодирование, кодирование Рида–Соломона.

E.A. Sunegina, V.I. Freyman

SIMULATION AND COMPARATIVE ANALYSIS OF VARIOUS METHODS OF NOISE-IMMUNITY IN TELECOMMUNICATION NETWORKS

In this article are presented the comparative analysis of the group, cyclic, convolutional and Reed-Solomon codes used in telecommunication networks to improve the noise-immunity. Results of simulation of communication lines with these coding methods are presented.

Keywords: noise-immune coding, group code, cyclic redundancy check, convolutional coding, Reed-Solomon coding.

Динамичный переход нашей технологической цивилизации на цифровые системы обработки и передачи информации создает много проблем при проектировании современных систем телекоммуникаций. Одной из важнейших задач, которые при этом необходимо решать во всех подобных системах, является высокое качество передачи данных. При этом качество передачи информации характеризуется двумя взаимосвязанными понятиями: достоверностью и помехоустойчивостью [1].

Достоверность можно определить степенью соответствия принятого и переданного сообщения, а помехоустойчивость – способностью системы обеспечить высокую достоверность на фоне помех [2]. Таким образом, задача обеспечения высокой помехоустойчивости систем

связи является сейчас особенно актуальной, а основным средством ее достижения – различные методы помехоустойчивого кодирования.

Объектом исследования являются различные способы помехоустойчивого кодирования в телекоммуникационной сети.

Цель исследования – проведение моделирования и сравнительного анализа различных способов помехоустойчивого кодирования в телекоммуникационных системах.

Основные задачи исследования состоят в аналитическом описании групповых, циклических, сверточных и кодов Рида–Соломона, их моделировании и проведении сравнительного анализа.

Групповым кодом называется векторное подпространство векторного пространства всех последовательностей длины n . Групповые коды являются линейными алгебраическими кодами, для которых справедливо соотношение $d_{\min} = w_{\min}$, т.е. минимальное кодовое расстояние равно минимальному весу кодовой комбинации [4].

Циклические коды составляют большую группу наиболее широко используемых на практике линейных, систематических кодов [5]. Основное свойство циклических кодов, давшее им название, состоит в том, что каждый вектор, получаемый из исходного кодового вектора путём циклической перестановки его символов, также является разрешённым кодовым вектором [6].

Сверточные коды являются непрерывными рекурсивными кодами, т.е. кодируемая последовательность не разделяется на блоки, а выход кодера – это свертка отклика линейной системы на входную информационную последовательность. При свёрточном кодировании преобразование информационных последовательностей в выходные и кодовые происходит непрерывно. Кодер двоичного свёрточного кода содержит сдвигающий регистр из m разрядов и сумматоры по модулю 2 для образования кодовых символов в выходной последовательности.

Коды Рида–Соломона базируются на блочном принципе коррекции ошибок и используются в огромном числе приложений в сфере цифровых телекоммуникаций и при построении запоминающих устройств [7].

Для проведения анализа рассмотрены следующие характеристики группового систематического кода: зависимость вероятности ошибки на бит от соотношения сигнал/шум в дБ и энергетический выигрыш кодирования (ЭВК). Зависимость вероятности ошибки на бит от соотношения сигнал/шум можно представить графически,

и они показывает вероятность принятия ошибочных битов при увеличении значения сигнал/шум.

Для проведения моделирования составлены 4 модели канала связи с использованием различных способов помехоустойчивого кодирования. На рис. 1 представлена модель канала связи с циклическим кодированием. Модели каналов связи с групповым, сверточным и кодированием Рида–Соломона построены аналогичным образом.

Основные используемые блоки: генератор ПСП, кодер (групповой, циклический, Рида–Соломона, сверточный), BPSK–модулятор, модель канала связи с белым шумом, BPSK–демодулятор, декодер (групповой, циклический, Рида–Соломона, сверточный), блок вычисления вероятности ошибки, дисплей.

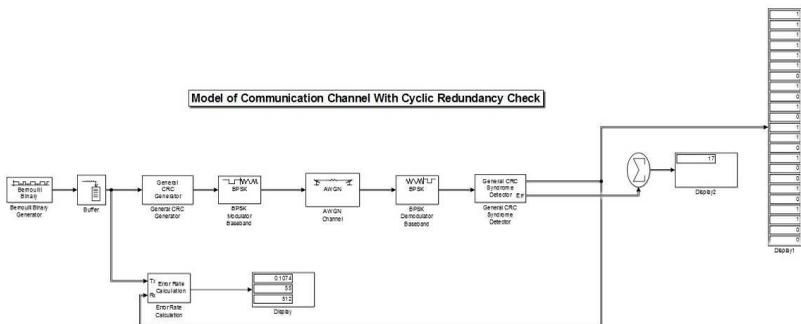


Рис. 1. Модель канала связи с использованием циклического кодирования

На рис. 2 представлены полученные в результате моделирования данные.

Энергетический выигрыш от применения кодирования (ЭВК) равен разности значений E/N_0 , необходимых для обеспечения заданной вероятности ошибки в передаваемых данных при отсутствии и при использовании кодирования. ЭВК рассчитывается по формуле

$$\text{ЭВК}_{\text{гр}} = \Delta PC + 10 \cdot \log(r_{\text{гр}}) = h_1^2 - h_2^2 + 10 \cdot \log(r_{\text{гр}}), \quad (1)$$

где h_1^2 и h_2^2 – отношения сигнал/шум в системе передачи без кодирования и с кодированием соответственно; ΔPC – разность отношений сигнал/шум $h_1^2 - h_2^2$ для группового кода; $r_{\text{гр}}$ – скорость группового кода.

ЭВК рассчитан также для циклических, сверточных и кодов Рида–Соломона. Полученные результаты представлены в таблице.

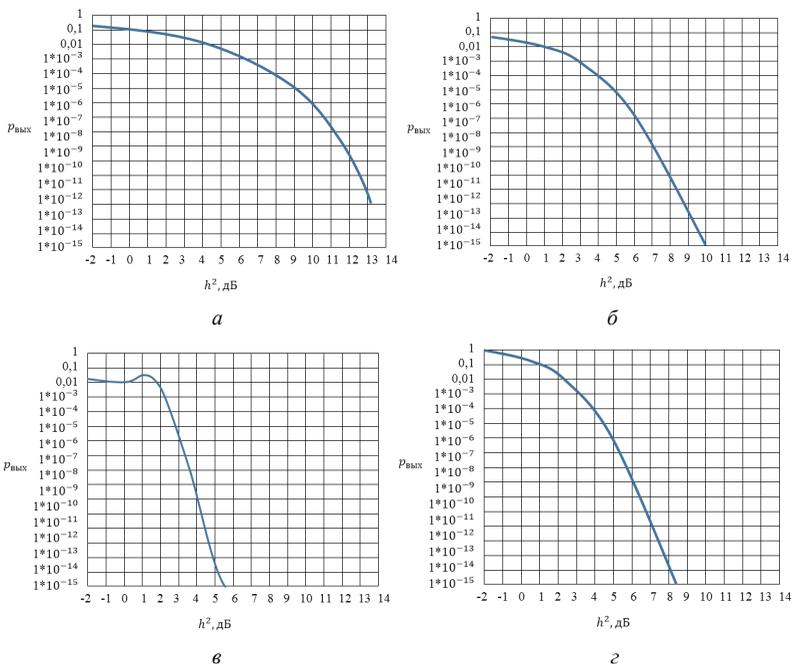


Рис. 2. Зависимость вероятности ошибки от соотношения сигнал/шум для группового кода (а), циклического (б), сверточного (в), кода Рида–Соломона (г)

ЭВК различных способов помехоустойчивого кодирования

Вероятность ошибки	ЭВК _{гр} , дБ	ЭВК _{БЧХ} , дБ	ЭВК _{РС} , дБ	ЭВК _{СВ} , дБ
10^{-5}	3,78	3,82	5,42	4,68
10^{-6}	3,83	4,33	6,06	4,79
10^{-8}	4,16	5,01	7,03	5,30
10^{-10}	4,36	5,42	7,72	5,51
10^{-12}	4,94	5,72	8,20	5,67

Закключение. При использовании группового и циклического кода при высоких вероятностях ошибки (т.е. при малом отношении сигнал/шум) последняя вероятность ошибки очень велика, что делает данные коды невозможным для использования в телекоммуникационных системах, где требуются высокие значения помехоустойчивости. Однако при высоких значениях соотношения сигнал/шум циклический код оказывается более эффективным.

При высоких вероятностях ошибки код Рида–Соломона показывает наилучшие свойства по сравнению с другими рассмотренными кодами, поэтому он нашел такое широкое применение в беспроводных коммуникациях и цифровом телевидении.

Сверточный код показывает лучшие свойства при высоких вероятностях ошибки, чем код Рида–Соломона, однако при небольших вероятностях ошибок код Рида–Соломона оказывается эффективнее.

По представленным данным ЭВК можно сделать вывод, что наибольшим энергетическим выигрышем от применения кодирования обладает код Рида–Соломона. Полученные в результате исследования данные о свойствах различных методов обеспечения помехоустойчивости можно использовать при проектировании, исследовании, моделировании телекоммуникационных сетей.

Библиографический список

1. Вернер М. Основы кодирования: учебник для вузов. – М: Техносфера, 2004. – 288 с.

2. Золотарев В.В., Овечкин Г.В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: справочник [Электронный ресурс]. – URL: http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_38128#1 (дата обращения: 14.05.2017).

3. Колесник В.Д. Учебное пособие по курсу «Кодирование и декодирование сообщений (Алгебраическая теория блоковых кодов)». – СПб., 2006. – 28 с.

4. Кон Е.Л., Фреман В.И. Теория электрической связи. Помехоустойчивая передача данных в информационно-управляющих и телекоммуникационных системах: модели, алгоритмы, структуры: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 312 с.

5. Никитин Г.И. Помехоустойчивые циклические коды: учеб. пособие / СПбГУАП. – СПб., 2003. – 33 с.

6. Фрейман В.И. Теория электрической связи. Помехоустойчивое кодирование в телекоммуникационных системах: учеб.-метод. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. – 73 с.

7. Generalized Reed-Solomon Codes [Электронный ресурс]. – URL: <http://users.math.msu.edu/users/jhall/classes/codenotes/GRS.pdf> in Notes on Coding Theory by Jonathan I. Hall (дата обращения: 14.05.2017).

Сведения об авторах

Сунегина Екатерина Анатольевна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТКЗ-16-1м, г. Пермь, e-mail: sunegina.katerin@mail.ru.

Фрейман Владимир Исаакович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: vfrey@mail.ru.

Д.Е. Тернавский, А.В. Гаврилов

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТЕЙ С ЯЧЕИСТОЙ ТОПОЛОГИЕЙ

В данной статье рассказаны теоретические основы о сетях с ячеистой топологией, приведены аналитический обзор и сравнительный анализ симуляторов сетей, выбран наилучший вариант ПО.

Ключевые слова: ячеистая топология, симулятор, моделирование, OMNeT++, беспроводные сети.

D.E. Ternavskiy, A.V. Gavrilov

MODELLING MESH NETWORKS

In this article describes theoretical basis about networks with mesh topology, then presented analytical review and comparative analysis of network simulators. After, selected best network simulator.

Keywords: mesh topology, simulator, simulating, network model, OMNeT++, wireless network.

Ячеистая топология (Mesh Topology) – сетевая топология, в которой рабочие станции соединяются друг с другом и способны принимать на себя роль коммутатора. Данная организация сети является достаточно сложной в настройке, но при такой топологии реализуется высокая отказоустойчивость. Большое количество связей обеспечивает широкий выбор маршрута следования трафика, потому что обрыв одного соединения не нарушит функционирования сети в целом.

Mesh-сеть – это такое объединение, при котором сигнал и трафик между устройствами маршрутизируется напрямую через отдельные устройства, без участия какого-то централизованного сервера. Mesh-сети, как правило, являются беспроводными. Каждая ячейка такой сети одновременно выполняет несколько функций.

Общие особенности mesh-сетей:

1) интеллектуальность. Каждая точка автоматически получает информацию о всех других точках и «выясняет» свою роль. Нет необходимости постоянного администрирования, что способствует быстрому развёртыванию;

2) самовосстановление и самоадаптация. При выходе из строя одного из узлов сеть перенаправляет данные (автоматическое перепределение маршрутов);

3) быстрое и недорогое развёртывание. Mesh-сеть не требует дорогостоящей инфраструктуры и прокладки кабелей, она является экономной в эксплуатации.

Сейчас ячеистые сети набирают популярность и всё больше используются для различных задач как крупными организациями, так и группами мелких пользователей. Поэтому возникает необходимость моделирования mesh-сетей. Основные преимущества моделирования – низкая стоимость и лёгкость поддержания и повторения процесса моделирования. Существуют и недостатки – отсутствие стандартов (результаты, полученные в разных средах, будут мало сопоставимы); зависимость результатов от реализации симулятора сети [1, 2].

Ячеистые сети – относительно новая технология, поэтому существует проблема выбора среды для моделирования данной топологии. Были произведены аналитический обзор и сравнительный анализ шести симуляторов сетей:

1) NS-2 (Network Simulator 2). ПО с открытым исходным кодом, дискретно-событийный симулятор сети, который поддерживает моделирование основных сетевых протоколов проводных и беспроводных сетей. NS-2 осуществляет имитационное моделирование сетей на уровне пакетов. Моделируется трафик, возможно моделирование работы протоколов транспортного уровня, multicast-протоколов, различных протоколов маршрутизации в проводных и беспроводных сетях. Моделируются некоторые факторы, относящиеся к физическому уровню. Результатом являются текстовые файлы. Для визуализации результатов используются аниматор NAM (Network Animator) и построитель графиков Xgraph. Система содержит генератор топологий, упрощающий описание топологии больших сетей [3].

2) NS-3 (Network Simulator).

3) ПО с открытым исходным кодом, дискретно-событийный симулятор сети. Данный симулятор предоставляет возможность моделировать широкий спектр протоколов и процессов, происходящих

в компьютерных сетях. NS-3 предоставляет возможность построения как собственных моделей, так и изменение и дополнение уже существующих моделей. Также он позволяет моделировать процессы в реальном времени и интегрировать его с испытательным стендом [3, 4].

В NS-3 разработаны модели для построения проводных и смешанных топологий различной сложности, а также беспроводных типов сетей, моделирующие даже движущиеся объекты в трёхмерном пространстве. Есть реализация различных типов mesh-сетей на основе стека протоколов 802.11s. Симулятор не имеет собственного графического интерфейса, для визуализации используются проекты NetAnimator и PyViz [5].

3) OMNeT++ (Objective Modular Network Testbed in C++). Симулятор дискретных событий, которые происходят внутри простых модулей. В данном ПО заложены детальная реализация протоколов, возможность написания и подключения собственных модулей, развитый графический интерфейс, а также интерфейс командной строки. Симулятор распространяется бесплатно [6].

Процесс моделирования удобно отображается в виде объектов, обменивающимися сообщениями. Симулятор имеет графические инструменты для создания моделей и оценки результатов в режиме реального времени. Модели программы собираются из модулей. Модули можно использовать много раз и объединять в составные модули. Количество вводимых модулей неограниченно. Графический интерфейс удобен для демонстрации и отладки сети, а интерфейс командной строки удобен для внесения изменений [7].

4) OPNET. Средство для проектирования и моделирования локальных и глобальных сетей, компьютерных систем, приложений и распределенных систем. Является коммерческим дискретным симулятором событий. Включает следующие продукты: Netbiz (проектирование и оптимизация вычислительной системы), Modeler (моделирование и анализ производительности), ITGuru (оценка производительности сетей и систем) [6].

Симулятор обеспечивает моделирование сетевых протоколов и разработку сценариев тестирования в реальных условиях. OPNET Modeler может использовать созданные вручную топологии,

импортированные топологии или предоставить на выбор предустановленную топологию из своей базы. Для моделирования беспроводных сетей используется расширение OPNET Modeler Wireless Suite. OPNET Modeler имеет графический интерфейс, используемый для создания модели, проведения моделирования и анализа данных [3].

5) GloMoSim (Global Mobile Information System Simulator). Симулятор сети, который распространяется бесплатно. Он предназначен для беспроводных сетей. В GloMoSim отсутствует графический интерфейс. Беспроводные ячеистые сети поддерживаются частично. Существует возможность установки внешних инструментов для визуализации результатов [3].

6) QualNet. Сетевой симулятор, использующий технологию масштабирования сетей. QualNet – мощный инструмент, обладающий очень высокой точностью. Почти все функции моделирования доступны с уровня графического интерфейса. QualNet имеет поддержку беспроводных mesh-сетей, существуют дополнительные модели для таких сетей, которые доступны для загрузки [3].

Сравнительный анализ проиллюстрирован в двух различных таблицах. Общее сравнение симуляторов сети представлено в табл. 1. Сравнение симуляторов по их функциональным возможностям представлено в табл. 2.

Таблица 1

Общее сравнение ПО

Название	Стоимость	Поддержка ОС Windows/Linux	Графический интерфейс	Поддержка производителя	Дополнительные модули
NS-2	Бесплатно	+/+	Дополнительный модуль	Не поддерживается	Мало
NS-3	Бесплатно	+/+	Дополнительный модуль	Поддерживается	Много
OMNeT++	Бесплатно	+/+	Встроенный	Поддерживается	Достаточно
OPNET	~50\$	+/+	Встроенный	Поддерживается	Достаточно
GloMoSim	Бесплатно	+/+	Дополнительный модуль	Не поддерживается	Мало
QualNet	~60\$	+/+	Встроенный	Поддерживается	Достаточно
NS-2	Протоколы представительского и сеансового уровня		Частично	Не ограничен	+

Сравнение по функциональным возможностям

Название	Моделируемые протоколы и технологии	Моделирование mesh-сетей	Размер моделируемых сетей	Возможность добавления своих протоколов
NS-3	Протоколы представительского и сеансового уровня, стандарт IEEE 802.11s	+	Не ограничен	+
OMNeT++	Большинство протоколов модели OSI	+	Не ограничен	+
OPNET	Большинство протоколов модели OSI	+	Не ограничен	+
GloMoSim	Основные сетевые протоколы	Частично	Ограничен, не более 2000 узлов	-
QualNet	Большинство протоколов модели OSI	+	Не ограничен	+

В результате аналитического обзора и сравнительного анализа симуляторов сетей был выбран симулятор OMNeT++, который бесплатен, имеет встроенный графический интерфейс. Данное ПО обладает необходимыми функциональными возможностями.

Выбранный симулятор возможно использовать в образовательных и научных целях. Данное ПО будет использоваться для моделирования различных mesh-сетей, изучения и создания протоколов.

Библиографический список

1. Мастерская по mesh-сетям: что это такое и кому они нужны [Электронный ресурс]. – URL: <https://te-st.ru/reports/mesh-networks-workshop-2/> (дата обращения: 07.10.16).

2. Кисилёв М. Ячеистые сети [Электронный ресурс]. – URL: <http://citforum.ru/nets/wireless/mesh/> (дата обращения: 07.10.16).

3. Owczarek P., Zwierzykowski P. Review of Simulators for Wireless Mesh Networks // Journal of telecommunications and information technology. – 2014. – 7 с.

4. Использование симулятора NS-3 для изучения хаотического поведения высокоскоростных сетей связи / А.В. Карпунин, И.Н. Кудрявцев, А.В. Борисов, Д.И. Грицив // International Conference "Parallel

and Distributed Computing Systems" PDCS 2013. – Ukraine, Kharkiv, 13–14 March 2013. – Kharkiv, 2013. – С. 153.

5. Обзор сетевого симулятора NS3 [Электронный ресурс]. – URL: https://lvee.org/en/reports/LVEE_2010_31/ (дата обращения: 11.11.16).

6. Игнатенко А.П., Цицкун Д.В. Противодействие атакам на отказ в сети Интернет: выбор среды моделирования / Институт программных систем НАН Украины. – Киев, 2016. – С. 581.

7. Пернебекова Д.А. Исследование сенсорных сетей с помощью средств моделирования OMNET++: дипломный проект / Алматин. ун-т энергетики и связи. – Алматы, 2015.

Сведения об авторах

Тернавский Денис Евгеньевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТКЗ-16-1м, г. Пермь, e-mail: disa9442@mail.ru.

Гаврилов Алексей Викторович – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: gaval74@mail.ru.

К.И. Харюшина, С.А. Даденков

ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ПРОТОКОЛОВ СЛУЧАЙНОГО МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА P-PERSISTENT CSMA

В статье разработаны модели протокола p -CSMA случайного множественного доступа узлов к общему разделяемому каналу передачи с прогнозированием (predictive p -persistent) и без прогнозирования. Выполняется анализ вероятностных и временных характеристик моделей при различной загруженности сетевого канала: вероятности возникновения коллизий и загруженности канала связи, задержки передачи данных.

Ключевые слова: протоколы случайного множественного доступа p -CSMA, коллизии, загруженность канала связи.

K.I. Kharyushina, S.A. Dadenkov

SIMULATION MODELS OF RANDOM MULTIPLE ACCESS TO P-PERSISTENT CSMA

In this article developed p -CSMA models for random multiple access of nodes to a shared transmission channel with predictive p -persistent and without prediction. Analysis of the probabilistic and temporal characteristics of the models is carried out for various network congestion: the probability of collisions and congestion of the communication channel, delay of data transmission.

Keywords: random access multiple-access protocols p -CSMA, collisions, traffic congestion.

Введение. В быстроразвивающемся мире старые технологии и системы уходят на второй план, а во главе стоят те, которые способны облегчить жизнь человека и автоматизировать любой процесс. С увеличением разнообразия датчиков, развитием территории автоматизированных систем, усложнением алгоритмов управления и увеличением площадей промышленных предприятий становятся более эффективными процессы построения и применения распределенных информационно-управляющих систем (РИУС) для реализации систем управления техническими процессами. Такие системы составляют комплекс локально-вычислительных и информационно-управляющих систем (ИУС), которые, в свою очередь, обладают следующими характеристиками: высокая производительность, особое конструктивное исполнение и повышенная надёжность передачи сообщений по сетям передачи.

Сети передачи данных оптимизированы для передачи больших массивов данных. При этом реализация протоколов обмена данными предполагает случайный характер обработки информации, что вызывает информационное запаздывание, негативно влияющее на качество управления, надежность передачи данных и время доставки сообщений. Решение данной проблемы целесообразно выполнять на этапе планирования РИУС. Для этого необходима оценка показателей производительности распространенных протоколов в условиях изменения их параметров с целью выявления оптимальных условий для применения того или иного протокола, а также определения параметров протокола.

Решение задачи организации множественного доступа узлов к каналу в сетях с разделяемой средой передачи выполняется с помощью вероятностных и детерминированных методов доступа. Вероятностные методы позволяют более эффективно использовать сетевой канал при передаче спорадического трафика, а детерминированные методы – при передаче регулярного трафика. Использование детерминированных методов является целесообразным для обеспечения вероятностно-временных характеристик систем жёсткого реального времени (РВ), в то время как вероятностные методы могут обеспечить меньшее время передачи (при условии небольшой полезной загрузки канала с множественным соперничеством или высокой загруженностью без соперничества), служить основой организации систем мягкого реального времени. Поэтому применение вероятностных методов множественного доступа CSMA (Carrier Sense Multiple Access) получило широкое распространение в локально-вычислительных сетях, сетях доступа Ethernet (FE, GE, xGE, TE), транспортных сетях Metro Ethernet (ME). В настоящее время методы множественного доступа активно применяются для построения промышленных сетей реального времени: Industrial Ethernet (IE), CAN, LonWorks, ModbusTCP и других. Поэтому исследование эффективности, производительности вероятностных методов доступа семейства CSMA в условиях различной загрузки сетевого канала является актуальной задачей.

Анализ принципов функционирования и эффективности методов доступа целесообразно производить с помощью общецелевой системы имитационного моделирования AnyLogic.

В рамках настоящей работы авторами разработаны модели и выполняется анализ следующих методов доступа: p -Persistent CSMA,

predictive p -Persistent CSMA. В продолжение работы авторами планируется исследование протоколов доставки технологической информации и их влияния на надежность передачи и время доставки данных.

Алгоритмы доступа p -Persistent CSMA. Доступ узлов к сетевому каналу производится в синхронных пакетных циклах [1]. Циклы подразделяются на свободные, когда канал свободен, и занятые, когда выполняется передача. Каждый занятый пакетный цикл представляет собой время доступа к каналу и время передачи пакета.

Алгоритм доступа к среде включает следующие основные этапы (рис. 1) [1]:

- 1) проверка активности в сетевом канале;
- 2) фиксированный межпакетный интервал β_1 ;
- 3) фиксированный для узла приоритетный интервал, равный числу слотов доступа L , каждый продолжительностью β_2 ;

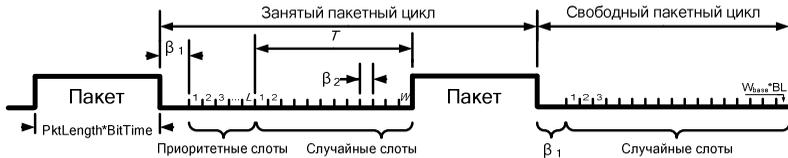


Рис. 1. Алгоритм доступа и передачи p -Persistent CSMA

4) случайный интервал доступа для каждого узла, равный случайному числу слотов доступа продолжительностью β_2 , выбранных по равномерному распределению из диапазона $W = [0..W_b * BL - 1]$. W_b – базовая ширина соревновательного окна (базовое количество слотов доступа), равного по стандарту 16 временным слотам. Backlog (BL) – прогнозируемая на канал нагрузка, изменяемая по результатам успешных (-1) и неудачных ($+1$) передач, регулирует ширину W окна доступа, уменьшает вероятность коллизии с ростом нагрузки на канал. Алгоритм без прогнозирования (no predictive) отличается статическим значением BL , равным 1.

Узел с минимальным суммарным временем доступа считается выигравшим в соперничестве за канал и осуществляет передачу пакета с задержкой, равной частному от деления размера пакета на скорость передачи в сети. При одновременной передаче несколькими узлами происходит коллизия. Необходимость повторной передачи после коллизии определяется сервисом доставки сообщений.

В настоящей работе анализируется сервис ненадёжной доставки, поэтому все сообщения, участвующие в коллизии, повторно не передаются, т.е. теряются. В таком случае вероятность потери передаваемого сообщения равна вероятности коллизии, а среднее число сообщений, участвующих в столкновении, в разы больше числа коллизий [2].

Структура разработанной модели сети с протоколом доступа p -CSMA. Общая структура модели представлена элементом типа «Канал» сети. Данный элемент определяет структуру, содержащую следующий набор основных параметров: количество и коллекция узлов-агентов, интенсивность узла, скорость передачи по каналу и параметры доступа протоколов (β_1, β_2), служебные параметры (состояние канала, обнаружение коллизии и другие). Каждый агент-узел содержит в своём составе диаграмму состояний и переходов, которая моделирует описанный выше алгоритм доступа (рис. 2).

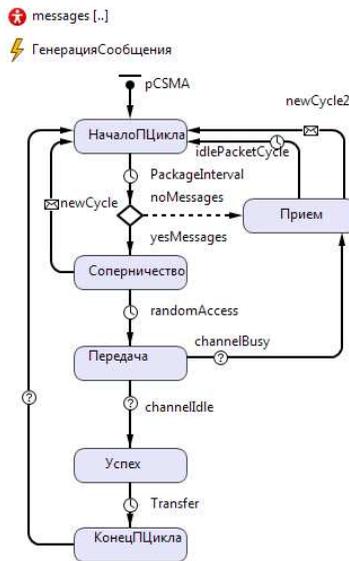


Рис. 2. Модель алгоритма доступа p -Persistent CSMA

Диаграмма состояний универсальна по отношению к протоколам p -Persistent и predictive p -CSMA и отличается лишь принципом изменения счётчика прогнозируемой нагрузки backlog согласно алгоритмам доступа. Формирование сетевых сообщений для передачи выполняется

функцией *ГенерацияСообщения*, в рамках которой производится синхронное увеличение числа сообщений узла для передачи по схеме доступа (+1 сообщение).

Эффективность протокола доступа оценивается по средним показателям: по вероятности коллизии, загрузки канала, среднего времени доступа. Корректность сбора статистики обеспечивается разработанными методами подсчёта числа успешных/неудачных передач, времени занятости канала задержкой доступа и передачи, числом потерянных сообщений.

Эксперименты оценки характеристик модели протоколов доступа. Эксперимент оценки показателей функционирования продолжается в течение длительного интервала времени, что необходимо для получения статистически корректных результатов. Окончание эксперимента наступает в фазе моделирования, в рамках которой статистика по средним показателям, с течением времени остаётся практически неизменной. Результаты экспериментов оценки вероятности коллизии (%), загрузки канала, среднего времени передачи сообщения для *p*-Persistent CSMA представлены на рис. 3, для predictive *p*-Persistent CSMA – на рис. 4.

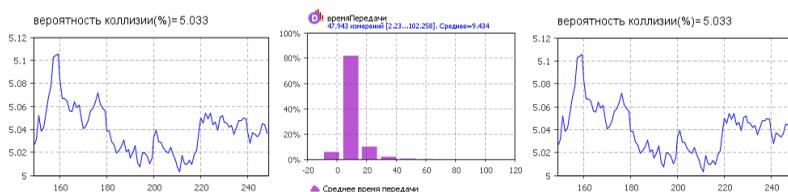


Рис. 3. Результаты экспериментов для *p*-Persistent CSMA



Рис. 4. Результаты экспериментов для predictive *p*-Persistent CSMA

С использованием предложенного в работе инструментария оценки характеристик необходимо проведение дальнейшего исследования протоколов доступа и доставки технологической информации,

анализа влияния протокольных параметров на надежность передачи и время доставки данных. Для достижения поставленной цели необходимо решение ряда следующих важных задач:

1. Определить оптимальную базовую ширину окна доступа протоколов в зависимости от загруженности канала передачи и диапазонов его изменения;
2. Определить области эффективности алгоритмов передачи с прогнозированием и без прогнозирования нагрузки на канал по критериям времени задержки и вероятности доставки данных;
3. Проанализировать эффективность алгоритма прогнозирования нагрузки для различных сценариев надёжной доставки данных;
4. Произвести анализ эффективности типовых законов распределения величин применительно к принципу выбора случайного числа временных слота доступа.

Библиографический список

1. Дитрих Д., Лой Д., Швайнциер Г.Ю. LON-технология, построение распределенных приложений / пер. с нем. под ред. О.Б. Низамутдинова. – Пермь: Звезда, 1999. – 242 с.
2. Даденков С.А., Кон Е.Л. Оценка и анализ производительности LonWorks-сети на основе predictive p-persistent CSMA протокола // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2012. – № 6. – С. 206–216.

Сведения об авторах

Харюшина Кристина Ивановна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТ1-16-1м, г. Пермь, e-mail: kharushina.christina@gmail.ru.

Даденков Сергей Александрович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: dadenkov@rambler.ru.

Д.И. Широков, Е.В. Субботин, С.В. Ершов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОСНОВНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

В данной работе проведены экспериментальные исследования возможности взаимодействия основных полимерных композиций и гидрофобного геля, использующихся при изготовлении оптических кабелей. Для проведения ускоренных испытаний при повышенных температурах использовался термогравиметрический анализатор. Сделаны выводы о совместимости исследуемых материалов.

Ключевые слова: оптический кабель, полимер, гидрофобный гель, экспериментальные исследования, термогравиметрический анализ.

D.I. Shirokov, E.V. Subbotin, S.V. Ershov

EXPERIMENTAL STUDY OF THE INTERACTION OF THE MAIN MATERIALS USED IN THE MANUFACTURE OF OPTICAL CABLES

In this paper, experimental studies have been carried out on the interaction of basic polymer compositions and a hydrophobic gel used in the manufacture of optical cables. To conduct tests at elevated temperatures, a thermogravimetric analyzer was used. Conclusions are drawn on compatibility of the studied materials.

Keywords: optic cable, polymer, hydrophobic gel, experimental studies, thermogravimetric analysis.

В настоящее время динамично растет спрос на информационные ресурсы, что связано с увеличением числа пользователей Интернетом и увеличением объемов передаваемой информации. В связи с этим возникает необходимость развития локальных вычислительных сетей и телекоммуникационных магистралей, важнейшей составляющей которых являются оптические кабели [1].

Надежность данных кабельных изделий во многом определяется качеством применяемых материалов и их взаимной совместимостью. В данной работе проведены экспериментальные исследования

возможности взаимодействия основных полимерных композиций и гидрофобного геля, использующихся при изготовлении оптических кабелей.

Целью экспериментов было установление возможности впитывания гидрофобного геля полимерной композицией на основе полиэтилена средней плотности марки ME6052 (далее – ME6052) и поливинилхлоридным пластиком марки ИТ-105 (далее – ИТ-105).

Для проведения ускоренных испытаний при повышенных температурах использовался термогравиметрический анализ [2].

Образцы вышеуказанных полимерных материалов погружались в гидрофобный гель и выдерживались в нем 20 ч при температуре 80 °С. После извлечения образцов производилось удаление остатков геля с их поверхности. Далее на термогравиметрическом анализаторе Discovery TGA были получены функциональные зависимости изменения массы от температуры для гидрофобного геля, материалов ME6052 и ИТ-105 до и после выдержки в геле.

Температурные зависимости потери массы гидрофобного геля, ME6052 в исходном состоянии и ME6052 после выдержки в геле приведены на рис. 1.

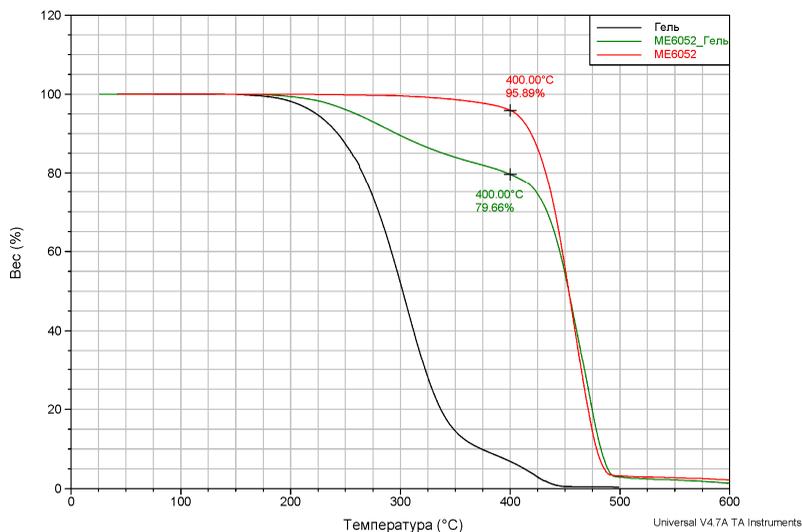


Рис. 1. Кривые потери массы гидрофобного геля и ME6052

Аналогичные зависимости для гидрофобного геля и ИТ-105 представлены на рис. 2.

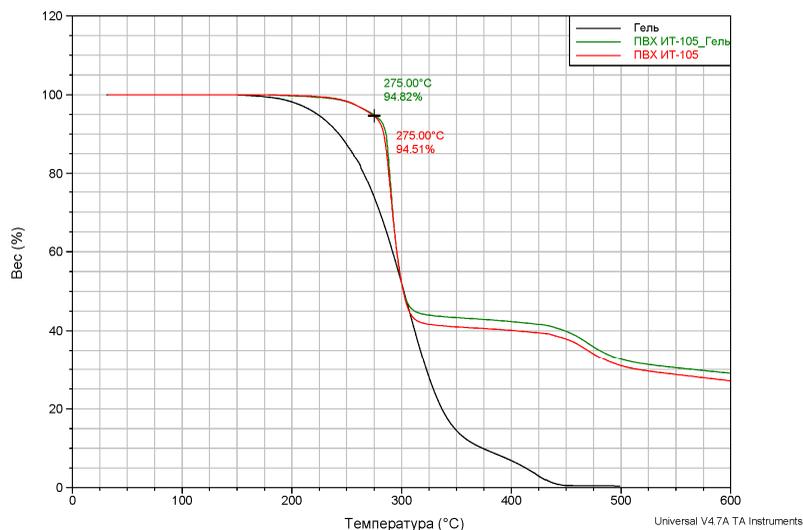


Рис. 2. Кривые потери массы гидрофобного геля и ИТ-105

Из полученных графиков видно (см. рис. 1), что кривые потери массы для ME6052 достаточно сильно отличаются. Это свидетельствует о присутствии геля в образце, подвергнутому выдержке.

Интенсивность процесса проникновения гидрофобного геля в данный полимерный материал будет во многом определяться условиями и временем выдержки.

В данном случае около 16 % от общей массы образца ME6052 после выдержки составляет гель.

Для материала ИТ-105, напротив, температурные профили разложения до и после выдержки практически не отличаются (см. рис. 2), что указывает на отсутствие гидрофобного геля в образце данного полимера, подвергнутого выдержке.

Библиографический список

1. Портнов Э.Л. Оптические кабели связи / ЦНТИ «Информ-связь». – М., 2000. – 112 с.

2. Шах В. Справочное руководство по испытаниям пластмасс и анализу причин их разрушения / пер. с англ. под ред. А.Я. Малкина. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 732 с.

Сведения об авторах

Широков Дмитрий Иванович – студент Пермского национально-исследовательского политехнического университета, гр. КТЭИ-13-16, г. Пермь, e-mail: dimka23.94@mail.ru.

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

Ершов Сергей Викторович – ассистент кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: ktei@pstu.ru.

А.П. Якимова, С.А. Даденков

ПОСТРОЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОТОКОЛА МАРШРУТИЗАЦИИ Q-ROUTING

В статье выполнен анализ протокола маршрутизации Q-routing, широко распространённого в сетях Manet, WSN, IoT и других. Представлено описание алгоритма маршрутизации на узле сети с использованием естественного языка. Для построения имитационной модели протокола маршрутизации выполнено описание анализируемого алгоритма сети связи с помощью языка описания онтологий OWL. По предложенной онтологии разработана имитационная модель протокола маршрутизации Q-routing в среде моделирования AnyLogic.

Ключевые слова: беспроводные сети, имитационное моделирование, онтология сети связи, протокол маршрутизации, AnyLogic, Q-routing.

A.P. Yakimova, S.A. Dadenkov

BUILDING THE IMITATION MODEL OF THE Q-ROUTING PROTOCOL

The article analyzes the routing protocol Q-routing widely used in the networks Manet, WSN, IoT and others. The description of the routing algorithm on the network node using natural language is presented. To construct the simulation model of the routing protocol, the described algorithm of the communication network is described using the OWL ontology description language. According to the proposed ontology, a simulated model of the Q-routing routing protocol was developed in the AnyLogic modeling environment.

Keywords: wireless networks, simulation modeling, communication network ontology, routing protocol, AnyLogic, Q-routing.

Введение. Одним из перспективных направлений развития современных сетей связи является создание мобильных беспроводных ad-hoc-сетей. Отсутствие заранее построенной инфраструктуры обмена данными позволяет организовать такие сети для решения различных задач, подбирая наиболее удобную конфигурацию для каждой индивидуально. Примером таких сетей связи являются: сети мобильных устройств (Manet), выстраивающих взаимодействие между собой для передачи какой-либо информации; сети транспортных средств; промышленные сенсорные сети (Wireless sensor networks); сети интернета вещей (Internet of Things). Для достижения эффективного взаимодействия

узлов в распределённой сети используются протоколы динамической маршрутизации, вовлекающие в процесс передачи не только конечные узлы сети, но и ряд промежуточных узлов для обеспечения наискорейшей доставки данных и покрытия большой площади территории. Одним из наиболее распространённых является протокол Q-routing, в основе которого лежит самообучающийся алгоритм маршрутизации [1]. Отмеченное актуализирует задачу построения модели протокола маршрутизации и исследования её сетевых характеристик.

Алгоритм маршрутизации Q-Routing. Основу алгоритма маршрутизации Q-Routing составляет способ экспериментального машинного обучения (Q-learning) узлов при взаимодействии с сетью. Узел, передавая данные адресату через соседние узлы сети, получает информацию о значении полезности Q данного пути, выражаемой показателем предполагаемой остаточной задержки доставки данных до конечного узла. Это впоследствии позволяет узлам сети аргументированно выбирать путь отправки данных.

Для построения таблиц маршрутизации узлы сети работают согласно следующему алгоритму. Узел-источник S передаёт данные узлу-получателю D . При прохождении данных через сеть узел X решает осуществлять передачу данных через промежуточный узел Y (см. ниже). В таком случае алгоритм маршрутизации включает этапы [2]:

- 1) узел X выбирает пакет для передачи (дисциплина выбора FIFO);
- 2) узел X выбирает наилучший следующий узел Y по Q -таблице маршрутизации.

Критерием выбора является минимальная остаточная задержка передачи доставки до конечного узла D . Для определения Q -задержки анализируется строка таблицы, адрес конечного узла которой совпадает с D . Анализируются поля строки, и выбирается ячейка с минимальной задержкой. Столбец ячейки показывает адрес узла Y (табл. 1);

Таблица 1

Q-таблица маршрутизации узла X (пример $D = 2$)

Получатель D \ Сосед Y	Y_1	Y_2	...	Y_k
1	7	3	4	2
2	3	1	5	2
...
N	5	4	3	6

- 3) узел X осуществляет передачу пакета узлу Y ;
- 4) узел Y выбирает из таблицы маршрутизации минимальную предполагаемую Q_{YDZ} -задержку длительности перехода пакета в конечный узел D через последующий узел Z ;
- 5) узел Y отвечает узлу X (FIFO) пакетом со значением задержки Q_Y ;
- 6) узел X принимает актуальное значение задержки Q_{YDZ} доставки и вычисляет промежуточное значение задержки передачи пакета от X к D через Y :

$$Q_{XDY}^{est} = q + s + Q_{YDZ}, \quad (1)$$

где q – задержка в текущем узле, s – расстояние между узлами S и D .

- 7) узел X рассчитывает новое значение предполагаемой остаточной задержки доставки пакета и записывает его в определённое место Q -таблицы:

$$Q_{XDY}^{new} = Q_{XDY}^{old} + \eta \cdot (Q_{XDY}^{est} - Q_{XDY}^{old}), \quad (2)$$

где η – параметр скорости обучения в сети (learning rate parameter).

Построение имитационной модели протокола маршрутизации. Построение имитационных моделей сложных систем, в частности, и сети с исследуемым протоколом маршрутизации, в настоящее время целесообразно с применением агентного моделирования, основу которого составляет концепция объектно-ориентированного программирования (ООП). Применение данного подхода за счёт уменьшения степени абстракции моделируемого объекта позволяет создавать понятные, легко разрабатываемые и адекватные, за счёт учёта множества параметров функционирования, масштабируемые и исследуемые модели [3]. Одной из распространённых сред, обладающих указанными свойствами, является среда AnyLogic. Одним из недостатков применения агентного подхода являются высокие временные затраты на разработку, а также сложность и громоздкость структур модели. Для решения данной задачи разработке имитационной модели должно предшествовать описание модели на языке, близком к имитационному. Проработка архитектуры разрабатываемой модели, первичное определение структуры модели, её классов и свойственных им параметров, методов работы (в том числе диаграмм состояний и переходов, процессных диаграмм) способствуют значительному сокращению времени разработки модели, сокращению числа допускаемых при разработке моделей ошибок и повышению корректности модели в целом.

Представление указанного описания исследуемого объекта возможно, целесообразно и выполняется в работе с использованием языка описания онтологий (OWL), работающего также в концепции ООП. Согласно концепции онтология сети с исследуемым протоколом маршрутизации Q-routing представлена на рисунке.

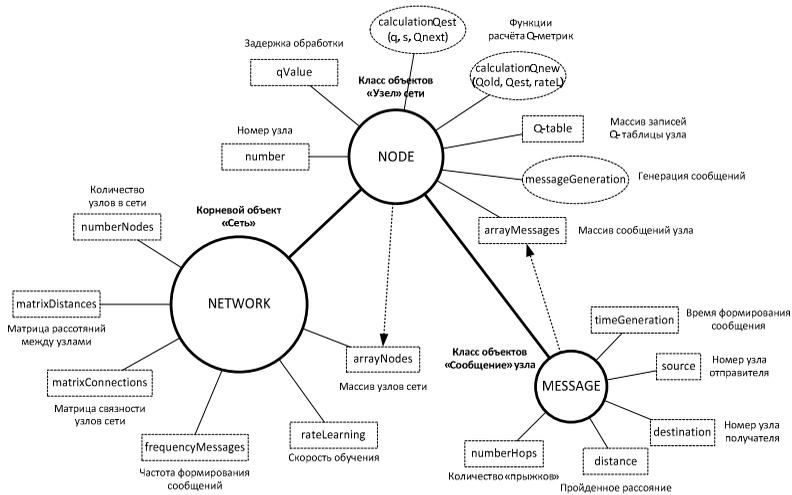


Рис. Онтология сети с маршрутизацией Q-routing

Описание модели сети включает в состав три основных класса объектов: сеть «Network», узел «Node», сообщение «Message». В составе исследуемой сети связи определены следующие параметры (табл. 2).

Таблица 2

Параметры сети

Имя параметра	Предназначение параметра
NumberNodes	Количество узлов в анализируемой сети
MatrixDistances	Матрица дистанций между узлами сети
MatrixConnections	Матрица связности узлов (соседей) сети
FrequencyMessages	Частота формирования сообщений узлом сети
RateLearning	Скорость обучения узлов сети
ArrayNodes	Массив узлов сети

Основной класс сети «Узел» описывается параметрами и объектами, представленными в табл. 3. Каждый узел сети также оснащен функциями вычисления Q-задержек.

Параметры узла

Имя параметра	Предназначение параметра
Number	Номер (индекс) данного узла
QValue	Индивидуальная задержка обработки узла
Q-table	Q-таблица задержек узла
MessageGeneration	Генерация сообщений
ArrayMessages	Массив принимаемых и передаваемых сообщений узла
CalculationQest	Функция вычисления новой Q-задержки до узла D
CalculationQnew	Функция вычисления новой относительной Q-задержки до узла D с учётом коэффициента обучаемости

Класс «Сообщение» сети характеризуется параметрами, указанными в табл. 4.

Параметры сообщения

Имя параметра	Предназначение параметра
Timegeneration	Модельное время формирования сообщения
Source	Номер узла отправителя сообщения
Destination	Номер узла получателя сообщения
Distance	Пройденное сообщением расстояние по сети
Numberhops	Количество совершённых сообщением прыжков через узлы

Представленное OWL-описание архитектуры исследуемой сети реализовано в виде модели в среде имитационного моделирования AnyLogic. Модель детализирована диаграммами состояний и переходов (state chart), реализующими логику получения, обработки и отправки сообщений в сеть.

В настоящий момент ведётся проработка вопросов построения процедур сбора и расчёта статистических данных для оценки эффективности работы модели протокола маршрутизации Q-routing и сравнения её с другими известными протоколами, а также проведения анализа влияния параметров протокола, в частности скорости обучения, на сетевые характеристики.

Библиографический список

1. Boyan Justin A., Littman Michael L. Packet routing in dynamically changing networks: A reinforcement learning approach // Advances in neural information processing systems. – 1994. – P. 671–678.

2. Шилова Ю.А., Кавалеров М.В. Исследование влияния параметра скорости обучения на результаты работы алгоритма маршрутизации Q-routing // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. – 2015. – С. 172 – 179.

3. Даденков С.А., Кон Е.Л. Анализ моделей и методов агентного и дискретно-событийного имитационного моделирования // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2015. – № 5. – С. 35–41.

Сведения об авторах

Якимова Алёна Павловна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК-14-16, г. Пермь, e-mail: jkimovaalena@yandex.ru.

Даденков Сергей Александрович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: dadenkov@rambler.ru.

В.А. Якимова, В.И. Фрейман

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТЕЙ, ПОСТРОЕННЫХ НА ОСНОВЕ ОВЕРЛЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В данной статье рассмотрена актуальность применения оверлейных технологий при подключении удаленных офисов компаний. Представлены обзор оверлейной технологии и методика выбора. Приведены модель для исследований и рекомендации по использованию оверлейных технологий.

Ключевые слова: оверлейные технологии, MPLS, VPN 2 уровня, VPN 3 уровня, виртуализация.

V.A. Yakimova, V.I. Freyman

RESEARCH AND SIMULATION OF NETWORKS BASED ON OVERLAY TECHNOLOGIES

This article considers the possibility of using overlay technologies for connecting remote offices of companies. The article is presented a review of overlay technology and selection methodology. The article gave us a model for research and recommendations for using of overlay technologies.

Keywords: overlay technologies, MPLS, layer 2 VPN 2, layer 3 VPN, virtualization.

В современных условиях предприятия являются основным звеном рыночной экономики, поскольку именно на этом уровне создается нужная обществу продукция и оказываются необходимые услуги. Современные предприятия не могут эффективно функционировать без развитой ИТ-инфраструктуры. Кроме того, все чаще в рамках построения современных ИТ-инфраструктур применяется понятие «облачная обработка данных», характеризующее парадигму, в рамках которой информация постоянно хранится на серверах в рамках Интернета и временно кэшируется на клиентской стороне.

Виртуализация является одним из основных направлений, призванных построить современную ИТ-инфраструктуру. Виртуализация ресурсов информационных систем является катализатором появления новых технологий в этой области [1].

Актуальной становится оценка эффективности применения технологий виртуализации, и повсеместно необходимо решать задачи, связанные с этим процессом.

Целью данной работы являются изучение и анализ оверлейных технологий, а также выбор программной среды для моделирования и построение модели, на основании которой будет проводиться исследование различных технологий.

Данная цель предполагает решение следующих *задач*: рассмотрение технологий виртуализации, рассмотрение возможных сфер применения данных технологий, рассмотрение программных средств для моделирования, построение модели.

Термин «виртуализация» в широком смысле понимается как абстрагирование, сокрытие реальных характеристик физического объекта от внешних систем, создающее альтернативное его представление. В качестве объекта в данном определении применительно к информационным технологиям выступает вычислительный либо информационный ресурс [2].

В данный момент приложения, работающие на серверах в ИТ-инфраструктуре компаний, создают небольшую нагрузку на аппаратные ресурсы серверов (в среднем 5–15 %). Виртуализация позволяет мигрировать с этих физических серверов на виртуальные и разместить их все на одном физическом сервере, увеличив его нагрузку до 60–80 % [3].

Рассмотрим сеть федерального провайдера, у которого есть магистральные линии в различных городах и большая клиентская база. Провайдер предоставляет услуги широкополосного доступа физическим лицам, однако существует ещё огромный потенциальный рынок корпоративных клиентов, которым можно оказывать услуги VPN, построив логическую сеть поверх Интернета. В связи с этим возникает необходимость организовать клиентам не только высокоскоростной доступ в Интернет, но также VPN.

Оверлейные технологии позволяют нам получить новую логику работы сети, используя в качестве основы стандартные протоколы. Оверлейные технологии используют дополнительные заголовки, которые присоединяются к исходному пакету. Это позволяет абстрагироваться от заголовков изначального пакета и обеспечить дальнейшую передачу по сети на основе оверлейного заголовка [4].

Примером такой технологии может являться VPN (в частности, IPSec в туннельном режиме). VPN позволяет проложить туннель поверх сети. Далее внутри этого туннеля возможна передача любых данных.

Протокол MPLS – MultiProtocol Label Switching был утвержден в 1997 году. Оказалось, что у коммутации по меткам есть потенциал, так как не имеет значения, какие пакеты находятся под меткой – IP, Ethernet, ATM, Frame Relay. На сегодняшний день технология MPLS используется в средних и крупных провайдерах с большой клиентской базой.

Основными применениями MPLS являются:

- MPLS L2VPN (виртуальная частная сеть на 2-м уровне);
- MPLS L3VPN (виртуальная частная сеть на 3-м уровне);
- MPLS TE (Traffic Engineering – управление трафиком).

В настоящее время многие компании пользуются услугой L2 VPN. Главным ее недостатком является то, что она работает по принципу точка-точка на уровне L2, т.е. этой услугой можно объединить только две точки (офиса). Также предприятие, использующее данную услугу, само настраивает маршрутизацию трафика между своими узлами. К преимуществам L2 VPN относятся эффективная поддержка систем виртуализации, географическое резервирование, большая пропускная способность.

Наличие связности L2 означает, что узлы должны находиться в одной подсети или в одном широковещательном домене. До появления виртуализации такие домены формировали узлы, находящиеся в одном физическом сегменте локальной сети. Взаимодействие внутри сегмента обеспечивали обычные коммутаторы L2, а передача трафика между сегментами осуществлялась с помощью маршрутизатора (L3). Впоследствии для формирования множества доменов L2 в рамках одной физической локальной сети стали использоваться технологии виртуальных [1].

При объединении более двух точек по технологии L2 VPN необходимо организовывать центральный узел, который аккумулирует на себя все включения. Если возникает необходимость, чтобы трафик проходил между точками напрямую, минуя этот центральный узел, то большинство использует такую услугу, как L3VPN [5].

При необходимости обеспечения маршрутизации сетевого трафика используется VPN 3-го уровня. К преимуществам относятся обеспечение удаленного доступа пользователя к ресурсам ЦОД, поддержка функций QoS и инжиниринга трафика, что позволяет гарантировать требуемый уровень качества для сервисов IP-телефонии и видеоконференц-связи. К недостаткам относятся непрозрачность для услуг Ethernet, отсутствие поддержки кадров Ethernet увеличенного размера, а также более высокая стоимость по сравнению с сервисами Metro Ethernet.

L3VPN покрывает собой много сценариев, необходимых большинству заказчиков. Однако он позволяет осуществлять связь только на сетевом уровне и только для одного протокола – IP. Но если необходимо передать, например, трафик от базовых станций, работающих через интерфейс E1, или воспользоваться сервисами, которые используют Ethernet и требуют связи на канальном уровне, или организовать линию передачи данных между ЦОДами, необходима связь на L2-уровне.

Ранее для этих целей использовались протоколы L2TP, PPTP GRE. А также зачастую строили отдельные сети, вели выделенные линии, что требовало больших финансовых затрат ежемесячно. Однако в наш век конвергентных сетей, распределённых ЦОДов и международных компаний появились масштабируемые технологии обеспечения VPN на канальном уровне.

Перейдем к выбору среды моделирования. Рассмотрим три эмулятора оборудования: Cisco VIRL, GNS3 и UNetLab. Так как Cisco VIRL – платное ПО, его сравнивать не будем. Рассмотрим функционал GNS3 и UNetLab для сравнения их достоинств и недостатков (таблица).

По данным таблицы можно сделать вывод, что на сегодняшний день эти программные продукты практически равнозначны для решения поставленных задач.

В качестве модели (рисунок) выберем сеть провайдера, в задачу которого входит обеспечить связь L2 VPN или L3 VPN поверх сети MPLS между двумя офисами компании в Перми и в Москве. В дальнейших исследованиях рассмотрим сложность настройки оборудования, различные параметры сети, а также сценарии использования представленных выше оверлейных технологий.

Сравнение функционала GNS3 и UNetLab

Критерий	GNS3	UNetLab	Комментарий
Serial интерфейсы	+	+	GNS3 и UNetLab имеют поддержку Serial интерфейсов
Поддержка дополнительного Cisco-оборудования	+	++	GNS3 поддерживает IOS (Dynamips), также возможно использование Cisco VIRL-образов, Cisco ASA, XRv. UNetLab поддерживает широкую линейку как Cisco оборудования, так и оборудования других вендоров
Поддержка других вендоров	+	+	Сложности или существенные ограничения интеграции оборудования в GNS3. В UNetLab поддержка Juniper, Extreme, Fortinet, HP, Checkpoint, Palo Alto, Arista, Alcatel, Citrix, MS Windows

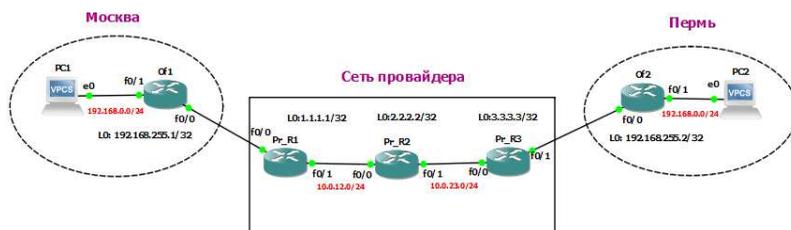


Рис. Модель сети

В заключение можно отметить, что увеличение числа виртуальных сетей, повышение гибкости сетевых инфраструктур, в том числе за счет упрощения процесса их настройки и переконфигурирования, – задачи, которые призваны решить обсуждаемые технологии.

Библиографический список

1. Барсков А. Сеть и виртуализация. Ч. 1 [Электронный ресурс] // Журн. сетевых решений/LAN. – 2013. – № 2. – С. 36–40. – URL: <http://www.osp.ru/lan/2013/04/13035152/> (дата обращения: 08.04.2017).
2. Богданов А.В. Виртуализация. Новые возможности известной технологии – Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]. – URL: <http://window.edu.ru/resource/802/58802> (дата обращения: 02.04.2017).

3. Колесов А. Наступает пора виртуализации [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.vmgu.ru/articles/Nastupaet-pora-virtualizatsii> (дата обращения: 12.02.2017).

4. Администрирование. Сетевые оверлейные технологии для ЦОД. Ч. 1 [Электронный ресурс]. – URL: <https://habrahabr.ru/company/cbs/blog/267919/> (дата обращения: 15.04.2017).

5. IT consultations. VPLS [Электронный ресурс]. – URL: <http://netwild.ru/vpls/> (дата обращения: 05.05.2017).

Сведения об авторах

Якимова Виктория Андреевна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТКЗ-16-1м, г. Пермь, e-mail: melevik@mail.ru.

Фрейман Владимир Исаакович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: vfrey@mail.ru.

Секция V

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

К.А. Батуев, Е.Л. Кротова

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ГОЛОСОВАНИЯ

В данной статье рассматриваются основные протоколы электронного голосования, их алгоритм работы, достоинства, недостатки и сравнение со свойствами идеального протокола.

Ключевые слова: электронное голосование, протокол голосования, Нурми-Саломаа-Сантин, Фудзиока-Окамото-Охта, Sensus.

K.A. Batuev, E.L. Krotova

STUDY OF ALGORITHMS OF ELECTRONIC VOTING

In This article discusses the basic protocols of e-voting, their algorithm works, advantages, disadvantages and comparison to the properties of the ideal Protocol.

Keywords: electronic voting, Protocol of voting, Nurmi-Salomaa-Santean, Fujioka-Okamoto-Ohta, Sensus.

Создание систем электронного голосования представляет большой интерес при проведении выборов, особенно крупномасштабных, например, при государственных выборах различных уровней. По этой причине проводится большое количество работ в данном направлении. Создание таких систем дает возможность автоматизировать процесс выборов, сократить расходы и увеличить скорость на их проведение, а также уменьшить вероятность ошибок в подсчете голосов. Это и определяет актуальность исследования.

Электронное голосование внедряют на муниципальном уровне и на более высоком многие страны, включая и Россию. Для достижения предъявляемых требований используются алгоритмы, которые и представляют интерес, базируются на надежных криптографических системах, например, асимметричного шифрования, электронной подписи и др.

Исследование связано с проблемами существующих систем электронного голосования и поиском путей их решения. В работе обращается внимание именно на недостатки протоколов голосования.

Основные требования, которые должны быть реализованы, – это гарантия соблюдения тайны голоса, отданного участником выборов,

и достоверность результатов. Пока не существует общепринятых алгоритмов проведения голосования, и выполнение требований строится на опыте уже опробованных систем.

Основные проблемы систем электронного голосования и пути их решения:

1. Проблема трудности аутентификации избирателя. При голосовании с поддержкой мобильного телефона было предложено применять уникальный код, присвоенный избирателю для блокирования повторного голосования, но такая система не гарантирует, что голосует лицо, которому предназначался код. При голосовании через Интернет или с помощью социальных карт было решено использовать ЭП, для хранения и получения которой было придумано использовать персональные одноразовые ID-карты.

2. Проблема обеспечения принципа тайного голосования. Для решения проблемы было предложено заменить в списке избирателей идентифицирующие личные данные на номера действующих карточек для голосования. Также предложено подсчитывать голоса в произвольном порядке, а не в момент поступления.

3. Проблема обеспечения принципа равного избирательного права. Данная проблема предполагает наличие у избирателя устройства с определенными характеристиками и выходом в Интернет, а также предполагает существование базы данных, которая обновляет информацию о проголосовавших в режиме реального времени, и ПО, обрабатывающего голоса.

4. Проблема необходимости проведения справочно-консультативной работы. Необходимо подготовить специалистов, которые проведут справочно-консультативную работу, чтобы избежать нарушения избирательного права и заблуждения избирателей в вопросе своего волеизъявления и, как следствие, недоверие и отвержение использования систем электронного голосования.

5. Проблема обеспечения безопасности систем электронного голосования. Данная проблема включает в себя необходимость международной сертификации систем электронного голосования, а также необходимость проведения предварительного аудита такого оборудования.

По мнению Брюса Шнайера, который является известным специалистом в области информационной безопасности, протокол электронного голосования должен обладать следующими свойствами:

- голосовать могут только те, кто имеет право;
- при подсчете результатов голосования у каждого избирателя учитывается не более одного голоса;
- никто не может узнать, за кого проголосовал конкретный избиратель (т.е. должна обеспечиваться анонимность голосования);
- никто не может проголосовать за другого;
- никто не может тайно изменить чей-то голос;
- избиратель может проверить, что его голос учтен при подведении итогов голосования;
- каждый знает, кто голосовал, а кто нет (т.е. публикация списка проголосовавших).

Желательны также два дополнительных свойства:

- избиратель может изменить свое мнение (т.е. аннулировать свой бюллетень и проголосовать заново) в течение заданного периода времени;
- если избиратель обнаруживает, что его голос засчитан неправильно, он может подать протест.

Например, протокол Фудзиока–Окамото–Охта был применен на выборах в Эстонии в 2007 году и является одним из самых проверенных протоколов. Принцип его работы:

Шаг 1. Валидатор выкладывает списки участников выборов и создает пару ключей $\{K_{\text{Вотк}}, K_{\text{Взак}}\}$.

Шаг 2. Публикует открытый ключ $\{K_{\text{Вотк}}\}$ в ЦСК.

Шаг 3. Избиратель создает свою пару ключей $\{K_{\text{Иотк}}, K_{\text{Изак}}\}$ для асимметричного шифрования и секретный ключ $\{K_{\text{секр}}\}$ для шифрования бюллетени $\{V\}$, публикует открытый ключ в ЦСК, чем подтверждает свою регистрацию на присвоенный ему ID.

Шаг 4. Делает свой выбор в бюллетени и шифрует его с помощью секретного ключа $\{V_e = \text{енсгrypt}(K_{\text{секр}}, V)\}$.

Шаг 5. Избиратель использует маскирующее шифрование, которое позволяет убедиться в подлинности бюллетени, но не дает информации о содержании его. Для этого с помощью случайного маскирующего множителя $\{r\}$ и открытого ключа избирателя $\{K_{\text{Иотк}}\}$ скрывается содержимое зашифрованного бюллетеня $\{V_{\text{blind}} = \text{blind}((r, K_{\text{Иотк}}), V_e)\}$.

Шаг 6. Закрытым ключом подписывает скрытый зашифрованный бюллетень $\{DS_{\text{и}} = \text{sign}(K_{\text{Изак}}, h(V_{\text{blind}}))\}$.

Шаг 7. Посылает валидатору свой идентификатор ID, скрытый зашифрованный бюллетень $\{B_{\text{blind}}\}$ и ЭП к нему $\{DS_{\text{и}}\}$.

Шаг 8. Валидатор с помощью открытого ключа избирателя $\{K_{\text{иотк}}\}$ проверяет ЭП к скрытому зашифрованному бюллетеню $\{h(B_{\text{blind}}) == \text{unsign}(K_{\text{иотк}}, DS_{\text{и}})\}$.

Шаг 9. С помощью своего закрытого ключа подписывает скрытый зашифрованный бюллетень $\{DS_{\text{в}} = \text{sign}(K_{\text{взак}}, B_{\text{blind}})\}$.

Шаг 10. Посылает избирателю «слепую» ЭП $\{DS_{\text{в}}\}$ к скрытому зашифрованному бюллетеню $\{B_{\text{blind}}\}$.

Шаг 11. Избиратель снимает случайный маскирующий множитель $\{r\}$ со «слепой» ЭП валидатора $\{DS_{\text{в}}\}$ и получает ЭП валидатора к зашифрованному бюллетеню $\{DS_{\text{е}} = \text{unblind}((r^{-1}, K_{\text{вотк}}), DS_{\text{в}})\}$.

Шаг 12. Создает секретную опознавательную метку $\{M\}$ и анонимно отправляет счетчику метку, зашифрованный бюллетень $\{B_{\text{е}}\}$ и ЭП валидатора к нему $\{DS_{\text{е}}\}$.

Шаг 13. Счетчик с помощью открытого ключа валидатора $\{K_{\text{вотк}}\}$ проверяет ЭП к зашифрованному бюллетеню $\{B_{\text{е}} = \text{unsign}(K_{\text{вотк}}, DS_{\text{е}})\}$

Шаг 14. После голосования публикует все метки $\{M\}$, зашифрованные бюллетени $\{B_{\text{е}}\}$ и ЭП к ним $\{DS_{\text{е}}\}$ в доказательство, что голос принят.

Шаг 15. Избиратель анонимно высылает счетчику секретный ключ $\{K_{\text{секр}}\}$.

Шаг 16. Счетчик расшифровывает бюллетень $\{B = \text{decrypt}(K_{\text{секр}}, B_{\text{е}})\}$.

Шаг 17. Дополнительно публикует метку вместе с секретным ключом и бюллетень $\{M, (K_{\text{секр}}, B)\}$ в доказательство правильности учета голоса.

Шаг 18. Подводит подсчет голосов и публикует результаты.

Достоинства:

– полная анонимность, потому что никто кроме избирателя не может сопоставить одновременно $\{DS_{\text{е}}\}$, $\{DS_{\text{в}}\}$, $\{DS_{\text{и}}\}$, ID и M;

– для обеспечения 8 свойства избиратель предоставляет ID, M и $K_{\text{секр}}$. Далее счетчик уведомляет валидатор, что бюллетень аннулирован. Повторяются шаги с 3-го по 14-й.

Недостатки:

– не обеспечивается 7-е свойство.

По результатам исследования был проведен сравнительный анализ, который приведен в таблице.

Сравнительный анализ протоколов электронного голосования

Свойство	Протокол					
	Упрощенный протокол голосования №1	Упрощенный протокол голосования №2	Протокол Нурми-Саломаа-Сантин	Протоколы Фудзиока-Окамото-Охта и Sensus	Протокол голосования на базе «слепой» подписи	Протокол голосования на базе протокола ANDOS
1	–	+	+	+	+	+
2	–	+	+	+	+	+
3	+	–	–	+	+	+
4	–	–	+	+	+	+
5	+	+	+	+	+	+
6	–	–	+	+	+	+
7	–	+	+	–	–	–
8	–	+	+	+	+	+
9	–	–	+	+	+	+

Общий недостаток всех протоколов – это невозможность противостоять продаже голосов, а также возможность центральной избирательной комиссии голосовать за избирателей, которые не сделали выбор и внесение в список голосующих, т.е. «мертвые души» с последующим голосованием за них.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 06.04.2011 №63-ФЗ (ред. от 23.06.2016) «Об электронной подписи».
2. Федеральный закон от 21.07.2005 №93-ФЗ (ред. от 09.03.2016) «О внесении изменений в законодательные акты Российской Федерации о выборах и референдумах и иные законодательные акты Российской Федерации».
3. Шнайер Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы и исходные тексты на языке С. – М.: ТРИУМФ, 2002. – 816 с.
4. Fujioka A., Okamoto T., Ohta K. A Practical Secret Voting Scheme for Large Scale Elections // Proceedings of the Workshop on the theory and Application of Cryptographic Techniques: Advances in Cryptology (December 13–16, 1992) / J. Seberry and Y. Zheng, Eds. Lecture Notes In Computer Science. Vol. 718. – Springer-Verlag, London, 1992. – P. 244–251.

5. Nurmi H., Salomaa A., Santean L. Secret ballot elections in computer networks // Computers and Security. – 1991. – 36, 10. – P. 553–560.

6. Qi He, Zhongmin Su. A New Practical Secure e-Voting Scheme [Электронный ресурс]. – URL: <https://goo.gl/ca3lnP> (дата обращения: 25.04.17).

7. Sensus: A Security-Conscious Electronic Polling System for the Internet [Электронный ресурс]. – URL: <http://lorrie.cranor.org/pubs/hicss/hicss.html> (дата обращения: 04.04.17).

Сведения об авторах

Батуев Кирилл Александрович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КОБ-13-1с, г. Пермь, e-mail: batuev_kirill@mail.ru.

Кротова Елена Львовна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Высшая математика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь.

В.И. Борисов, А.С. Шабуров

АЛГОРИТМ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРОГРАММ-ШИФРОВАЛЬЩИКОВ В КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЯХ

В данной статье сформулирована актуальная проблема своевременного обнаружения и минимизации последствий от заражения информационных систем корпоративных сетей вирусами-шифровальщиками. Рассмотрены стадии развития данного класса вирусов. Приведена типовая схема работы вируса данного типа с подробным описанием каждой стадии работы вируса. Далее были указаны отличительные особенности вируса WannaCry. Рассмотрены способы минимизации вероятности заражения корпоративной сети вирусами-шифровальщиками. На основании особенностей и схемы работы программы-шифровальщика составлен алгоритм выявления программ-шифровальщиков. Приведена характеристика SIEM-систем как одного из современных подходов в решении задач защиты информации корпоративных сетей. Перечислены основные задачи, решаемые на основе внедрения и эксплуатации SIEM-системы. Далее составлен алгоритм обнаружения вируса-шифровальщика при помощи SIEM-системы.

Ключевые слова: SIEM-система, корпоративная сеть, событие информационной безопасности, инцидент, вирус-шифровальщик.

V.I. Borisov, A.S. Shaburov

ALGORITHM OF DETECTION OF RANSOMWARE ON ENTERPRISE NETWORKS

In this article the urgent problem of timely detection and minimization of consequences from infection of information systems of enterprise networks with ransomware is formulated. Stages of development of this class of viruses are considered. The standard diagram of operation of a virus of this type with the detailed description of each stage of operation of a virus is provided. Further distinctive features of the WannaCry virus were specified. Methods of minimization of probability of infection of a corporate network with ransomware are considered. Based on features and the diagram of operation of the ransomware the algorithm of detection of programs cipherers is made. The characteristic of SIEM systems as one of the modern approaches is provided in the decision of tasks of information security of corporate networks. The main objectives solved on the basis of implementation and operation of SIEM system are listed. Further the algorithm of detection of a ransomware by means of SIEM system is made.

Keywords: SIEM-system, enterprise networks, event of information security, incident, ransomware.

Каждый год регистрируется увеличение количества заражения компьютеров вредоносными кодами, шифрующими информацию, находящуюся на рабочих станциях. Наиболее опасной разновидностью таких вирусов являются вирусы класса Ransomware или так называемые программы-вымогатели. Данные программы шифруют наиболее ценные типы файлов, такие как электронные документы, файлы баз данных, файлы специализированных сред разработки, видео- и аудиофайлы и т.д. Для расшифровки файлов пользователю предлагается заплатить определенную сумму в обмен на ключ, который может расшифровать пользовательские файлы.

Первые вирусы-шифровальщики появились в 2006 г. Однако активное применение они получили только в 2013 г. Первые версии таких вредоносных программ распространялись по средствам спам рассылки писем по электронной почте с маскированными под определенные типы документов вложениями (банковские выписки, информационные письма от государственных органов и т.д.), т.е. пользователь самостоятельно скачивал и запускал исполнительный файл вируса-шифровальщика. Следующее поколение вирусов-шифровальщиков использовали различные наборы эксплойтов, которые внедрялись в код популярных веб-страниц. Данные эксплойты позволяют использовать уязвимости в программном обеспечении, установленном на устройстве жертвы.

Общая схема работы программы-шифровальщика представлена на рис. 1. На первом этапе работы вредоносной программы происходит заражение устройства жертвы. Далее первоначальный файл вируса извлекает набор объектов, которые позволяют закрепиться в реестре автозапуска. В большинстве вирусов-шифровальщиков предусмотрено блокирование остановки функционирования работы вредоносного кода. Для этого применяются различные варианты, такие как запуск дублирующего процесса, контролирующего работу основного процесса вредоносной программы, внедрение вредоносного кода в системные процессы (svchost.exe, explorer.exe) и прекращение работы различных системных утилит (менеджер процессов). В ходе следующего этапа вредоносная программа обменивается информацией с C&C-сервером. В первых версиях вирусов-шифровальщиков командные центры располагались в открытом сегменте Интернета, и обмен между зараженным устройством и сервером управления происходил в открытом виде по протоколу HTTP. В последних

версиях серверы управления находятся в закрытой доменной зоне .opion анонимной сети Tor. На следующем этапе вредоносный код изменяет настройку операционной системы. Далее происходит сканирование файловой системы для нахождения файлов, подлежащих шифрованию. После этого запускаются компоненты шифрования этих файлов, часто в теневого режиме. По окончании процессов шифрования запускается выполнение исполнительного файла – окно с требованием выкупа и инструкцией по оплате. Данная схема является общей для всех вирусов-шифровальщиков. Но каждый вирус имеет свои отличительные особенности как в процессе шифрования, так и в процессе распространения.

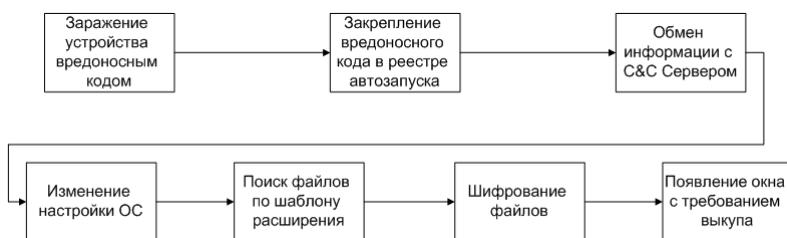


Рис. 1. Общая схема вредоносного воздействия программы класса Ransomware

В начале мая 2017 г. была зарегистрирована вспышка заражения компьютеров новой программой-вымогателем. Атака данной программы нанесла ущерб многим компаниям и организациям по всему миру, включая испанскую телекоммуникационную компанию Telefonica, больницы в Великобритании и американскую компанию доставки FedEx. Вредоносная программа, относящаяся к классу криптовымогателей, стала известна как «WannaCry» [1].

Отличительной особенностью WannaCry является способ заражения. Вредоносный код использует уязвимость в SMBv1 (MS17-010) для доставки вредоносного кода на Windows системы (через 139-й и 445-й порт). После попадания на уязвимый компьютер вирус извлекает из себя два файла. Один файл осуществляет шифрование данных и клонирует себя в максимально возможное количество директорий, а другой имеет функции сетевого червя и распространяется в локальной сети, к которой подключен уязвимый компьютер, путем перебора IP-адресов и сканированием 445(SMB) порта на наличие уязвимости. Таким образом, вирус обладает способностью к самораспространению.

нию не только по локальной сети, но и возможностью атаковать другие компьютеры в мировом масштабе. Командные серверы вымогателя находятся в сети Tor. Во время работы вируса происходит соединение на порты 443, 9101, 9102 на ряд IP-адресов, являющихся входными нодами сети Tor [1].

Рассмотрим, какими способами можно минимизировать вероятность заражения корпоративной сети вирусами-шифровальщиками.

1. Своевременная установка обновлений для операционной системы.

2. Контроль над изменением настроек операционной системы. Включает в себя контроль над изменением прав доступа, запуска исполняемых файлов и т.д.

3. Контроль сканирования сети как из внешней среды, так и внутри локальной сети.

4. Своевременное резервное копирование важной информации на изолированные хранилища.

При использовании SIEM-системы в корпоративной сети можно значительно снизить вероятность распространения, а в случаях, когда от заражения устройства до активации шифровальщика проходит достаточное время, так же снизить вероятность заражения корпоративной сети до минимальных значений.

SIEM (System information event management) – системы, появившиеся в результате слияния SEM-систем и SIM-систем. Основным функциональным отличием данных систем является то, что SEM-системы предназначены для анализа информации в режиме реального времени, а SIM-системы анализируют уже накопленную информацию [2].

Основной функцией SIEM-систем является анализ информации, поступающей от разных источников, таких как системы DLP, IPS/IDS, средства антивирусной защиты информации, межсетевые экраны, системы учета трафика, сканеры уязвимости и т.д. [3]. На основе анализа данных из этих источников выявляются отклонения от нормального функционирования, заданного критериями безопасности, и в случае обнаружения происходит оповещение администратора безопасности. Структурная схема представлена ниже (рис. 2).

Перед SIEM-системой ставятся основные задачи обеспечения информационной безопасности:

- объединение и хранение журналов событий;

- анализ событий и разбор инцидентов;
- обработка и корреляция событий;
- оповещение об инцидентах и инцидент-менеджмент [4].

Благодаря наличию машинного обучения в SIEM-системе возможно повышение эффективности обнаружения заражения системы вирусами-шифровальщиками путем многократной имитации заражения сети.

На основании особенностей и схемы работы программы-шифровальщика можно составить алгоритм выявления программ-шифровальщиков.

Для своевременного выявления и минимизации последствий от атаки вирусов класса Ransomware необходимо проводить следующие процедуры:

1. Мониторинг системных логов с целью выявления изменений настроек операционной системы.
2. Контроль своевременной установки обновлений для операционной системы.
3. Мониторинг всплесков активности системных процессов.
4. Контроль создания резервных копий важных файлов. Также необходимо контролировать доступ к уже созданным резервным копиям.
5. Обнаружение процессов сетевого сканирования.
6. Контроль попыток обращения устройств корпоративной сети на адреса, являющиеся входными нодами сети TOR.

Последовательность формирования негативного информационного воздействия на информационную систему представлена на рис. 2.

Последовательность обнаружения вирусов-шифровальщиков при помощи SIEM-системы представлена на рис. 3.

Алгоритм обнаружения вирусов шифровальщиков при помощи SIEM-системы включает:

- 1) фиксирование факторов, свидетельствующих о появлении признаков заражения вирусом шифровальщиком;
- 2) анализ инцидента и признаков обнаружения вирусом шифровальщиком;
- 3) анализ процессов, протекающих в информационной системе;
- 4) обработку и корреляцию инцидента заражения и возможного его негативного влияния;
- 5) оповещение о заражении вирусом-шифровальщиком и принятие мер ликвидации последствий заражения.

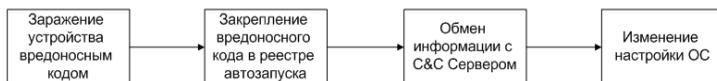


Рис. 2. Последовательность формирования негативного информационного воздействия на информационную систему

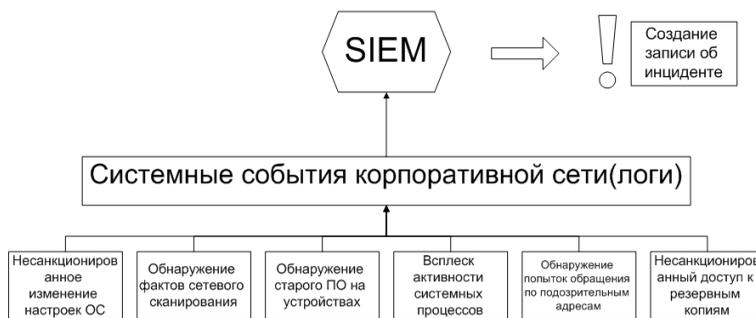


Рис. 3. Схема обнаружения вирусов шифровальщиков при помощи SIEM-системы

SIEM-система позволяет автоматизировать данные процессы, что значительно ускоряет процесс обнаружения вредоносного кода. При появлении одного из признаков происходит немедленное оповещение администратора информационной безопасности. Появление сразу нескольких признаков формирует событие информационной безопасности более высокого уровня значимости.

Выполнение всех этих процедур позволит с высокой вероятностью обнаружить заражение на начальном уровне и минимизировать последствия от атаки.

Библиографический список

1. Лука Сафонов. Анализ шифровальщика Wana Decrypt0r 2.0 [Электронный ресурс]. – URL: <https://habrahabr.ru/company/pentestit/blog/328606/> (дата обращения: 02.02.2017).
2. Дрозд А. Обзор SIEM-систем // SearchInform [Электронный ресурс]. – URL: http://www.anti-malware.ru/analytics/Technology_Analysis/Overview_SECURITY_systems_global_and_Russian_market (дата обращения: 02.02.2017).
3. Шабуров А.С., Борисов В.И. Разработка модели защиты информации корпоративной сети на основе внедрения SIEM-системы //

Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления . – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2016. – № 19. – С. 111–123.

4. Шабуров А.С., Борисов В.И. О применении сигнатурных методов анализа информации в SIEM-системах // Вестник УрФО. Безопасность в информационной среде. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2015. – № 17. – С. 23–37.

Сведения об авторах

Борисов Владислав Игоревич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КЗИ-16-1м, г. Пермь, e-mail: borisovvi94@yandex.ru.

Шабуров Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shans@at.pstu.ru.

П.Д. Гусев, Г.И. Борзунов

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВИДЕОЗАПИСЫВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ШУМОВЫХ ПОРТРЕТОВ

В данной статье рассматриваются вопросы идентификации цифровых видеозаписывающих устройств на основе их шумовых портретов. Дается определение шумового портрета, рассматриваются подходы к определению конкретного устройства, имея в качестве входных данных только набор видеопоследовательностей. В заключение отмечается эффективность подхода, рассматриваются перспективы направления и даются рекомендации по дальнейшим исследованиям.

Ключевые слова: идентификация, видеозапись, шумовой портрет, неоднородность фото отклика, шумовой узор.

P.D. Gusev, G.I. Borzunov

VIDEO CAMERA IDENTIFICATION BASED ON SENSOR PATTERN NOISE

In this article topics of digital video camera identification using sensor pattern noise are concerned. The definition of pattern noise is given, different approaches to identify camera only with video sequences is reviewed. In conclusion the method effectiveness is considered, some perspective areas are reviewed and some recommendations for further research are given.

Keywords: identification, video, pattern noise, photo-response non-uniformity, video camera.

В настоящее время проблема экспертизы изображений и видеозаписей приобрела огромное значение. Одной из важнейших задач такой экспертизы является определение соответствия видеозаписи конкретной видеокамере (техники, использующие шумовой портрет камеры). Это часто необходимо в ходе расследования преступлений, например, связанных с детской порнографией. В данной работе рассматриваются основные подходы к решению этой задачи.

В работе [1] отмечается, что общая структура и последовательность шагов для получения изображения при фотосъемке одинаковы для всех цифровых камер (рис. 1). После того как свет проходит сквозь линзу, к нему применяется набор фильтров, в том числе шу-

моподавляющий фильтр. Главным компонентом цифровой камеры является так называемый детектор прибора с зарядовой связью (ПЗС). Детектор измеряет интенсивность света на каждом пикселе своей поверхности.

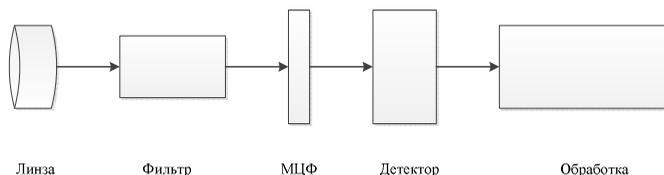


Рис. 1. Этапы получения изображения

В идеальном случае ПЗС должен использоваться отдельно для каждого из трех цветовых каналов RGB, однако во избежание непомерных затрат производители идут другим путем. Для каждого пикселя используется один и тот же детектор, но перед тем как свет попадает на детектор для каждого пикселя применяют различные спектральные фильтры. Такие фильтры также называют массивом цветных фильтров (МЦФ) (рис. 2).

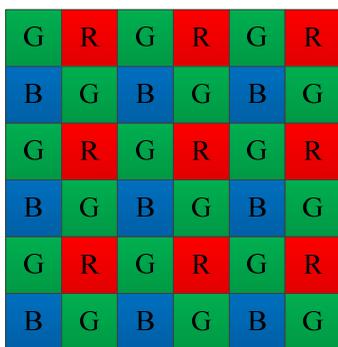


Рис. 2. Пример МЦФ

Из решеток массива цветных фильтров видно, что на каждый конкретный пиксель попадает лишь один компонент цвета. Для получения отсутствующих значений применяются техники интерполяции для каждого из пикселей. Существует несколько различных алгоритмов интерполяции, и разные производители используют различные интерполяционные техники. После цветовой декомпозиции

детектор используется для получения цифрового представления интенсивности света в каждой цветовой полосе. Вслед за этим к этому цифровому представлению применяется набор алгоритмов, включающих в себя уже упомянутую интерполяцию цвета, гамма-коррекцию, цветовую обработку и прочее, в том числе сжатие.

В работе [2] впервые используется понятие шумового портрета для идентификации фотокамер. В работе [3] эти исследования расширяются на область видеопоследовательностей. На качество изображения в ходе его получения фотокамерой может влиять большое число факторов на каждом этапе. Даже если сенсор запечатлит равномерно освещенную монотонную картину (например, равномерно освещенный белый лист бумаги), получающееся цифровое изображение будет содержать различные по интенсивности пиксели. Это связано с двумя шумовыми компонентами – дробовым шумом, т.е. беспорядочными флуктуациями напряжений и токов относительно их среднего значения в цепях радиоэлектронных устройств, обусловленными дискретностью носителей электрического заряда и так называемым шумовым портретом сенсора. Дробовой шум представляет собой случайный шум, в то время как шумовой портрет – постоянная характеристика сенсора, связанная с его внутренним устройством. Случайный шум меняется от изображения к изображению, а шумовой портрет остается неизменным во всех изображениях, снятых этим сенсором. Таким образом, эту характеристику можно использовать для идентификации камеры. Двумя основными компонентами шумового портрета являются фиксированный шумовой узор (ФШУ) и шум за счет неоднородности фото отклика (НФО) (рис. 3).

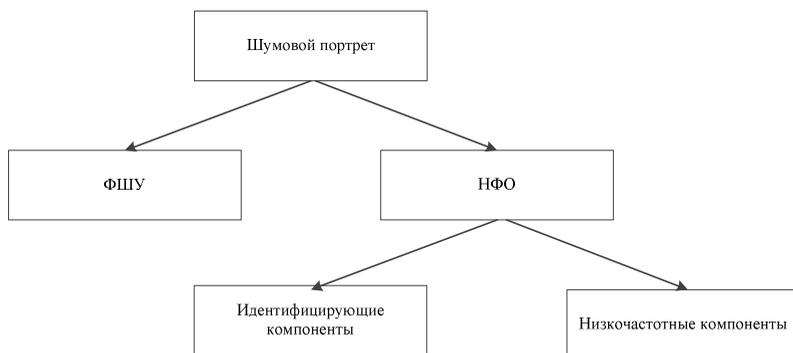


Рис. 3. Шумовой портрет сенсора

Фиксированный шумовой узор возникает, когда на сенсор не падает свет, и зависит от выдержки и температуры.

В обычных изображениях основную часть шумового портрета составляет шум за счет неоднородности фото отклика. Этот шум вызван разной чувствительностью пикселей к свету из-за неоднородности кремниевых элементов и неточностей в процессе производства сенсора. На этот шум не влияет ни температура, ни влажность. В шумовой портрет также включают низкочастотные дефекты, вызываемые отражением света от частичек пыли и оптических поверхностей. Эти низкочастотные компоненты не являются характеристикой сенсора, поэтому их нельзя использовать для идентификации сенсора. Экспериментально показано, что каждый фотосенсор имеет свой собственный уникальный шумовой портрет, при помощи которого становится возможным определять принадлежность цифровой фотографии не только модели фотокамеры, но и конкретному устройству, на которое это изображение было снято.

В работе [2] также описывается математическая модель процесса получения изображения. Поступающий на вход сенсора свет можно обозначить как $x = (x_{ij})$, $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n$, где $m \times n$ – разрешение сенсора. Обозначив шум съемки за $\eta = (\eta_{ij})$, аддитивный случайный шум как $\varepsilon = (\varepsilon_{ij})$ и темновой ток как $c = (c_{ij})$, сигнал на выходе сенсора $y = (y_{ij})$ можно представить следующим образом:

$$y_{ij} = f_{ij}(x_{ij} + \eta_{ij}) + c_{ij} + \varepsilon_{ij}. \quad (1)$$

После этого сигнал y проходит множественную обработку. Некоторые операции, применяемые к сигналу, могут быть нелинейными. Таким образом, окончательные значения пикселей p_{ij} , которые принимают значение в пределах $0 \leq p_{ij} \leq 255$, можно выразить следующим выражением:

$$p_{ij} = P(y_{ij}, N(y_{ij}), i, j), \quad (2)$$

где P – нелинейная функция, зависящая от y_{ij} , расположения пикселя i, j и значений y локальной окрестности $N(y_{ij})$.

Подавить шумовой портрет можно, если от сигнала, получаемого на выходе сенсора, вычесть пустой кадр – усредненный сигнал K однородно освещенных кадров. Потребительские камеры не выполняют

эту операцию, поскольку затруднительно добиться однородной освещенности сенсора внутри камеры.

Присутствие шума за счет неоднородности фотоотклика в изображении можно обнаружить, используя метод корреляции, обычно применяемый для обнаружения устойчивых водяных знаков. Для определения того, снято ли изображение p на камеру C , необходимо сначала определить эталонный узор камеры P_C , который является приближением к шуму НФО. Наличие эталонного узора в p устанавливается методом корреляции. Приближение к шуму за счет неоднородности фотоотклика возможно достигнуть, усредняя большое число изображений $p^{(k)}, k = 1, \dots, N_p$. Этот процесс можно ускорить, подавляя содержимое сцены в изображении. Этого можно достичь, используя шумоподавляющий фильтр F и усредняя шумовые составляющие $n^{(k)}$ вместо самих изображений:

$$n^{(k)} = p^{(k)} - F(p^{(k)}). \quad (3)$$

Другим преимуществом работы с шумовыми составляющими является то, что низкочастотные компоненты НФО автоматически подавляются. Чем большее число обрабатывается изображений N_p , тем более подавляются случайные шумовые компоненты. В ходе экспериментов было установлено, что число изображений должно быть больше 50, а шумоподавляющим фильтром с лучшими показателями оказался фильтр на основе вейвлет-преобразования.

Для определения того, снято ли изображение p на камеру C , необходимо подсчитать корреляцию ρ_C между шумовой составляющей изображения $n = p - F(p)$ и эталонным узором камеры P_C :

$$\rho_C(p) = \text{corr}(n, P_C) = \frac{(n - \bar{n}) \cdot (P_C - \bar{P}_C)}{\|n - \bar{n}\| \|P_C - \bar{P}_C\|}, \quad (4)$$

где символы с чертой означают среднее значение.

В заключение стоит отметить, что применение техники идентификации камеры на основе шумового портрета является на данный момент самым эффективным методом определения принадлежности видеозаписей конкретному видеозаписывающему устройству [4].

В отличие от метаданных, которые можно легко подделать без особого труда вручную или с помощью специального программного

обеспечения, шумовой портрет является постоянной характеристикой сенсора, и удаление его из конкретного фото или видеозаписи сопряжено с определенными техническими трудностями. Из недостатков подхода стоит отметить, что в большинстве случаев для выявления эталонного узора камеры необходимо иметь доступ к самой камере, так как узор извлекается из равномерно освещенных фотографий/кадров видеозаписи, сделанных на этом устройстве. Таким образом, формирование базы данных эталонных узоров является неким аналогом процесса обучения в системах машинного обучения, а потому имеет те же недостатки [5].

Дальнейшее развитие этого направления авторы видят в усовершенствовании существующих алгоритмов с целью уменьшить количество необходимых для выделения эталонного узора кадров.

Библиографический список

1 Kharrazi M., Sencar H.T., Memon N. Blind source camera identification // Proc. ICIP' 04, Singapore, October 24–27, 2004.

2 Lukas J., Fridrich J., Goljan M. Digital camera identification from sensor pattern noise // IEEE Transactions on Information Forensics Security. – 2006. – Vol. 1, № 2. – P. 205–214.

3 Source digital camcorder identification using sensor photo response nonuniformity / M. Chen, J. Fridrich, M. Goljan, J. Lukas // Proceedings of the SPIE. – 2007. – Vol. 6505.

4 Saurabh Upadhyay, Sanjay Kumar Singh. Video authentication-an overview // International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSES). – 2011. – Vol. 2, № 4.

5 Гусев П.Д. Обзор существующих алгоритмов построения цифровых отпечатков // Безопасность информационных технологий. – 2015. – № 4. – С. 63–67.

Сведения об авторах

Гусев Павел Дмитриевич – аспирант кафедры 42 «Криптология и кибербезопасность» Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Москва, e-mail: pdgusev@gmail.com.

Борзунов Георгий Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры 42 «Криптология и кибербезопасность» Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Москва, e-mail: borzunov_g@mail.ru.

Е.А. Гушчарин, С.А. Оборин, Ю.С. Фоминых

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ПО КАНАЛУ ПЭМИ

В данной статье рассматривается активный метод защиты информации конфиденциального характера от утечки по каналу ПЭМИ (Побочные электромагнитные излучения). Метод предполагает зашумление (радиомаскировку) путем использования генераторов шума. Проводится анализ существующих на рынке средств защиты информации по каналу ПЭМИ, рассматриваются их технические характеристик и уровни создаваемых помех.

Ключевые слова: ПЭМИ, средства защиты информации, информационная безопасность.

E.A. Gushcharin, S.A. Oborin, Yu.S. Fominykh

TECHNICAL MEANS ANALYSIS OF INFORMATION PROTECTION ON THE TEMPEST CHANNEL

The article deals with an active method of protecting confidential information from leaking through the TEMPEST (Side electromagnetic radiation) channel. The method of noise (radiometric) by the use of noise generators. The analysis existing means of information protection through to TEMPEST channel is suggested. The technical characteristics and levels of generated interference are considered.

Keywords: TEMPEST, means of information protection, information security.

Побочные электромагнитные излучения (ПЭМИ) – это паразитные электромагнитные излучения радиодиапазона, создаваемые в окружающем пространстве устройствами, специальным образом для этого не предназначенными.

Традиционная ПЭМИ – атака возможна только тогда, когда компьютер обрабатывает данные. Но часто интерес для шпиона представляет информация, хранящаяся на HDD и используемая относительно редко. При этом ПК, ставший объектом атаки, заражается программой-трояном любым из известных способов (через CD с презентацией или ПО, через сеть, Flash-накопители). Программа ищет необходимую информацию на диске и путем обращения к различным устройствам вызывает появление побочных излучений. С помощью разведывательного приемника обеспечиваются перехват паразитного

излучения монитора и выделение требуемого полезного сигнала. При этом программа-троян не портит данные, не нарушает работу ПК, не производит несанкционированную рассылку по сети, а потому долго не обнаруживается антивирусным программным обеспечением. Как показывает практика, вирусы, использующие ПЭМИН для передачи данных, могут работать годами, не обнаруживая себя.

В настоящее время большинство организаций при построении системы защиты конфиденциальных данных уверено, что шифрование передаваемой информации между сетевыми узлами обеспечивает полную безопасность защищаемой информации. Применение при передаче данных стойкого шифрования не оставляет шансов прочесть перехваченное сообщение. В этих условиях ПЭМИН-атака становится единственным способом получения информации до того, как она будет зашифрована.

В данной статье рассмотрим активный метод защиты информации конфиденциального характера от утечки по каналу ПЭМИ. Он предполагает метод зашумления (радиомаскировки) путем использования генераторов шума, задачей которого является постановка помех, перекрывающих информативный сигнал. Проведем анализ существующих на рынке средств защиты информации по каналу ПЭМИ, рассмотрим их технические характеристики и уровни создаваемых помех.

Рассмотрим объект информатизации, расположенный в рабочем кабинете предприятия. Минимальное расстояние до границ контролируемой зоны (далее – КЗ) составляет 2 м, на этаже расположены сторонние организации (рис. 1).

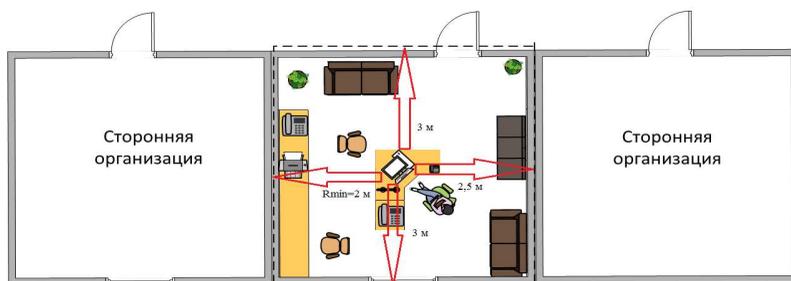


Рис. 1. Размещение объекта информатизации относительно границ контролируемой зоны

В рамках исследования рассматривалось излучение монитора Viewsonic VA1916W, использовался кабель с разъемом VGA, измерения проводились с помощью сборника тестовых программ при разрешении экрана 1600×900 с частотой 60 Гц. Замеры проводились в диапазоне частот от 0,09 до 1000 МГц.

При исследовании монитора на расстоянии 1 м были найдены сигналы, реагирующие на тест, запущенный на дисплее. Первая гармоника была найдена на частоте 32,5 МГц. Сигналы были различными на фоне помех. Была четко различима «информативная» составляющая. Определив частоты, измерили значения «сигнал+шум», «шум» и путем расчета выяснили для каждой частоты расстояния распространения информативного сигнала. Сравнив полученные значения с реальным минимальным расстоянием до границ контролируемой зоны (необходимо выполнение условия $R_i < R_{кз}$), стало видно, что на большинстве частот условия не выполняются (рис. 2). Следовательно, необходимо применение средства защиты информации по каналу ПЭМИ (далее – СЗИ).

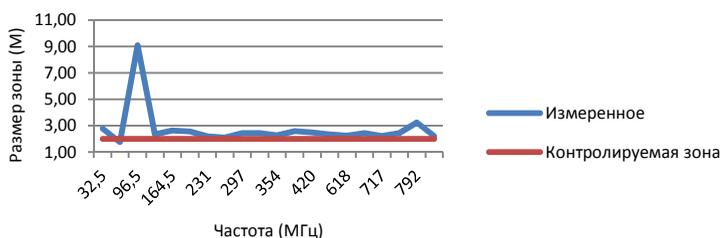


Рис. 2. Измеренное излучение монитора относительно границ КЗ

Для исследования были выбраны 4 СЗИ по каналу ПЭМИН, имеющие действующие сертификаты соответствия ФСТЭК России. Все они имели разное исполнение и разных производителей.

Замеры проводились на найденных частотах на расстоянии 1 м. Наша задача – перекрыть информативный сигнал от данного монитора на всех найденных частотах, создаваемый уровень шумов должен быть выше.

При рассмотрении СЗИ по каналу ПЭМИН видно, в исследуемом диапазоне на интересующих нас частотах постановка маскирующих помех не осуществляется сплошным спектром. На определенных частотах существуют как провалы, так и скачки. Также отли-

чается средний уровень создаваемых помех. На нашем объекте допустимо использовать любой из исследуемых СЗИ, так как уровни помех, создаваемых всеми СЗИ, перекрывают информативный сигнал от данного монитора (рис. 3).

Можно сделать вывод: с использованием любого из рассматриваемых СЗИ съём информации по каналу ПЭМИН на границе контролируемой зоны невозможен.

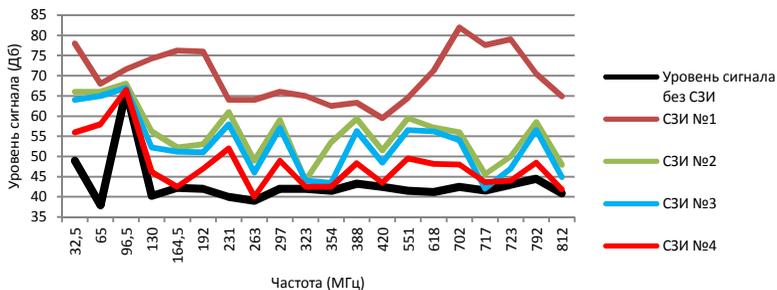


Рис. 3. Сравнение уровней сигналов от монитора и исследуемых СЗИ

Таким образом, СЗИ № 2–4 подходят для защиты, но при выборе других основных технических средств и систем (ОТСС) надо учитывать низкий уровень постановки помех, что может не перекрыть информативный сигнал на некоторых частотах. Также мощность излучаемых помех не подходит для создания распределенных объектов информатизации и защиты АРМ, состоящих из нескольких ПЭВМ (рис. 4).

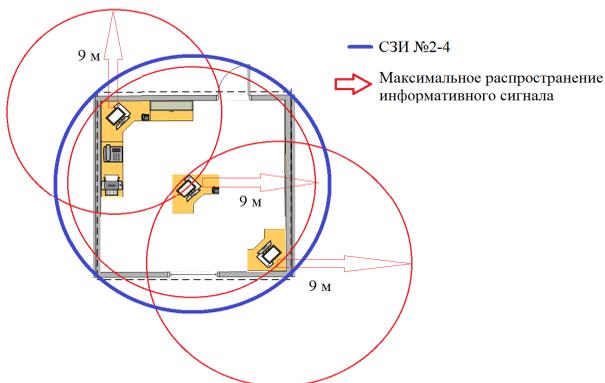


Рис. 4. Применение СЗИ № 2–4 на объекте информатизации

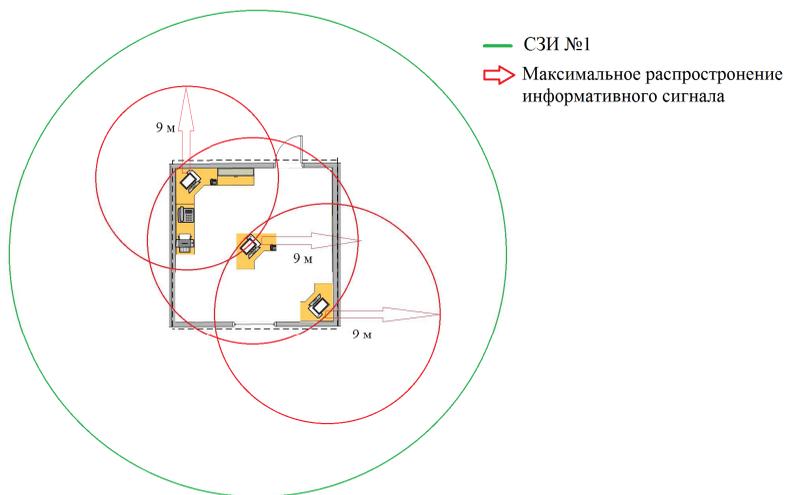


Рис. 5. Применение СЗИ № 1 на объекте информатизации

В свою очередь, их излучение оптимально для защиты одного АРМ и не создает избыточные шумовые помехи в эфире. Проанализировав радиус распространения помех СЗИ № 1, делаем следующий вывод: установка данного СЗИ в центре помещения позволяет размещать АРМ в любом месте в пределах КЗ (границы помещения), что дает предпосылки для создания распределенного объекта информатизации, а также размещения нескольких АРМ (рис. 5).

Библиографический список

1. Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.
2. Руководящий документ ФСТЭК России «Специальные требования и рекомендации по технической защите конфиденциальной информации (СТР-К)» (Гостехкомиссия России, 2002 г.) // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.
3. Сборник временных методик оценки защищенности конфиденциальной информации от утечки по техническим каналам (Гостехкомиссия России, 2002 г.) // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

4. Ярочкин В.И. Информационная безопасность: учебник для студентов вузов. – 2-е изд. – М.: Академический Проект: Гаудеамус, 2004. – 544 с.

Сведения об авторах

Гущарин Евгений Александрович – ведущий специалист по защите информации отдела информационной безопасности ЗАО «Бионт», г. Пермь, e-mail: egushcharin@biont.ru.

Оборин Сергей Александрович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КОБ-14-1с, г. Пермь, e-mail: iceman-07@mail.ru.

Фоминых Юрий Сергеевич – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КОБ-14-1с, г. Пермь, e-mail: yfom@mail.ru.

Е.Е. Журилова, А.С. Шабуров

ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТЕЙ АЛГОРИТМОВ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В DLP-СИСТЕМАХ

В данной статье рассматриваются три алгоритма морфологического анализа: стеммер Портера, Stemka, Mystem. Анализируются их уязвимости и достоинства, на основании которых проводятся оценка и выявление наилучшего алгоритма, с помощью применения элементов теории игр. Для каждого алгоритма уязвимые места представлены на схемах алгоритмов.

Ключевые слова: алгоритм, морфологический анализ, уязвимость, информационная безопасность.

E.E. Zhurilova, A.S. Shaburov

ASSESSMENT OF THE VULNERABILITIES OF ALGORITHMS FOR MORPHOLOGICAL ANALYSIS IN DLP-SYSTEMS

In this article, three algorithms of morphological analysis are considered: Stomer Porter, Stemka, Mystem. Their vulnerabilities and advantages are analyzed on the basis of which the best algorithm is evaluated and identified using the elements of game theory. For each algorithm, the vulnerabilities are represented in the algorithm diagrams.

Keywords: algorithm, morphological analysis, vulnerability, information security.

В условиях нестабильности в различных сферах общества борьба с утечками является одной из наиболее важных задач информационной безопасности. Одним из комплексных средств защиты информации являются DLP-системы, или, иначе говоря, системы предотвращения утечек информации. Современный рынок средств защиты предоставляет большой выбор различных DLP-систем, однако все они, так или иначе, используют алгоритмы морфологического анализа для определения утечек.

Морфологический анализ – это процесс поиска ключевых слов в потоке текста [1]. Алгоритмы морфологического анализа имеют свои особенности и уязвимости, которые необходимо учитывать при построении системы защиты.

Рассмотрим варианты стемминга на предмет уязвимостей и определим наиболее критические, используя элементы теории игр.

Наиболее известными алгоритмами стемминга для русского языка являются:

- стеммер Портера;
- Stemka;
- Mystem [2].

Основной идеей стеммера Портера, созданного в 1979 г., является получение основы слова путем отсечения окончаний и формообразующих суффиксов. Основываясь на рис. 1 [3], определяем основные уязвимые места стеммера.

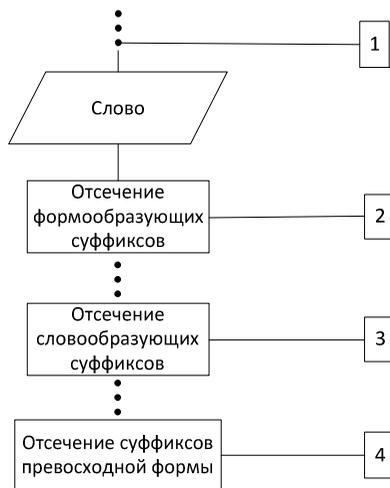


Рис. 1. Уязвимости алгоритма стеммера Портера

Цифрой 1 обозначен момент считывания слова, основной уязвимостью является некорректное считывание слова, или его неполное считывание.

На этапе отсечения суффиксов могут возникнуть следующие проблемы (2, 3, 4), связанные с особенностями словообразования в русском языке:

- отнесение -ии-, -й- к окончанию слова, а не к его суффиксу;
- отнесение суффикса к корню или другому суффиксу, например, суффикс -к- может быть отнесен к словообразующему суффиксу -оч-, что может привести к неверному дальнейшему анализу слова;
- выделение в качестве суффикса части основы слова или его корня [4].

Также следует учитывать возможность, что правила сравнения основ будут составлены некорректно или некорректно изменены, в этом случае правильность работы основных функций не гарантирует качество работы DLP-системы.

Алгоритм Stemka основан на вероятностной модели появления слов в тексте. Схема работы заполнения массива для дальнейшего анализа слов на основании этого массива представлена на рис. 2, цифрами обозначены уязвимые места.

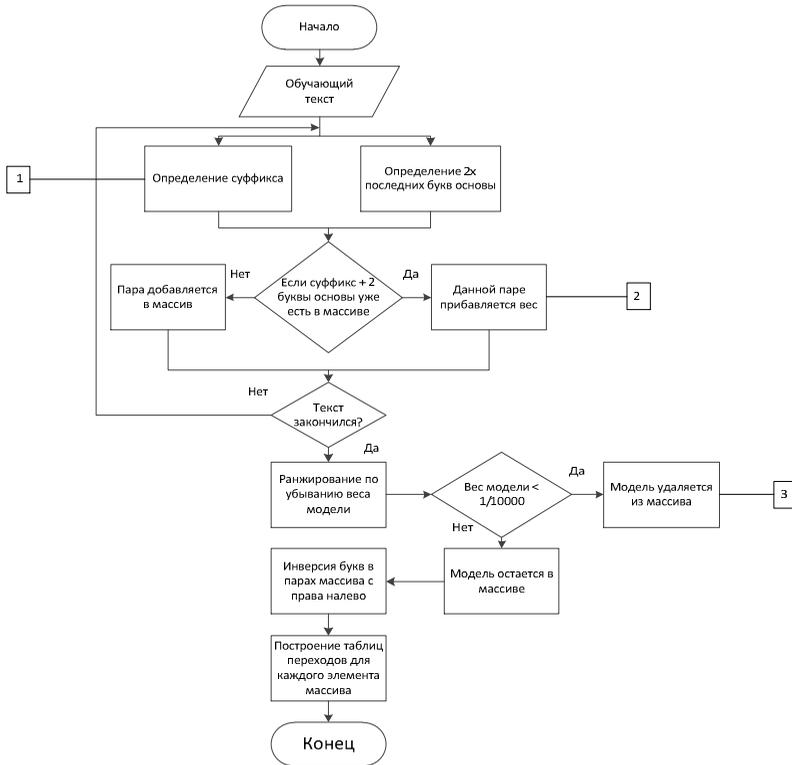


Рис. 2. Уязвимости алгоритма Stemka

Цифрой 1 обозначены проблемы с выделением суффикса, они аналогичны проблемам выделения суффикса для стеммера Портера.

При взломе алгоритма существует возможность изменить способ присвоения веса моделям, таким образом можно уменьшить вес критически важных слов и увеличить вес незначительных слов, чтобы DLP-система не обнаруживала утечку (блок 2).

При получении доступа к коду ранжирования моделей можно изменить параметры удаления моделей, т.е., например, оставить модели, которым не соответствуют важные слова, и удалить все модели, которые получены при анализе важных слов. В этом случае DLP-система также не будет обнаруживать большую часть утечек.

Реализация хотя бы одного из трех перечисленных инцидентов может привести к полной утрате работоспособности всей DLP-системы.

Алгоритм Mystem определяет слово путем разделения его на основу и суффикс на основании уже имеющегося дерева суффиксов, после этого основа сравнивается с имеющимся словарем и выдвигаются гипотезы о том, что это за слово (рис. 3).

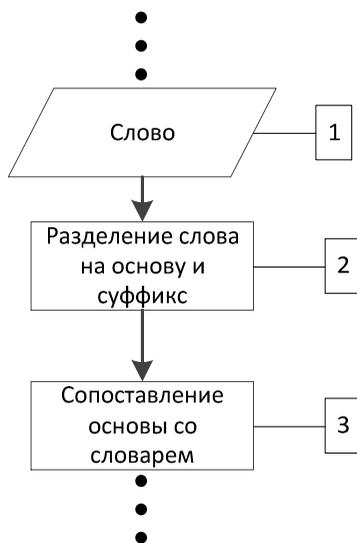


Рис. 3. Уязвимости алгоритма Mystem

Цифрой 1 обозначена проблема корректного считывания слова. Тут существует следующая уязвимость: можно разделить весь текст на блоки по две буквы, в таком случае алгоритм будет считывать слово, пытаться разделить его на основу и суффикс и выдавать некорректную гипотезу относительно несуществующего в русском языке слова.

Длина в два знака имеет значение, поскольку по условию алгоритма при уменьшении основы до двух букв процесс заканчивается.

Проблемы выделения суффикса и основы слова 2 возникают из-за особенностей русского языка и могут привести к неверному определению основы.

При сопоставлении основы со словарем 3 может возникнуть такая проблема, как некорректное определение слова, в связи с большим количеством в русском языке омонимов и однокоренных слов.

Проанализировав все алгоритмы, составим сводную таблицу уязвимостей и определим наиболее и наименее уязвимый.

На основании сравнительных характеристик схем морфологического анализа [3] и анализа уязвимостей определим оптимальный алгоритм, используя математический аппарат теории игр, а именно стратегическую игру «красные» и «синие».

Платежная матрица игры «красные» и «синие»

Критерий	Определение суффикса	Некорректное считывание слова	Некорректность словаря	Уязвимость кода	Min
Точность определения слова	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Обучаемость	50 %	50 %	100 %	0 %	0 %
Затраты на настройку	0 %	100 %	50 %	100 %	0 %
Max	50 %	100 %	100 %	100 %	

Заполняем таблицу по следующему принципу:

– если проблема отрицательно влияет на преимущество, то в ячейку ставим 0 %;

– если проблема не влияет на преимущество, то в ячейку ставим 100 %;

– если зависимость неявная или неизвестная, то 50 %.

На основании решения таблицы был сделан вывод, что критерии «обучаемость» и «затраты на настройку», «определение суффикса» и «уязвимость кода» являются решающими, качество первых двух критериев должно быть максимальным, а вторых – минимальным.

Алгоритмом, который имеет высокую обучаемость, маленькое время настройки, а также минимальные проблемы при определении суффикса является Mystem.

На основании проведенного исследования был сделан вывод о наилучшем алгоритме с точки зрения качества его работы и критичности уязвимостей. Mystem является наилучшим для применения в качестве средства определения утечек информации в рамках DLP-системы.

Библиографический список

1. Шабуров А.С., Журилова Е.Е., Лужнов В.С. Технические аспекты внедрения DLP – системы на основе Falcongaze Secure Tower // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2015. – № 16. – С. 57–67.

2. Астапова О.П. Исследование и разработка методов нормализации слов русского языка: курсовая работа [Электронный ресурс]. – М., 2012. – URL: <http://seminar.at.ispras.ru/wpcontent/uploads/2012/10/Astapova-thesis.pdf> (дата обращения: 13.05.2017).

3. Шабуров А.С., Журилова Е.Е. Особенности морфологического анализа в DLP-системах // Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере. – 2016. – № 2(20). – С. 23–28.

4. Что такое формообразующие суффиксы? [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.genon.ru/GetAnswer.aspx?qid=fae05454-0d7d-4cc6-a803-0e329777cfa6> (дата обращения: 14.05.2017).

Сведения об авторах

Журилова Елена Евгеньевна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КЗИ-16-1м, г. Пермь, e-mail: ele11485995@yandex.ru.

Шабуров Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shans@at.pstu.ru.

Н.С. Кобелева, А.И. Капгер, И.В. Капгер

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ НЕГЛАСНОГО ПОЛУЧЕНИЯ
РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИМИ
МЕТОДАМИ ПО USB-ПРОТОКОЛУ ПЕРИФЕРИЙНЫХ
УСТРОЙСТВ ПЭВМ**

Проведенное теоретическое исследование позволило определить минимальную скорость разборчивого звукового сигнала, а также минимальную скорость передачи данных посредством USB-протокола. Полученные данные позволяют сделать вывод о возможности передачи звукового сигнала через данный протокол.

Ключевые слова: стеганография, USB, акустическая информация, координатное устройство.

N.S. Kobeleva, A.I. Kapger, I.V. Kapger

**ASSESSMENT THE FEASIBILITY OF ACOUSTIC
INFORMATION SECRET OBTAINING BY USING
STEGANOGRAPHY STREAMING CONTAINER
IN THE USB-PROTOCOL OF PC'S POINTING DEVICE**

The research has allowed determine low speed of intelligible signal and low data transfer rate by USB-protocol. According to the analysis results, we can suggest the possibility of audio transmission through USB-proyocol.

Keywords: steganography, USB, acoustic information, pointing device

При использовании в выделенных или защищаемых помещениях вспомогательных технических средств и систем имеется вероятность наличия в них встроенных закладных устройств, обнаружение которых может быть затруднительным. Такие устройства не только могут иметь собственные физические каналы и протоколы негласной передачи защищаемой речевой информации, но и могут использовать существующие физические каналы и штатные протоколы, негласно передавая защищаемую речевую информацию по штатным протоколам существующих физических каналов с использованием стегано-

графических методов, что делает задачу обнаружения таких закладных устройств практически нерешаемой.

В качестве примера такой «нерешаемой» задачи можно рассмотреть координатное устройство ввода для управления курсором с лазерным сенсором (более известное как «мышь», далее – координатное устройство), подключённое через USB-порт. Преобразование акустического сигнала может быть реализовано различными методами, например, с помощью встроенного в координатное устройство дополнительного микрофона или с помощью акустических преобразований лазерного сенсора устройства, который может модулироваться звуковым сигналом. Все эти методы будет объединять одно – акустические колебания должны передаваться в виде сигналов, используя штатный протокол передачи информации от координатного устройства к ПЭВМ. Для оценки возможности такой передачи необходимо определить минимальную скорость передачи звукового сигнала, при котором сохраняется его разборчивость, и определить возможность внедрения потокового стеганографического контейнера, содержащего звуковой сигнал, в USB-протокол координатного устройства.

Примем в качестве достаточного уровень разборчивости телефонного и речевого сигнала величиной, которая соответствует уровню «С2» [1, табл. 17.9.3], и для которого определены уровень квантования, частота дискретизации и верхняя граничная частота этого уровня. Стандартное квантование, которое используется в телефонной связи, определяется по известному распределению амплитуды речи. Так, речевой сигнал дискретизируется с частотой 8 кГц, каждый элемент выборки квантуется и кодируется восемью битами [2]. В телефонии используется полоса частот от 300 до 3400 Гц из-за того, что форманты (акустическая характеристика звуков речи), определяющие разборчивость речи, расположены в основном в этой полосе частот. Для передачи одного канала голосовой частоты, включая частотный интервал между двумя соседними каналами, в котором информация не передается (увеличение частотного разноса между несущими снижает уровень взаимных помех и улучшает качество связи), выделяют полосу пропускания 4 кГц, допускающую частоту дискретизации 8 кГц для использования в импульсно-кодовой модуляции в телефонной сети общего пользования [3].

Для определения минимальной скорости передачи звукового сигнала, при котором сохраняется его разборчивость, необходимо рассчитать скорость для такого кодирования по следующей формуле:

$$U = Y \cdot f, \quad (1)$$

где U – скорость передачи звукового сигнала, бит/с; Y – квантование, бит/отсчет; f – частота дискретизации, отсчет/с.

Подставив данные в формулу, получим: $U = 8 \cdot 8000 = 64\,000$ бит/с, или 62,5 кбит/с.

Таким образом, при условии достаточности разборчивости сигнала уровня «С2» минимально допустимой скоростью передачи звукового сигнала будет являться скорость 62,5 кбит/с.

Периферийные USB-устройства соответствуют спецификациям USB версий 1.1, 2.0 и 3.0. В спецификации для версии 1.1 определены две скорости передачи информации: LS – низкая скорость, которая составляет 1,5 Мбит/с, и FS – полная скорость, которая составляет 12 Мбит/с. Рассмотрим применение спецификации версии 1.1 с низкой скоростью передачи данных (LS). На шине USB физические устройства могут быть хост-контроллером, хабом и конечным устройством. Хост-контроллер обеспечивает связь устройств, подключенных к шине, с компьютером. Любые сеансы обмена данными может начинать только хост-контроллер, остальные устройства ожидают обращения к ним хост-контроллера. Хаб позволяет физически подключить устройства USB к шине. Конечными устройствами являются, например, координатные указывающие устройства типа «мышь». Для каждого конечного устройства должно быть определено, каким способом с ним нужно общаться. Поскольку мы рассматриваем внедрение звукозаписывающего устройства в мышь, то нам подходит передача информации по прерываниям, в связи с чем появляются ограничения по объему передаваемых данных и по времени передачи – до 8 байт в каждом пакете и время передачи от 10 до 255 мс.

Любой обмен по шине USB инициируется хост-контроллером. Контроллер циклически формирует кадры, в которые укладываются все запланированные передачи. Каждый кадр начинается с посылки пакета-маркера начала кадра, который является синхронизирующим сигналом для всех устройств, включая хабы. В конце каждого кадра

выделяется интервал времени конца кадра, во время которого хабы запрещают передачу по направлению к контроллеру. Каждая транзакция состоит из пакетов и начинается по инициативе хоста. Начинается транзакция с отправки маркер-пакета транзакции, в котором указываются адрес устройства, адрес конечной точки, с которой хост будет взаимодействовать, а также направление передачи данных. Получив такой пакет, адресуемое устройство готовится к обмену. Далее, после небольшого таймаута, следует пакет данных от источника (источник определяется направлением, указанным в маркер-пакете). Для нашего типа передач в транзакцию входит еще и третий тип пакетов – пакет подтверждения (квитирования) [4].

Любой пакет на скорости LS начинается с 8 бит синхронизации, далее следуют 4 бита идентификатора пакета и его инверсная копия. Все пакеты состоят из целого числа байт и заканчиваются двумя битами конца кадра. В устройствах USB нормируется время на то, чтобы «доставить» пакет, и максимальное время от увиденного конечными устройствами конца кадра до начала передачи ответного пакета. В устройствах при ожидании пакета запускаются специальные таймеры, которые отсчитывают интервал, достаточный для формирования ответа и его доставки, и если ответ за это время не получен, это воспринимается как ошибка. Длительность битового интервала для скорости LS составляет 150 000 бит/с (примерно 146,5 кбит/с).

Таким образом, были найдены минимальная скорость разборчивого звукового сигнала (62,5 кбит/с) и минимальная скорость передачи данных посредством USB-протокола (146,5 кбит/с), из чего можно сделать вывод, что передача звукового сигнала через данный протокол теоретически возможна, так как она не превышает скорости передачи данных через USB-протокол.

Библиографический список

1. Шкритек П. Справочное руководство по звуковой схемотехнике: пер. с нем. – М.: Мир, 1991. – 446 с.
2. Айфичер Эммануил С., Джервис Барри У. Цифровая обработка сигналов: практический подход: пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2004. – 992 с.

3. Slava Lim. Телефонные и речевые сигналы [Электронный ресурс]. – URL: <https://prezi.com/nluc2tlrhaxt/presentation/> (дата обращения: 23.01.17).

4. Все о USB. Передача данных [Электронный ресурс]. – URL: <http://usb.fober.net/teoriya/Peredacha-dannyx/> (дата обращения: 23.01.17).

Сведения об авторах

Кобелева Надежда Сергеевна – специалист по защите информации отдела информационной безопасности ЗАО «Бионт», г. Пермь, e-mail: kns59@yandex.ru.

Капгер Анна Игоревна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КЗИ-16-1м, г. Пермь, e-mail: kagera@mail.ru.

Капгер Игорь Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: kager@mail.ru.

А.А. Миронова, А.С. Шабуров

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ТАРГЕТИРОВАННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ АТАК НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

В данной статье рассмотрена проблема оценки таргетированных компьютерных атак и предложена модель, иллюстрирующая распознавание компьютерной атаки методом сигнатурного анализа на основе нейронной сети. При этом предполагается комбинация возможностей архитектур нейронных сетей: рециркуляционная и многослойного перцептрона, соединенных последовательно. Процесс обучения нейронной сети может осуществляться в соответствии с предложенной математической постановкой задачи.

Ключевые слова: таргетированная компьютерная атака, распознавание компьютерной атаки, нейронная сеть.

A. A. Mironova, A. S. Shaburov

MODEL OF ESTIMATION OF TARGETED COMPUTER ATTACKS BASED ON THE NEURON NETWORK

This article discusses the problem of evaluating targeted computer attacks and suggests a model that illustrates the recognition of a computer attack by the method of signature analysis based on a neural network. In this case, a combination of the capabilities of neural network architectures is proposed: a recirculation and a multi-layer perceptron connected in series. The learning process of the neural network can be carried out in accordance with the proposed mathematical formulation of the problem.

Keywords: targeted computer attack, computer attack detection, neural network.

В настоящее время проблема участвовавших таргетированных компьютерных атак на информационные и телекоммуникационные системы является весьма актуальной. По данным «Лаборатории Касперского» для среднестатистической компании потери в результате данного инцидента составляют в среднем по миру \$551 тысяч [1].

Под таргетированной (целевой) компьютерной атакой понимают вид кибератаки, процесс которой контролируется вручную в реальном времени злоумышленником, являющимся источником атаки. Как правило, целью подобной атаки является хищение защищенной информации из информационной системы конкретной компании, организации или государственной службы. Важными особенностями таргетированных атак можно назвать их продолжительность,

длительный и ресурсозатратный период подготовки, а также использование не только технических и компьютерных средств для ее осуществления. Комплексный подход к построению атаки может включать активное воздействие на людей с помощью психологии и методов социальной инженерии совместно с атаками нулевого дня (zero-day, exploits) на оборудование [2].

На рис. 1 представлена схема реализации этапов жизненного цикла таргетированной компьютерной атаки на информационную систему (ИС) [3].

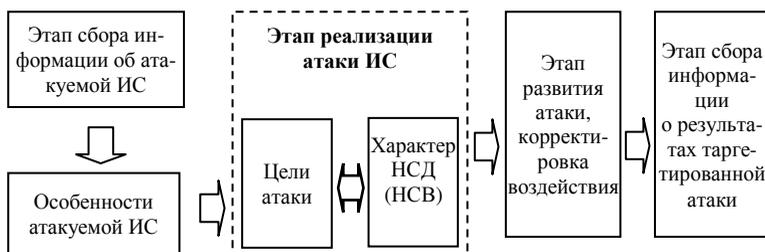


Рис. 1. Схема реализации этапов компьютерной атаки на ИС

Традиционная последовательность реализации таргетированной компьютерной атаки предполагает определенные этапы.

1. Этап сбора информации об информационной системе. На данном этапе выбирается цель нападения, уточняются особенности информационной системы: конфигурация, используемые сервисы, осуществляется поиск уязвимостей. Здесь же выбирается тип реализуемой атаки.

2. Этап реализации атаки, на котором нарушитель осуществляет несанкционированный доступ (НСД) к ресурсам тех узлов системы, по отношению к которым осуществляется атака.

3. Этап дальнейшего развития атаки – выполняются действия, которые направлены на продолжение атаки на ресурсы других узлов информационной системы. Если атака носит пассивный характер, то данный этап является завершающим.

4. Цикл таргетированной атаки может завершаться сбором информации о результатах информационного воздействия и достижении ранее заявленных целей.

Исследование процессов защиты информации от таргетированных атак предполагает разработку их адекватного модельного представления. Моделирование процесса компьютерной атаки подразуме-

вает определение ее параметров и существенных характеристик. К основным параметрам атаки, как правило, относятся время действия атаки, ее периодичность, перечень уязвимостей, используемых для реализации атаки.

В связи со значительными неопределенностями протекания процесса таргетированной атаки предполагается использование нейронных сетей (НС) для моделирования данного процесса и поиска оптимальных решений по ее распознаванию. В данном случае наиболее важным достоинством НС при обнаружении атак является их способность к обучению на основе идентификации признаков атак, ранее не наблюдавшихся. Таким образом, подобная модель способна выявлять новые разновидности компьютерных атак.

После завершения обучения НС множеством последовательных команд защищаемой системы или одной из ее подсистем сеть представляет собой «образ» ее нормального поведения. Процесс обнаружения признаков атак представляет собой определение отличия в поведение объекта. При этом связи между нейронами определяются в достаточной мере методом многих проб и ошибок.

При исследовании на основании НС предполагается, что каждая входная связь нейрона (синапс) характеризуется величиной синоптической связи X_i и ее весом W_i . При этом текущее состояние отдельного нейрона может определяться как взвешенная сумма его входов:

$$S = \sum_{i=1}^n X_i W_i. \quad (1)$$

Как правило, порог срабатывания НС задается функцией $Y = F(S)$. В настоящее время наиболее часто используются так называемые многослойные архитектуры нейронных сетей, или многослойный персептрон (рис. 2), обучение которого осуществляется по правилу обратного распространения ошибки.

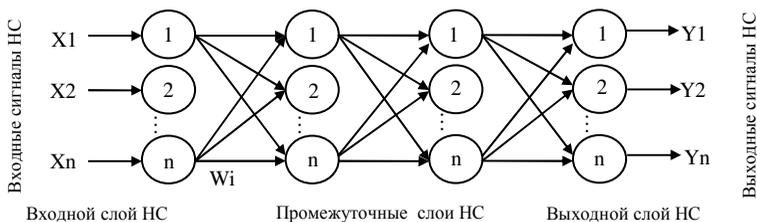


Рис. 2. Архитектура многослойной нейронной сети

НС носит название рециркуляционной, если она представляет собой многослойный персептрон, осуществляющий линейное или нелинейное сжатие входных данных в скрытом слое, то подобная архитектура организации представлена на рис. 3.

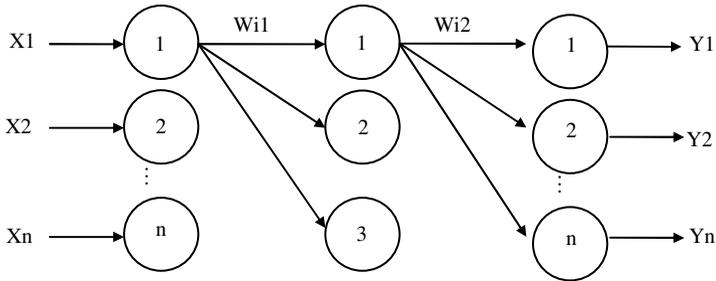


Рис. 3. Архитектура рециркуляционной нейронной сети

В связи с многообразием анализируемых признаков атаки предполагается использование комбинированной схемы ее распознавания. При этом обработка признаков атаки может включать как предварительную обработку признаков атаки на основе рециркуляционной НС, так и дальнейшее использование многослойного персептрона.

Модель, представленная на рис. 4, иллюстрирует процесс распознавания компьютерной атаки методом сигнатурного анализа ее признаков. При этом предполагается объединение возможностей рециркуляционной НС и многослойного персептрона, которые соединены последовательно. Задачей рециркуляционной НС является сжатие входного n -размерного вектора в k -размерный выходной вектор. В свою очередь, многослойный персептрон осуществляет обработку сжатого пространства входных образов (главных компонент) с целью распознавания класса компьютерной атаки [4].

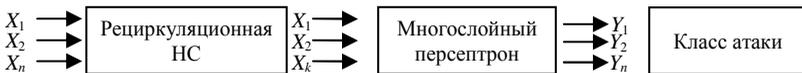


Рис. 4. Комбинация архитектур многослойной нейронной сети

Необходимым этапом сигнатурного анализа на основе НС является ее обучение. В процессе обучения свободные параметры НС настраиваются посредством моделирования среды, в которую эта сеть встроена. Тип обучения определяется способом подстройки этих параметров.

В общем случае предполагаются два варианта обучения НС: обучение с учителем и без. В первом случае сети предъявляются значения как входных, так и желательных выходных сигналов, и она по некоторому внутреннему алгоритму подстраивает веса своих синоптических связей. Во втором случае выходы НС формируются самостоятельно, а веса изменяются по алгоритму, учитывающему только входные и производные от них сигналы.

Процесс обучения НС предполагается осуществлять в соответствии с математической постановкой задачи. Пусть X – множество параметров, характеризующих атаку на основе НС, Y – множество определяемых классов компьютерных атак.

Существует неизвестная целевая зависимость – отображение $y^*: X \rightarrow Y$, значения которой известны только на объектах конечной обучающей выборки: $X^m = \{(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m)\}$.

Требуется построить алгоритм $a: X \rightarrow Y$, который приближал бы неизвестную целевую зависимость как на элементах выборки, так и на всём множестве X . При этом алгоритм должен обладать способностью к обобщению эмпирических фактов или выводить общую закономерность из фактов наблюдений компьютерных атак.

Вводится функция потерь $\varphi(y, y')$, характеризующая величину отклонения определения класса атаки $y = a(x)$ от правильного $y' = y^*(x)$, на произвольной оценке атаки $x \in X$.

Типичным вариантом выбора функции потерь для различных типов решаемых задач могут быть:

- в задачах классификации $\varphi(y, y') = [y' \neq y]$;
- в задачах регрессии $\varphi(y, y') = (y' - y)^2$.

Вводится функционал качества, характеризующий среднюю ошибку алгоритма, или эмпирического риска принятия решения на произвольной выборке X^m

$$Q(a, X^m) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \varphi(a(x_i), y^*(x_i)). \quad (2)$$

Использование метода минимизации эмпирического риска для обучения НС является одним из наиболее распространённых подходов к обучению. Он заключается в том, что в заданной модели алгоритмов $A = \{a: X \rightarrow Y\}$ необходимо найти алгоритм, минимизирующий среднюю ошибку на обучающей выборке: $a \in A$, или минимизирующий потери от некорректного сигнатурного анализа. В итоге

процесс обучения НС сводится к задаче оптимизации, которая может быть решена численными методами оптимизации.

Для дальнейшего решения задач автоматизации расчетов НС предполагается использовать специализированный прикладной пакет программ, таких как НейроПрактикум, NeuroShell 2 и т.п.

Таким образом, разработанная модель распознавания компьютерных атак на основе НС позволяет применить возможности различных типов подобных моделей на основе сформированного пространства признаков компьютерных атак. В конечном итоге это позволит реализовать оптимальный подход к их распознаванию посредством сигнатурного анализа признаков атаки.

Библиографический список

1. Демидов Н., Левцов В. Анатомия таргетированной атаки // Информационная безопасность. – 2016. – № 2. – С. 36–39.

2. Awan M.S., Burnap P., Rana O.F. Estimating risk boundaries for persistent and stealthy cyber-attacks // Proceedings of the 2015 Workshop on Automated Decision Making for Active Cyber Defense. – ACM, 2015. – P. 15–20.

3. Миронова А.А., Шабуров А.С. О требованиях к разработке модели компьютерных атак на телекоммуникационные системы // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика (INNOTECH 2015): материалы III Междунар. интернет-конф. мол. учен., аспирантов, студентов; 01–30 ноября 2015. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2016.

4. Шабуров А.С. Разработка модели распознавания компьютерных атак на основе нейронной сети // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2016. – № 8. – С. 67–72.

Сведения об авторах

Миронова Анна Алексеевна – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. КЗИ-16-1м, г. Пермь, e-mail: mir550@yandex.ru.

Шабуров Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shans@at.pstu.ru.

А.В. Рангулов, С.Ф. Тюрин

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЗАЩИТЫ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА

В данной статье рассмотрена основная проблема обеспечения безопасности веб-приложений, относящихся к различным отраслям. По результатам анализа статистических исследований были выделены актуальные уязвимости веб-приложений и наиболее распространенные атаки злоумышленника. Предложен подход к защите веб-приложения на примере интернет-магазина, представлена архитектура защищенного магазина. Проведен эксперимент для оценки эффективности предложенного подхода к защите.

Ключевые слова: веб-приложения, уязвимости, электронная коммерция, защита информации.

A.V. Rangulov, S.F. Tyurin

DEVELOPMENT OF A MODEL OF SECURE WEB APPLICATIONS

In this article discusses the main problem of security of web applications related to different industries. According to the analysis of statistical studies has been highlighted current vulnerabilities of web-applications and the most common attacks attacker. Proposed approach to protecting a web application for example, the online store presents the architecture of the secure store. An experiment is conducted to evaluate the effectiveness of the proposed protection approach.

Keywords: web application, vulnerability, e-Commerce, data protection.

Введение. В последние годы деятельность любой крупной организации сложно представить без многочисленных веб-приложений, используемых в различных бизнес-процессах, таких как официальные сайты, электронные торговые площадки, интернет-магазины. Кроме того, многие корпоративные приложения с новыми версиями все чаще переходят к использованию веб-технологий. Однако у той важной роли, которую играют веб-приложения в бизнесе, есть и обратная сторона: компрометация приложений может привести к тому, что организация потеряет репутацию, лишится важных клиентов, понесет финансовые потери и операционные расходы на восстановление скомпрометированных ресурсов. Именно поэтому обеспечение безопасности приложения не менее важно, чем реализация его основных функций.

Проблема безопасности веб-приложений. Анализ данных исследования, проводимых аналитическим центром PT Research, а также компанией PositiveTechnologies, осуществляющих проведение тестов на проникновение и аудит информационной безопасности, показывают, что ошибки в защите веб-приложений по-прежнему остаются наиболее распространенными недостатками обеспечения защиты информации. Более того, уязвимости веб-приложений – это один из наиболее распространенных путей реализации атак с целью кражи информации и последующего проникновения в корпоративные информационные системы. Согласно данным статистики [1, 2] самой распространённой уязвимостью является Fingerprinting, или идентификация программного обеспечения. Второе место занимает межсайтовое выполнение сценариев (XSS) – это уязвимость среднего уровня риска. Результатом успешной реализации угроз безопасности веб-приложений и атак злоумышленника может стать утечка или уничтожение конфиденциальных данных, заражение компьютеров пользователей вредоносным ПО, недоступность сервисов, финансовые и репутационные потери.

Методы защиты веб-приложений. Проведенный анализ литературных источников [3–4] позволяет сделать вывод о том, что обеспечение защиты веб-приложений должно осуществляться как на этапе проектирования и разработке самого веб-приложения, так и в процессе его эксплуатации с внесением в случае необходимости своевременных корректировок. При этом защита должна строиться по двум основным направлениям:

- недопущение ошибок в скриптах при разработке веб-приложения;
- применение специализированных межсетевых экранов уровня приложений (например, решения типа ApplicationFirewall), которые обладают встроенным функционалом предотвращения вторжений и обеспечивают защиту от целенаправленных веб-атак, таких как переполнение буфера, SQL-инъекции, Cross-Site-Scripting, изменение параметров запросов и других.

Архитектура модели защищенного интернет-магазина. Исходя из анализа процесса функционирования веб-приложения, его уязвимостей и основных угроз, предлагается подход к защите веб-приложения, реализованный на примере модели интернет-магазина.

Для решения задач по безопасности от угроз несанкционированного доступа к платежным данным пользователей, доступа к административной панели, а также защиты от уязвимостей самого веб-приложения в модели реализуются следующие модули: модуль защиты платежных данных, модуль защиты от актуальных веб-уязвимостей.

Разработанная архитектура модели защищенного интернет-магазина представлена в виде взаимосвязанных между собой модулей (рис. 1). Каждый модуль решает определенный круг задач и связан с другими модулями двунаправленной связью.

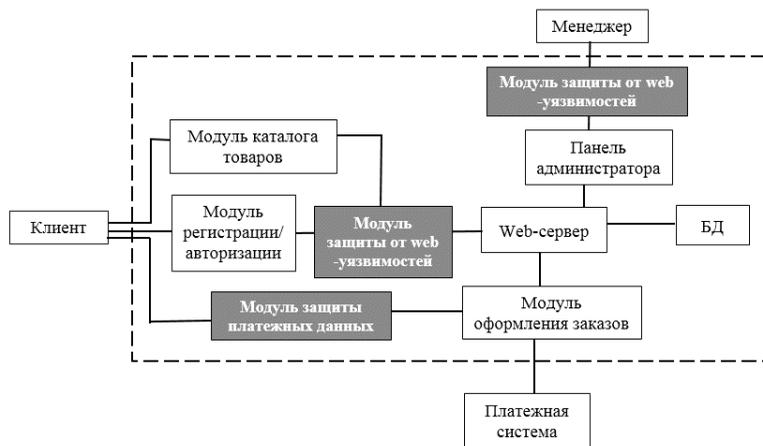


Рис. 1. Архитектура модели защищенного интернет-магазина

Блок «Менеджер» является внешним пользователем по отношению к данной модели. Этот блок контролирует отправку товара пользователям. Блок «Платежная система» является внешним по отношению к данной модели. Сопровождает перевод денежных средств со счета клиента на счет компании. Блок «модуль регистрации» решает задачи регистрации пользователей интернет-магазина. При этом клиенту необходимо ввести свои контактные данные, адрес доставки. Блок «модуль оформления заказа» предназначен для составления счета и передачи платежных данных и суммы заказа платежной системе. Блок «Web-сервер» предназначен для слаженной работы базы данных, клиента, менеджера и платежной системы. Блок «БД» представляет собой базу данных, в которой хранятся данные о товарах,

клиентах, заказах. Блок «модуль защиты от веб-уязвимостей» осуществляет защиту от SQL-инъекций и межсайтового выполнения сценариев, обеспечивает DDoS-защиту, использует обфускацию для скрытия клиентской части кода, обеспечивает защиту идентификатора сессии и поддерживает механизм ограниченного количества попыток ввода данных. Блок «модуль защиты платежных данных» осуществляет защиту платежных данных клиента, используя протокол 3-DSecure и сертификат безопасности SSL.

Экспериментальные исследования модели защиты интернет-магазина. Для экспериментальной части исследования защищенности разработанной модели интернет-магазина на локальной машине было установлено программное обеспечение OpenServer, которое включает в себя следующие компоненты веб-сервер Apache версия 2.4; СУБД MySQL версия 5.5; модуль PHP версия 5.5.

Над разработанной моделью защищенного интернет-магазина проводился эксперимент по оценке воздействия попытки внедрения вредоносного JavaScript код через проведение XSS-атаки с целью получения cookie администратора/менеджера интернет-магазина. Эксперимент проводится в двух последовательных действиях: сначала при выключенном модуле защиты, а затем повторно – с включенным.

В эксперименте моделировалась попытка внедрения вредоносного JS-кода для получения cookie-администратора или пользователя через XSS-атаку на форму регистрации клиента интернет-магазина. При этом вредоносный код внедрялся в поле ввода имени и возраста клиента.

При незадействованном модуле защиты от XSS-атак веб-приложение позволяет не только выполнить в браузере клиента или менеджера вредоносный код, но и записывается в базу данных, что дает злоумышленнику возможность выполнять вредоносный код каждый раз, когда пользователь обращается в своим данным. Таким образом, цель атаки достигается (рис. 2).

При задействованном модуле защиты от XSS-атак, экранируются не только входные, но также и выходные данные, что не позволяет вредоносным скриптам выполняться даже, если они как-то оказались в базе данных. Для этого применяются такие функции как `filter_input_array()`, `htmlspecialchars()` и `strip_tags()`, `filter_sanitise_string()`, т.е. все специальные символы, которые не должны присутствовать, например, в имени, удаляются или кодируются, что не дает коду выполниться (рис. 3).

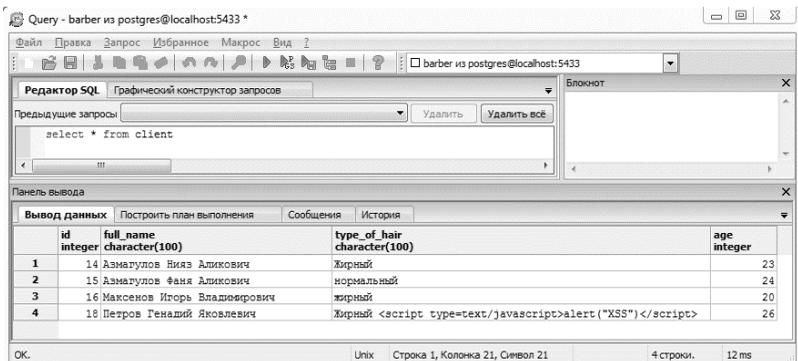


Рис. 2. Результат проведения злоумышленником XSS-атаки, при выключенном модуле защиты от уязвимостей

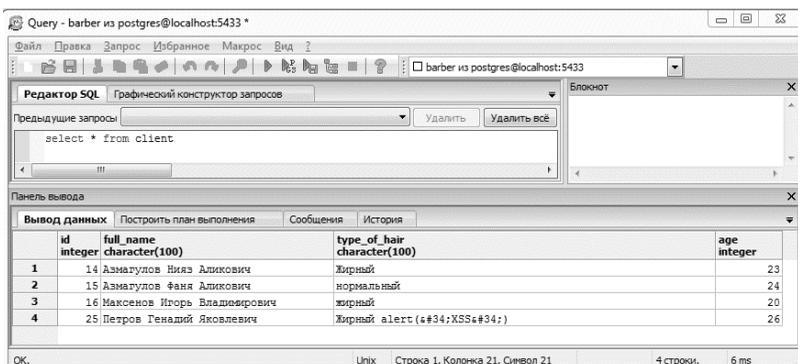


Рис. 3. Результат проведения злоумышленником XSS-атаки, при включенном модуле защиты от уязвимостей

Также использован подход «белых списков», который работает по принципу «что не разрешено, то запрещено». Этот механизм проводит валидацию полей для проверки всех входных данных, включая заголовки, куки, запросы, скрытые поля, а также тип, синтаксис и допустимые символы при вводе данных.

Для того, чтобы пользовательские куки не были доступны через языки сценариев (например, JavaScript), необходимо установить флаг `HttpOnly`. Это сделано в веб-приложении через функцию `setcookie()`.
`bool setcookie(string $name [, string $value [, int $expire = 0 [, string $path [, string $domain [, bool $secure = false [, bool $httponly = true]]]]])`

Заключение. В результате проведенных исследований можно сделать выводы о том, что разработанный модуль защиты интернет-магазина от веб-уязвимостей помогает защититься от несанкционированного доступа и кражи данных пользователей из БД, а также от XSS-атак. А, следовательно, модуль может быть использован при разработке и эксплуатации реальной защиты.

Библиографический список

1. Статистика уязвимостей веб-приложений 2014 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.ptsecurity.ru/download/WEB_APP_VULNERABILITYч_2014.A4.RUS.242465.14.OCT.2015.pdf (дата обращения: 16.05.2016).
2. Статистика уязвимостей корпоративных информационных систем [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ptsecurity.ru/download/PT_Corporate_vulnerability_2015_rus.pdf (дата обращения: 16.05.2016).
3. Леонтьев В.С. Безопасность в сети Интернет. – М.: ОЛМА Медиа Групп, 2008. – 256 с.
4. Защита веб-приложений [Электронный ресурс]. – URL: http://www.sovit.net/services/endpoint_security/web_application_protection (дата обращения 15.05.2016).
5. Оладько А.Ю., Аткина В.С. Модель защиты интернет-магазина // Известие ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 2. – С. 74–80.

Сведения об авторах

Рангулов Артур Вильнурович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КОБ-12-1с, г. Пермь, e-mail: rangulov.artur@mail.ru.

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

В.Г. Лесникова, А.Н. Кокоулин

ИССЛЕДОВАНИЕ УЯЗВИМОСТИ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ KALI LINUX

В данной статье рассмотрены проблемы безопасности операционных систем. Проанализированы статистика, угрозы, атаки, уязвимости. Выявлена и обоснована необходимость постоянно устанавливать обновления, использовать инструменты, которые помогают обеспечить защищенность и целостность операционной системы. На основе проведенного исследования автор решает подробнее изучить проблему поиска уязвимостей операционных систем и предлагает использовать платформу Kali Linux на нее произвести установку сканера уязвимости Nessus. С использованием сканера выявить уязвимости операционных систем и провести работу над их возможным устранением.

Ключевые слова: уязвимость, операционная система.

V.G. Lesnikova, A.N. Kokoulin

RESEARCH OF VULNERABILITY OF OPERATING SYSTEMS WITH KALI LINUX USE

In this article problems of safety of operating systems are considered. The statistics, threats, the attacks, vulnerabilities are analyzed. Need to permanently set updates, to use tools which help to provide security and integrity of an operating system is revealed and justified. On the basis of the conducted research the author decides to study in more detail a problem of search of vulnerability of operating systems and suggests to use the Kali Linux platform on it to make installation of the scanner of vulnerability of Nessus. With use of the scanner to reveal vulnerabilities of operating systems and to carry out operation over their possible elimination.

Keywords: vulnerability, operating system.

Безопасность – отсутствие какого-либо риска, в случае реализации которого возникают негативные последствия в отношении кого-либо или чего-либо.

Безопасность информации – это состояние защищенности информации, при котором обеспечены ее конфиденциальность, доступность и целостность [1].

Безопасность операционной системы – это комплекс мер, направленных на предотвращение действий со стороны пользователя или других программ, которые могут привести к нарушению нормального функционирования операционной системы.

С развитием информационных технологий и внедрением компьютера практически во все сферы деятельности, появились люди, которые различными нестандартными методами пытаются с целью собственной выгоды получить несанкционированный доступ к информации, которая для них не предназначена. Были разработаны целые комплексы программ для усиления информационной безопасности и борьбы с ними. А поскольку любым электронно-вычислительным комплексом управляет определенная операционная система, для обеспечения безопасности системы в целом необходимо позаботиться о безопасности самой ОС.

Каждый производитель по-своему реализует безопасность ОС. Одни системы достаточно защищенные, защиту других обойти не просто, а третьи практически беззащитны перед взломщиками.

Статистика ОС по данным компании NetMarketShare [3] такова, что во всем мире на март 2017 года 91,59 % используют Windows, macOS 6,27 % и Linux 2,14 %. На рис. 1 представлена статистика ОС Windows.

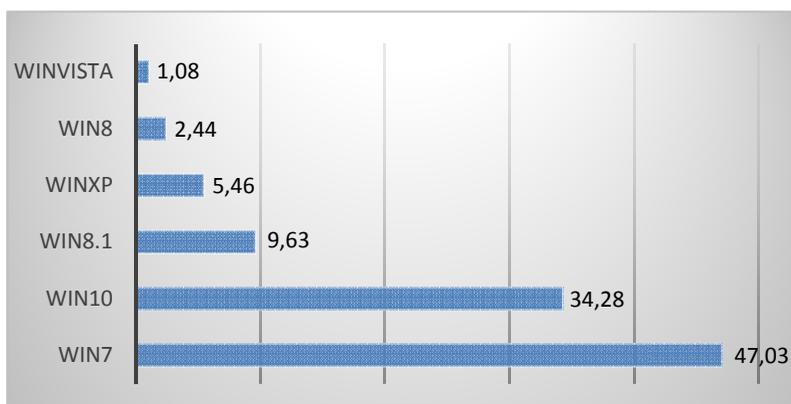


Рис. 1. Статистика ОС Windows

Для операционных систем характерны угрозы безопасности, которые зависят от условий эксплуатации системы, какая информация хранится и обрабатывается в ней.

Единой и общепринятой классификации угроз безопасности операционных систем пока не существует. Однако можно предложить классификацию, представленную в таблице [4].

Классификация угроз безопасности операционных систем

№	Признак	Угроза
1.	Цель	<ul style="list-style-type: none"> – несанкционированное чтение информации; – изменение информации; – уничтожение информации; – полное или частичное разрушение ОС
2.	Принцип воздействия	<ul style="list-style-type: none"> – известные каналы получения информации; – скрытые каналы; – создание новых каналов с помощью программных закладок
3.	Характер воздействия	<ul style="list-style-type: none"> – активное воздействие; – пассивное воздействие
4.	Тип используемой злоумышленником слабости защиты	<ul style="list-style-type: none"> – ошибки администратора системы; – ошибки и недокументированные возможности программного обеспечения ОС; – ранее внедренная программная закладка

Можно также классифицировать по таким признакам, как: способ действий злоумышленника, используемые средства атаки, объект атаки, способ воздействия на объект атаки, состояние атакуемого объекта ОС на момент атаки. Также на операционные системы осуществляются атаки. Компьютерная атака – это целенаправленное несанкционированное воздействие на информацию, на ресурс автоматизированной информационной системы или получение несанкционированного доступа к ним с применением программных или программно-аппаратных средств [2]. Для ОС характерны следующие атаки, представленные на рис. 2.

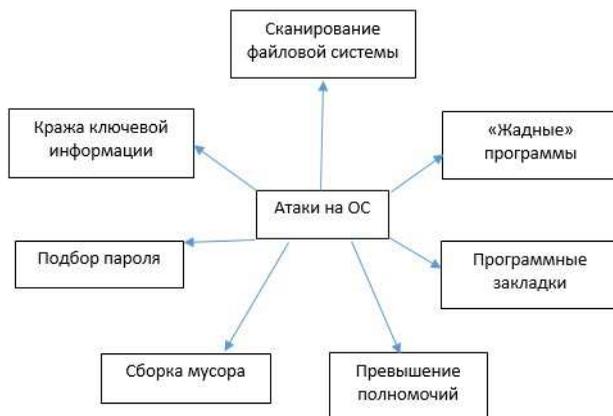


Рис. 2. Атаки на ОС

Уязвимость (информационной системы) – это свойство информационной системы, обуславливающее возможность реализации угроз безопасности обрабатываемой в ней информации [1].

К распространенным типам уязвимостей ОС Windows относятся:

1. Отождествление прав с правами системы – 27 %.
2. Получение имени и пароля других служб и приложений – 13 %.
3. Дезинформация пользователя – 9 %.
4. Использование некорректных настроек безопасности реестра – 8 %.
5. Получение имени и пароля ОС или БД – 7 %.
6. Крах системы – 7 %.
7. Использование некорректных настроек файловой системы – 4 %.
8. Запуск произвольной программы – 4 %.
9. Подмена адреса программы – 4 %.
10. Использование ошибок программирования – 4 %.
11. Использование ошибки каталога «..» (две точки) – 4 %.
12. Удаление и перезапись – 3 %.
13. Определение имени пользователя – 3 %.
14. Получение доступа к временным файлам – 2 %.
15. Перехват информации пользователя – 1 %.

Диаграмма уязвимостей представлена на рис. 3.

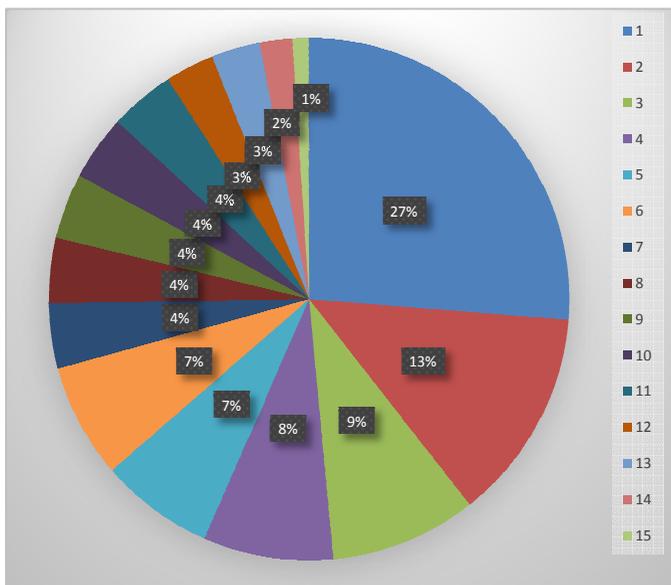


Рис. 3. Диаграмма уязвимостей

Существуют программные обеспечения, которые могут помочь в обнаружении уязвимостей в системе.

Один из таких – популярный сканер уязвимостей Nessus [5], разработанный компанией Tenable Network Security.

Tenable использует Nessus на различных платформах. Одним из таких вариантов является Kali Linux (рис. 4).



```
root@kali:~/Desktop# dpkg -i Nessus-5.2.7-debian6_amd64.deb
Selecting previously unselected package nessus.
(Reading database ... 286031 files and directories currently installed.)
Unpacking nessus (from Nessus-5.2.7-debian6_amd64.deb) ...
Setting up nessus (5.2.7) ...
nessusd (Nessus) 5.2.7 [build N25122] for Linux
Copyright (C) 1998 - 2014 Tenable Network Security, Inc

Processing the Nessus plugins...
[#####]

All plugins loaded

- You can start nessusd by typing /etc/init.d/nessusd start
- Then go to https://kali:8834/ to configure your scanner

root@kali:~/Desktop# /etc/init.d/nessusd start
$Starting Nessus : .
```

Рис. 4. Установка Nessus на Kali Linux

Таким образом, исследование уязвимости операционных систем с использованием Kali Linux и сканера Nessus, позволяет выявить уязвимости и повысить качество безопасности операционных систем.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 50922-2006. Защита информации. Основные термины и определения. – Взамен 50922-96; Введ. 27.12.2006. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 12 с.

2. ГОСТ Р 51275-2006. Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на информацию. Общие положения. – Взамен 51275-99; Введ. 27.12.2006. – М.: Изд-во стандартов, 2007. – 10 с.

3. Статистика операционных систем за март 2017 [Электронный ресурс]. – URL: <http://it-news.club/statistics-operating-systems-for-march-2017/> (дата обращения: 24.04.2017).

4. Проблемы безопасности информации [Электронный ресурс]. – URL: http://infoprotect.net/protect_pk/problemu-bezopasnosti-os (дата обращения: 25.04.2017).

5. Nessus [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Nessus> (дата обращения: 25.04.2017).

Сведения об авторах

Лесникова Виктория Германовна – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КОБ-13-1с, г. Пермь, e-mail: bragina951993@yandex.ru.

Кокоулин Андрей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: a.n.kokoulin@gmail.com.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция III. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА	3
Калинин В.А., Терлыч А.Е. Моделирование распределения напряженности электрического поля в неоднородной изоляции кабелей	4
Кабирова А.И., Щербинин А.Г. Электрическое поле кабеля с жилами секторной формы	9
Корюкин Д.Ю., Щербинин А.Г. Математическое моделирование электромагнитных процессов в токопроводящих жилах больших сечений	15
Козьминых А.В., Костарев Н.А., Труфанова Н.М. Исследование процесса тепломассопереноса в нефтяной скважине	20
Мяхор Д.А. Разработка автономного комплекса для инспектирования линий электропередач	26
Ащев Д.А., Черняев В.В. Расчет электроснабжения цеха №1 ПАО «МЗ»	31
Лотохов А.М., Черняев В.В. Расчет технологического режима изготовления кабеля АПВВНГ(А)-LS 10 кВ	36
Спирин Ю.В., Черняев В.В. Расчет технологического режима изготовления кабеля ПВПНГ(А)-НФ	39
Щеголев И.А., Черняев В.В. Расчет технологического режима изготовления кабеля ПВВНГ(А)-LS 10 кВ	43
Солдатова И.Е., Черняев В.В. Расчет технологического режима общей скрутки изолированных жил марки кабеля АВВГ	46
Шаврин А.В., Черняев В.В. Расчет технологического режима изготовления кабеля ВВГЭНГ(А) – 0,6 кВ	52
Овинов А.А., Терлыч А.Е. Современные контрольные кабели. Тенденции развития огнестойких контрольных кабелей	58
Титов И.А., Щербинин А.Г. Гидродинамический анализ изотермического течения вязких жидкостей в винтовом канале экструдера	62
Лекомцев Е.И., Казаков А.В. Исследование четырехслойного течения с учетом вязкоупругих свойств материалов	66

Талызин Д.О., Лейзгольд Д.Ю. Обзор методов управления потокораспределением в электрических системах с несколькими источниками питания	71
Стертюков К.Г., Стародубцева О.А. Разработка новых технологий и технических средств с целью увеличения КПД в области энергетики	77
Андросов В.В. Анализ динамики фондового рынка в энергетическом сегменте за 2005–2016 гг.	83
Будаян В.А., Труфанова Н.М. Исследование процесса тепломассопереноса в месте прокладки кабеля с учетом лучистого теплообмена	88
Бурдышев И.В., Казаков А.В. Расчет энергоэффективности стен	93
Бурыйлов Д.А., Симонов А.Л., Гурко В.А. Исследование свойств резонансных фильтров	98
Газизов Р.И., Щербинин А.Г. Расчет параметров провисания состыкованного кабеля в вулканизационной камере	103
Гущин А.С., Субботин Е.В., Щербинин А.Г. Сравнительный анализ физико-механических параметров электроизоляционных материалов при низких температурах	107
Девятков М.С., Субботин Е.В., Щербинин А.Г. Экспериментальные исследования физико-механических параметров электроизоляционных материалов при высоких температурах	112
Джонг Х. Теория непопозволенного устремления и новое поколение источников питания	115
Зыков А.С., Труфанова Н.М. Численный анализ температурных полей муфты силового кабеля на напряжение 10 кВ	119
Истомин Н.В., Труфанова Н.М. Анализ температурных полей в кабельных линиях при различных прокладках по мосту	125
Капустин А.П., Соколов А.Г., Сенной Н.Н. Индуктивный генератор импульсных токов для электромагнитной пушки	130
Костарев Н.А., Труфанова Н.М. Исследование процессов тепломассопереноса в нефтяной скважине с учетом процесса парафинообразования	136

Краснова А.О. Новая модель розничного рынка энергии: анализ последствий для экономики региона	143
Кузнецова Н.Д. Анализ эффективности применения аккумуляторных систем в АСЭС	149
Лиске Е.Г., Сельменева Д.С., Шевцов Д.Е. Исследование переходных процессов при управляемом включении конденсаторной батареи	155
Лютак И.И., Францева А.А. Анализ работы теплового насоса на различных рабочих телах	160
Пастухов А.Н., Щербинин А.Г. Определение номинальных токовых нагрузок силовых кабелей с резиновой изоляцией	165
Порошин А.А., Мансуров А.С., Щербинин А.Г. Исследование электромагнитных процессов цилиндрических экранов	169
Путилова А.А., Костыгова Т.В., Мишулин Д.Р. Моделирование процесса эмалирования и анализ работы эмаль-агрегата МАТЕ SV 70-224/2 при изменении технологических параметров в эмаль-печи	175
Рыков А.А., Щербинин А.Г., Субботин Е.В. Численное исследование эксплуатационных режимов работы кабельной арматуры в условиях воздействия аномально низких температур	181
Рябкова Н.А., Труфанова Н.М. Подбор реологического закона для описания однослойного течения резины в канале кабельной головки	185
Салаватов В.Э., Труфанова Н.М. Влияние различных условий обогрева на температурное поле в жилой комнате	190
Сельменева Д.С., Лиске Е.Г., Шевцов Д.Е. Исследование переходных процессов при управляемом включении силового трансформатора	195
Слободчиков А.Д., Субботин Е.В., Ершов С.В. Экспериментальные исследования реологических характеристик нефтяных масел при отрицательных температурах	200
Терлыч А.Е., Поздеева А.С. Метод измерения сопротивления токопроводящих жил кабелей непосредственно на линии производства	204

Трусова В.А., Францева А.А. Особенности применения низкокипящих рабочих тел	210
Труфанова Н.М., Бородулина К.В., Дятлов И.Я. Численный анализ напряженности электрического поля на проводах воздушной линии на напряжение 500 кВ	214
Труфанова Н.М., Дятлов И.Я. Численный анализ процесса вулканизации	221
Фроленко М.В., Казаков А.В. Оценка эффективности внешнего теплообменника системы охлаждения электродвигателя для различных теплоносителей	229
Хасянова Ю.М., Субботин Е.В. Экспериментальное исследование теплофизических и реологических характеристик безгалогенных полимерных композиций	234
Черемухин А.И., Казаков А.В. Расчет допустимого тока нагрузки провода ПВАМ в заданных условиях	240
Черепок В.С., Щербинин А.Г. Определение электрической емкости силовых кабелей с секторными токопроводящими жилами	244
Чигринец П.А., Остапенко А.И., Капустин А.П., Сенной Н.Н. Перспективы МГД-генерации на морской воде	249
Шевчик А.Б., Боруш О.В. Тепловые характеристики электростанции с водоаммиачным циклом Калины	255
Тиунов В.В., Кирилловых Д.С., Суханов А.Е. Компьютерное построение векторных диаграмм при расчете и анализе электрических цепей	260
Секция IV. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ	267
Белаш Т.В., Фрейман В.И. Исследование свойств и возможностей применения арифметических кодов в инфокоммуникационных системах	268
Губарев Е.А., Безукладников И.И. Создание виртуально-физического стенда для исследования промышленных сетевых протоколов	274
Елтышев А.В., Посягин А.И. Принципы построения альтернативной архитектуры нейронной сети для самомаршрутизирующегося аналого-цифрового преобразователя	277

Ермилов С.С., Тюрин С.А. Определение местоположения с помощью уровня затухания сигнала	282
Жакова Ю.А. Исследование методов переключения каналов кодирования в квантовых криптографических сетях	286
Заборских К.Д., Гаврилов А.В. Оптимизация связности структуры беспроводной мэш-сети	291
Ибрагимов Р.Р., Даденков С.А. Создание имитационной модели протокола поискового сервиса DHT в P2P-сетях	296
Ларионов А.А., Мехоношин А.С. Разработка GPS-трекера на основе ARDUINO и GSM/GPS-модуля SIM908	302
Липухин А.А., Безукладников И.И. Создание сетевой виртуально-физической инфраструктуры для исследования беспроводных LORA-сетей	308
Лихачева Ю.В., Даденков С.А. Анализ протоколов маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях с точки зрения энергоэффективности	314
Норваткин М.И., Тюрин С.А. Сети LTE: структура и принцип работы	320
Стафеев А.К., Тюрин С.А. Сравнительный анализ стандартов цифровых транкинговых сетей	325
Стрельникова Л.В. Применение методов нечеткой кластеризации в сетях 5G	331
Сунегина Е.А., Фрейман В.И. Моделирование и сравнительный анализ различных методов обеспечения помехоустойчивости в телекоммуникационных сетях	334
Тернавский Д.Е., Гаврилов А.В. Моделирование сетей с ячеистой топологией	339
Харюшина К.И., Даденков С.А. Имитационные модели протоколов случайного множественного доступа <i>p</i> -persistent CSMA	345
Широков Д.И., Субботин Е.В., Ершов С.В. Экспериментальные исследования взаимодействия основных материалов, используемых при изготовлении оптических кабелей	351
Якимова А.П., Даденков С.А. Построение имитационной модели протокола маршрутизации Q-ROUTING	355

Якимова В.А., Фрейман В.И. Исследование и моделирование сетей, построенных на основе оверлейных технологий	361
Секция V. ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	367
Батуев К.А., Кротова Е.Л. Исследование алгоритмов систем электронного голосования	368
Борисов В.И., Шабуров А.С. Алгоритм выявления программ-шифровальщиков в корпоративных сетях	374
Гусев П.Д., Борзунов Г.И. Идентификация видеозаписывающих устройств на основе шумовых портретов	381
Гущарин Е.А., Оборин С.А., Фоминых Ю.С. Анализ технических средств защиты информации по каналу ПЭМИ	387
Журилова Е.Е., Шабуров А.С. Оценка уязвимостей алгоритмов морфологического анализа в DLP-системах	393
Кобелева Н.С., Капгер А.И., Капгер И.В. Оценка возможности негласного получения речевой информации стеганографическими методами по USB-протоколу периферийных устройств ПЭВМ	399
Миронова А.А., Шабуров А.С. Модель оценки таргетированных компьютерных атак на основе нейронной сети	404
Рангулов А.В., Тюрин С.Ф. Разработка модели защиты веб-приложения на примере интернет-магазина	410
Лесникова В.Г., Кокоулин А.Н. Исследование уязвимости операционных систем с использованием Kali Linux	416

Научное издание

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Материалы всероссийской научно-технической
конференции

(г. Пермь, 23 мая 2017 г.)

В двух томах
Том 2

Редактор и корректор *И.Н. Жеганина*

Подписано в печать 20.11.2017.
Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 26,75.
Тираж 100 экз. Заказ 270/2017.

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета.
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.
Тел. (342) 219-80-33.