СибАК
www.sibac.info

ISSN 2310-4066

LXXX СТУДЕНЧЕСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

№8(79)

НАУЧНОЕ СООБЩЕСТВО СТУДЕНТОВ XXI СТОЛЕТИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

г. НОВОСИБИРСК, 2019

НАУЧНОЕ СООБЩЕСТВО СТУДЕНТОВ XXI СТОЛЕТИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Электронный сборник статей по материалам LXXX студенческой международной научно-практической конференции

№ 8 (79)
Август 2019 г.

Издается с Октября 2012 года

Новосибирск
2019

УДК 62
ББК 30
Н34

Председатель редколлегии:
Дмитриева Наталья Витальевна – д-р психол. наук, канд. мед. наук, проф., академик Международной академии наук педагогического образования, врач-психотерапевт, член профессиональной психотерапевтической лиги.

Редакционная коллегия:
Ахмеднабиев Расул Магомедович – канд. техн. наук, доц. Полтавского национального технического университета им. Ю. Кондратюка;
Ахметов Сайранбек Махсутович – д-р техн. наук, проф., академик Национальной инженерной академии РК и РАЕН, профессор кафедры «Механика» Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, руководитель Казахского отделения (г. Астана) международной научной школы устойчивого развития им. ак. П.Г. Кузнецова;
Елисеев Дмитрий Викторович – канд. техн. наук, доцент, бизнес-консультант Академии менеджмента и рынка, ведущий консультант по стратегии и бизнес-процессам, «Консалтинговая фирма «Партнеры и Боровков».

Н34 **«Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки»:** Электронный сборник статей по материалам LXXX студенческой международной научно-практической конференции. – Новосибирск: Изд. АНС «СибАК». – 2019. – № 8(79) / [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: https://sibac.info/archive/technic/8%2879%29.pdf.

Электронный сборник статей по материалам LXXX студенческой международной научно-практической конференции «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки» отражает результаты научных исследований, проведенных представителями различных школ и направлений современной науки.

Данное издание будет полезно магистрам, студентам, исследователям и всем интересующимся актуальным состоянием и тенденциями развития современной науки.

Статьи сборника «Научное сообщество студентов. Технические науки» размещаются на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

ББК 30

ISSN 2310-4066
© АНС «СибАК», 2019 г.

Оглавление

Секция «Архитектура, строительство» 6

МОНТАЖ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ МЕТОДОМ ПРОДОЛЬНОЙ НАДВИЖКИ 6
Габитова Лилия Ирековна
Садыков Руслан Рустемович
Петропавловских Ольга Константиновна

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ 11
Свидинская Анастасия Сергеевна

Секция «Информационные технологии» 15

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ СКРЫТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ФАЙЛЕ ФОРМАТА PDF 15
Денисович Дмитрий Павлович
Лапчинская Маргарита Петровна

ОЦЕНКА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЧИСЛОВЫХ АЛГОРИТМОВ ШИФРОВАНИЯ НА КРИПТОСТОЙКОСТЬ 23
Хлытина Влада Андреевна
Иванова Дарья Сергеевна
Лапчинская Маргарита Петровна

Секция «Математика» 34

НЕОПРЕДЕЛЁННОЕ УРАВНЕНИЕ ЧЕТВЁРТОЙ СТЕПЕНИ ОТ ТРЁХ ПЕРЕМЕННЫХ 34
Бокарев Никита Леонидович
Бокарева Лидия Леонидовна

Секция «Материаловедение» 41

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ СИНТЕЗА ПОРОШКА КОМПОЗИЦИИ НИТРИДА-КАРБИДА КРЕМНИЯ 41
Грачкова Дарья Владимировна
Марков Юрий Михайлович

Секция «Моделирование» 46

СОЛНЕЧНЫЕ ПАНЕЛИ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ 46
Фролов Максим Валерьевич

Секция «Энергетика» **51**

НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ КВАРТАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ СТАНЦИИ 51
Матухнова Ольга Дмитриевна
Матухнов Тимур Алексеевич
Третьяков Андрей Олегович
Гурьева Виктория Алексеевна
Бурмейстер Максим Витальевич
Булатов Рамис Вагизович

АНАЛИЗ МИРОВОГО ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ФАЗОСДВИГАЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 58
Булатов Рамис Вагизович
Бурмейстер Максим Витальевич
Кочергин Алексей Валерьевич
Матухнов Тимур Алексеевич
Третьяков Андрей Олегович
Гурьева Виктория Алексеевна

НОВЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ТАРИФА НА ТЕПЛОВУЮ ЭНЕРГИЮ 67
Матухнов Тимур Алексеевич
Третьяков Андрей Олегович
Гурьева Виктория Алексеевна
Бурмейстер Максим Витальевич
Булатов Рамис Вагизович

МЕТОДИКА РАСЧЕТА И АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОПРЕСНИТЕЛЯ С ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ 72
Гурьева Виктория Алексеевна
Третьяков Андрей Олегович
Матухнов Тимур Алексеевич
Бурмейстер Максим Витальевич
Булатов Рамис Вагизович

АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕТАНДЕР ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ НА ГТЭС 77
Матухнова Ольга Дмитриевна
Матухнов Тимур Алексеевич
Третьяков Андрей Олегович
Гурьева Виктория Алексеевна
Бурмейстер Максим Витальевич
Булатов Рамис Вагизович

ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН В ЗАДАЧАХ ЭНЕРГЕТИКИ 82
Красюков Егор Андреевич
Дмух Галина Юрьевна

СЕКЦИЯ

«АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО»

МОНТАЖ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ МЕТОДОМ ПРОДОЛЬНОЙ НАДВИЖКИ

Габитова Лилия Ирековна
студент, кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
РФ, г. Казань

Садыков Руслан Рустемович
студент, кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
РФ, г. Казань
E-mail: lilagabit@gmail.com

Петропавловских Ольга Константиновна
научный руководитель, ст. преподаватель
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
РФ, г. Казань

При разработке проекта организации строительства мостового сооружения и проекта производства работ по монтажу пролетного строения, необходимо учитывать такие факторы, как назначение сооружения, строительный материал, высота конструкции, наличие водного препятствия и его особенности, схема и длина искусственного сооружения, наличие строительной техники. На основе опыта проектирования и имеющихся данных подбирается оптимальный вариант монтажа конструкций мостового сооружения с обоснованием результата выбора на основе сметного и календарного расчетов.

Целью настоящей работы является разработка оптимального способа монтажа пролетного строения моста со сталежелезобетонным пролетным строением длиной 245,5 метров IV технической категории. Мост запроектирован для преодоления водного препятствия по новой проектируемой дороге в объезд села Тумутук в республике Татарстан, а также для замены существующего моста, находящегося в аварийном состоянии. Схема моста неразрезная, мост состоит

из пролетов длиной 33,60+42,0х4+33,6. Река Ик – несудоходная с наибольшей глубиной 3,5 метра при меженном уровне вод. В половодье река растекается на 215 метров в ширину.

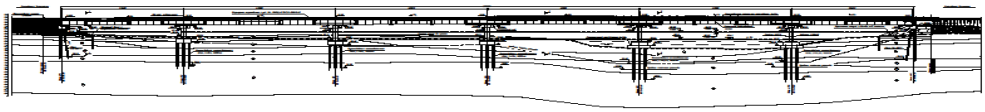


Рисунок 1. Продольный профиль автодорожного моста

Пролетное строение моста состоит из четырех двутавровых балок высотой 2 метра, выполнено из низколегированной стали марки 15ХСНД по ГОСТ6713-91 [1], объединенных между собой связями из сдвоенных равнополочных уголков. Проезжая часть представлена железобетонной сборной плитой из бетона класса В30 F300 W8 [3] переменной толщины, для создания поперечного уклона.

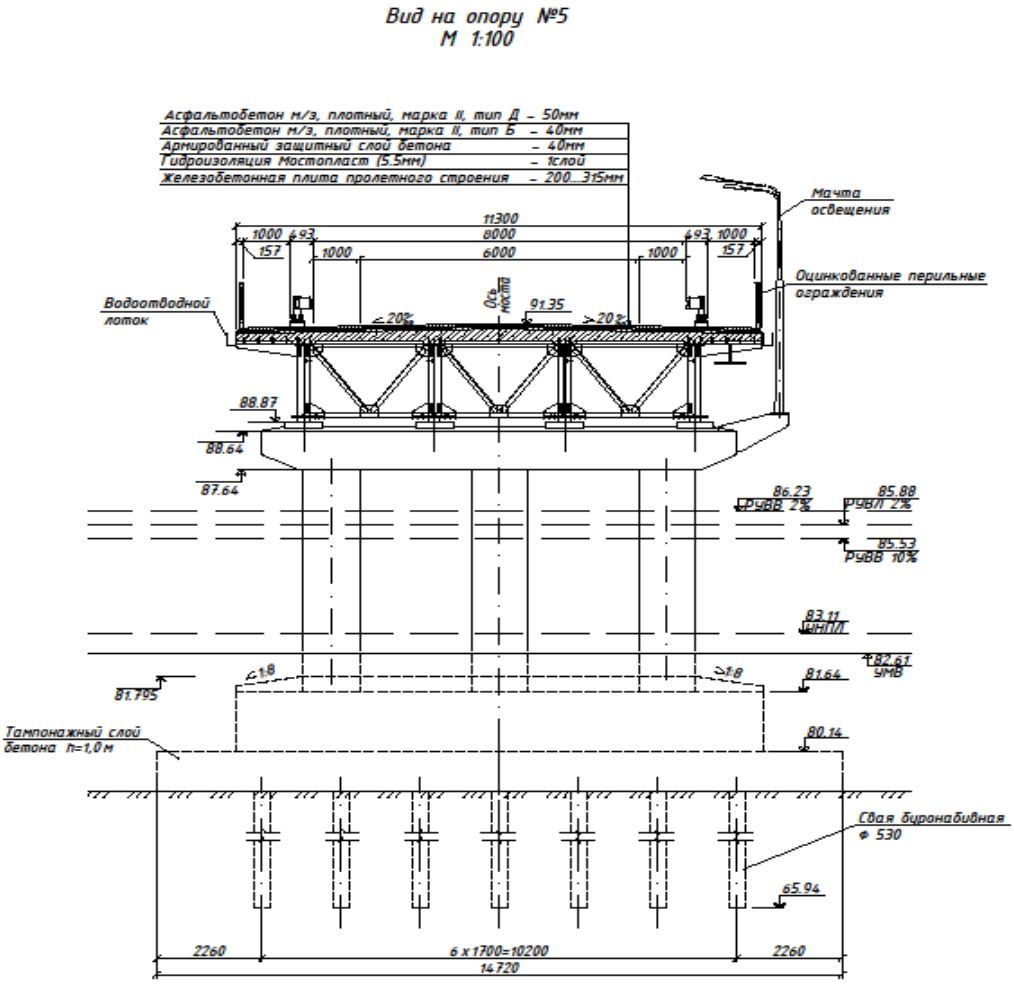


Рисунок 2. Поперечный разрез моста у опоры №5

Исходя из данных на проектирование и конструкции будущего пролетного строения автодорожного моста, был принят способ монтажа пролетного строения методом продольной надвижки.

Перед началом работ по монтажу пролетного строения необходимо произвести ряд подготовительных работ таких, как геодезические и геологические изыскания, расчистка территории и укладка временных железобетонных плит для проезда строительной техники, организация строительной площадки, возведение промежуточных и береговых опор.

Надвижка пролетного строения происходит по накаточным устройствам на уровне подферменников. Для этого на правом берегу реки со стороны республики Башкортостан сооружается стапельная площадка на свайном фундаменте из мостовых инвентарных конструкций МИК-П. Длина стапельной площадки подобрана из соображений минимального количества блоков для удержания выдвинутой части пролетного строения до захода на первую постоянную опору.

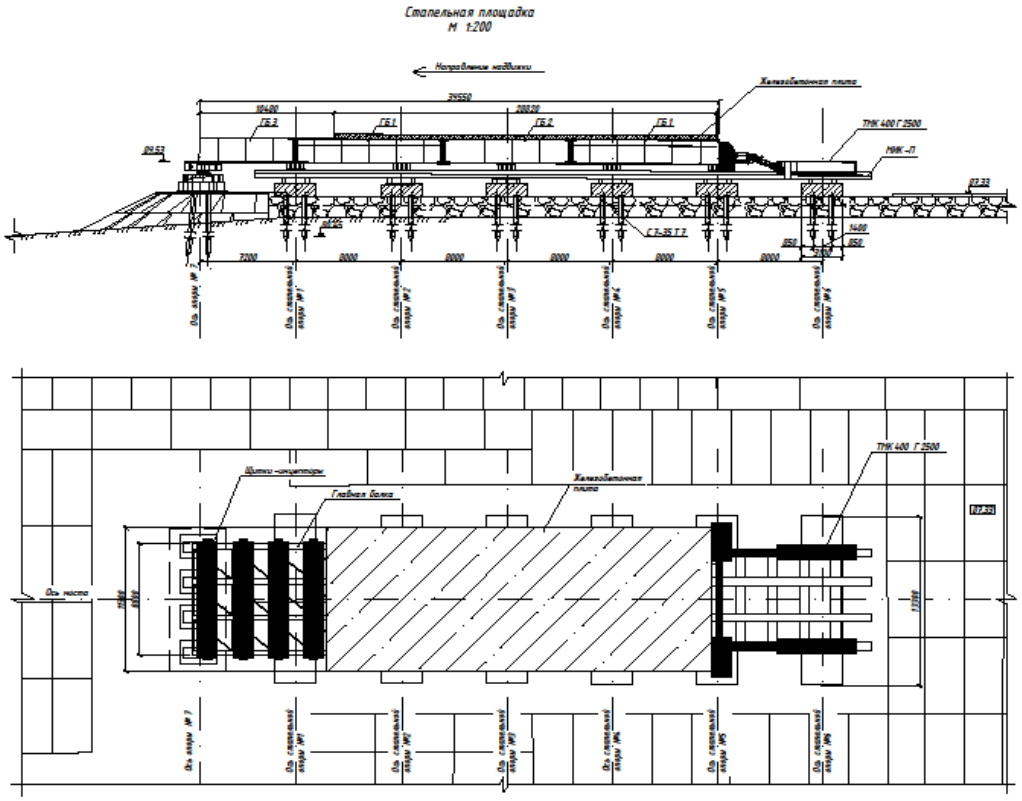


Рисунок 3. Стапельная площадка

Главные балки, исходя из условий перевозки, разделены на блоки длиной не более 12 метров. Балки устанавливаются и укрупняются на стапельной площадке с помощью стрелового крана LiebherrLTM 1500.

Для уменьшения трудоемкости и материалоемкости надвижка осуществляется без сооружения аванбека. В данном случае в качестве аванбека выступает облегченная передняя часть пролетного строения, то есть только стальные балки, объединенные между собой продольными и поперечными связями. Арьербеком же становится пригруженная железобетонной плитой проезжей части, оставшаяся на стапельной площадке часть пролетного строения. Для создания более жесткой передней конструкции, а также гашения аэроупругих колебаний передняя часть пригружается щитками-инцепторами [3].

Для данного метода монтажа пролетного строения характерна конвейрно-тыловая сборка главных балок и плиты проезжей части. Железобетонная плита массой 19,8 т устраивается с одновременным включением в работу со стальными балками, заполнением отверстий под упоры быстротвердеюшим бетоном на класс выше бетона в плите.

На первом этапе на стапельную площадку устанавливается 4 блока пролетного строения общей длиной 35,55 метров. Длина облегченной части принята из условия минимальной длины аванбека и равна 0,25 от длины наибольшего пролета. Сборный блок плиты проезжей части выполнен длиной 2,62 метров и шириной во всю проезжую часть 11,3 метров. Блоки изготавливаются на заводе и подвозятся на строительную площадку автотранспортом.

Надвижка пролетного строения происходит по капитальным опорам с помощью толкателя мостовых конструкций ТМК400Г2500, состоящего из двух гидроцилиндров с номинальным усилием прямого хода около 400тс. Во время надвижки необходимо производить ручную корректировку синхронности выдвижения, а также каждые 2,5 метра производить перестановку домкрата в рабочее положение.

После выдвижения всего пролетного строения полностью до берегового устоя с помощью домкратов, установленных на каждой опоре, происходит опускание пролетного строения в проектное положение на опорные части.

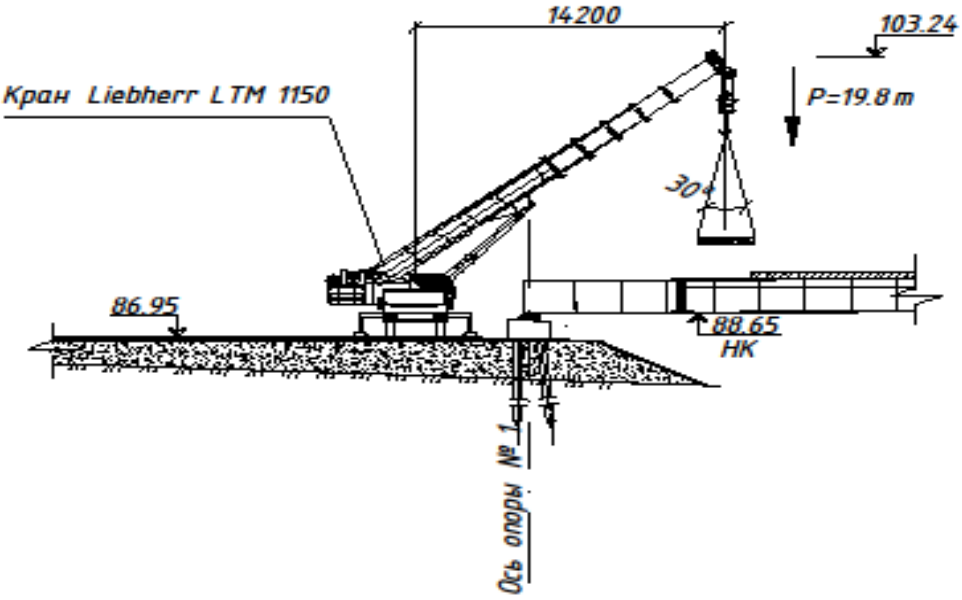


Рисунок 4. Устройство железобетонной плиты проезжей части

Выводы: По результатам календарного планирования монтаж пролетного строения моста со сталежелезобетонным пролетным строением будет выполнен за 61 день. Сметная стоимость строительства составит 322,9 млн. рублей, стоимость одного погонного метра моста составит 1,37 млн. рублей.

Список литературы:

1. ГОСТ 6713-91. Прокат низколегированный конструкционный для мостостроения. Технические условия- М.: Стандартинформ, 2009.
2. ГОСТ 26633-2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия - М.: Стандартинформ, 2019.
3. Саленко С.Д. Пассивные гасители аэроупругих колебаний пролетного строения моста на стадии монтажа/ С.Д. Саленко, А.Д. Обуховский, Ю.В. Телкова // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2011. Вып. 2 (16).

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Свидинская Анастасия Сергеевна
магистрант, факультет ПГС,
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»,
РФ, г. Самара
E-mail: anastasia.swidinsckaya@yandex.ru

Современному миру свойственна тенденция строительства новых зданий и сооружений, но не стоит забывать, что существующие здания имеют свойство морально изнашиваться. Со временем происходит физический износ, деформации элементов и всего здания, а также снижение и потеря несущей способность, что может привести к авариям и трагедиям. Для поддержания здания в техническом состоянии и предотвращения обрушения необходимо производить оценку технического состояния.

Оценка технического состояния здания – процесс установления состояния и категории технического состояния здания и сооружения в целом.

Согласно ГОСТ Р 53778-2010 выделяют четыре категории технического состояния:

1. Нормативное техническое состояние;
2. Работоспособное техническое состояния;
3. Ограничено-работоспособное техническое состояние;
4. Аварийное техническое состояние.

При нормативном техническом состоянии на конструкции отсутствуют видимые и скрытые дефекты, повреждения, фактические и проектные нагрузки соответствуют нормативным требованиям с учетом допустимых отклонений.

При работоспособном техническом состоянии существуют дефекты и повреждения, несущая способность обеспечена действующими нагрузками. Некоторые значения проверяемых параметров не отвечают проекту и нормативным документам.

При ограничено-работоспособном существуют дефекты и повреждения, эксплуатация здания и сооружения возможна только при постоянном наблюдении и ограничении использования. Разрабатываются мероприятия по усилению и восстановления конструкций.

При аварийном состоянии существуют дефекты и повреждения, эксплуатация здания и сооружения не возможна, т. к. несущая способность не отвечает требованиям проекта и нормативным документам. Возможно обрушение или разрушение, что может привести к технологической или экологической катастрофе.

Обследование зданий и сооружений проводят специализированные организации, в которых работают высококвалифицированные сотрудники, у которых есть все необходимое оборудование. В ходе обследования специалисты руководствуются действующими нормативными и инструктивными документами по реконструкции и обследовании зданий и сооружений, а так же государственными стандартами на изыскательские работы, проектирование, строительство и эксплуатацию зданий и сооружений.

В ходе оценки состояния определяют: прочность конструкции, коррозионное состояние и износ; расположение, диаметр, класс арматурных изделий; марку стали, сопротивление стали; геометрические характеристики стальных профилей; скрытые дефекты; величину нагрузок, действующих на конструкции.

Обследование технического состояния проводят в следующих случаях:

1. Не позднее чем через 2 года после ввода в эксплуатацию;
2. Не реже 1 раза в 10 лет;
3. Не реже 1 раза в 5 лет, если здание находится в неблагоприятных условиях (вибрации, повышенная влажность, агрессивные среды и т. д.);
4. По истечению срока службы здания или сооружения;
5. По инициативе собственника;
6. После пожаров, стихийных бедствий;
7. При изменении назначения здания.

Существует 3 этапа, в ходе которых происходит обследование строительных конструкций:

1. Подготовительный этап – подготовка к проведению обследования, ознакомление с проектами решениями, изменениями и реконструкцией,

перепланировкой; изучение технического задания, если получено, и составление программы выполнения работ (если необходимо).

2. Визуальный осмотр - оценивают внешнее состояние конструкций и определяют необходимость проведения детального обследования. Определяют видимые дефекты, определяют геометрические размеры, делают зарисовки, фотографии. Если есть, устанавливают аварийные участки. В завершении работы делается заключение, в котором определяют необходимость дополнительного детального обследования или разработки рекомендаций по предотвращению дефектов.

3. Детальный осмотр – проводят в зависимости от поставленных задач, наличия полноты документов. Исходя из этого, выделяют полное или выборочное обследование.

Полное обследование проводят в тех следующих случаях, когда отсутствует документация проектная, производится увеличение нагрузки в результате реконструкции, обнаружены дефекты, приводящие к снижению несущей способности, возобновление строительства после 3х лет без консервации, изменение условий эксплуатации и т. д.

Выборочное обследование проводят при необходимости осмотре отдельных конструкций, в местах недоступных для сплошного обследования.

В ходе обследования определяют геометрические параметры, инструментальное определение дефектов и повреждений, фактические прочностные характеристики материалов, определение действующих нагрузок, определение реальной расчетной схемы, расчет несущей способности, анализ причин повреждения дефектов.

После проведения обследования необходимо оценить техническое состояние конструкций, включая анализ инструментальных испытаний, проведение поверочных расчетов несущих конструкций. Обобщив все данные, составляется техническое заключение здания или сооружения. На основании этого заключения разрабатывается проект реконструкции, если это требуется.

Список литературы:

1. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих конструкций зданий. - М.: Госстрой России Москва. 2011.
2. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состоянии. - М.: Стандартинформ. 2010.
3. ТСН 13-311-01. Обследование и оценка технического состояния зданий и сооружений. - Самара. 2001.

СЕКЦИЯ

«ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ СКРЫТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ФАЙЛЕ ФОРМАТА PDF

Денисович Дмитрий Павлович
студент, факультет оптико-информационных систем и технологий,
Московский государственный университет геодезии
и картографии, (МИИГАиК)
РФ, г. Москва
E-mail: denisovichm@gmaill.ru

Лапчинская Маргарита Петровна
научный руководитель, канд. техн. наук, доцент,
Московский государственный университет геодезии
и картографии, (МИИГАиК)
РФ, г. Москва

Введение

Современное развитие и распространение информационных технологий привело к тому, что вопрос защиты информации стал достаточно востребованным. Более того, если раньше защита информации подразумевала защиту государственной тайны, то сейчас в это понятие включены такие понятия, как коммерческая тайна и частная тайна. Таким образом, на современном этапе наблюдается не только совершенствование средств защиты информации, но и расширение сферы применения и доступности этих средств. Для обеспечения защищенности информации, как правило, применяют криптографические методы, например, шифрование или же электронные подписи. Однако криптографические методы не позволяют скрыть сам факт наличия защищаемой информации. Если есть такая необходимость, то, как правило, используется стеганография.

Стеганография (от греч. στεγανός «скрытый» + γράφω «пишу»; букв. «тайнопись») – наука о скрытной передаче (или хранении) защищаемой информации [1], при этом, другая информация, которая для стороннего наблюдателя выглядит безобидной, служит контейнером для защищаемой

информации. Информация (например, изображение или звук), которая служит контейнером, в процессе его заполнения претерпевает искажения. Одной из задач стеганографии является минимизация этих искажений ниже порога, при котором они будут не заметны для среднестатистического человека.

Данная исследование посвящено изучению особенностей цифрового метода стеганографии LSB и способов противодействия стеганоанализу.

1. Основы метода LSB

Метод LSB (*англ.*, Least Significant Bit – наименьший значащий бит) заключавшейся в замене младших битов в контейнере (изображения, аудио или видеозаписи) на биты скрываемого сообщения. В случае скрытия информации в изображении используется тот факт, что стандартное 24-битное RGB представление цвета позволяет закодировать $2^{24} = 16777216$ цветов, что гораздо выше способности среднестатистического человека различать их. Это позволяет вносить изменения в младшие биты, не вызывая при этом видимых искажений (Рис. 1).

Рисунок 1. Сравнение двух цветов, различающимися младшими битами

В результате мы получим новый оттенок, очень похожий на исходный. Эти цвета трудно различить даже на большой по площади заливке. Как показывает практика, замена младшего бита не воспринимается человеческим глазом.

2. Реализация разработанного алгоритма скрытия изображения

Для подтверждения работы разработанного метода и исследования его надежности на языках программирования C# и HLSL [2, 3] с использованием возможностей движка Unity3D была разработана программное приложение и интерфейс к ней (рис. 2а, 2б), позволяющее внедрить скрываемое растровое изображение в контейнер формата PNG.

Опишем принцип ее работы. Скрываемое изображение преобразуется в черно-белое с глубиной цвета в 3 бита. Это позволяет каждый пиксель скрываемого изображения скрыть в соответствующем пикселе открытого изображения, модифицируя младший бит каждого основного цвета (красный, зелёный и синий). Результат работы алгоритма представлен на рис. 3а, 3б, 3в, 3г.

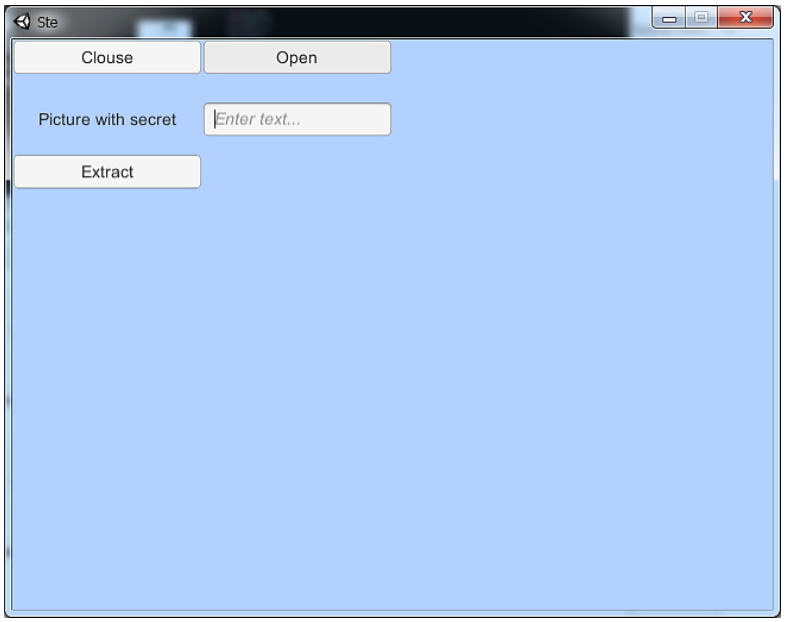


Рисунок 2а. Интерфейс программы для извлечения скрываемого изображения

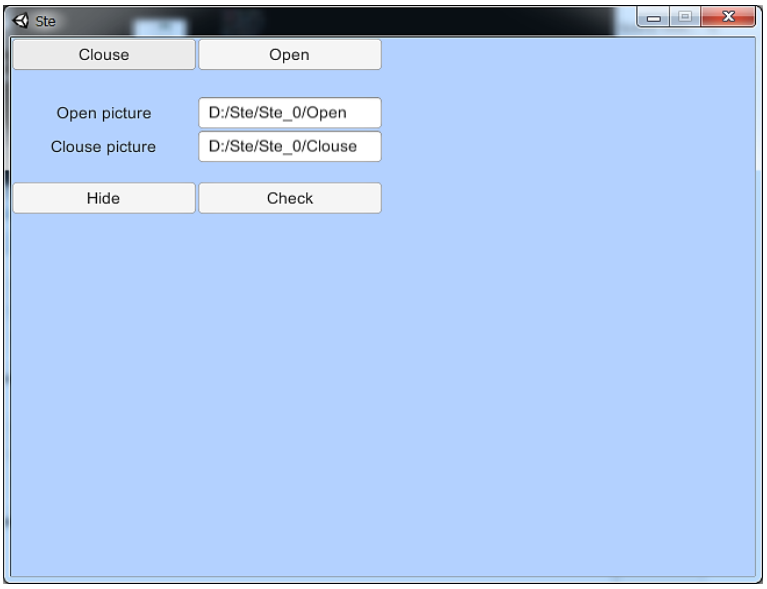


Рисунок 2б. Интерфейс программы для скрытия изображения

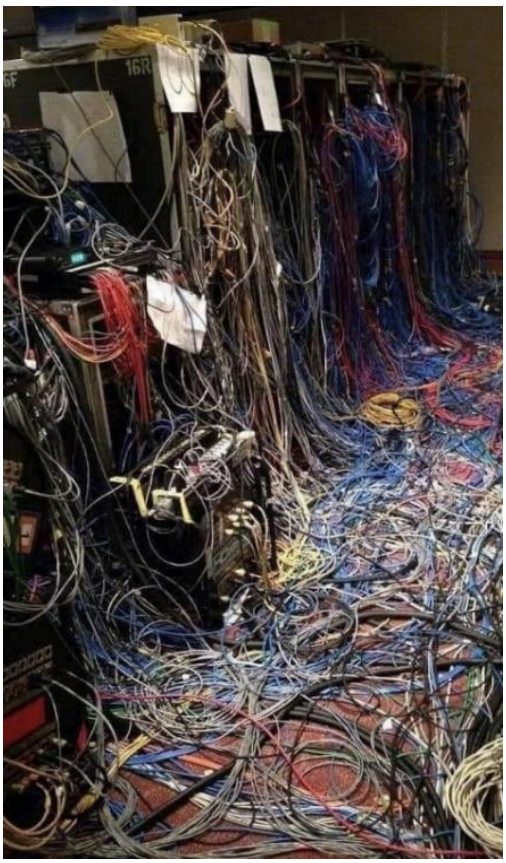


Рисунок 3а. Изображение, служащее контейнером

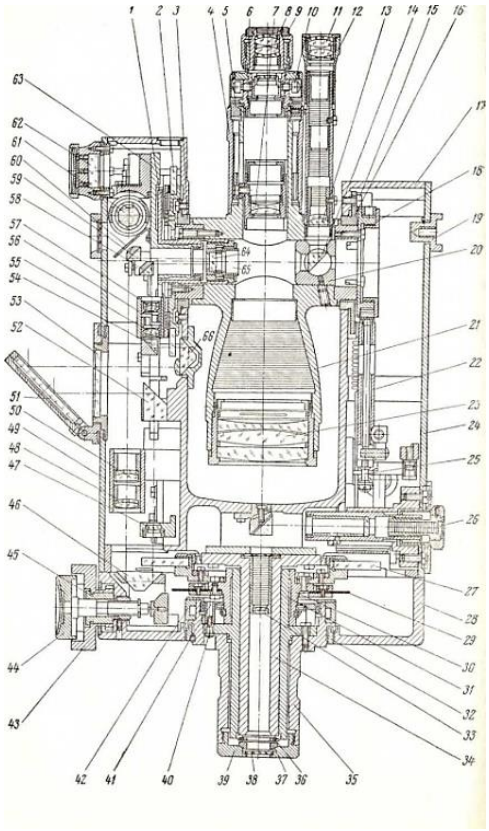


Рисунок 3б. Скрываемое изображение

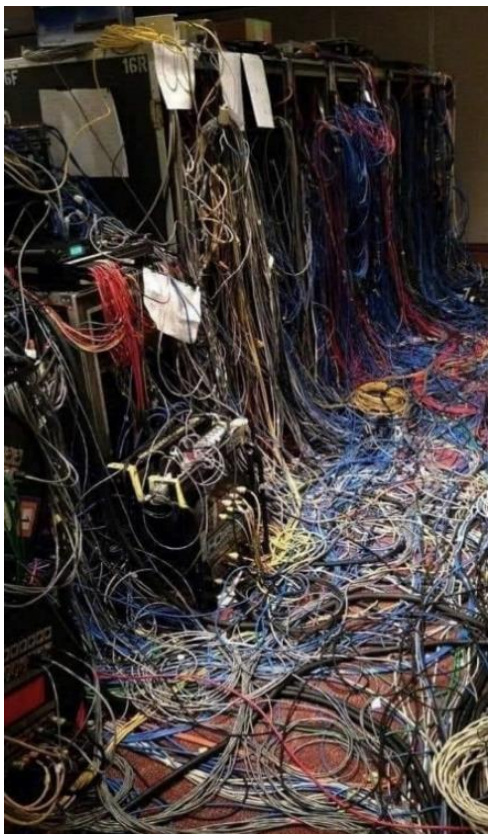


Рисунок 3в. Заполненный контейнер

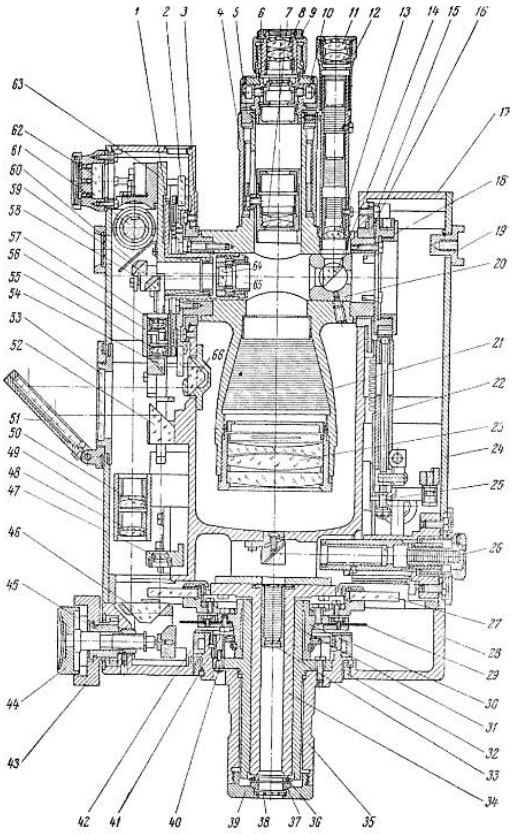


Рисунок 3г. Изображение, извлеченное из контейнера

3. Модификация алгоритма скрытия изображения

Хотя видимые изменения между пустым и заполненным контейнерами отсутствуют, но такое кодирование «в лоб» не обеспечивает защиту от визуального анализа среза младших бит (Рис. 4). В связи с этим была разработана модификация алгоритма LSB кодирования, которая противодействует данной атаке.

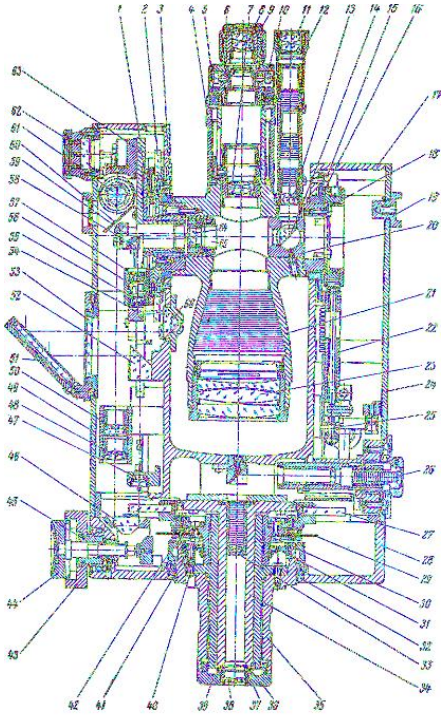


Рисунок 4. Срез младших битов

Модификация вносит следующие изменения в алгоритм. Три бита, которые используются для кодирования скрываемого изображения, представляются в виде целого числа (от 0 до 7). Старшие семь битов каждого цвета открытого изображения (итого 21 бит на пиксель) используются для вычисления трехбитной хэш-суммы. Затем результат хеширования и трехбитный код складывают по модулю 8, получая новый трехбитный код, который записывается в младшие биты пикселя.

Для извлечения скрываемого изображения вычисляется хэш-сумма как и при скрытии, но после этого полученное число вычитают из 8 и затем результат складывают по модулю 8 с кодом, извлеченным из младших бит.

Сравнение среза младших бит пустого и заполненного контейнеров модифицированным алгоритмом, соответственно, представлено на рис. 5а, 5б.

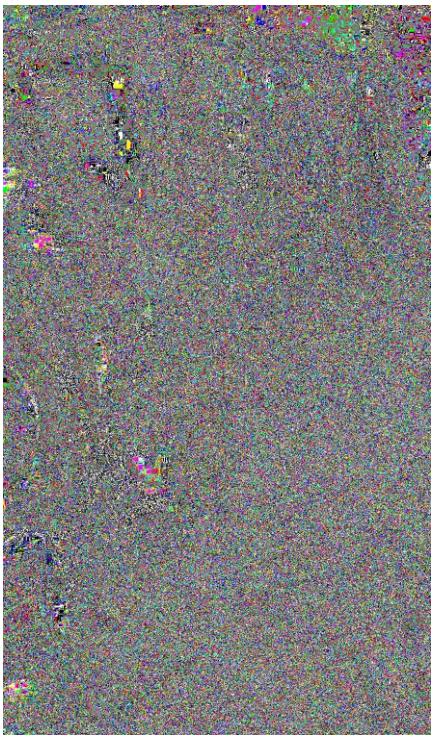


Рисунок 5а. Срез младших бит пустого контейнера

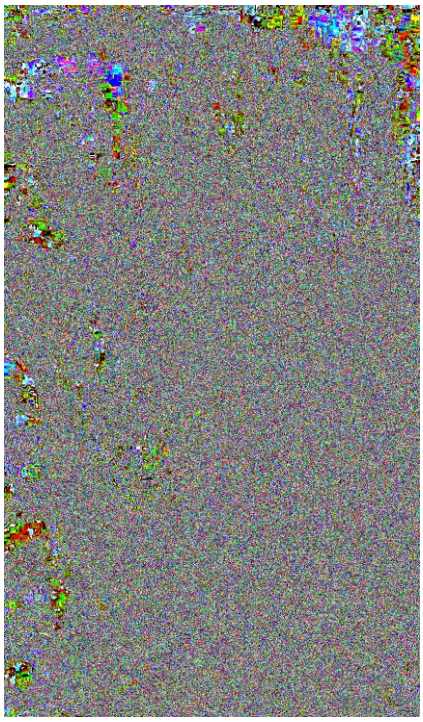


Рисунок 5а. Срез младших бит контейнера, заполненного модифицированным алгоритмом

Заключение

В данной статье предложена и исследована модификация алгоритма стеганографии для скрытия графической информации, основанного на методе LSB, позволяющая противодействовать визуальному анализу среза младших битов. Для этой цели разработана программа на языках программирования C# и HLSL с использованием движка Unity3D, позволяющая внедрить изображение в контейнер формата PNG.

В перспективе разработанный алгоритм будет модифицироваться для обеспечения защиты от статистических методов стеганоанализа.

Список литературы:

1. Шелухин О.И., Канаев С.Д. Стеганография. Алгоритмы и программная реализация. – М.: Горячая линия – Телеком. 2017. – 616 с.
2. Троелсен Эндрю, Джепикс Филипп. Язык программирования C# 7 и платформы .NET и .NET Core – Москва, 2018. – 1328 с.
3. MicroSoft. Руководство по программированию для HLSL [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: https://docs.microsoft.com/en-us/windows/win32/direct3dhlsl/dx-graphics-hlsl (Дата обращения 12.07.2019).

ОЦЕНКА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЧИСЛОВЫХ АЛГОРИТМОВ ШИФРОВАНИЯ НА КРИПТОСТОЙКОСТЬ

Хлытина Влада Андреевна
студент, факультет оптико-информационных систем и технологий,
Московский государственный университет геодезии
и картографии, (МИИГАиК)
РФ, г. Москва
E-mail: vladakh0702@mail.ru

Иванова Дарья Сергеевна
студент, факультет оптико-информационных систем и технологий,
Московский государственный университет геодезии
и картографии, (МИИГАиК)
РФ, г. Москва
E-mail: dasha.s.ivanova@gmail.com

Лапчинская Маргарита Петровна
научный руководитель, канд. техн. наук., доцент,
Московский государственный университет геодезии
и картографии, (МИИГАиК)
РФ, г. Москва

Введение

На сегодняшний день, в связи со стремительным развитием информационных технологий и повсеместной их интеграцией во многие сферы нашей жизни, проблема обеспечения информационной безопасности весьма актуальна как для крупных организаций, так и для обычных пользователей.

Одним из востребованных направлений информационной безопасности является обеспечение конфиденциальности и целостности информации.

История криптографии длится уже не одно тысячелетие. Конечно, с течением времени, чтобы соответствовать требованиям среды, ее методы претерпели некоторые изменения. Поэтому современные шифры в основном значительно сложнее своих предшественников. Несмотря на это, тот факт, что оригинальные шифры предыдущих эпох послужили основой для шифров современных, делает их достойными нашего внимания.

Целью настоящего исследования является разработка модифицированных алгоритмов шифрования текстовых сообщений и сравнение их с оригиналами алгоритмов на криптостойкость.

Общепринято считать, что криптостойкость является количественной характеристикой алгоритмов шифрования для определения количества операций вскрытия конкретного алгоритма при определенных условиях. Существует несколько методов, рассчитывающих требуемое количество ресурсов для взлома, одним из которых является криптоаналитический метод. Показателями криптостойкости в данном случае являются [2]:

- *количество информации*, необходимое для осуществления атаки;
- *время*, необходимое для осуществления атаки; обычно измеряется в количестве тестовых операций шифрования атакуемым алгоритмом, выполнение которых при соблюдении остальных необходимых условий позволит, например, вычислить ключ шифрования;
- *память*, необходимая для хранения используемой при атаке информации;

При анализе и исследования алгоритмов шифрования текстовых сообщений криптоаналитическим методом для каждого из алгоритмов (оригинального и модифицированного) использовался второй показатель – *время*.

1. Описание работы программного приложения

Был проведен предварительный анализ большого количества классических шифров [1], из которых для модификации мы отобрали и исследовали на криптостойкость с последующей оценкой три классических алгоритма шифрования:

1. Простой числовой шифр
2. Шифр гласных букв
3. Календарный шифр

Для выполнения поставленных задач на языке программирования C# было разработано программное приложение с использованием среды программирования Visual Studio v.17 [3], общий вид которой представлен на рис. 1.

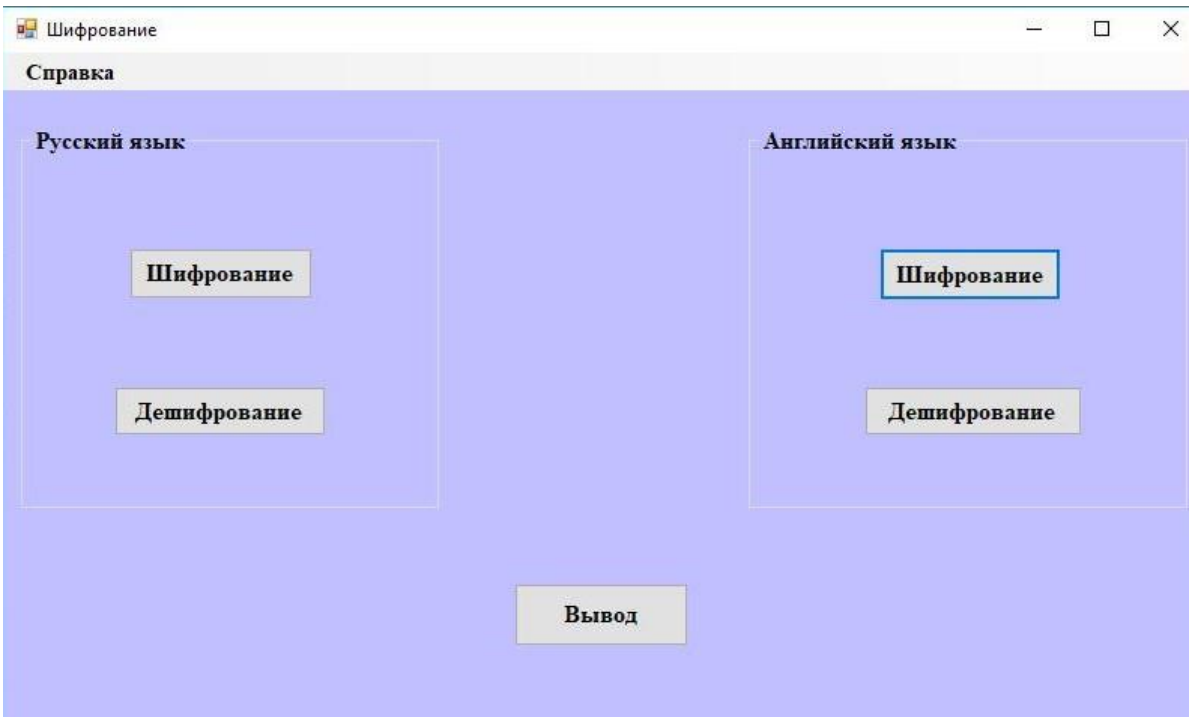
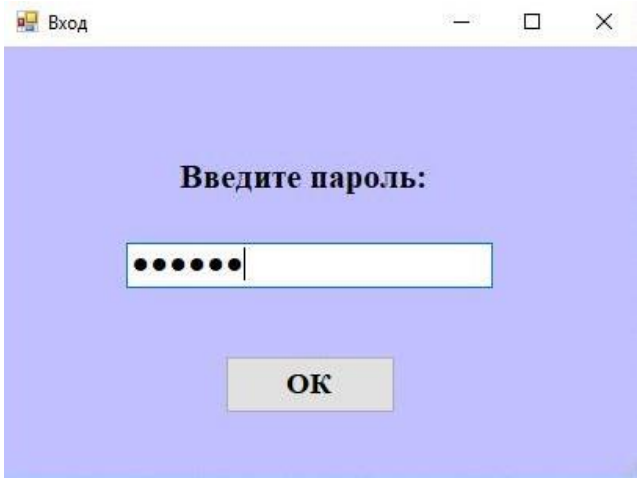


Рисунок 1. Общий вид разработанного программного приложения

При запуске приложения возникает приветственное сообщение и пароль для ввода (Рис 2а). В случае неверно введенного пароля появляется соответствующее сообщение (Рис. 2б).



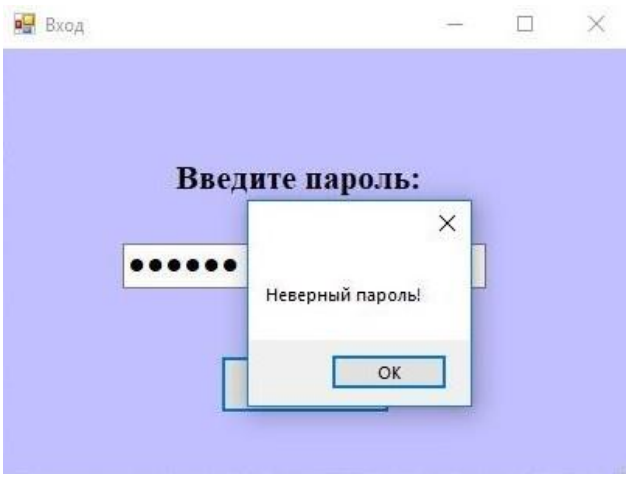


Рисунок 2а. Ввод пароля ***Рисунок 2б. Неверный пароль***

В Справке к приложению показывается сообщение о версии и функциях шифров (Рис. 3).

Рисунок 3. Информация о программе

Шифрование текстовых сообщений может осуществляться в 2-х вариантах: русском и английском.

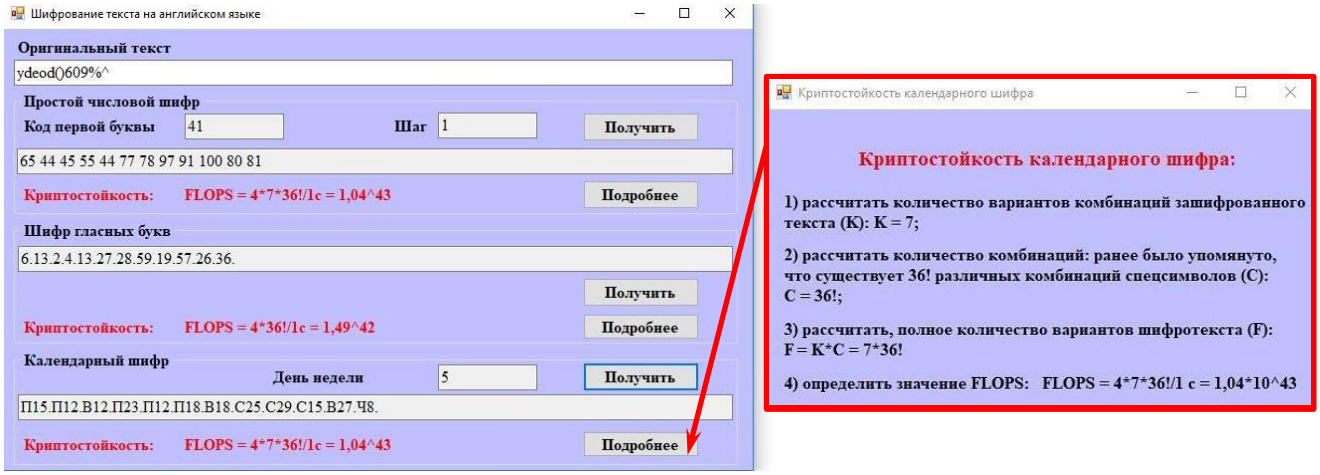


Рисунок 4а. Пример шифрования сообщения на английском языке и оценки криптостойкости

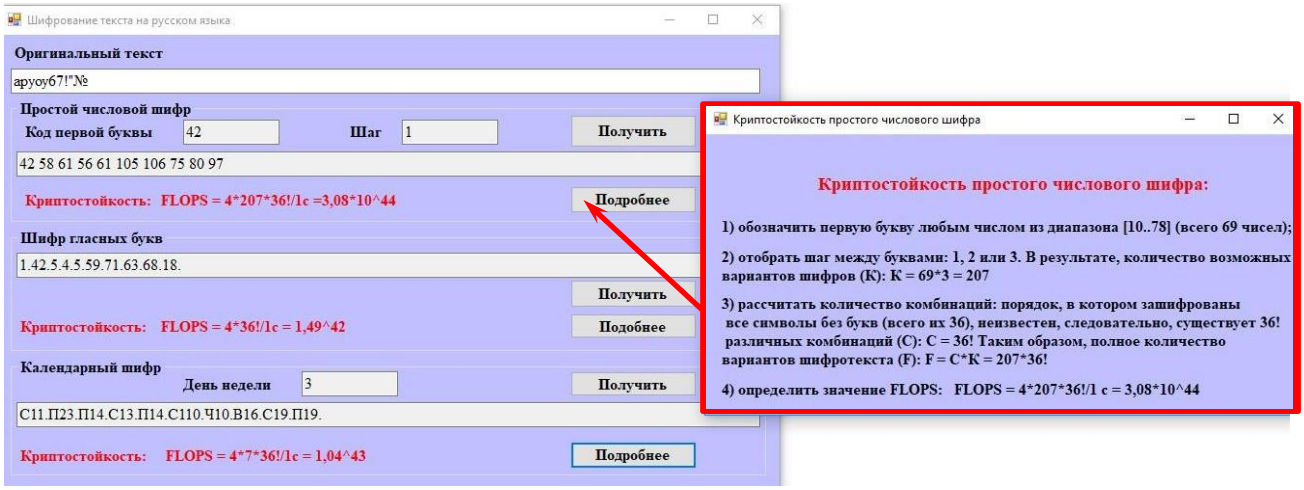


Рисунок 4б. Пример шифрования сообщения на русском языке и оценки криптостойкости

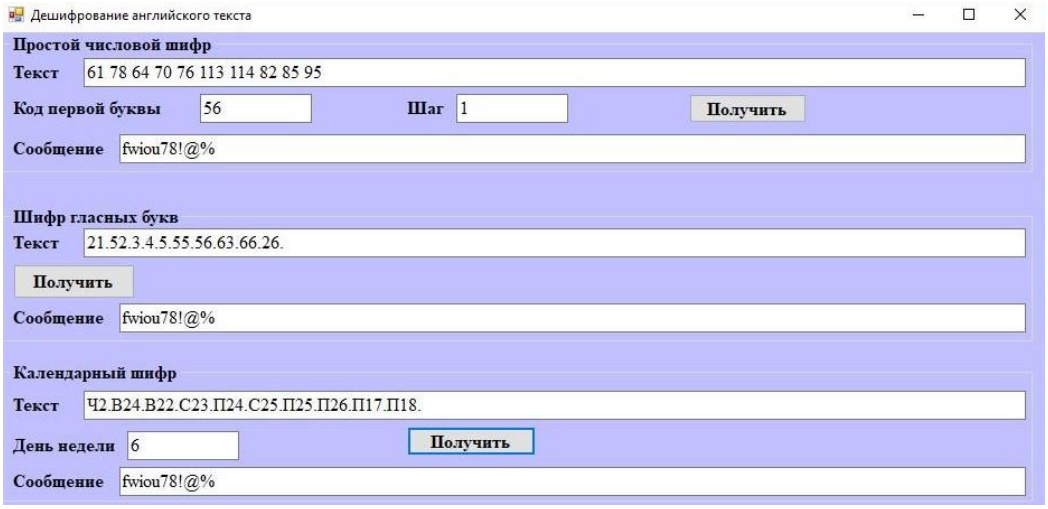


Рисунок 5а. Пример дешифрования сообщения на английском языке

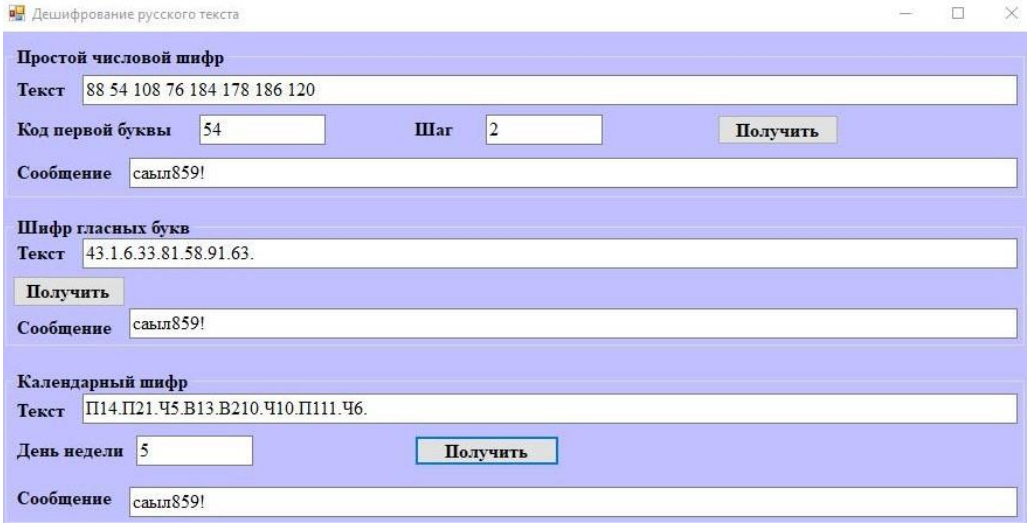


Рисунок 5б. Пример дешифрования сообщения на русском языке

Программа показывает криптостойкость шифров, сравнивая их по *времени* (Рис. 6).

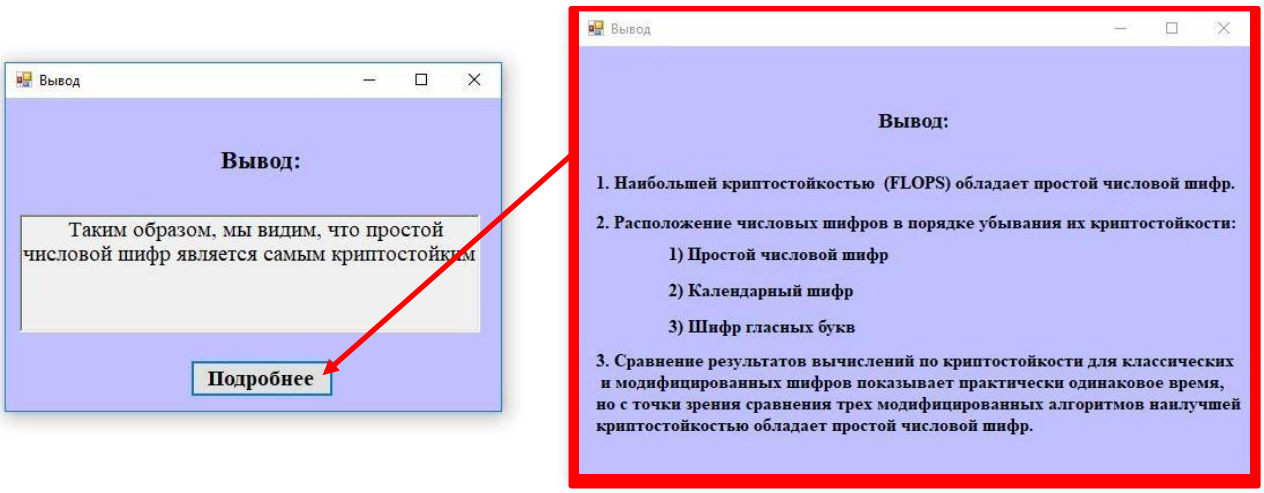


Рисунок 6. Результаты сравнения криптостойкости по показателю времени

2. Алгоритмы модификации классических числовых шифров

Модификация каждого из отобранных классических шифров заключается в расширении изначального алфавита, включающего в себя строчные и прописные буквы, некоторыми спецсимволами в кодировке ASCII.

1. *Простой числовой шифр*. Первую букву алфавита необходимо обозначить произвольным числом, а каждой последующей букве надо присвоить число, большее, чем предыдущее, на 1,2 или 3. Те же действия производятся и над остальными символами алфавита. Блок-схема представлена на рис.7.

2. *Шифр гласных букв*. При использовании такого шифра гласные буквы в алфавите нумеруются цифрами от 1 до 9. При этом, например, в русском алфавите буква А обозначается цифрой 1, буква Е – цифрой 2, буква И – цифрой 3 и так далее. Затем каждой согласной букве присваивается свой номер, который определяется ее положением относительно ближайшей к ней с левой стороны в алфавите гласной буквы. Так, например, буква Б – первая согласная буква, расположенная справа от буквы А имеющей номер 1. Поэтому букве Б присваивается число 11. Буква Д – четвертая справа от буквы А, ее обозначают числом 14. Буква Н – пятая справа от гласной буквы И, обозначенной числом 3.

Поэтому букве Н должно соответствовать число 35. В соответствии с этим правилом выбираются числа, которыми будут заменены остальные буквы алфавита. Те же действия производятся и над остальными символами алфавита. Теперь достаточно в открытом тексте заменить символы соответствующими числами, записываемые через точку.

3. *Календарный шифр*. В этом шифре на первом шаге все символы заменяются на их порядковые номера в алфавите. Дни недели переводятся в числа месяца, а затем – в буквы открытого текста. Для расшифровки необходимо знать только месяц и год, используемые в шифре.

Далее необходимо обозначить название каждого дня недели буквой, с которой оно начинается. Понедельник – П, вторник – В, среда – С, четверг – Ч, пятница – П, суббота – С, воскресенье – В. Так как названия некоторых дней недели начинаются с одинаковых букв, для их различия можно применить цифры. Понедельник – П1, вторник – В1, среда – С1, четверг – Ч, пятница – П2, суббота – С2, воскресенье – В2 [1].

2. Блок-схема шифра гласных букв

На рис. 7 приведен пример блок-схемы шифра гласных букв, лежащий в основе двух других блок-схем.

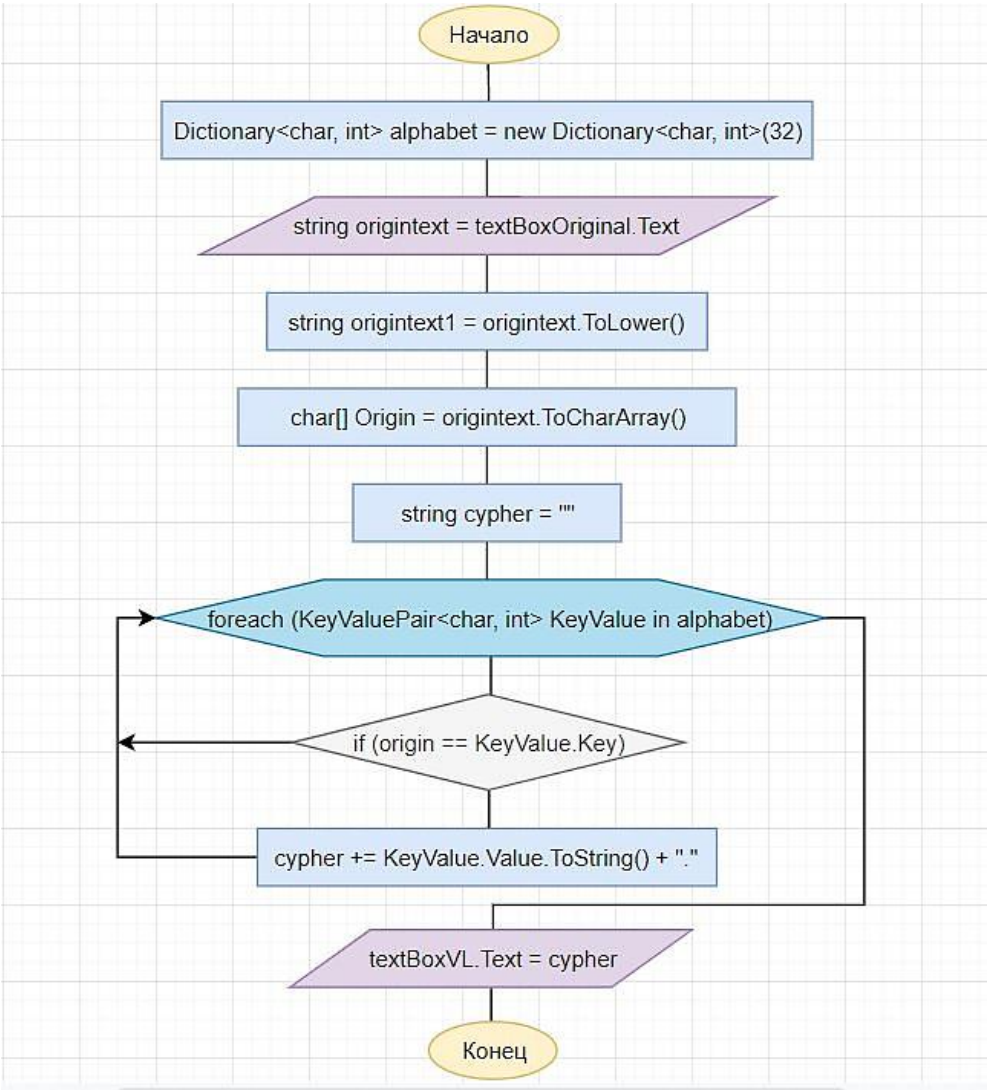


Рисунок 7. Блок-схема шифра гласных букв

3. Расчет криптостойкости модифицированных числовых шифров

Одним из вариантов оценки производительности выполнения алгоритма программы является определение значения FLOPS [4].

FLOPS – это количество вычислительных операций или инструкций, выполняемых над операндами с плавающей точкой в секунду. Его можно вычислить с помощью теоретически/эмпирически известного количества операций, необходимых для выполнения алгоритма, и измеренному времени:

$$FLOPS = 4*N/t,$$

где: N – количество операций, необходимых для выполнения алгоритма,

t – время выполнения теста,

4 – операции с данными двойной точности выполняются одновременно над четырьмя 64-битными DP операндами в 256-битном регистре, поэтому умножаем на коэффициент 4.

Алгоритм расчета криптостойкости модифицированных числовых шифров осуществлялся согласно следующей последовательности действий.

1. *Простой числовой шифр*

1) обозначить первую букву любым числом из диапазона [10…78] (всего 69 чисел);

2) отобрать шаг между буквами: 1, 2 или 3. В результате, количество возможных вариантов шифров (К): К = 69*3 = 207

3) рассчитать количество комбинаций: порядок, в котором зашифрованы все символы без букв (всего их 36), неизвестен, следовательно, существует 36! различных комбинаций (С): С = 36! Таким образом, полное количество вариантов шифротекста (F): F = С*К = 207*36!

4) определить значение FLOPS: FLOPS = 4*207*36!/1 с = 3,08*10^44.

2. *Шифр гласных букв*

1) рассчитать количество комбинаций: для того, кто знает, как был зашифрован текст, расшифровать его не составит труда, но только его буквенную часть; поэтому порядок, в котором зашифрованы спецсимволы (всего их 36), неизвестен. Следовательно, существует 36! различных комбинаций (С): С = 36!

2) рассчитать полное количество вариантов шифротекста (F): F = С = 36!

3) определить значение FLOPS: FLOPS = 4*36!/1 с = 1,49*10^42.

3. *Календарный шифр*

1) рассчитать количество вариантов комбинаций зашифрованного текста (К): К = 7;

2) рассчитать количество комбинаций: ранее было упомянуто, что существует 36! различных комбинаций спецсимволов (С): С = 36!;

3) рассчитать, полное количество вариантов шифротекста (F): F = К*С = 7*36!

4) определить значение FLOPS: FLOPS = 4*7*36!/1 с = 1,04*10^43

4. Анализ полученных результатов

Сравнение криптостойкости классических шифров представлено в Таблице 1.

Таблица 1.

Криптостойкость классических шифров

Шифр	Вычисление криптостойкости	Результат (FLOPS)
1. Простой числовой шифр	F = C*K F = 207 FLOPS = 4*207/1 с	828
2. Шифр гласных букв	F = C F=1 FLOPS = 4*1/1 с	4
3. Календарный шифр	F = C*K F = 7 FLOPS = 4*7/1 с	28

Сравнение криптостойкости модифицированных числовых шифров представлено в Таблице 2.

Таблица 2.

Криптостойкость модифицированных шифров

Шифр	Вычисление криптостойкости	Результат (FLOPS)
1. Простой числовой шифр	F = C*K F = 207*36! FLOPS = 4*207*36!/1 с	3,08*10^44
2. Шифр гласных букв	F = C F=36! FLOPS = 4*36!/1 с	1,49*10^42
3. Календарный шифр	F = C*K F = 7*36! FLOPS = 4*7*36!/1 с	1,04*10^43

Заключение

1. Результаты, представленные в Таблицах 1 и 2, показывают, что наибольшей криптостойкостью (FLOPS) обладает простой числовой шифр.

2. Расположение числовых шифров в порядке убывания их криптостойкости:

Простой числовой шифр → Календарный шифр → Шифр гласных букв

3. Сравнение результатов вычислений по криптостойкости для классических и модифицированных шифров показывает практически одинаковое время (Таблица 2), но с точки зрения сравнения трех модифицированных алгоритмов наилучшей криптостойкостью обладает простой числовой шифр.

Список литературы:

1. Адаменко М.В. Основы классической криптологии. Секреты шифров и кодов. – Москва, 2012. – 257 с.
2. Панасенко С.П. П16. Алгоритмы шифрования. Специальный справочник. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. — 576 с.
3. Троелсен Эндрю, Джепикс Филипп. Язык программирования C# 7 и платформы .NET и .NET Core – Москва, 2018. – 1328 с.
4. Цымбал В. Как и зачем мерить FLOPSы [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: https://habr.com/ru/company/intel/blog/144388/ (Дата обращения: 12.07.2019).

СЕКЦИЯ

«МАТЕМАТИКА»

НЕОПРЕДЕЛЁННОЕ УРАВНЕНИЕ ЧЕТВЁРТОЙ СТЕПЕНИ ОТ ТРЁХ ПЕРЕМЕННЫХ

Бокарев Никита Леонидович
студент экономического факультета
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Новосибирский национальный исследовательский
государственный университет»
РФ, г. Новосибирск
E-mail: buyakova.745@mail.ru

Бокарева Лидия Леонидовна
соискатель,
Карагандинский государственный технический университет,
Республика Казахстан, г. Караганда

Рассмотрим уравнение

$$x^4 + y^2 = z^2 \tag{1}$$

где: $x, y, z \in \mathbb{N}$.

Перепишем уравнение (1) следующим образом:

$$x^4 = (z + y)\,(z - y) \tag{2}$$

и пусть

$$x = px_1,\ y = py_1,\ z = pz_1, \tag{3}$$

где: $(x_1, y_1, z_1) = 1$. Тогда уравнение (3) примет вид

$$p^2 x_1 = (z_1 + y_1)\,(z_1 + y_1) \tag{4}$$

Пусть так же

$$z_1 + y_1 = a,\ z_1 - y_1 = b, \tag{5}$$

откуда

$$z_1 = \frac{a+b}{2}, y_1 = \frac{a-b}{2}, \quad (6)$$

где: $(a, b) = 1$, тогда равенство (4) запишется:

$$p^2 x_1^4 = ав. \quad (7)$$

Покажем, что $(a, b) \leq 2$.Так как $(x_1, y_1, z_1,) = 1$, то $(y_1, z_1) = 1$,что весьма несложно проверить. Пусть $(a,b) = d$, тогда

$$a = d\, a_1,\ b = d\, b_1,$$

где: $a_1, b_1 \in \mathbb{N}$, $(a_1,b_1) = 1$ и, поэтому, a_1 и b_1 не могут быть одновременно чётными. Таким образом, из выражений (6) следует, что

$$z_1 = \frac{d}{2}(a_1 + b_1), y_1 = \frac{d}{2}(a_1 - b_1)$$

Имеем

$$(z_1, y_1) = \frac{d}{2}(a_1 + b_1, a_1 - b_1),$$

откуда

$$(a_1 + b_1, a_1 - b_1) = \frac{2}{d} \quad (8)$$

Как видно из выражения (8), или $d = 1$(a_1 *и* b_1 – оба нечётные), или $d = 2$(a_1 *и* b_1 – разной чётности). Итак,

$$(a_1,b_1) \leq 2. \quad (9)$$

Рассмотрим уравнение (7) при условии (9). Очевидно, что $p^2 \mid (ab)$, следовательно, можно записать

$$a_1 = a' \cdot \prod_{i=1}^{s} p_i^2, b_1 = b' \cdot \prod_{i=s+1}^{r} p_i^2, \quad (10)$$

где: p_i, a', $b' \in \mathbb{N}(i = \overline{1,r})$, $(a', b') \leq 2$. Подставив выражение (31) в равенство (7) получим:

$$x_1^4 = a' \cdot b', \quad (11)$$

где: $a', b' \in \mathbb{N}$, $(a', b') \leq 2$. Рассмотрим отдельно два случая $(a', b') = 1$ и $(a', b') = 2$.

1) Пусть $(a', b') = 1$. Тогда из уравнения (11) следует, что

$$a' = m^4, b' = n^4, \tag{12}$$

где: $m, n \in \mathbb{N}$, $(m, n) = 1$.В этом случае, вспомнив условия (2) и (5), получим следующую формулу:

$$x = \mathrm{p}mn, y = \mathrm{p}\frac{m^4 \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i{}^2 - n^4 \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i{}^2}{2}, z = \frac{m^4 \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i{}^2 + n^4 \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i{}^2}{2},$$

где: $p, m, n \in \mathbb{N}$, $(m, n) = 1, m^2 \cdot \prod_{i=1}^{s} p_i > n^2 \cdot \prod_{i=s+1}^{r} p_i$,p – свободное от квадратов число. Поскольку $y, z \in \mathbb{N}$ имеем формулу:

$$x = \frac{2\mathrm{p}mn}{\left(2, m \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i + n \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i\right)},$$

$$\mathrm{y} = 2\mathrm{p}\frac{m^4 \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i{}^2 - n^4 \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i{}^2}{\left(2, m \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i + n \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i\right)^2}, \tag{13}$$

$$z = 2p\frac{m^4 \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i{}^2 + n^4 \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i{}^2}{\left(2, m \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i + n \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i\right)^2},$$

где: $p, m, n \in \mathbb{N}$, $(m, n) = 1$, $m^2 \cdot \prod_{i=1}^{s} p_i > n^2 \cdot \prod_{i=s+1}^{r} p_i$,p – свободное от квадратов число.

В справедливости формулы (13) легко убедиться, подставив её в уравнение (1). Полагая фиксированными натуральными числами, отвечающими условиям, наложенным на них, получим частные решения уравнения (1). Например, $p = 2$, $m = n = 1$:‹2, 3, 5›;$p = 1, m = 2, n = 1$:‹4, 30, 34›итакдалее.

2) Пусть теперь $(a', b') = 2$. Тогда

$$a' = 2a'', b' = 2b'', \tag{14}$$

где: $(a'', b'') = 1$ и, следовательно, уравнение (7) примет вид

$$x_1^4 = 4 \cdot a'' \cdot b'',$$

где: a'', $b'' \in \mathbb{N}$, $(a'', b'') = 1$. Очевидно, что x должно делитьсяна2, то есть, $x_1 = 2x_2$, а, значит, $4x_2^4 = a'' \cdot b''$. Таким образом, или $4 \mid a''$, или $4 \mid b''$. В первом случае, $a'' = 4m^4$, $b'' = n^4$, то есть, $x_2 = mn$, $x_1 = 2mn$. Вспомнив выражения (14), (11), (6), (1), получим формулу

$$x = 2pmn, y = p\left(4m^4 \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i{}^2 - n^4 \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i{}^2\right),$$

$$z = p(4m^4 \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i{}^2 + n^4 \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i{}^2) \qquad (15)$$

где: p, m, $n \in \mathbb{N}$, $(m, n) = 1$, n – нечётно (так как$(a'', b'') = (4m^4, n)^4 = 1$), $2m^2 \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i > n^2 \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i$.Еслиже$4 \mid b''$, то по аналогии получим:

$$x = 2pmn, y = p\left(m^4 \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i{}^2 - 4n^4 \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i{}^2\right),$$

$$z = p(m^4 \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i{}^2 + 4n^4 \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i{}^2) \qquad (16)$$

где: p, m, $n \in \mathbb{N}$, $(m, n) = 1$, m – нечётно (так как $(a'', b'') = (m^4, 4n)^4 = 1$), $m^2 \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i > 2n^2 \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i$.

Формулы (36) и (37) можно объединить в единую формулу

$$x = \frac{2pmn}{(2,n)}, y = p\frac{4m^4 \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i{}^2 - n^4 \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i{}^2}{(2,n)^2},$$

$$z = p\frac{4m^4 \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i{}^2 + n^4 \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i{}^2}{(2,n)^2}, \qquad (17)$$

где: $p, m, n \in \mathbb{N}$,$(m, n) = 1$,$p = \prod_{i=1}^{r} \mathrm{p}_i$ ($p_i = p_j$ тогда и только тогда, когда $i = j$), $2m^2 \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i > n^2 \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i$.

Полагая вформуле (17) p, m, n конкретными натуральными числами, отвечающими условиям, наложенным на них, получим частные решения уравнения (1). Например, $p = m = n = 1$:‹2, 3, 5› и так далее.

Видно, что при некоторых параметрах формулы (13) и (17) могут давать одинаковые частные решения уравнения. Можно показать, что формула (17) является частным случаем формулы (13).

Действительно, положим в формуле (13) $p = 2p'$, тогда в этой формуле $(2{,}2m\prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i + n\prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i) = (2, 2m + n) = (2, n)$ и, следовательно, формула (34) примет вид

$$x = \frac{2p'mn}{(2,n)}, y = p' \cdot \frac{4m^4 \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i{}^2 - n^4 \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i{}^2}{(2,n)^2},$$

$$z = p' \cdot \frac{4m^4 \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i{}^2 + n^4 \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i{}^2}{(2,n)^2}, \qquad (18)$$

где: p', m, $n \in \mathbb{N}$,$(m, n) = 1$,$p' = \prod_{i=1}^{r} \mathrm{p}_i$ ($p_i = p_j$ тогда и только тогда, когда $i = j$),$2m^2 \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i > n^2 \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i$.Если в формуле (17) положить, что p – нечётное число, тождественность формул (17) и (18) очевидна.

$$x = \frac{2p'(2m)n}{(2,n)}, y = 2p' \cdot \frac{((2m)^4 \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i{}^2 - n^4 \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i{}^2)}{(2,n)^2},$$

$$z = 2p' \cdot \frac{((2m)^4 \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i{}^2 + n^4 \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i{}^2)}{(2,n)^2},$$

или

$$x = \frac{2p'm(2n)}{(2,n)}, y = 2p' \cdot \frac{(4m^4 \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i{}^2 - (2n)^4 \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i{}^2)}{(2,n)^2},$$

$$z = 2p' \cdot \frac{(m^4 \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i{}^2 + (2n)^4 \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i{}^2)}{(2,n)^2},$$

где: p, m, $n \in \mathbb{N}$, $(m, n) = 1$, $p = \prod_{i=1}^{r} \mathrm{p}_i$ ($p_i = p_j$ тогда и только тогда, когда $i = j$). Несложно показать, что обе формулы являются частным случаем формулы (13), достаточно положить в формуле (13) p – нечётным числами, в первом случае, $m = 2m_1$, во втором – $n = 2n$. Таким образом, формула (17) является частным случаем формулы (13).

Итак, все решения уравнения (1) можно записать в виде единой формулы:

$$x = \frac{2pmn}{(2,p)\left(2,m \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i + n \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i\right)},$$

$$y = 2p\frac{m^4 \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i{}^2 - n^4 \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i{}^2}{(2,p)^2\left(2,m \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i + n \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i\right)^2}, \qquad (19)$$

$$z = 2p\frac{m^4 \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i{}^2 + n^4 \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i{}^2}{(2,p)^2\left(2,m \cdot \prod_{i=1}^{s} \mathrm{p}_i + n \cdot \prod_{i=s+1}^{r} \mathrm{p}_i\right)^2},$$

где: $p, m, n \in \mathbb{N}$, $(m, n) = 1$, $m^2 \prod_{i=1}^{s} p_i > n^2 \prod_{i=s+1}^{r} p_i$, p – свободное от квадратов число.

При фиксированных натуральных числах m и n можно найти частные решения. Например, варьируя параметры в формуле (19) получим частные решения уравнения (1), некоторые из которых приведены в таблице ниже:

Таблица 1.

Некоторые частные решения уравнения $x^4 + y^2 = z^2$ в натуральных числах

p	***m***	***n***	***x***	***y***	***z***	$x^4 + y^2 = z^2$
1	1	1	2	3	5	$2^4 + 3^2 = 5^2$
1	3	1	3	40	41	$3^4 + 40^2 = 41^2$
1	3	2	12	17	145	$12^4 + 17^2 = 145^2$
2	1	1	4	30	34	$4^4 + 30^2 = 34^2$
2	3	2	6	77	85	$6^4 + 77^2 = 85^2$
3	1	1	3	12	15	$3^4 + 12^2 = 15^2$
3	3	2	36	540	1404	$36^4 + 540^2 = 1404^2$
3	3	2	36	8700	8700	$36^4 + 8700^2 = 8796^2$
5	1	1	10	495	505	$10^4 + 495^2 = 505^2$
5	1	2	20	420	580	$20^4 + 420^2 = 580^2$
6	1	1	12	192	240	$12^4 + 192^2 = 240^2$
6	1	1	12	420	444	$12^2 + 420^2 = 444^2$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Список литературы:

1. Бокарев Н.Л. Некоторые классические диофантовы уравнения / Н.Л. Бокарев, Е.В. Буякова. [Электронный ресурс]: Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2014. – Т. 26. – С. 56–60. – URL: https://e-koncept.ru/author/4048 (Дата обращения: 25.07.2019).
2. Бокарев Н.Л. Диофантовы уравнения второй степени от трёх переменных / Н.Л. Бокарев, Е.В. Буякова. [Электронный ресурс]// URL: https://cyberleninka.ru/article/v/diofantovy-uravneniya-vtoroy-stepeni-ot-tryoh-peremennyh (Дата обращения: 25.07.2019).
3. Кожегельдинов С.Ш. О задачах, связанных с пифагоровыми тройками // Межвузовская конференция, посвящённая 150–летию со дня рождения Абая. / С.Ш. Кожегельдинов. – Семей: СГУ имени Шакарима,1991. – С. 132 – 133.

СЕКЦИЯ

«МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ СИНТЕЗА ПОРОШКА КОМПОЗИЦИИ НИТРИДА-КАРБИДА КРЕМНИЯ

Грачкова Дарья Владимировна
студент,
Самарский государственный технический университет,
РФ, г. Самара

Марков Юрий Михайлович
научный руководитель, канд. техн. наук, доцент.
Самарский государственный технический университет,
РФ, г. Самара
E-mail: yori.markov.uljnov.1697@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

В данной статье раскрываются особенности синтеза порошка композиции Si_3N_4-SiC методом СВС.

Ключевые слова: порошок нитрида карбида кремния, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), электронно-микроскопический анализ, рентгенофазовый анализ, анализ фракционного состава.

Композиция нитрид кремния и карбид кремния является перспективным материалом в виду его высокой прочности в широком диапазоне температур, крайне высокой твердости, превосходной износостойкости, хорошей коррозионной стойкости при высоких температурах (способен работать в условиях выхлопных газов). Такие характеристики делают материал перспективным для применения во многих отраслях техники.

Композиционный материал нитрид кремния-карбид кремния (Si3N4-SiC) применяется в изготовлении режущего инструмента, огнеупоров, в деталях ДВС и ГТД [1, 2].

Также, стоит отметить, что данный материал имеет высокие перспективы для применения в конструкциях высокоскоростных летательных аппаратов, которые задали новый ритм развития науки и техники.

Композиционный материал нитрид кремния-карбид кремния был получен методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

Для синтеза композиции использовалось следующее уравнение химической реакции:

$$4Si + C + 2N_2 = Si_3N_4\text{-}SiC$$

В целях ускорения химической реакции в исходную шихту вводили до 5 % активирующей добавки порошка фторопласта-3 **(C_2F_3Cl)n** [3].

Условия синтеза: диаметр образца 30 мм, высота 45мм; Относительная плотность шихты Δ=0,4; Размер частиц менее63мкм; давление азота 5,0 МПа.

Температура горения образца составила 1450°С, скорость горения 3,5 мм/сек.

Полученный продукт отдавался на электронно-микроскопический, рентгеноскопический и фракционный анализ.

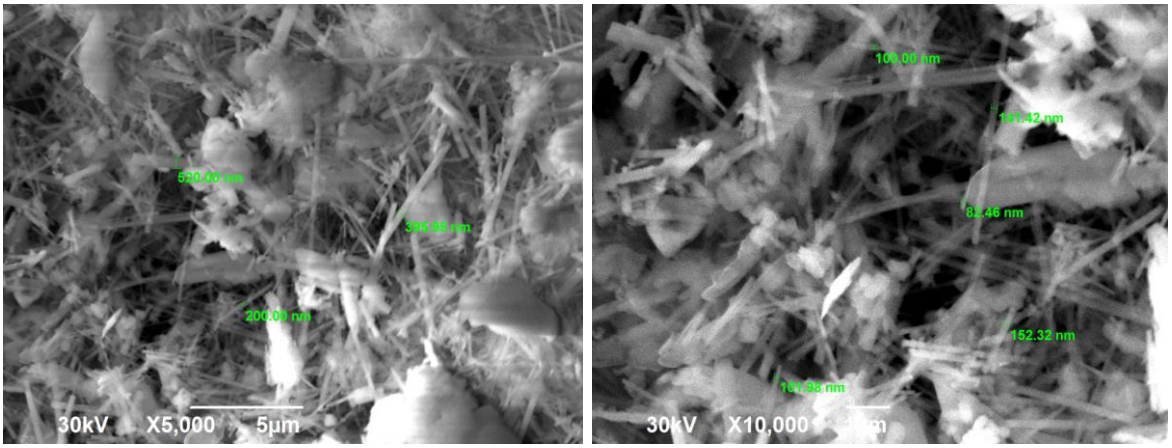


Рисунок 1. Результаты микроскопического анализа порошка композиции нитрида карбида кремния

Как видно из фотографий композиция представляет собой вытянутые игло-образные частицы нитрида кремния с диаметром волокон 100-150 нм и сферо-образные частицы неправильной формы карбида кремния с размерами более 5 мкм.

Результаты рентгенофазового анализа показаны на рисунке 2.

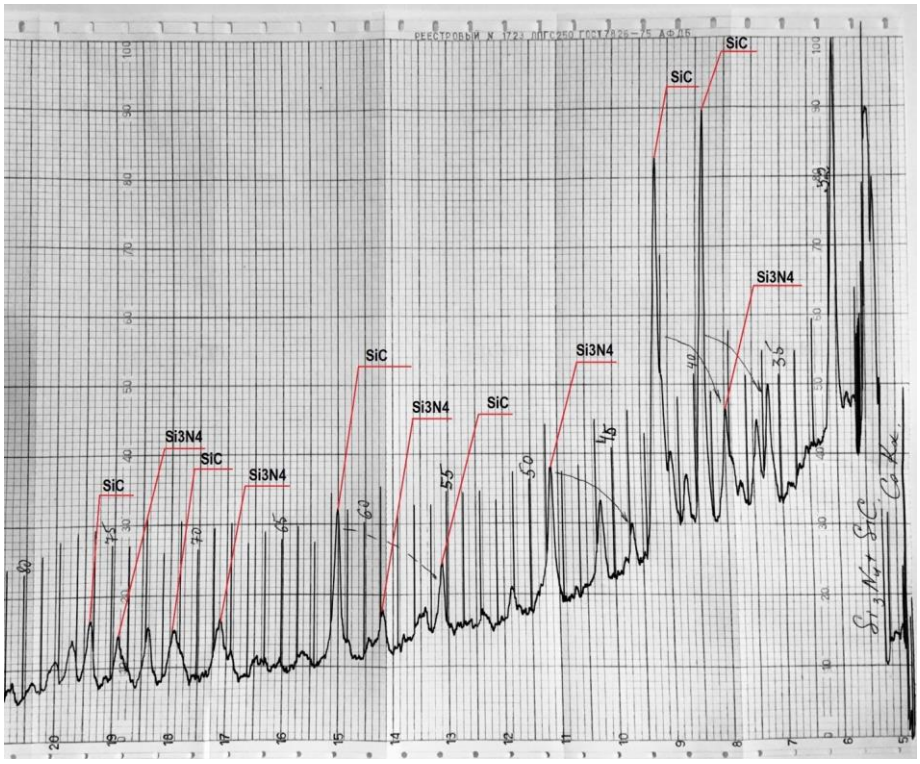


Рисунок 2. Дифрактограмма композиции порошка нитрида кремния карбида кремния

Как видно из дифрактограммы целевой продукт представляет собой смесь нитрида и карбида кремния. Присутствие примесей не обнаружено.

Ниже представлен результат анализа гранулометрического состава порошка Si_3N_4 - SiC в виде кривой распределения частиц по размерам, полученный с помощью лазерного микроанализатора размеров частиц “Analysette 22”

Fritsch Particle Sizer 'analysette 22'

Si3 N4 + SiC

Measuring Range	0.31 [µm] - 300.74 [µm]	Pump	100 [%]
Resolution	62 Channels (17 mm / 114 mm)	Stirrer	3
Absorption	0.00 [%]	Ultrasonic	On
Measurement Duration	4 [Scans]		

Modell Independant

Fraunhofer Calculation selected.

Interpolation Values... C:\Program Files\a22__32\fritsch\03-300 мкм.FPS

0.300-	0.500µm=	1.64%	0.500-	1.000µm=	2.16%	1.000-	2.000µm=	2.81%
2.000-	5.000µm=	4.93%	5.000-	10.000µm=	7.02%	10.000-	20.000µm=	14.97%
20.000-	30.000µm=	21.03%	30.000-	40.000µm=	20.02%	40.000-	50.000µm=	13.40%
50.000-	70.000µm=	10.30%	70.000-	100.000µm=	1.74%	100.000-	200.000µm=	0.00%
200.000-	300.000µm=	***						

Interpolation Values... C:\Program Files\a22__32\fritsch\10_90.FPV

10.0 %	<=	3.972 µm	20.0 %	<=	11.110 µm	30.0 %	<=	18.008 µm
40.0 %	<=	23.309 µm	50.0 %	<=	27.936 µm	60.0 %	<=	32.496 µm
70.0 %	<=	37.456 µm	80.0 %	<=	43.489 µm	90.0 %	<=	52.191 µm
100.0 %	<=	99.532 µm						

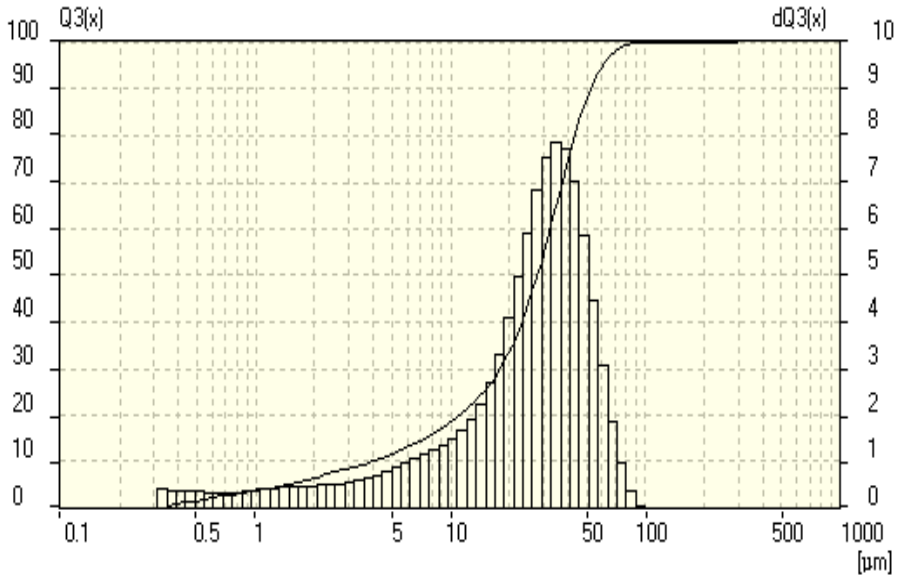


Рисунок 3. Результат анализа гранулометрического состава порошка Si_3N_4 – SiC

Как видно из гранулометрического анализа основной фракцией полученного порошка является фракция 20-50 мкм. Обнаруженные частицы представляют собой конгломераты из более дисперсных частиц.

Представленные результаты являются предварительными и в дальнейшем требуется более тщательные исследования, в том числе и основных технологических условий получения композиции.

Список литературы:

1. Перспективные материалы и технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза: учеб. пособие / Е.А. Левашев, А.С. Рогачев, В.В. Курбаткина и др. - М.: Изд.Дом МИССИС, 2011.-377 с.
2. Амосов А.П., Боровинская И.П., Мержанов А.Г., Порошковая технология СВС материалов: Учеб. Пособ. / Под научной редакцией В.Н. Анциферова. - М.: Машиностроение-1, 2007.-567 с.
3. Закоржевский В.В. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез нитридов кремния, алюминия и композиционных порошков на их основе. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Черноголовка, 2004, - 227 с.

СЕКЦИЯ

«МОДЕЛИРОВАНИЕ»

СОЛНЕЧНЫЕ ПАНЕЛИ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Фролов Максим Валерьевич
студент,
Ульяновский государственный технический университет,
РФ, г. Ульяновск
E-mail: m.frolov.9721@mail.ru

Солнечная энергетика – одна из самых быстро развивающихся отраслей энергетики в мире. Преобразование света в электрическую энергию происходит с использованием солнечных батарей. В основном солнечные панели являются надежными источниками питания электронной аппаратуры. Но для достижения наибольшей надежности и большего КПД, необходимо изучение солнечных батарей. Одним из основных способов изучения является моделирование. В качестве среды разработки модели была выбрана графическая среда.

Simulink.Целью данной работы является разработка модели СБ, в которой, изменяя соответствующий диодный коэффициент n, изменяются выходные характеристики солнечной батареи.

Модель солнечной батареи разработана на основе уравнения вольтамперной характеристики единичного солнечного элемента с использованием библиотеки SimPowerSystem (рис.2) [1].

Обычно используемая эквивалентная схема солнечного элемента с сосредоточенными параметрами, работающего в стационарном режиме содержит генератор тока с большим внутренним сопротивлением. Величина тока пропорциональна освещенности и называется фототоком [2]. Схема замещения солнечного элемента приведена на рис.1.

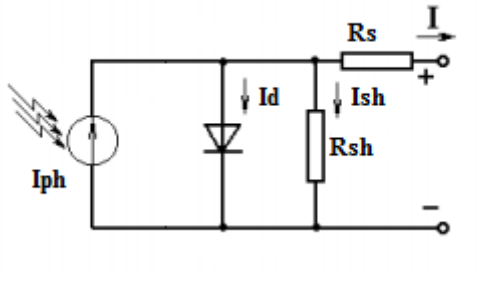


Рисунок 1. Схема замещения солнечного элемента

Уравнение ВАХ солнечного элемента имеет вид (1):

$$I = Iph - Id - Ish \tag{1}$$

Для перехода от модели единичного СЭ к модели СБ используются формула:

$$I = Iph * Np - Id - Ish \tag{2}$$

где: Np – число параллельно соединенных элементов;

Iph – фототок, А.

Существует выражение, позволяющее определить значение фототока при заданных значениях температуры и освещенности.

$$Iph = \left(Isc + ki(T - 298)\right) * \frac{G}{Gn} \tag{3}$$

где: Isc – ток короткого замыкания, А;

ki – температурный коэффициент тока к.з.;

Gn – номинальный уровень освещенности, Вт/м^2.

$$Id = I0\left(exp\left(\frac{q(U + I * Rs}{n * K * Ns * T}\right) - 1\right) \tag{4}$$

где: I0 – ток насыщения, А;

q – заряд электрона, Кл;

Rs – последовательное сопротивление, Ом;

n – коэффициент диодности;

K – постоянная Больцмана;

Ns – число последовательно соединенных элементов;

Так как ток насыщения зависит от физических характеристик СЭ, например, коэффициента диффузии электронов в полупроводнике, но не зависит от освещенности, то пересчитывать I0 для заданной освещенности не нужно. Необходимо учесть его зависимость от температуры:

$$Io = Irs * (\frac{T}{Tn})^3 * exp\left(\frac{q * Eg0 * \left(\frac{1}{Tn} - \frac{1}{T}\right)}{n * K}\right) \quad (5)$$

где: Irs – обратный ток насыщения, А;

Tn – номинальная температура, °C;

Eg0 – ширина запрещенной зоны.

$$Irs = \frac{Isc}{exp\left(\frac{q*Uoc}{n*K*Ns*T}\right) - 1} \quad (6)$$

где: Uoc – напряжение холостого хода, В.

$$Ish = \left(\frac{U + I * Rs}{Rsh}\right) \quad (7)$$

где: Rsh – шунтирующее сопротивление, Ом.

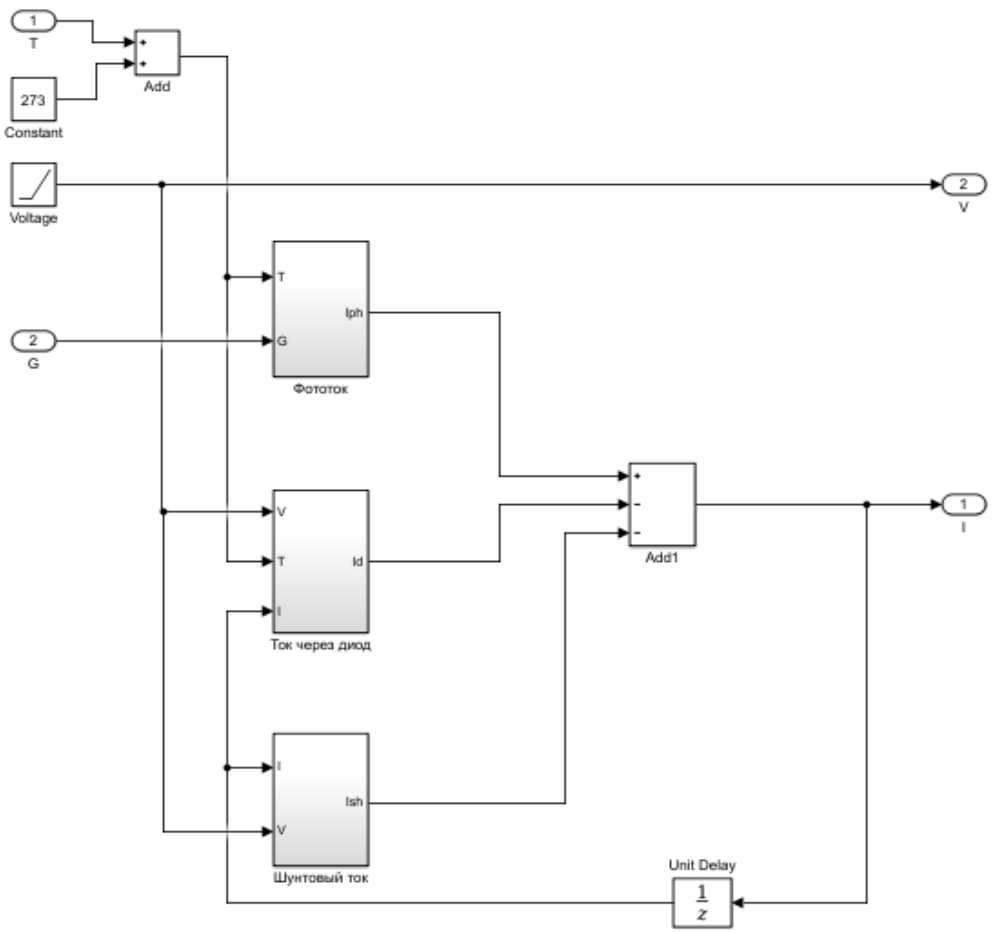


Рисунок 2. Модель солнечной батареи в Simulink

Предлагаемая модель позволяет воспроизводить характеристики СБ, изготовленных из разных материалов, задавая соответствующий диодный коэффициент n и значение ширины запрещенной зоны Eg.

Значения коэффициента n для некоторых материалов даны в таблице 1.

Таблица 1.

Зависимость параметра n от материала СЭ и технологии изготовления

Материал	Диодный коэффициент n	Ширина запрещенной зоны Eg, эВ
Монокристаллический	1,2	1,12
Поликристаллический	1,3	1,12
CIGS	1,5	1,45
GaAs	1,3	1,43

Результаты моделирования ВАХ СБ при различных коэффициентах n представлены на рис.3.

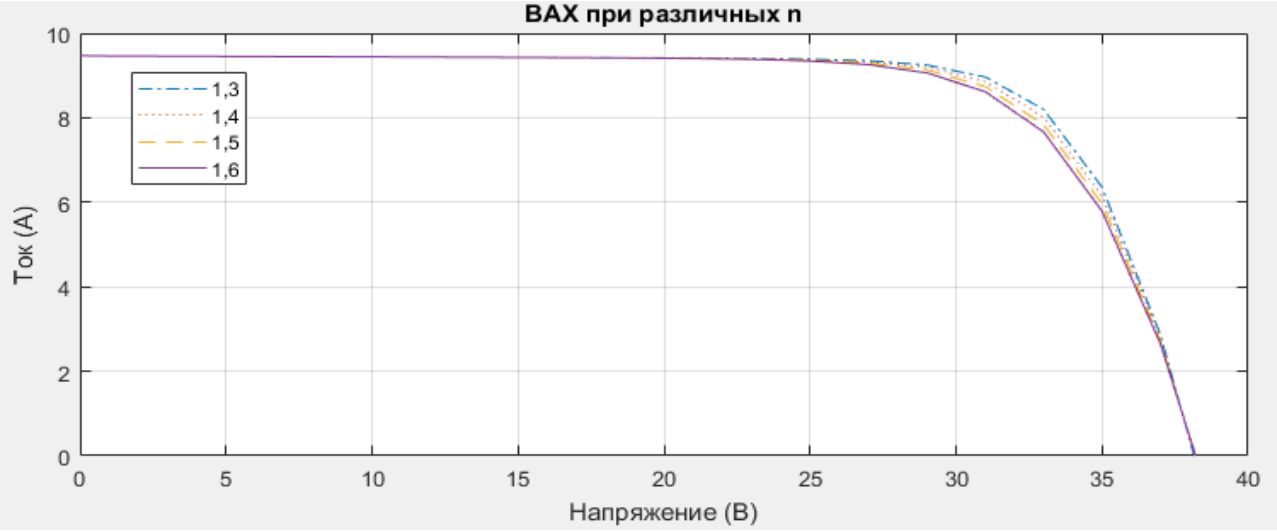


Рисунок 3. ВАХ при различных коэффициентах n

При увеличении коэффициента n, коэффициент заполнения и максимальная мощность уменьшаются. Предлагаемый подход позволяет исследовать характеристики СЭ различных типов, повышая точность имитирования ВАХ. Коэффициент n представляет собой степень идеальности диода в аналитической модели СЭ и определяется эмпирически, эту величину варьируют для уточнения формы ВАХ и расчетных данных модели.

Список литературы:

1. Фролов М.В. Моделирование затенения солнечной батареи в Simulink/ Фролов М.В. // Научное сообщество студентов XXI столетия. технические науки: сб. ст. по мат. LXXVIII междунар. студ. науч.-практ. конф. № 6(77).
2. Фролов М.В. Имитация работы солнечной панели в среде Matlab/Simulink / М.В. Фролов, В.Н. Рогов// Сборник материалов 53-й научно-технической конференции – 2019. – часть 1. С. 152-155.
3. Официальный сайт компании Sunrise: http://www.sunriseenergy.cn/en/upfile/cpdownload/EN_SR-M660.pdf (Дата обращения 11.01.2019).
4. Фролкова Н.О. Моделирование солнечных батарей на основе различных полупроводников // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – 2011. – 179 с.
5. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. М.: Энергоатомиздат, 1983. 360 с.

СЕКЦИЯ

«ЭНЕРГЕТИКА»

НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ КВАРТАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ СТАНЦИИ

Матухнова Ольга Дмитриевна
студент,
Институт Проблем Энергетической Эффективности НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: naydenkoolga@yandex.ru

Матухнов Тимур Алексеевич
студент,
Институт Проблем Энергетической Эффективности НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: tima.matuhnov@mail.ru

Третьяков Андрей Олегович
студент,
Институт Проблем Энергетической Эффективности НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: troa2001.95@mail.ru

Гурьева Виктория Алексеевна
студент,
Институт Проблем Энергетической Эффективности НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: wow.viktoria.wow@gmail.com

Бурмейстер Максим Витальевич
студент,
Институт Электроэнергетики НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: max.burmeyster@gmail.com

Булатов Рамис Вагизович
студент,
Институт Электроэнергетики НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: Bulatov_rv@inbox.ru

Современные энергетические системы обладают большой производительностью и имеют высокий уровень сложности. В связи с этим растут требования к надежности этих систем. В теории надежности изучаются причины и закономерности нарушения работоспособности систем и их элементов. Под надежностью системы энергоснабжения понимается способность системы выполнять требуемые функции в заданных условиях функционирования. Определение характеристик надежности проводится на стадиях проектирования, испытания, эксплуатации. Одним из основных методов определения надежности является метод теории вероятностей [1].

В данной статье рассчитаны показатели надежности для квартальной тепловой станции. Квартальная тепловая станция предназначена для централизованного теплоснабжения жилых, общественных и производственных зданий, присоединенных к тепловым сетям станции. Схема снабжения потребителей – закрытая, двухтрубная. Температурный график 150/70 ^{o}C со срезкой на уровне 130 ^{o}C.

На основе схемы гипотетической технологии предприятия (рис.1) составляется компонентная схема технологии предприятия (рис.2), на которой показаны связи компонент, влияющих на готовность технологии.

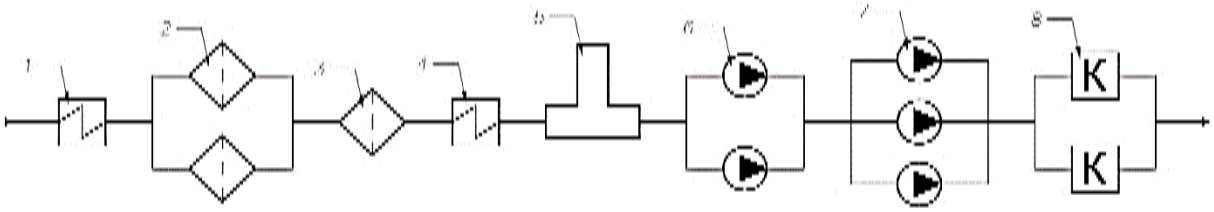


Рисунок 1. Технологическая схема

1 - Теплообменник Iст., 2 - Фильтр ХВО Iст., 3 - Фильтр ХВО IIст., 4 - Теплообменник IIст., 5 – Деаэратор, 6 - Подпиточный насос, 7 - Сетевой насос, 8 - Водогрейный котел

Каждая компонента символизируется прямоугольником, внутри которого указывается ее мощность в процентах, влияющая на итоговую мощность. Каждой компоненте присваивается свой номер.

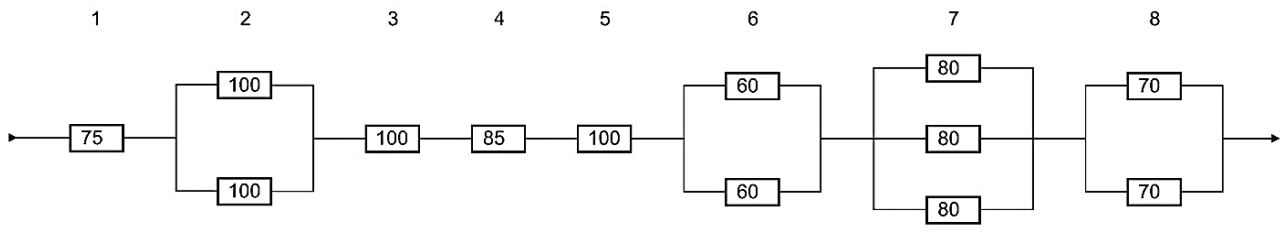


Рисунок 2. Компонентная схема

Разбивая систему на подсистемы, каждая компонента может принадлежать только одной подсистеме. Технология представляет группу подсистем, которую обозначим буквами ПС (ПС-1, ПС-2, и т. д.). При разбиении системы на подсистемы учитывают единичную производительность компонент и проводят объединения в подсистемы по компонентам с одинаковой единичной производительностью с учетом их технологической связи.

В состав ПС-1 выделим компоненты со 100% производительностью. В состав ПС-2 – с 75% производительностью, ПС-3 – с 85% производительностью, ПС-4 – с 60% производительностью, ПС-5 – с 80% производительностью, ПС-6 – с 70% производительностью. В результате имеем 6 подсистем:

1) ПС-1: фильтры ХВО I ступени, фильтр ХВО II ступени, деаэратор;
2) ПС-2: теплообменник I ступени;
3) ПС-3: теплообменник II ступени;
4) ПС-4: подпиточные насосы;
5) ПС-5: сетевые насосы;
6) ПС-6: водогрейные котлы.

В результате, задача приводится к группе последовательно соединенных подсистем, изображенных на рис. 3

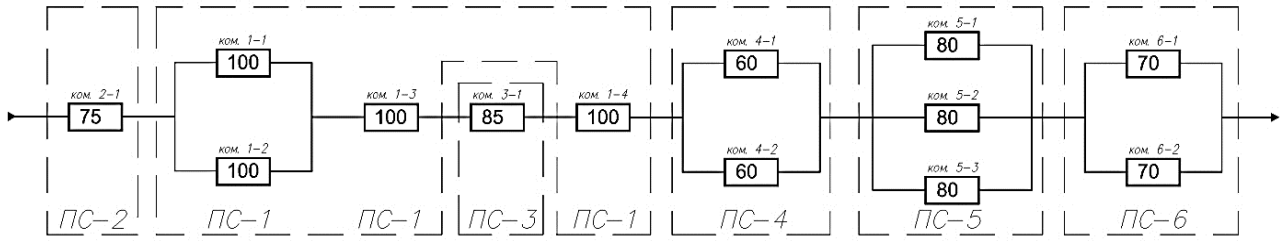


Рисунок 3. Подсистемы энергоблока

В основу аналитических методов расчета показателей надежности энергетических установок заложены метод «дерева отказов» и метод минимальных путей и сечений. «Дерево отказов» представляет собой логическое отображение отказа системы на основе отказов составляющих ее подсистем (отказы которых, в свою очередь, обусловлены отказами компонент) [2]. «Дерево отказов» системы представлено на рисунке 4.

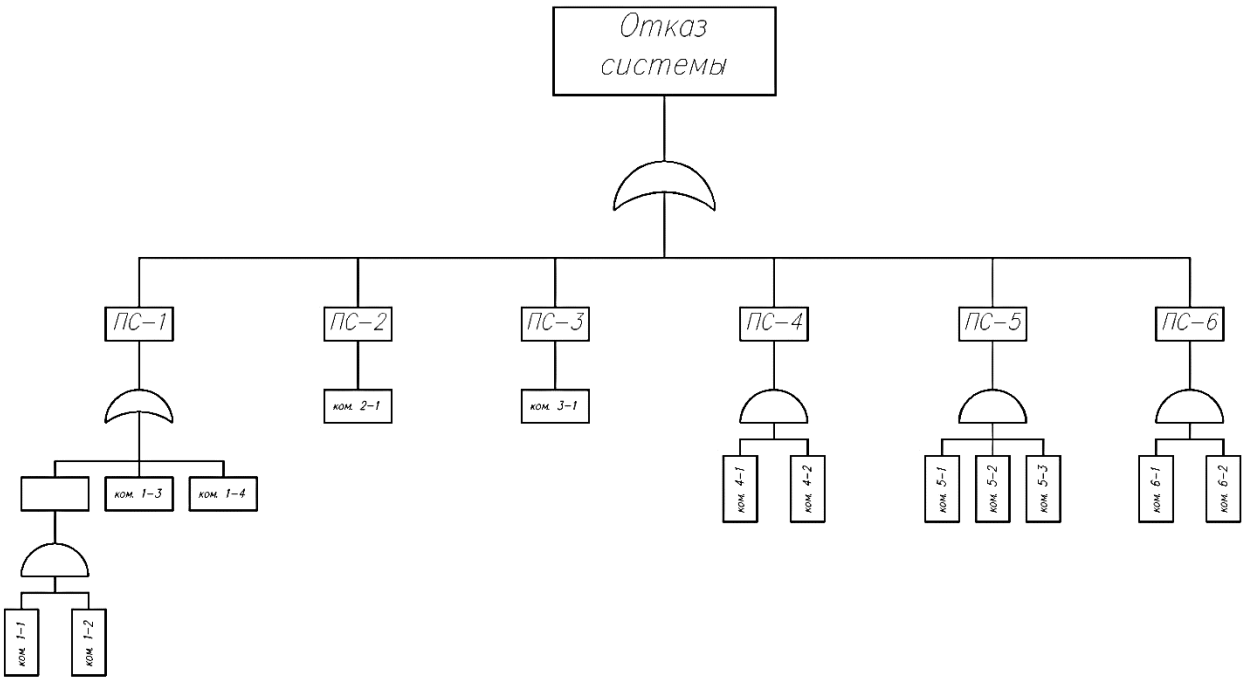


Рисунок 4. «Дерево отказов» системы

Группа подсистем является интерпретацией всей системы. Это показано в табл. 2. При расчете готовности состояния системы для табл. 2 используются данные по готовности состояний подсистем из табл. 1. Готовность блока определяется перемножением готовностей состояний подсистем для заданных мощностей при состояниях подсистем в соответствии с табл. 2.

Таблица 1.

Значение готовности для состояния подсистемы

Подсистема	Компоненты и мощности их состояний, %			Мощность подсистемы, %	Готовность состояния подсистемы
ПС-1	Сочетания из 4 компонент			100	0,99884
				0	0,00056
ПС-2	Ком.2-1				
	75			75	0,99597
	0			0	0,00403
	-			-	Σ=1
ПС-3	Ком.3-1				
	85			85	0,99972
	0			0	0,00028
	-			-	Σ=1
ПС-4	Ком.4-1	Ком.4-2			
	60	60		100	0,99944
	60	0		60	0,00027992
	0	60		60	0,00027992
	0	0		0	0
	-	-		-	Σ=0,99999984≈1
ПС-5	Ком.5-1	Ком.5-2	Ком.5-3		
	80	80	80	100	0,9849264
	80	80	0	100	0,0049991
	80	0	80	100	0,0049991
	0	80	80	100	0,0049991
	80	0	0	80	0,0000254
ПС-5	0	80	0	80	0,0000254
	0	0	80	80	0,0000254
	0	0	0	0	0
	-	-	-	-	Σ=0,999999≈1
ПС-6	Ком.6-1	Ком.6-2			
	70	70		100	0,93652070
	70	0		70	0,03121929
	0	70		70	0,03121929
	0	0		0	0
	-	-		-	Σ=0,998959≈1

Таблица 2.

Готовность энергоблока

№	Состояния мощности в % подсистем						Мощность состояния системы, %	Готовность состояния блока
	ПС-1	ПС-2	ПС-3	ПС-4	ПС-5	ПС-6		
1	100	75	85	100	100	100	75	0,93081106
2	100	75	85	100	80	100	75	0,00007093
3	100	75	85	100	100	70	70	0,03102896
4	100	75	85	60	100	100	60	0,00026069
5	100	75	0	100	100	100	0	0,0002607
6	100	0	85	100	100	100	0	0,00376635
7	0	75	85	100	100	100	0	0,00052186
								Σ=0,96672055≈1

Принимая, что в течении года простой технологической системы производства в планово-предупредительных ремонтах составляет 10 суток, период для анализа эффективности 365-10=355 суток. Этот период приходится на работоспособное состояние, а также, на полные и частичные отказы.

Перестроим табл. 2 для готовности системы в табл. 3, чтобы определить период работоспособного состояния, а также периоды полных и частичных отказов, используя соответствующие различным состояниям значения готовности.

Продолжительность состояний определяется умножением готовности системы на продолжительность периода для анализа (355 суток).

Таблица 3.

Готовность энергоблока

Номер состояния	Готовность состояния	Мощность состояния, %	Продолжительность состояния, сут
1	0,93081106	75	330,4379
2	0,00007093	75	0,02518
3	0,03102896	70	11,01528
4	0,00026069	60	0,092545
5	0,0002607	0	0,092549
6	0,00376635	0	1,337054
7	0,00052186	0	0,18526
Σ=0,96672055≈1		Σ=343,1857953	

Таким образом получены следующие показатели системы:

- эквивалентный коэффициент вынужденных отказов 0,7%;
- коэффициент готовности за календарный год с учетом плановых ремонтов и полных отказов 96,82%;
- эквивалентный коэффициент готовности за календарный год с учетом плановых ремонтов, полных и частичных отказов 96,61 %.

Список литературы:

1. Антышев И.А., Шаповалова Г.П. Практические занятия по основам теории надежности систем энергоснабжения: учебное пособие / М.: МЭИ, 2010 г.
2. Елизаров Д.П., Цанев А.В., Клевцов С.В. Определение показателей надежности теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС/ Москва, 1996 г.

АНАЛИЗ МИРОВОГО ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ФАЗОСДВИГАЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Булатов Рамис Вагизович
студент,
Институт Электроэнергетики НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: Bulatov_rv@inbox.ru

Бурмейстер Максим Витальевич
студент,
Институт Электроэнергетики НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: max.burmeyster@gmail.com

Кочергин Алексей Валерьевич
студент,
Институт Электроэнергетики НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: KocherginAV@hotmail.com

Матухнов Тимур Алексеевич
студент,
Институт Проблем Энергетической Эффективности НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: tima.matuhnov@mail.ru

Третьяков Андрей Олегович
студент,
Институт Проблем Энергетической Эффективности НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: troa2001.95@mail.ru

Гурьева Виктория Алексеевна
студент,
Институт Проблем Энергетической Эффективности НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: wow.viktoria.wow@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В данной статье приводится обзор состояния проблемы применения фазосдвигающего трансформатора (ФСТ) в электрических сетях высокого напряжения, исследуется отечественный и зарубежный опыт применения ФСТ.

Ключевые слова: фазосдвигающий трансформатор (ФСТ), электроэнергетические системы, сетевые компании, управление перетоками мощности, угол регулирования.

В США и Канаде фазосдвигающие трансформаторы применяются уже очень давно в составе различных энергетических объединений, их эффективность подтверждается опытом эксплуатации, краткие характеристики применяемых ФСТ представлены в [1]. В основном они применяются для реализации следующий функций [2]:

а) увеличение резерва трансформаторной мощности подстанций;

б) уменьшения взаимовлияния линий в электрической сети;

в) управления потоками мощности в линиях;

г) удаления льда на линиях электропередачи.

В Великобритании для регулирования перетоков мощности по состоянию на 2010 год введено в работу 15 ФСТ, что позволило повысить пропускную способность основной сети 275 и 400 кВ [3, 4]. В Великобритании работают три основные сетевые компании: *National Grid* (*NGET*), *Scott* и *Gidro*. Компания *NGET* является ведущей, она готовит семилетний план развития электроэнергетики [4]. В соответствии с ним состав линий и их конфигурация практически не изменятся, но существенно увеличиваются средства управления потоками активной и реактивной мощности. Еще шесть ФСТ будут размещены в 275 кВ сетях других сетевых компаний.

Согласно [5], полного управления этими трансформаторами не осуществляется. В нормальных режимах ФСТ работают при номинальных настройках, при аварийных ситуациях ФСТ могут принимать участие в ликвидации аварии согласно предварительно разработанным сценариям, однако при этом может возникнуть вероятный набор непредвиденных обстоятельств. Это связано с тем, что в сценариях заложено, что в аварийной ситуации будут задействованы только определенные ФСТ на данном участке сети, при этом автоматическое управление ФСТ отсутствует и регулирование ФСТ происходит

вручную. Стоит также отметить, что хоть в Великобритании и применяются программы по оптимизации режимов с целью определения максимальной передаваемой мощности сечений или иных связей, снижения потерь и др., данные алгоритмы не принимают во внимание ФСТ с целью его наиболее эффективного использования. Основными проблемами, с которыми столкнулись исследователи при решении данной задачи являются [5]:

а) изменение параметров ФСТ в одной части ЭЭС влияет на другие, особенно, эта проблема актуальна если речь идет о межгосударственных связях;

б) низкое быстродействие уже установленных механических ФСТ (переключения занимают до 20 минут, что в аварийных ситуациях недопустимо);

в) ФСТ при возможности влияния на потоки активной мощности не может полностью контролировать переток в заданной линии, так значение перетока зависит не только от конфигурации всей сети, но и от баланса потребления и генерации по разным концам транзитных линий.

Для решения данных проблем активно ведутся исследования и идут работы по совершенствованию координации работы ФСТ при помощи моделирования сети и разработки методов оптимизации с учетом ФСТ [5].

Особый интерес для исследования представляет энергосистема Нидерландов, которая имеет пять межсистемных линий, связывающих ее с энергосистемами Бельгии и Германии (рисунок 1 [6]). Южный регион является более густонаселенным, что приводит к тому, что импорт мощности вызывает перегрузки линий, находящихся на юге страны, особенно на линии *Maasbracht-Rommerskirchen/Siersdorf*, в то время как межсистемная линия *Meeden-Diele*, находящаяся на самом севере страны, оказывается недогруженной. Это приводит к ограничению передачи мощности по межсистемным линиям, что снижает их эффективность. Вариант решения проблемы постройкой дополнительной линии электропередач был отклонен ввиду организационных сложностей, так как необходимо получение разрешения от соседних системных операторов, на что требуется большое количество времени.

В результате рассмотрения различных вариантов решения проблемы, наилучшим оказался вариант, предполагающий установку ФСТ. В 2002 и 2003 году были установлены два симметричных ФСТ с подключением через два трансформатора с диапазоном регулирования ±30° и номинальной мощностью 1000 МВ·А. На немецкой стороне также установлен ФСТ с диапазоном регулирования ±12° и номинальной мощностью 1200 МВ·А. Их установка в городе *Meeden* позволила увеличить импорт в северной части страны, распределив нагрузку межсистемных линий более равномерно.

Рисунок 1. Межсистемные связи Нидерландов

Франция имеет большой опыт разработки и внедрения ФСТ в собственные электрические сети, а также электрические сети других государств (таблица 1).

ФСТ выполняются как в виде отдельного устройства, так и в комплекте с автотрансформатором, и обычно имеют переключатель ответвлений под нагрузкой, который позволяет изменять величину тока линии в определенных пределах во время работы.

По терминологии авторов [7], стратегия управления потоками мощности в сети состоит в следующем:

а) «лечебный режим»: ФСТ в нормальном режиме работает с малым сдвигом по фазе. В случае если одна из линий внезапно отключается, сдвиг по фазе автоматически изменяется, чтобы не допустить отключения перегруженных ЛЭП;

б) «профилактический режим»: ФСТ в нормальном режиме работает с постоянным сдвигом фазы и перераспределяет потоки мощности, чтобы повысить КПД существующей электрической сети.

Таблица 1.

ФСТ, установленные во французской энергосистеме

ПС	Напряжение сети, кВ	Максимальный угол регулирования, град	Мощность, МВА
Pragneres	225	±2x21,4	312
Rance	225	±10	413
La Praz	400	±10	1181
Sainte-Cecile	63	±23	61
Guarbecque	225	±11	438
Niort	225	±11	438

Исследования потоков мощности в пограничном районе Бельгии и Франции показали, что линия 220 кВ между подстанций *RTE Chooz* и подстанцией *Elia Monceau* может быть значительно перегружена в случае отказов на других межнациональных линиях электропередачи. Важность этой линии для индустриального района *Charleoi* обусловила необходимость принять специальные меры, чтобы предотвратить перегрузки [6]. По результатам моделирования различных вариантов было принято решение установки ФСТ номинальной мощность 400 МВ·А и диапазоном регулирования от «минус» 15° до «плюс» 3°.

Либерализация рынка электроэнергии и возрастающая доля энергии, вырабатываемой на ветровых и солнечных электростанциях, существенно увеличили перетоки мощности между странами.

По этой причине в Бельгии планировалась установка двух ФСТ в 2007 и 2008 году, которые необходимы для получения полного контроля над межсистемными линиями. Также по вышеописанной причине системные операторы Нидерландов и Германии приняли решение об усилении межгосударственных связей. Данный вариант был принят к исполнению, т. к. установка дополнительного ФСТ и модернизация существующего оказалось невыгодной [6].

В Японии предлагается использование ФСТ для решения проблемы перегрузки линий из-за широкого внедрения солнечных электростанций. В [8] предложен метод, основанной на чувствительности линий к потокам активной мощности. На различных моделях было показано, что применение ФСТ для ЭЭС с широким внедрением солнечных установок является эффективным способом решения вышеописанной проблемы.

Западная зона ЕЭС Казахстана имеет электрическую связь с северной зоной по трем существующим ВЛ 220 кВ объединенной энергосистемы Урала – Актюбинский энергоузел. Вышеуказанные ЛЭП проходят в основном по территории России. РАО «ЕЭС России» и ПАО «ФСК ЕЭС» не дали согласия на транзит мощности от Экибастузских ГРЭС в западную зону ЕЭС Казахстана по указанным ВЛЭП. Ввиду растущего дефицита мощности в Актюбинском энергоузле правительство Казахстана приняло решение о строительстве ВЛ 500 кВ Северный Казахстан – Актюбинская область, которая прошла по территории республики [9]. Однако данная линия протяженностью почти 500 км из-за неоднородности сети, вызванной линиями юга России, оказалась минимально загруженной. В связи с этим возникла необходимость в установке ФСТ, который мог бы позволить регулировать передаваемую мощность по вышеописанной электропередаче. Таким образом, на территории СНГ впервые была реализована установка ФСТ межсистемной связи 500 кВ Северный Казахстан – Актюбинская обл. Расчеты электрических режимов, проведенные в [9], с учетом примыкающих сетей ОЭС Сибири и ОЭС Урала, показали, что для оптимального перетока мощности по ВЛ 500 кВ необходим угол регулирования ФСТ, составляющий 20°.

В сетях ЕЭС России [10, 11] ФСТ практически не применяется, несмотря на большой потенциал их использования. Актуальность применения этой техники в нашей стране очень высокая – прежде всего с точки зрения снижения потерь в сети, которые составляют около 13,2% [12].

Впервые в России фазосдвигающий трансформатор был введен в опытную эксплуатацию в апреле 2019 года на Волжской ГЭС – филиале ПАО «РусГидро» [13].

В результате воздействия ряда факторов, в числе которых снижение потребления Волгоградского алюминиевого завода и прекращение экспорта электроэнергии на Украину через передачу постоянного тока Волгоград – Донбасс, Волжская ГЭС столкнулась с проблемой ограничения пропускной способности прилегающей электрической сети в связи с высокой загрузкой линий электропередачи более низкого напряжения (110 – 220 кВ) и недогруженными линиями электропередачи более высокого класса напряжения (500 кВ). Кроме того, ситуацию усугубляет ожидаемое к 2023 году увеличение установленной мощности этой ГЭС с 2671 МВт до 2744,5 МВт в результате ее модернизации. Из-за ограничений пропускной способности электрической сети 220 кВ в районе размещения ГЭС возникала опасность выхода параметров электрического режима энергосистемы из области допустимых значений в послеаварийных режимах, приводящая к необходимости ограничения выдачи мощности этой электростанции.

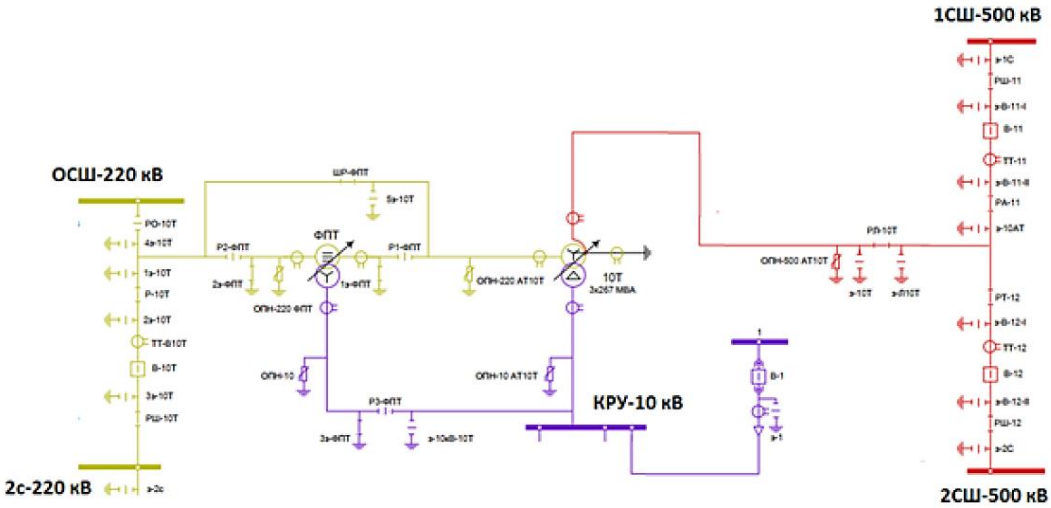


Рисунок 2. Схема ФСТ в Главной схеме Волжской ГЭС

ФСТ типа ТДЦТНФ-195260/220-У1 был установлен на ОРУ-220 кВ возле автотрансформаторной группы 10Т. Он используется совместно с трехфазной группой АТ 10Т однофазных автотрансформаторов типа АОДЦТН-267000/500/220-УХЛ1 для изменения (регулирования) под нагрузкой угла между векторами линейных напряжений сети 220 кВ и сети 500 кВ от 2,62 до 13,70 эл. град. Оперативная схема ФСТ в главной схеме Волжской ГЭС изображена на рисунке 2 [13].

Ввиду большой стоимости такого оборудования, как ФСТ, необходимо максимально эффективное его использование, поэтому необходима разработка алгоритмов по определению оптимальных мест установки ФСТ и определения значения оптимального угла регулирования, так как при неправильном управлении ФСТ, их установка является нецелесообразной.

Список литературы:

1. Hill A.T., Eitzmann M.A., Eilts L.E., Richardson R.H. Thyristor-control of an existing phase shifter // EPRI Confidential -2010, pp. 1-13.
2. Brochu J., Beauregard F., Cloutier R., Bergeron A., Garant., Sirois F., Henderson M.I. Innovative applications of phase-shifting transformers supplemented with series reactive elements. Cigre 2006, A2-203.
3. Зарубежные энергообъединения / А.Ф. Бондаренко, Н.В. Лисицын, Ф.Я. Морозов и др.; Под ред. В.А. Семенова. М.: Изд-во НЦ ЭНАС. 2001.
4. Belivanis M., Bell K.R.W. Use of Phase-shifting transformers on the Transmission Network in Great Britain. Universities Power Engineering Conf. (UPEC), 2010 45th International. 2010. pp. 1 - 5.
5. M. Pöller and M. Bradley, "Network operation in UK," in Netzregelung und Systemführung, Munich, Germany, 2008.
6. Verboomen J., Spaan F.J., Schavemaker P.H. Method for Calculating Total Transfer Capacity by Optimising Phase Shifting Transformer Settings // CIGRE 2008 pp.1-111.
7. Hurlet P., Riboud J.-C., Margoloff J., Tanguy A. French experience in phase-shifting transformers. Cigre 2006, A2-204.
8. Yuki Kawaura, Sho Yamanouchi, Miki Ichihara, Shinich Iwamoto, Yo Suetsugu, Tomoyuki Higashitani, "Phase-shifting transformer application to power-flow adjustment for large-scale PV penetration", Region 10 Conference (TENCON) 2016 IEEE, pp. 3328 - 3331, 2016.

9. Фазоповоротный трансформатор впервые в СНГ применен в Казахстане / Е. Евдокунин, Р. Николаев, А Искаков и др. // Новости электротехники. 2007. № 6 (48). С. 38 - 41.
10. Ольшванг М.В. Особенности кросс-трансформаторной технологии транспортирования энергии по сетям 110–765 кВ // Электро. 2004. № 2. С. 6 - 12.
11. Добрусин Л.А. Тенденции применения фазоповоротных трансформаторов в электроэнергетике // Силовая электроника. 2012. № 4. С. 60 - 66.
12. Справочник по проектированию электрических сетей. Под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2012.
13. Пушкаренко В.М., Николаева С.И. Фазоповоротный трансформатор, установленный на Волжской ГЭС // Студенческий форум: электрон. научн. журн. 2019. № 16(67).

НОВЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ТАРИФА НА ТЕПЛОВУЮ ЭНЕРГИЮ

Матухнов Тимур Алексеевич
студент,
Институт Проблем Энергетической Эффективности НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: tima.matuhnov@mail.ru

Третьяков Андрей Олегович
студент,
Институт Проблем Энергетической Эффективности НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: troa2001.95@mail.ru

Гурьева Виктория Алексеевна
студент,
Институт Проблем Энергетической Эффективности НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: wow.viktoria.wow@gmail.com

Бурмейстер Максим Витальевич
студент,
Институт Электроэнергетики НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: max.burmeyster@gmail.com

Булатов Рамис Вагизович
студент,
Институт Электроэнергетики НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: Bulatov_rv@inbox.ru

Особого внимания требует решение создания эффективной системы финансирования в сфере жилищно-коммунальных услуг. В значительной мере жилищно-коммунальное хозяйство регулируется органами местного самоуправления. Эффективность его работы влияет на уровень и качество жизни большинства жителей муниципальных образований. В настоящее время эта сфера отношений является источником постоянного социального напряжения и социальных конфликтов, связанных с:

- высокой изношенностью и низкой энергоэффективностью коммунальных сетей и жилищного фонда;

- слабым распространением практики установления для каждого дома размера платы за жилое помещение, непрозрачностью процедур формирования тарифов на услуги ресурсоснабжающих организаций;
- низким качеством услуг, предоставляемых управляющими организациями населению, наряду с высокой стоимостью этих услуг, слабым развитием конкуренции на рынке управляющих организаций;
- насаждением одной организационно-правовой формы объединения собственников – товариществ, наряду с неэффективным функционированием ТСЖ, обусловленным, в том числе, повсеместной пассивностью и низкой правовой грамотностью собственников, а также распространенными злоупотреблениями недобросовестных должностных лиц, стремящихся к подмене реальных ТСЖ их фиктивными аналогами [1].

В настоящее время распространенным методом формирования тарифа на тепловую энергию является метод «затраты +», при котором тариф складывается из производственных затрат и прибыли. Основная проблема такого подхода заключается в том, что если производитель осуществит модернизацию на своем объекте, которая приведет к снижению производственных затрат, то в следующем периоде тарифного регулирования он может лишится всех сэкономленных средств, которые будут исключены из тарифов на тепловую энергию. Естественно, что мало кто из производителей согласны с таким подходом, поэтому возможность привлечения инвестиций в отрасль сводится к нулю.

Также тарифы на тепловую энергию достаточно жестко сдерживаются государством, а потому не могут покрыть даже необходимые затрат. Для привлечения инвесторов необходима прозрачность средств и оценки эффективности их вложения. Если инвестор будет понимать, что при инвестировании он гарантированно вернет свои вложения, без дополнительных вводных от тарифных регулирующих органов, он с большей вероятностью примет участие в проекте. Сегодня складывается такая ситуация, при которой если инвестор вкладывает деньги в теплоэнергетику, в энергосбережение,

то весь эффект, который от этого может получиться, региональная служба тарифов может использовать не для того, чтобы обеспечить ему возврат средств, а для того, чтобы снизить или не допустить рост тарифа по региону. Механизм возврата инвестиций должен быть обязательно закреплен каким-то законодательным документом [2].

В 2017 году был принят закон, при котором формирование тарифа на тепловую энергию будет осуществляться по методу «Альтернативной котельной». В настоящее время пилотная версия проекта уже вступила в силу в некоторых городах.

В соответствии с новой методикой предполагается появление в крупных городах единой теплоснабжающей организации (ЕТО), отвечающей за доставку тепла потребителю. Эта организация и рассчитывает предельную цену на тепловую энергию по методу «альтернативная котельная». Предельный тариф на тепловую энергию, отпускаемую с ТЭЦ, предлагается принимать равным тарифу от котельной за вычетом стоимости транспортировки тепловой энергии по магистральным трубопроводам. Конечный тариф для потребителя будет определяется как тариф с котельной плюс надбавка за транспортировку по распределительным сетям.

При расчете тарифа на тепловую энергию в качестве основных параметров были выбраны следующие показатели:

- капитальные затраты в расчете на 1 Гкал/ч;
- поправочный климатический коэффициент;
- поправочный коэффициент сейсмичности;
- стоимость используемого топлива;
- операционные затраты;
- параметры окупаемости проекта.

Такая вариативность входных параметров поможет приблизить расчетные предельные уровни тарифов к региональной специфике, сделать их актуальными и прозрачными.

Основными плюсами предложенной методики по мнению Министерства энергетики РФ, являются:

- снижение субсидирования государственными структурами для строительства генерации;
- привлечение частных инвестиций;
- рост энергоэффективности теплоэнергетической отрасли;
- снижение в будущем платежей на электрическую и тепловую энергию в за счет повышения энергоэффективности;
- повышение надежности теплоснабжения.

Однако существует опасность, что внедрение новой методики приведет к резкому увеличению тарифов на тепловую энергию. По мнению некоторых экспертов в таких регионах, как Казань, Новосибирск, Омск тариф вырастет более, чем на 50 %.

Если обратиться к опыту регулирования тарифов в западной энергетике, то можно увидеть, что там давно основываются на методе Вагнера – методе «эквивалентной КЭС», концепция которой заключается в том, чтобы вместо перекрестного субсидирования электрической энергии за счет тепловой, в тариф электрической энергии включалась стоимость топлива, равная стоимости расходуемого топлива на современной мощной конденсационной электростанции при прочих равных условиях. Такой подход принес свои положительные эффекты, например, в США производимую на ТЭЦ или на альтернативных электростанциях электроэнергию надо оценивать по сэкономленным затратам на крупных КЭС. Электроэнергетическая система обязана покупать электроэнергию у ТЭЦ по такой стоимости, которая соответствует стоимости сооружения и эксплуатации новой мощности в системе [3]. Такой подход обеспечил экономию топлива и стал толчком к строительству новых ТЭЦ.

В Германии раньше, как и в России при комбинированной выработке энергии на ТЭЦ экономия топлива относилась на электроэнергию, а расход топлива при выработке тепловой энергии считался таким же, как и на котельных.

Итогом такого подхода стало строительство котельных и снижение загрузки ТЭЦ, что привело к огромным потерям топлива. В настоящее же время экономия топлива при комбинированной выработки энергий относится на теплоэнергию, таким образом повышая конкурентную способность ТЭЦ перед котельными. В результате, без изменения суммарных затрат для потребителя, за счёт некоторого повышения тарифов на электроэнергию, тариф на теплоэнергию снизился на четверть, полученной от ТЭЦ.

В итоге новая методика формирования тарифа на тепловую энергию «Альтернативная котельная» безусловно лучше, чем метод «Затраты +» для привлечения инвестиций в отрасль, однако существует опасность резкого роста тарифа, из-за которой новый метод имеет медленную скорость внедрения в России. Но также существует и другой подход к решению проблемы привлечения инвестиций и увеличению эффективности теплоэнергетической отрасли, который используется в других странах.

Список литературы:

1. Основные проблемы в сфере жилищно-коммунального хозяйства, в том числе в сфере развития государственно-муниципального частного партнерства и пути их решения [Электронный ресурс] – режим доступа: http://www.vsmsinfo.ru.
2. Электронный журнал «Эксперт»: Котельная альтернатива [Электронный ресурс] – режим доступа: http://expert.ru.
3. Шаргут Я.Я. Распределение затрат на производство тепла и электроэнергии на ТЭЦ // Теплоэнергетика, 1994. № 12. С. 63.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА И АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОПРЕСНИТЕЛЯ С ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ

Гурьева Виктория Алексеевна
студент,
Институт Проблем Энергетической Эффективности НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: wow.viktoria.wow@gmail.com

Третьяков Андрей Олегович
студент,
Институт Проблем Энергетической Эффективности НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: troa2001.95@mail.ru

Матухнов Тимур Алексеевич
студент,
Институт Проблем Энергетической Эффективности НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: tima.matuhnov@mail.ru

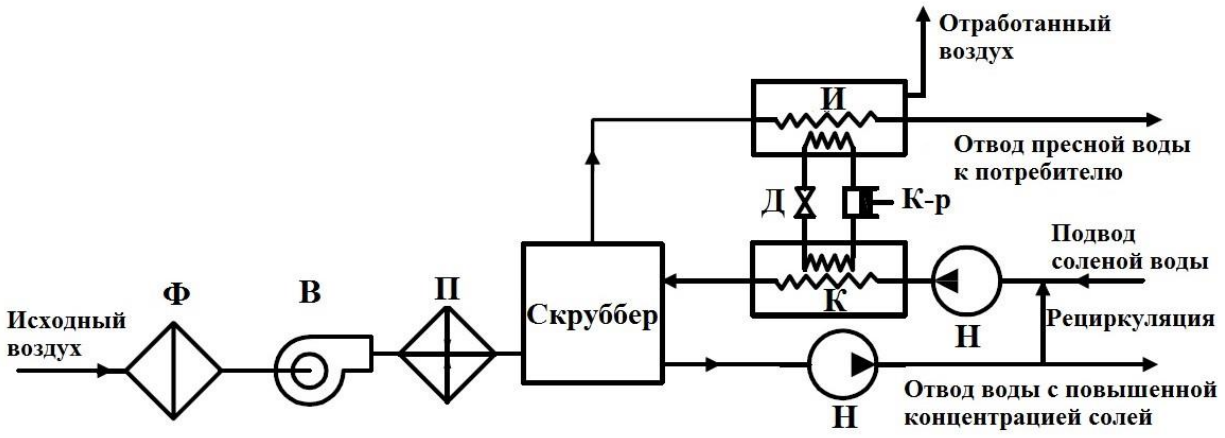
Бурмейстер Максим Витальевич
студент,
Институт Электроэнергетики НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: max.burmeyster@gmail.com

Булатов Рамис Вагизович
студент,
Институт Электроэнергетики НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: Bulatov_rv@inbox.ru

Одной из глобальных проблем человечества является дефицит пресной воды в мире. Одним из способов частичного решения этой проблемы является опреснение воды морей и океанов. В настоящее время существует достаточно много различных методов опреснения, разрабатывается большое количество опреснительных установок, а также с каждым годом появляется много патентов на опреснительные установки. Для дальнейшего рассмотрения из существующих патентов был выбран патент на теплонасосный опреснитель соленой воды [1]. На основе данной установки разработана схема испарительного опреснителя

с использованием теплового насоса (рис. 1). Для снижения тепловой нагрузки в конденсаторе в разработанной схеме используется рециркуляция.

В данной статье приведена методика расчета и анализ технических характеристик испарительного опреснителя с использованием теплового насоса, который разработан с целью совершенствования процесса опреснения и снижения расхода энергии для получения пресной воды.



Примечание: Ф – фильтр; В – вентилятор; П – подогреватель воздуха; Н – насос; И – испаритель теплового насоса; К – конденсатор теплового насоса; Д – дроссельный вентиль; К-р – компрессор

Рисунок 1. Принципиальная схема установки с учетом рециркуляции

При расчете испарительного опреснителя с тепловым насосом солёность морской воды принята нормальной (3,5 %). Теплофизические свойства морской воды с нормальной солёностью считаем такими же, как и для обычной воды, так как данные свойства значительнее зависят от температуры, чем от содержания солей в воде.

Основные формулы для расчета теплообменных аппаратов взяты из [2].

Для расчета скруббера задаемся следующими исходными параметрами:

$t_1' = 57$ °C – температура воды на входе в скруббер;

$G_1 = 2\ \frac{кг}{с}$ – расход воды перед скруббером;

$t_2' = 40$ °C – температура воздуха на входе в скруббер;

$t_2'' = 50$ °C – температура воздуха на выходе из скруббера;

$L = 0{,}5\ \frac{кг}{с}$ – расход сухого воздуха перед скруббером;

$\varphi_2'' = 95$ % – относительная влажность воздуха на выходе из скруббера;

$c_{p1} = 4190\ \frac{Дж}{кг \cdot К}$ – изобарная теплоёмкость воды;

Находим недостающие параметры влажного воздуха по H-d диаграмме:

$\varphi_2' = 14{,}3$ % – относительная влажность воздуха на входе в скруббер;

$t_м = 20{,}1$ °C – температура мокрого термометра;

$h_2' = 57\ \frac{кДж}{кг}$ – энтальпия воздуха на входе в скруббер;

$h_2'' = 261{,}2\ \frac{кДж}{кг}$ – энтальпия воздуха на выходе из скруббера;

$d_2' = 6{,}5\ \frac{г}{кг\ с.в.}$ – влагосодержание воздуха на входе в скруббер;

$d_2'' = 81{,}4\ \frac{г}{кг\ с.в.}$ – влагосодержание воздуха на выходе из скруббера.

Далее по методике из [2] производим расчет скруббера. Определяем объёмный коэффициент теплопередачи, скорость воздуха в скруббере.

Задаемся плотностью орошения: $U = 10\ \frac{м^3}{м^2 \cdot ч}$.

В качестве насадки выбираем керамические кольца Рашига, установленные рядами, со следующими стандартными характеристиками:

Удельная поверхность насадки: $f_н = 245\ \frac{м^2}{м^3}$;

Свободный объём (пористость): $V_{св.н} = 0{,}75\ \frac{м^3}{м^3}$;

Гидравлический диаметр: $d_г = 0{,}012$ м ;

Коэффициент теплопроводности (керамика): $\lambda_н = 0{,}02\ \frac{Вт}{м \cdot К}$.

Критерий Кирпичева находим по формуле:

$$Ki = 0{,}01 \cdot {Re_1}^{0{,}7} \cdot {Re_2}^{0{,}7} \cdot {Pr_2}^{0{,}33} \quad (1)$$

Объёмный коэффициент теплопередачи определим по формуле:

$$K = \frac{Ki \cdot \lambda_н}{d_г} \quad (2)$$

В результате получаем площадь теплообмена и геометрические параметры скруббера.

В разработанной схеме испарителем в тепловом насосе является калорифер с оребренными трубками. В межтрубном пространстве теплообменного аппарата движется горячий теплоноситель - влажный воздух, в трубках - холодный теплоноситель - фреон.

Метод расчёта данного теплообменника основан на коэффициенте влаговыпадения, так как присутствует тепло- и массообмен между воздухом и водой [3].

Отношение общего количества переданной теплоты к явному количеству теплоты называется коэффициентом влаговыпадения:

$$\xi = \frac{h_1 - h_2}{c_{p2} \cdot (t_1 - t_2)}, \tag{3}$$

где: h_1 , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ – энтальпия воздуха на входе в теплообменный аппарат;

h_2 , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ – энтальпия воздуха на выходе из теплообменного аппарата;

t_1, °C – температура воздуха на входе в теплообменный аппарат;

t_2, °C – температура воздуха на выходе из теплообменного аппарата;

c_{p2} , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг·К}}$ – теплоёмкость воздуха при средней температуре.

После проведения теплового расчета, исходя из полученной площади теплообмена, подбираем марку калорифера КСК-4-11.

Конденсатором теплового насоса является кожухотрубный теплообменник «солёная вода – рабочее вещество», где происходит нагрев поступающей на опреснение воды.

В качестве рабочего вещества в контуре теплового насоса был выбран хладагент R134a.

Разработка данного испарительного опреснителя с тепловым насосом, работающего на низкокипящем рабочем веществе, изначально была направлена на снижение расхода энергии для получения пресной воды, создание

экологически приемлемых и энергоэффективных опреснителей, способных конкурировать на рынке опреснительных технологий. Но после проведения расчета и анализа полученных результатов можно сделать вывод о целесообразности дальнейшей разработки рассматриваемой опреснительной установки.

Несомненно, испарительный опреснитель с тепловым насосом является новым типом опреснителей, но при этом затраты энергии достаточно высокие по сравнению с методом многоступенчатой дистилляции и методом обратного осмоса. Это связано с тем, что поглощение воздухом паров воды в скруббере минимально, и получаемый расход конденсата (пресной воды) не велик в сравнении с традиционными технологиями опреснения.

Список литературы:

1. Теплонасосный опреснитель соленой воды: патент РФ № 2363662: МПК C02F1/00; Калнинь И.М., Савицкий А.И., Шапошников В.А., Пустовалов С.Б. – № 2007126767/15; заявл. 13.07.2007; опубл. 10.08.2009, Бюл. № 22.
2. Бакластов А.М., Горбенко В.А., Данилов О.Л. и др.: Под ред. Бакластова А.М.. Промышленные тепломассообменные процессы и установки. / М.: Энергоатомиздат, 1986. – 328 с.
3. Бородкин А.А., Портнов В.Д., Сасин В.Я., Фёдоров В.Н.: Под редакцией Горбенко В.А. / Расчёт тепломассообменных аппаратов - М.: МЭИ, 1997. – 54 с.
4. ЗАО Т.С.Т. Калориферы КСк. Расчет и подбор водяных калориферов КСк: http://zao-tst.ru/raschet-podbor-kaloriferov.html

АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ НА ГТЭС

Матухнова Ольга Дмитриевна
студент,
Институт Проблем Энергетической Эффективности НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: naydenkoolga@yandex.ru

Матухнов Тимур Алексеевич
студент,
Институт Проблем Энергетической Эффективности НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: tima.matuhnov@mail.ru

Третьяков Андрей Олегович
студент,
Институт Проблем Энергетической Эффективности НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: troa2001.95@mail.ru

Гурьева Виктория Алексеевна
студент,
Институт Проблем Энергетической Эффективности НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: wow.viktoria.wow@gmail.com

Бурмейстер Максим Витальевич
студент,
Институт Электроэнергетики НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: max.burmeyster@gmail.com

Булатов Рамис Вагизович
студент,
Институт Электроэнергетики НИУ «МЭИ»,
РФ, г. Москва
E-mail: Bulatov_rv@inbox.ru

Перемещение газов и жидкостей осуществляется в большинстве случаев при повышенных давлениях, обусловленных необходимостью преодоления гидравлического сопротивления трубопроводов. Избыточное давление рабочих тел традиционно дросселируется, превращаясь в потери и тем самым снижая КПД данных систем. В то же время эти потери показывают широкий диапазон

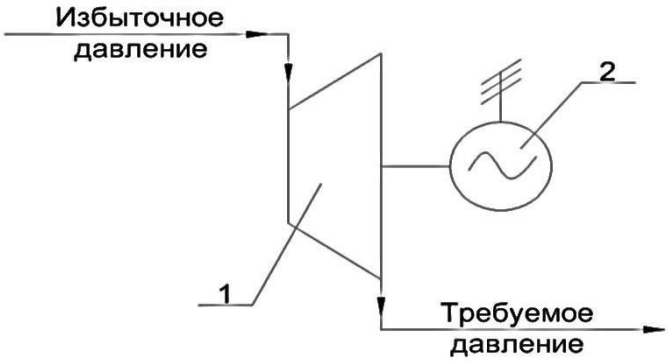
возможностей их использования в виде вторичных энергоресурсов на основе рекуперации процесса частичного возврата дросселируемой энергии для повторного использования, повышая эффективность и надежность выработки конечного продукта. Величина дросселируемого давления может достигать более 1 МПа. Требуемый перепад давлений для нормального функционирования котельной определяется гидравлическим сопротивлением тепломеханического оборудования [1].

Для минимизации потерь гидравлической энергии разработана энергосберегающая технология рекуперации избыточного давления в системах газоснабжения в электроэнергию без ухудшения условий эксплуатации установленного штатного оборудования. Созданы энергосберегающие рекуперационные установки, позволяющие повысить эффективность газопотребляющих генерирующих объектов [2].

Система рекуперации избыточного давления представляет собой гидродинамический регулятор расхода, построенный на базе гидравлической машины, по существу являясь мини-ГЭС. Отличительной особенностью такой системы является то, что она способна обеспечивать требуемый закон регулирования расхода аналогично штатному дросселирующему устройству. Последовательное включение турбины с дросселем позволяет не изменять функциональную схему элементов станции и имеет возможность, в случае необходимости, включить в работу штатное дросселирующее устройство, который при работе детандер-генераторного агригата находится постоянно в максимально открытом положении, практически не оказывая дополнительного сопротивления рабочей среде.

Принципиальная схема системы рекуперации избыточного давления представлена на рисунке 1. Принцип её работы заключается в следующем: весь поток теплоносителя, проходя через рабочее колесо турбины и создавая на нем вращательный момент, «теряет» часть гидравлической энергии, понижения давление рабочей среды до требуемых значений. Механическая энергия, полученная в рабочем колесе от теплоносителя, передается через вал на

электрогенератор, который вырабатывает электрическую энергию. Для удобства эксплуатации турбина дополнительно снабжена системой автоматического управления и мониторинга.



Примечание: 1 –гидротурбина; 2 –асинхронный двигатель.

Рисунок 1. Принципиальная схема системы рекуперации избыточного давления

Детандер-генераторные агрегаты могут использоваться в газовой промышленности на газораспределительных станциях (ГРС), в газораспределительных пунктах (ГРП) всех промышленных предприятий – крупных потребителей газа [3].

Описываемое использование энергии сжатого газа приводит к нежелательным явлениям, таким, как понижение температуры газа в трубопроводе ниже «точки росы», что вызывает конденсацию паров воды в газе, образование жидких пробок, прекращение подачи газа и других проблем. Поэтому газ подогревают перед детандером так, чтобы на выходе из детандера его температура была не ниже 0 °С.

Положительные эффекты использования потенциальной энергии сжатого газа требуют объективной оценки проблемы в целом. Энергетическая эффективность детандер-генераторных агрегатов определяется тем, что почти вся подведенная к нему теплота (за исключением механических потерь и потерь от необратимости теплообмена) может быть преобразована в механическую энергию. Положительный эффект заключается в дополнительной выработке

электроэнергии с помощью детандеров без сжигания топлива, что одновременно благоприятно сказывается на экологической ситуации.

В исследуемой работе вместо дроссельного устройства предлагается к использованию детандер-генераторное устройство, которое позволит преобразовать энергию транспортируемого природного газа в механическую энергию, а затем в электрическую. В качестве детандера выбран – ЭТДА-1500. Характеристики турбодетандера представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Технические характеристики турбодетандера ЭТДА-1500

Параметр	Значение
Расход газа через агрегат, м3/ч, номинальный:	70 000
Давление газа на входе в ЭТДА, МПа	0,2-1,6
Давление газа на выходе из ЭТДА, МПа	0,05-0,2
Номинальная мощность ЭТДА на клеммах генератора, кВт	1 500
Частота вращения ротора турбодетандера, об/мин	3 000
Мощность генератора, кВт	1 500
Напряжение, В	6 300
Частота электрического тока, Гц	50
КПД ДГА, %	90

Газ отдаёт энергию из-за этого снижается его температура. При использовании детандер-генераторной установки происходит адиабатное расширение, в результате которого температура газа снижается существеннее, чем в процессе дросселирования. Теплоносителем для подогрева газа перед детандером в таком теплообменном аппарате будет являться обратная сетевая вода. Приведем характеристики этих теплоносителей:

- температура воды на входе в теплообменный аппарат (температура обратной сетевой воды): 49,3 ^{o}C.;
- температура воды на выходе из теплообменного аппарата: 30 ^{o}C;
- температура газа на входе в теплообменник 4 ^{o}C;
- температура газа на выходе из теплообменника 43 ^{o}C.

При анализе целесообразности применения детандер – генераторного агрегата на ГТЭС получено следующее:

- затраты на подогрев газа перед агрегатом 14 259 тыс. руб./год;
- экономия затрат на выработку электроэнергии 18 120 тыс. руб/год.

Экономия при эксплуатации установки составляет 3 861 тыс. руб./год и подогрев обратной сетевой водой является экономически целесообразным. Таким образом применение детандер-генераторного агрегата положительно сказывается на работе станции. Работа данной установки позволяет увеличить отпуск электроэнергии на 9%.

Список литературы:

1. Волков А.В., Рыженков В.А., Парыгин А.Г., Волкова Т.А. О повышении эффективности систем теплоснабжения на основе преобразования избыточного давления сетевой воды в электроэнергию // «Энергосбережение и водоподготовка», 2010, № 1, с. 32-34.
2. Андреев А.Р. Использование детандер-генераторных технологий как способ повышения эффективности работы котельных. Автореферат на соискание уч. степ. канд. тех. наук, МЭИ, 2007.
3. Бестопливные детандер-генераторные установки: учебное пособие по курсу "Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях" по направлению "Теплоэнергетика / В.С. Агабабов, А.В. Корягин, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 48 с.

ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН В ЗАДАЧАХ ЭНЕРГЕТИКИ

Красюков Егор Андреевич
студент, кафедра Электроэнергетики и электротехники
Дальневосточного федерального университета,
РФ, г. Владивосток
E-mail: krasyukov.eggor@gmail.com

Дмух Галина Юрьевна
научный руководитель, канд. пед. наук,
доцент кафедры Алгебры, геометрии и анализа
Дальневосточного федерального университета,
РФ, г. Владивосток

АННОТАЦИЯ

В работе рассматривается применение теории вероятностей в энергетике к случайным величинам. Данная тема является довольно актуальной, логические продолжает тему применения теории вероятностей к случайным событиям, рассмотренную в работе под названием «Основы применения теории вероятностей в задачах энергетики». Приводятся реальные и приближенные к реальным, примеры использования случайных величин в энергетике.

Ключевые слова: случайная величина, математическое ожидание, дисперсия, вероятность, событие, распределение.

Случайная величина, как и случайное событие, является достаточно актуальным понятием в энергетике. Более того, поскольку зачастую каждому случайному событию можно поставить в соответствие некоторую случайную величину, которая его характеризует, необходимость обработки соответствующей информации только возрастает. Прежде чем приступить к рассмотрению типовых примеров использования случайных величин в энергетике, кратко дадим определение того, что такое случайная величина.

Итак, случайная величина – это величина, которая в результате опыта может принимать различные значения. Примеры случайных величин в энергетике –

отклонения от номинальной мощности, напор на гидроэлектростанции, число потребителей в энергосистеме и т. д.

Случайная величина может быть либо дискретной, либо непрерывной. Дискретной называется величина, которая принимает только разрозненные значения, например, число срабатываний аварийной защиты за какой-то промежуток времени. Непрерывная же величина даже в ограниченном интервале может изменяться непрерывно, т. е. иметь бесконечно большое число значений. Для дискретных случайных величин распределение их вероятностей может быть удобно задано в виде таблиц распределения, в которых в верхней строке указываются возможные значения случайной величины, а в нижней – соответствующие им значения вероятностей. При этом, если величина всегда принимает одно из случайных значений, суммарная вероятность должна равняться единице.

Пример 1. На подстанции 220 кВ Русская имеется два трансформатора. Вероятность аварийного выхода трансформатора из строя равна 0.04. Рассчитать вероятности всех возможных исходов в результате развития аварии.

За p будем считать вероятность выхода из строя трансформатора. p = 0.04. За q будем считать вероятность рабочего состояния трансформатора. q = 0.96. Случайной величиной m будем считать число трансформаторов, вышедших в аварию. m может принимать значения: 0, 1, 2. При этом имеется 3 попарно несовместимых события, образующих полную группу. Используя схему Бернулли, рассчитаем вероятности этих событий.

$$P_2^0 = C_3^0 \times 0.04^0 \times 0.96^2 = 0.96^2 = 0.9216;$$

$$P_2^1 = C_2^1 \times 0.04^1 \times 0.96^1 = 2 \times 0.04 \times 0.96 = 0.0768;$$

$$P_2^2 = C_2^2 \times 0.04^2 \times 0.96^0 = 0.04 \times 0.96 = 0.0016.$$

Соответствующая таблица распределения будет выглядеть следующим образом:

Таблица 1.

Распределение вероятностей

xi	**0**	**1**	**2**
Pi	0.9216	0.0768	0.0016

Сумма вероятностей равна единице.

Для непрерывной случайной величины распределение вероятностей не удобно задавать в виде таблицы, поскольку даже на ограниченном интервале она имеет бесконечное число значений. Поэтому для непрерывных случайных величин находят вероятности их попадания в интервал, а не в точку.

Для количественной оценки вероятностей любой случайной величины используется понятие функции распределения F(x). Функция распределения показывает вероятность того, что случайная величина будет иметь значение меньше, чем аргумент функции *x*:

$$F(x) = P(-\infty \ll \mu < x).$$

Для условий примера 1 имеем: F(0)= 0; F(1)= 0.9216; F(2)= 0.9984; F(+∞)=1.

Для непрерывных случайных величин также используется понятие плотности распределения вероятности:

$$\varphi(x) = \frac{dF(x)}{dx}.$$

По заданной формуле для распределения F(x) можно также найти вероятность попадания случайной величины в интервал (x_1, x_2), где $x_1<x_2$, достаточно взять разность функций распределения для этих значений случайной величины:

$$P(x_1 \ll \mu < x_2) = F(x_2) - F(x_1).$$

В энергетике в основном используются случайные величины со следующими распределениями вероятностей: нормальное, биноминальное, по закону Пуассона, равномерное, простейшее.

Иногда из-за отсутствия статистических материалов не всегда можно задать функции распределения. Порой это и не нужно. Достаточно лишь знать основные числовые характеристики случайных величин, такие как математическое ожидание, дисперсия и стандартное отклонение.

Математическое ожидание представляет собой реальное среднее значение случайной величины, которое, в отличие от простого среднего значения,

учитывает ее возможные вероятности. Математическое ожидание вычисляется по формулам:

Для дискретной случайной величины

$$\mathrm{M}[x] = \sum_{i=1}^{n} x_i \cdot p_i,$$

для непрерывной случайной величины

$$M[x] = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot \varphi(x) dx,$$

где: $\varphi(x)$ – плотность вероятности.

Рассмотрим примеры.

Пример 2. Пусть в энергосистеме возможны энергетические потери: 30, 100 и 200 МВт, причем их вероятности соответственно равны 0.003, 0.001 и 0.0002. Рассчитать математическое ожидание недопуска энергии за один год.

По формуле для математического ожидания дискретной случайной величины имеем:

$$M[x] = 8760 \cdot (30 \cdot 0.003 + 100 \cdot 0.001 + 200 \cdot 0.0002) =$$
$$= 2014.8 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Но в том случае, когда разброс значений случайной величины слишком большой, одного математического ожидания становится недостаточно для полной характеристики энергетических процессов. В связи с этим также вводится понятие дисперсии, как меры отклонения случайной величины от ее математического ожидания. Дисперсия выражается по формуле:

$$D[x] = M\big[x - M[x]\big]^2.$$

Для дискретной случайной величины:

$$\mathrm{D}[x] = \sum_{i=1}^{n} \big[x_i - M[x]\big]^2 \cdot p_i,$$

для непрерывной случайной величины:

$$\mathrm{D}[x] = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - M[x])^2 \cdot \varphi(x) dx.$$

Квадратный корень из величины дисперсии называется среднеквадратичным или стандартным отклонением случайной величины:

$$\delta[x] = \sqrt{D[x]}.$$

Как уже говорилось выше, нормальное распределение широко используется в энергетике при работе со случайными величинами. Рассмотрим соответствующий пример.

Пример 3. Среднесуточная минимальная нагрузка в энергосистеме равна 1500 МВт. Примем, что отклонения суточных минимумов в данной энергосистеме подчинены закону нормального распределения с известными нам числовыми характеристиками. Требуется найти вероятность того, что суточный минимум будет колебаться в пределах 1300-1550 МВт. Известно, что дисперсия D[x]=2500.

Воспользуемся выражением для вероятности попадания случайной величины, подчиняющейся закону нормального распределения, в некоторый интервал [x_1; x_2):

$$P(x_1 \ll x < x_2) = \frac{1}{2}\Phi\left(\frac{x_2 - M}{\delta}\right) - \frac{1}{2}\Phi\left(\frac{x_1 - M}{\delta}\right),$$

где: Ф – интеграл вероятности, М – математическое ожидание, δ – среднеквадратическое отклонение.

М = 1500; $\delta = \sqrt{D[x]} = 50$. В таком случае имеем:

$$P(1300 \ll x < 1550) = \frac{1}{2}\Phi\left(\frac{1550 - 1500}{50}\right) - \frac{1}{2}\Phi\left(\frac{1300 - 1500}{50}\right)$$
$$= \frac{1}{2}\Phi(1) - \frac{1}{2}\Phi(-4) = \frac{1}{2}\cdot 0.3413 - \frac{1}{2}\cdot(-0.4999968) = 0.4206484.$$

Таким образом, в данной работе мы познакомились с основными формулами и теоремами теории вероятностей, применяемыми к случайным величинам в энергетике. На реальных и приближенных примерах рассмотрели их использование в расчетах, выполняемых при решении задач по прогнозированию и оптимизации энергосистем.

Список литературы:

1. Справочник по математике для научных работников и инженеров: Определения. Теоремы. Формулы / Г. Корн, Т. Корн; [Пер. И.Г. Арамановича (ред. пер.) и др.]. – 2-е. изд., стер. - М.: Наука, 1973. – 831 с.: ил.
2. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том 1. — 4-е изд. / К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин. — СПб.: Питер, 2003.— 463 с.: ил.
3. Теория вероятностей и математическая статистика. Учеб. пособие для вузов. Изд. 5-е, перераб. и доп. М., «Высш. школа», 1977., 479 с.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

НАУЧНОЕ СООБЩЕСТВО СТУДЕНТОВ XXI СТОЛЕТИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Электронный сборник статей по материалам LXXX студенческой международной научно-практической конференции

№ 8 (79)
Август 2019 г.

В авторской редакции

Издательство АНС «СибАК»
630049, г. Новосибирск, Красный проспект, 165, офис 4.
E-mail: mail@sibac.info

16 +

СибАК

www.sibac.info