

## **СЕКЦИЯ 14**

# **«НАУЧНО- МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИКИ»**

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                         |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| КОМПЛЕКС ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТРОЙСТВ Абдулвелеева Р.Р., канд. пед. наук, доцент, Утямишев Д.М. ....                                                                                     | 2635 |
| ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ Андросов В.И., Полякова Л.Ю., канд. техн. наук, доцент .....                                                                                   | 2641 |
| БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ В ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ МИКРОПОЛОСКОВЫХ СВЧ-УСТРОЙСТВ Аникин А.В. ....                                                                     | 2644 |
| ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВОБОДНЫХ ПЛЕНОК АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВАНИЯ СВЧ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ Аникин А.В., Филяк М.М., канд. техн. наук, доцент .....                            | 2650 |
| АЛГОРИТМ НАПРАВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЯ КОЛЕС ИЛОНА Безгин А.С. канд. техн. наук, доцент, Греков Э.Л. канд. техн. наук, доцент, Жаксылыков Е.С. ....                                                              | 2653 |
| АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ И СОДЕЙСТВИЯ ТРУДОУСТРОЙСТВУ ОБУЧАЮЩИХСЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ Белянцева Н.В., Новиков И. С. ....                                                 | 2659 |
| ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕГИОНАХ Бледных А.А., Митрофанов С.В., канд. техн. наук, доцент. ....                                                                                | 2664 |
| МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ВЫПОЛНЕНИЮ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА Богданов А.В., канд. техн. наук, Бондарев А.В., канд. техн. наук, ..... | 2669 |
| АКТУАЛИЗАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ЦОС ПРИ ПОДГОТОВКЕ МАГИСТРОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА» Булатов В.Н., д-р техн. наук, профессор, Тимонов Е.С. ....                                          | 2672 |
| СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ УРОВНЕЙ НАПРЯЖЕННОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И МАГНИТНОГО ПОЛЕЙ ЛЭП Быковская Л. В., канд. техн. наук, доцент, Комиссарова Т.В. ....                                                          | 2681 |
| ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ЛЭП 500 кВ Быковская Л.В., канд. техн. наук, доцент, Маслов В.А.,                                                                              | 2685 |
| АНАЛИЗ СИСТЕМ РАСЧЁТА ПОТЕРЬ В ТРАНСФОРМАТОРАХ Быковский В.В. канд. техн. наук, доцент, Фахрутдинов Т.А. ....                                                                                           | 2693 |
| СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ПЕРЕВООРУЖЕНИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ Влацкая Л.А., канд. техн. наук, доцент, Саккузиев Р.М.                                      | 2697 |

|                                                                                                                                                                                   |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ B-SPLINE РАЗЛОЖЕНИЯ Влацкая Л.А., канд. техн. наук, доцент, Скачков А.С. ....                                                                                  | 2703 |
| ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ И ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ Безгин А.С., канд. техн. наук, доцент, Греков Э.Л., канд. техн. наук, доцент, Волик В.Н. ....                            | 2709 |
| О РАЗВИТИИ ЭЛЕКТРОНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ. Герц М.А., Герц В.А., Сыродоева Л.В. ....                                                                                                    | 2713 |
| ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ТИРИСТОРНОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ Греков Э.Л. канд. техн. наук, доцент, Безгин А.С., канд. техн. наук, Сорокин В.А. .... | 2716 |
| ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КАК ЗАВЕРШАЮЩИЙ ЭТАП ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИКИ Гусейнова Т.Н., Шамсутдинова С.А. ....                                                | 2721 |
| К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАТРАТ УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ВЫПУСКНИКОВ ВУЗА ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАПРАВЛЕНИЯМ Ерунов В.П., канд. техн. наук, доцент .....                        | 2725 |
| К ВОПРОСУ РЕКОНСТРУЦИИ ПОДСТАНЦИИ ПС 110/35/6 кВ г. ОРСКА Задорожный В.Д., канд. техн. наук, доцент .....                                                                         | 2737 |
| ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ Коряков О.В., Кортунков А.А., Гук А.А. ....                                                                  | 2742 |
| АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТЕЛЕЖКИ И ПОДАЧИ ШЛАКООБРАЗУЮЩИЕ СМЕСИ В КРИСТАЛЛИЗАТОР Лицин К.В., канд. тех. наук, доц., Утямишев Д.М. ....                                  | 2747 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ РЕЖИМА РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ Лобанов В.А., Валиуллин К.Р. канд. техн. наук.....     | 2751 |
| АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОТ ГТУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ГПЗ Матвейкин С. Н., Нелюбов В. М., канд. техн. наук, доцент .....                                        | 2759 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ СОЛНЦА С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО УРАЛА Митрофанов С.В., канд. техн. наук, доцент, Калашник Н.А., Рычкова А.С. ....                  | 2767 |
| АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ Митрофанов С. В., канд. техн. наук, доцент, Распутко М.В. ....                      | 2773 |

|                                                                                                                                                                                                                         |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| НАХОЖДЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА<br>Митрофанов С.В., канд. техн. наук, доцент, Распутько М.В. ....                                                    | 2778 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ С ПОМОЩЬЮ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА<br>Митрофанов С.В., канд. техн. наук, доцент, Суховеев А.В. ....                                            | 2783 |
| МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭКСПЛУАТАЦИЯ И МОНТАЖ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ» С УЧЁТОМ ТРЕБОВАНИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА<br>Морозов В.А., Митрофанов С.В., канд. техн. наук, доцент, Кильметьева О.И. .... | 2788 |
| ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ ФИЛЬТРОСИММЕТРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ<br>Нелюбов В.М., канд. техн. наук, доцент, Жилиев Н.Ю. ....                                                                                 | 2793 |
| ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМЕ ОСВЕЩЕНИЯ<br>Посягина Т.А., канд. пед. наук., Федоров С.В., канд. техн. наук. ....                                                                                                           | 2797 |
| ОБОСНОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РАЙОНА ГОРОДА<br>Семенова Н.Г., д-р пед. наук, доцент, Грубник Е.И. ....                                                                                       | 2801 |
| РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ МЕТОДОВ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ДЛЯ ВЫБОРА АЛЬТЕРНАТИВЫ РАЗВИТИЯ СЭС РАЙОНА ГОРОДА<br>Семенова Н.Г., д-р пед. наук, доцент, Грубник Е.И. ....                                                      | 2804 |
| РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ КОТТЕДЖА НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА МАМДАМИ<br>Семенова Н.Г. д-р пед. наук, профессор, Умарханов К.Н. ....                                 | 2811 |
| ВЫБОР НАИЛУЧШЕЙ АЛЬТЕРНАТИВЫ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ОЦЕНИВАНИЯ<br>Семенова Н.Г., д-р пед. наук, профессор, Чугунов А.С. ....            | 2816 |
| АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОГРАММ КОНТРОЛЯ РЕЖИМАМИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ<br>Семенова Н.Г. д-р пед. наук, доцент, Бахчиев А.Ю. ....                                                                                       | 2820 |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «МВТУ» В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ<br>Сильвашко С.А., канд. техн. наук, доцент                                                                                                      | 2825 |
| МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЕДИНИЦЫ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ПОДВИЖНОЙ ОПОРЫ<br>Соколов В.Ю., канд. техн. наук, доцент, Бисенов А. С. ....                                                       | 2831 |
| АНАЛИЗ ОПЫТА ФАКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОТУРБИННЫХ АГРЕГАТОВ SAPSTONE C1000, ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ И МЕТОДЫ                                                                                                               | 2633 |

|                                                                                                                                                                                                                          |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ИХ РЕШЕНИЯ Соколов В.Ю., канд. техн. наук, доцент Карпухов В.Н.,<br>начальник службы энергообеспечения .....                                                                                                             | 2834 |
| УСТАНОВКА АБСОРБЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ НУЖД<br>КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ МОЛЛА «АРМАДА» Соколов В. Ю., канд. техн.<br>наук, доцент, Кузнецов П. В., Рычкова А. С. ....                                                    | 2843 |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОВОЙ И<br>ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ<br>ЭНЕРГЕТИКОВ В ВУЗе Соколов В.Ю., канд.техн.наук, доцент, Соколова<br>Т.Ю., канд.экон.наук, доцент.....            | 2850 |
| НАПИСАНИЕ ИСХОДНОГО КОДА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО<br>КОМПЛЕКСА ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 10КВ<br>Султанов Н.З., д-р техн. наук, профессор, Александров Е.Д. ....                                                  | 2854 |
| РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА, ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ<br>ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМАЛЬНОГО РАСХОДА<br>РЕСУРСА АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ Сыроваткин С.Е., Шлейников<br>В.Б., канд. техн. наук, Маслов Е.П., Викторov В.В. .... | 2859 |
| ВЫБОР СИМУЛЯТОРА ЭЛЕКТРОЦЕПИ ДЛЯ ВИРТУАЛЬНЫХ<br>ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ Ушакова Н.Ю., канд.<br>техн. наук, доцент .....                                                                                     | 2863 |
| ДИСЦИПЛИНА «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ<br>ПРЕДПРИЯТИЙ» В ПОДГОТОВКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКОВ Шлейников<br>В.Б., канд .техн. наук, доцент, Мусина Р.Р., Клычева М.Д. ....                                                    | 2867 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕГРЕВА ПРОВОДНИКА В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ<br>ТЕПЛООТВЕДЕНИЯ Шлейников В.Б., канд. техн. наук, Япаров Д.А. ....                                                                                               | 2873 |
| ВОПРОСЫ, РАЗВИВАЮЩИЕ ОБРАЗНОСТЬ МЫШЛЕНИЯ У СТУДЕНТОВ<br>– ЭЛЕКТРОТЕХНИКОВ Ямансарин И.И. канд. техн. наук, Саликов М.П., канд.<br>техн. наук, доцент .....                                                               | 2876 |

# **КОМПЛЕКС ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТРОЙСТВ**

**Абдулвелеева Р.Р., канд. пед. наук, доцент, Утямишев Д.М.**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

**Новотроицкий филиал национального исследовательского технологического университета «Московский институт стали и сплавов»**

В процессе разработки и модернизации систем промышленных объектов нужно иметь чёткое представление о ходе самого технологического процесса. Чтобы получить такое представление нужно визуализировать эти объекты, то есть реализовать его в компьютерной программе в виде имитационной модели. Для разработки имитационных моделей промышленных устройств используется объектно-ориентированная среда программирования.

Целью работы является использование объектно-ориентированного программирования для разработки имитационных моделей промышленных устройств

В качестве объектно-ориентированной среды создания модели была выбрана открытая среда Lazarus, основанная на языке ObjectPascal для компилятора FreePascal. Преимущество Lazarus заключается в кроссплатформенности. Кроссплатформенность - возможность беспрепятственного переноса и последующей работы программы на иную программную и аппаратную платформу.

Задача заключается в том, чтобы создать комплекс имитационных моделей различных промышленных устройств, с целью изучения их технологических характеристик.

Созданный комплекс включает в себя две имитационные модели:

1. Устройство для подачи слябов на продольную порезку
2. Автоматическая система перемещения тележки и подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок

Первая программа – это имитационная модель автоматической системы перемещения тележки и подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок.

На рисунке 1 представлено главное окно программы. В левой части окна расположена модель устройства, справа - пульт управления и панели с датчиками.

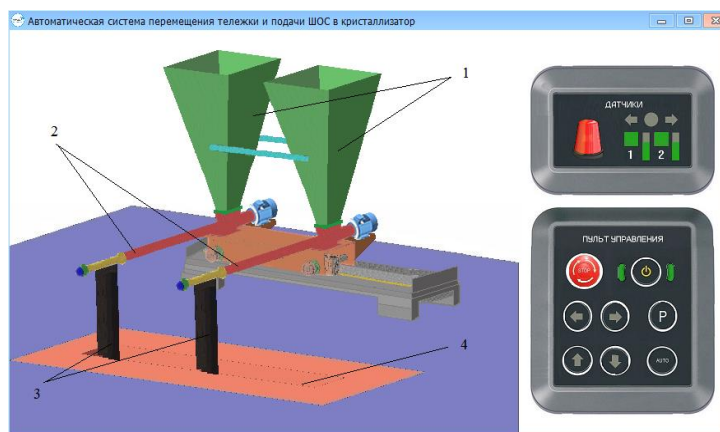


Рис. 1 Главное окно программы:

1 – бункеры; 2 – шнеки; 3 – шлакообразующая смесь; 4 – кристаллизатор

Данная система состоит подвижной платформы, на которой находятся бункера 1. В них загружается шлакообразующая смесь 3. Во время движения платформы, которая движется только в горизонтальном направлении, шнеки 2 равномерно распределяют шлакообразующую смесь 3 в кристаллизатор 4.

На рисунке 2 изображен пульт управления, с помощью которого модель функционирует и все происходящие процессы информируются датчиками. На пульте управления имеется кнопка включения программы 6. О том, что программа включена, информируют зеленые индикаторы расположенные слева и справа от самой кнопки. Запустив программу, активируются кнопки «←» и «→» отвечающие за перемещение платформы с бункерами.

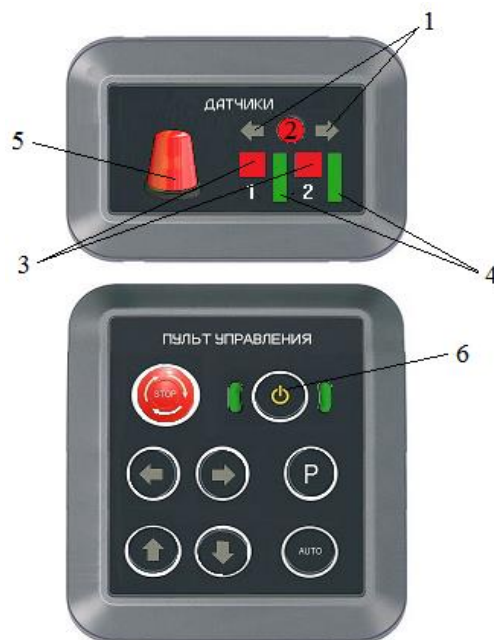


Рис. 2 Пульт управления и табло датчиков:

1 – датчик движения платформы; 2 – датчик остановки; 3 – датчик подачи ШОС; 4- датчик уровня ШОС в бункерах; 5 – лампа аварийной остановки;

6 – кнопка включения модели

Показателем уровня шлака в бункерах ШОС являются датчики 4. О том,

что платформа движется информируют датчики 1. Платформу можно остановить с помощью кнопки «Р», при нажатии на которую загорается датчик 2. Кнопки «↑» и «↓» отвечают за подачу ШОС через шнеки. Процесс сопровождается подачей сигнала на датчики 3. Зеленый цвет информирует о том, что идет подача, а красный о том, что подачи нет. Так же на пульте расположена кнопка «STOP» - кнопка аварийной остановки программы, нажав на которую загорится лампа 5, и кнопка автоматического режима «АУТО».

Программа позволяет реализовать автоматический режим управления подачи слябов и ручной режим. Рассмотрим особенности работы программы в этих режимах.

Кнопка ручного режима «→» активируется нажатием кнопки включения программы. Нажав кнопку «→» платформа, находящаяся с левого края, начинает движение. Когда платформа с бункерами начинает двигаться автоматически подается шлакообразующая смесь в кристаллизатор. При необходимости подачу смеси можно остановить и возобновить, не останавливая платформу. Весь процесс сопровождается включением соответствующих датчиков. Дойдя до правого края, платформа останавливается, а так же прекращается подача шлакообразующей смеси. Далее, нажав кнопку «←», начинается движение в обратном направлении. С течением времени шлакообразующая смесь в бункерах заканчивается, о чем говорит показания датчиков. Когда уровень смеси приближается к ее минимуму, то платформа сама автоматически начинает двигаться в начальное положение для загрузки. О том, что шлакообразующая смесь заканчивается, идет ее загрузка и окончание информируют сообщения на панели. После окончания загрузки платформа снова готова к работе.

Автоматический режим «АУТО» реализует тот же самый алгоритм, но без вмешательства извне.

В процессе разработки имитационной модели автоматической системы перемещения тележки и подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок была получена полностью исправная и рабочая компьютерная программа, управляемая с помощью функционального пульта.

Второй разработанной программой является Имитационная модель для подачи слябов на продольную порезку

На рисунке 3 показано окно программы устройства для подачи слябов на продольную порезку. Устройство функционирует с помощью пульта управления

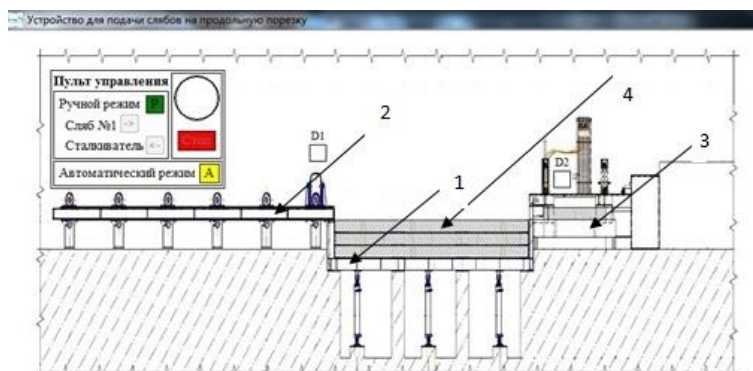


Рис. 3 - Имитационная модель для подачи слябов  
1 – подъемник; 2 – сталкиватель; 3 – ножницы; 4 – слябы

Окно программы представляет из себя боковой срез устройства для подачи слябов на продольную порезку, датчиков движения и пульта управления

Пульт управления имеет три главные кнопки: включение ручного режима, включение автоматического режима и экстренная остановка - стоп. Так же присутствуют две дополнительные кнопки ручного режима, которые двигают сталкиватель

Пульт управления устройством показан на рисунке 4.

Программа позволяет реализовать автоматический режим управления подачи слябов и ручной режим. Рассмотрим особенности работы программы в этих режимах.



Рис. 4 - Пульт управления

Ручной режим осуществляется нажатием кнопки «Р». Начало работы системы сигнализирует включение звукового сигнала. Сначала поднимается гидравлический подъемник 1 со слябами до уровня сталкивателя 2 при этом процесс сопровождается включением датчика D1. Далее, нажатие на кнопку «→» приводится в движение сталкиватель, который толкает первый сляб на порезку. Как только сталкиватель достигнет ножниц 3 он остановится. В этот момент включается датчик D2 и включается кнопка «←». Процесс показан на рисунке 6

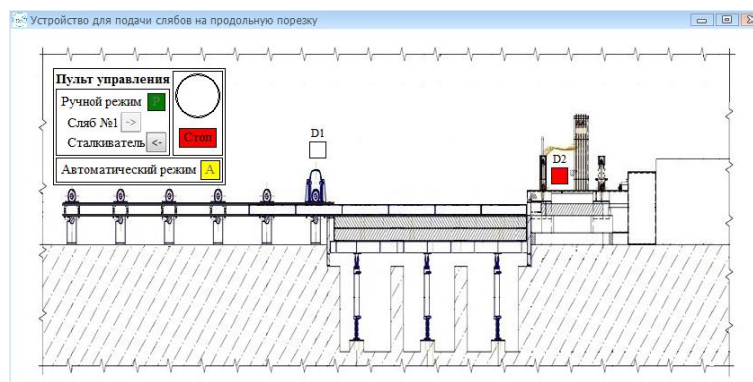


Рис.5 – Подача первого сляба

При нажатии на эту кнопку, программа возвращает сталкиватель 2 в исходное положение.

Когда сталкиватель 2 достигнет крайнего положения, придет в действие подъемник 1, который поднимет уже второй сляб до уровня сталкивателя 2. Включится датчик D1. Далее загорается кнопка «→». Эта процедура показана на рисунке 6.

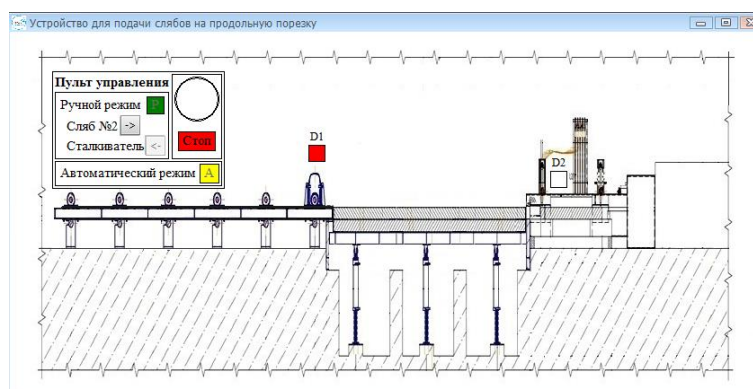
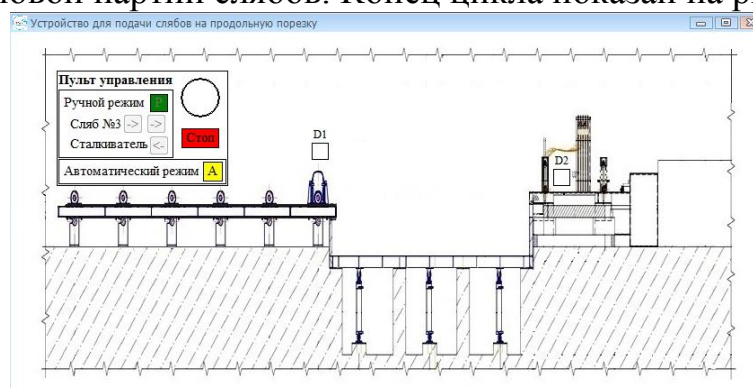


Рис.6 – Подготовка к подаче второго сляба

При нажатии кнопки сталкиватель 2 будет толкать второй сляб к ножницам 3. Как только сляб достигнет конца загорится кнопка «←», которая отведет сталкиватель 2 в начальное положение. В этот же момент включается датчик D2.

После этого процедура повторяется и с третьим слябом. Когда сталкиватель 2 вернется в исходное положение, подъемник опустится в нулевое положение, прозвучит сигнал окончания процесса. Далее цикл повторится с момента загрузки новой партии слябов. Конец цикла показан на рисунке 7.



### Рис.7 - Окончание процесса

Автоматический режим «А» реализует тот же самый алгоритм, но без вмешательства извне.

На пульте управления предусмотрена кнопка «Стоп», которая экстренно останавливает движение устройства, как в ручном, так и в автоматическом режимах.

### Список литературы

1. Лицин К.В., Гусев А.А., Ковальчук Т.В., Исследование электропривода системы подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок // Известия высших учебных заведений. Электромеханика Издательство: Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова (Новочеркасск). 2018. Т.61, № 5. С. 38-43.

2. Абдулвелеева Р.Р., Утямишев Д.М. Имитационная модель устройства для подачи слябов на продольную порезку. Научное электронное издание. Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития [Электронный ресурс]: тезисы докладов Четвертой всероссийской молодежной научной конференции / под ред. Д. Ю. Муромцева и др.; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. С. 120-121. Ковальчук Т.В., Лицин К.В. Модернизация системы электропривода сталкивателя установки межклетьевого охлаждения ЛПЦ-1 АО «Уральская сталь» // Актуальные проблемы в машиностроении. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2018. Т.5. №1. 60-65 с.

3. Алексеев Е. Р. FreePascal и Lazarus: учебник по программированию. М.: ДМК-пресс, 2010. – 438 с.

# **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

**Андросов В.И., Полякова Л.Ю., канд. техн. наук, доцент  
Кумертауский филиал  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

Требования, предъявляемые к выпускнику вуза, вытекают из основной цели профессионального образования, которая представлена в «Концепция развития непрерывного образования взрослых в Российской Федерации на период до 2025 года» и обозначена как «...формирование необходимых профессиональных компетенций и квалификаций, и, как следствие, приобретение новых профессиональных возможностей, повышение его трудовой мобильности» [1].

Традиционно в высших учебных заведениях вырабатывали у выпускников предварительную профессиональную готовность. Переход в обучении студентов в соответствии с ФГОС ВО 3++ будет эффективным, если коллектив вуза, и каждый преподаватель станет вводить в образовательный процесс активные и интерактивные методы, акцентируя внимание на самостоятельной работе студентов.

Согласно ФГОС ВО для бакалавров направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника по дисциплинам базовой части и обязательным дисциплинам вариативной части соотношение аудиторной и самостоятельной работы находится в соотношении 1:2.

Самостоятельная работа - нужный и важный этап в организации занятия, и ею необходимо продумывать наиболее тщательно. Самостоятельная работа, способствует обобщению и углублению приобретенных знаний и, главное, развитию умений самостоятельно овладевать новыми знаниями, развитию инициативы, творческой активности.

Как правило, время, отведенное на самостоятельное изучение дисциплины обучающимся используется неэффективно. Это характерно для тех дисциплин, при изучении которых предусмотрено выполнение курсовых работ или проектов, связанных с большим объёмом вычислений, при решении систем уравнений, действиях с комплексными числами, в частности дисциплины «Теоретические основы электротехники». Не имея навыков работы с пакетами прикладных программ для математических вычислений, все расчеты выполняются студентами с помощью калькулятора, установленного в сотовый телефон. Это приводит к большим потерям времени, особенно из-за частых пересчетов вследствие ошибок.

Для повышения эффективности использования времени при выполнении работ, связанных с большим объёмом вычислений, необходимо научить студентов использовать пакеты прикладных программ: MatLab, Maple,

MathCad, Mathematica. Программа MathCad, как и остальные, позволяет выполнить вычисления по всем разделам математики, но отличается от других программ легкостью освоения и уникальным интерфейсом, позволяющим производить вычисления в математической нотации, привычной для обучающихся со школы [2].

Применение вычислительной техники позволит усложнить анализируемые схемы при проведении лабораторных работ. Поэтому целесообразно изучать дисциплину «Теоретические основы электротехники» начиная с теории, затем произведению расчетов и завершать теорией планирования эксперимента. Для этого, решение задач на практических занятиях и выполнение лабораторных работ проводить по одинаковым схемам и исходным данным. Тогда студенты, применяя теоретические знания, на практических занятиях будут выполнять расчеты, а при выполнении лабораторных работ - подтверждать результаты расчетов экспериментальными данными [3].

Применение математических программ позволит проводить лабораторную работу не по стандартному сценарию: проведение эксперимента, обработку его результатов и их графическую иллюстрацию, расчетное подтверждение эксперимента, а продолжить исследования на виртуальной модели в системе Mathcad [4]. Выполнив, традиционные замеры на стенде и обработав их, далее студент проводит исследовательскую часть работы, используя дополнительные условия, выбранные самостоятельно или заданные преподавателем. Исследовательская часть работы позволяет студентам делать самостоятельные выводы о закономерностях процессов, происходящих в электрических цепях, заставляет применять для анализа ранее изученный материал, совершенствовать владение вычислительной техникой [4]. В некоторых случаях дальнейшие исследования возможно продолжить в НИРС.

Интуитивно понятный интерфейс построения графиков в Mathcad, позволяет легко отображать результаты выполнения практических заданий, лабораторных работ, курсовых проектов и работ в 2D и 3D графиках. Это даст возможность студенту не только исследовать влияние широкого спектра различных параметров и режимов на выходные данные, но и визуально и теоретически, оценить последствия такого влияния [4].

Возможность вставки на рабочий лист Mathcad текста, рисунков, подготовленных в графических специализированных программах AutoCAD, Компас, позволяет качественно оформить пояснительную записку при выполнении любой студенческой работы. Однако, при интеграции в отчеты простых графических объектов, например, таких как векторные диаграммы токов и топографические диаграммы напряжений, широко применяемых при анализе электрических цепей переменного тока, не следует сразу обращаться к сложным программам AutoCAD и Компас. Такие несложные задачи, можно решить в текстовом редакторе MS WORD, который применяется для оформления пояснительных записок и технических отчетов. В этом

программном пакете имеется возможность построения векторных диаграмм, средствами встроенной графики [4].

Таким образом, в связи с увеличением времени, отводимого студенту на самостоятельную работу, преподаватель должен научить студента эффективно его использовать. Для этого при сложных математических расчетах необходимо научиться использовать программу MathCad, которая позволит уменьшить затраты времени при выполнении расчётов по сложным формулам, включая интегралы и производные, решении систем уравнений алгебраических и дифференциальных, различного порядка и различными методами, выполнении операций с комплексными числами, векторами и матрицами, прямом и обратном преобразовании Лапласа.

Применение пакетов прикладных программ для вычислений позволит усложнить исследуемые схемы при выполнении лабораторных и практических работ, а значит, позволит повысить уровень обладания обучающегося общими и профессиональными компетенциями, оформления пояснительных записок и технических отчетов в соответствии с требованиями.

#### Список литературы

1. Концепция развития непрерывного образования взрослых в Российской Федерации на период до 2025 года // режим доступа: <http://ipk.bspu.ru/sites/default/files/koncepciya.docx.pdf>

2. Андросов, В.И. Применение MathCad в ТОЭ / Бызов Е.В., Андросов В.И. // Наука. Образование. Производство: сборник материалов VI Всероссийской студенческой конференции с международным участием – Кумертау: Кумертауский филиал ОГУ, 2015. – 124 с.

3. Андросов, В.И. Сквозной анализ схемы в курсе теоретических основ электротехники / Андросов В.И. // Достижения вузовской науки: от теории к практике: сборник материалов Всероссийской конференции с международным участием – Оренбург: Издательско-полиграфический комплекс ОГУ, 2018. – 322 с.

4. Андросов, В.И. Создание векторных диаграмм в MS WORD / Мельников А.Д., Андросов В.И. // Образование: профессиональный дебют: сборник материалов IV Международной студенческой научно-практической конференции – Оренбург: Издательско-полиграфический комплекс ОГУ, 2018.- 333 с.

# **БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ В ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ МИКРОПОЛОСКОВЫХ СВЧ-УСТРОЙСТВ**

**Аникин А.В**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

Возможности современных информационных технологий позволяют получать доступ к базам данных библиотечных систем [1] по компьютерным сетям. Методы библиометрического анализа [2] дают возможность быстро оценить актуальность и новизну темы работы.

Целью данной работы являлся анализ актуальности исследований в области изучения наноразмерных пленочных структур для микрополосковых СВЧ-устройств.

Современные тенденции к миниатюризации микро и нанoeлектронных устройств стимулирует интерес к созданию наноразмерных материалов с широким спектром структурно-морфологических и электрофизических характеристик. В последнее время в качестве матрицы для получения наноструктурированных материалов широко применяется пористый анодный оксид алюминия. Пленки, полученные в щелочных электролитах, не изучались в широких масштабах. Однако щелочные электролиты представляют определенный научный и практический интерес.

Заполняя поры оксида алюминия диэлектрическими материалами, можно получить пленку с низкой диэлектрической проницаемостью. Применение таких подложек весьма перспективно в устройствах СВЧ, в технологии создания многоуровневых систем межсоединений, так как позволяет значительно снизить емкостные связи между элементами и, тем самым, повысить быстродействие разрабатываемых приборов [3].

Весьма актуальной представляется разработка технологии изготовления диэлектрических оснований для структур СВЧ-диапазона в виде свободных пленок пористого анодного оксида алюминия. Анодный оксид алюминия обладает специфической наноразмерной ячеисто-пористой структурой и, как следствие, уникальными диэлектрическими, оптическими и механическими свойствами, благодаря чему может успешно применяться при создании элементной базы изделий СВЧ-электронной техники.

Традиционно для получения пористого анодного оксида алюминия используют кислотные электролиты. Анодирование алюминия в щелочных растворах обуславливает особую структуру пленки и, как следствие, специфические электрофизические и механические свойства. Анодный оксид алюминия из щелочных электролитов может быть различной морфологии (барьерного и пористого типа), с размерами пор от 50 до 200 нанометров. Вследствие чего величина диэлектрической проницаемости основания будет

изменяться от 3,5 до 7, т.е. пленки свободного анодного оксида алюминия являются низкоконтантными диэлектриками.

Ранее было показано, что симметричные микрополосковые линии, созданные по технологии анодного оксида алюминия с использованием щелочного электролита, не уступают по электрическим параметрам микрополосковым линиям, созданных с применением наиболее распространённых технологических решений на сегодняшний день.

Исследование наноразмерных пленочных структур для микрополосковых СВЧ-устройств осуществляется на кафедре промышленной электроники и информационно-измерительной техники.

Направление исследования наноразмерных пленочных структур для микрополосковых СВЧ-устройств. соответствует приоритетному направлению РФ и Оренбургской области - индустрия наносистем.

Тема НИР соответствует кодам ГРНТИ 81.09.03; 47.09.31, приоритетному направлению РФ и Оренбургской области - индустрия наносистем и критическим технологиям: компьютерное моделирование наноматериалов, наноустройств и нанотехнологий; технологии диагностики наноматериалов и наноустройств.

Соответствующих тематике НИР перечень ключевых слов и словосочетаний включает словосочетания: анодный оксид алюминия; щелочные электролиты; полосно-пропускающий фильтр; миллиметровый диапазон волн; микрополосковые СВЧ устройства

В качестве основных источников научной информации служили сайты: <http://elibrary.ru>, <http://www1.fips.ru>.

В ходе поиска публикаций, по ключевым словам, было выделено 40 источников. Для структурирования результатов библиографического поиска была разработана библиографическая таблица, включающая сведения о типе работы, ее выходных данных и содержании (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты библиографического поиска

| № п/п | Выходные данные                                                                        | Краткое описание                                                                                                                                                                                                                                          | Ссылка                                                                                          |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Микрополосковый СВЧ полосно-пропускающий фильтр<br>Дутышев И.Н<br>RUS 79718 16.06.2008 | Полезная модель относится к сверхвысокочастотной технике, а именно к микрополосковым сверхвысокочастотным полосно-пропускающим фильтрам, которые применяются для фильтрации полезных и подавления паразитных сигналов в сверхвысокочастотных устройствах. | <a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=18677630">https://elibrary.ru/item.asp?id=18677630</a> |

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                        |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|             |                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                        |
| Диссертации |                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                        |
| 2           | <p>Анодирование алюминия в щелочных электролитах: кинетика образования, морфология и свойства пленок:<br/>         Филяк М.М<br/>         Год: 2014<br/>         Число страниц: 22<br/>         Специальность: 01.04.07 - Физика конденсированного состояния</p> | <p>Разработка и получение наноматериалов и нанокомпозитов с заданными физико-химическими свойствами является актуальной проблемой современной науки и техники. Это обусловлено тем, что наноструктуры представляют практический и научный интерес как для понимания фундаментальных электронных, магнитных, оптических, тепловых и механических свойств материалов, имеющих нанометровые размеры, так и с точки зрения создания на их основе приборов с принципиально новыми физическими свойствами.<br/>         Цель работы - установление закономерностей кинетики электрохимического окисления алюминия в щелочном электролите и зависимости морфологии анодной пленки и ее свойств от режима анодирования.</p> | <p><a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=30398945">https://elibrary.ru/item.asp?id=30398945</a></p> |
| Статьи      |                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                        |
| 3           | <p>Закономерности роста анодного оксида алюминия в щелочных электролитах<br/>         Филяк М.М, Каныгина О.Н<br/>         Том: 10 Номер: 2 Год: 2013 Страницы: 209-213<br/>         УДК: 539.2;538.9-405;548</p>                                                | <p>Получены образцы анодного оксида алюминия электрохимическим окислением в растворах щелочных электролитов. Определена толщина оксидной пленки методом гравиметрии и профилометрическим методом. Исследованы закономерности роста анодного оксида в зависимости от режимов анодирования.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p><a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=18910326">https://elibrary.ru/item.asp?id=18910326</a></p> |

Согласно анализу библиографической таблицы, были определены количественные показатели публикационной активности:

- общее число публикаций – 40;
- число патентов – 6;
- число статей в журналах – 30;
- число статей в журналах, входящих в WebofScience или Scopus - 0;
- число статей в журналах, входящих в ядро РИНЦ – 14;
- число статей в журналах, входящих в RSCI – 14;
- средневзвешенный импакт-фактор журналов, в которых были опубликованы статьи – 0,402;
- число авторов – 100;
- среднее число публикаций в расчете на одного автора – 0,4;
- суммарное число цитирований публикаций – 102;
- среднее число цитирований в расчете на одну статью – 2,55;
- число статей, процитированных хотя бы один раз – 23;
- число самоцитирований (из статей этой же подборки) – 8;
- индекс Хирша – 6.

Статистическая обработка библиографического списка позволила выявить динамику публикаций по проблеме процесса создания и изучения наноразмерных пленочных структур для микрополосковых СВЧ-устройств (рисунок 1).

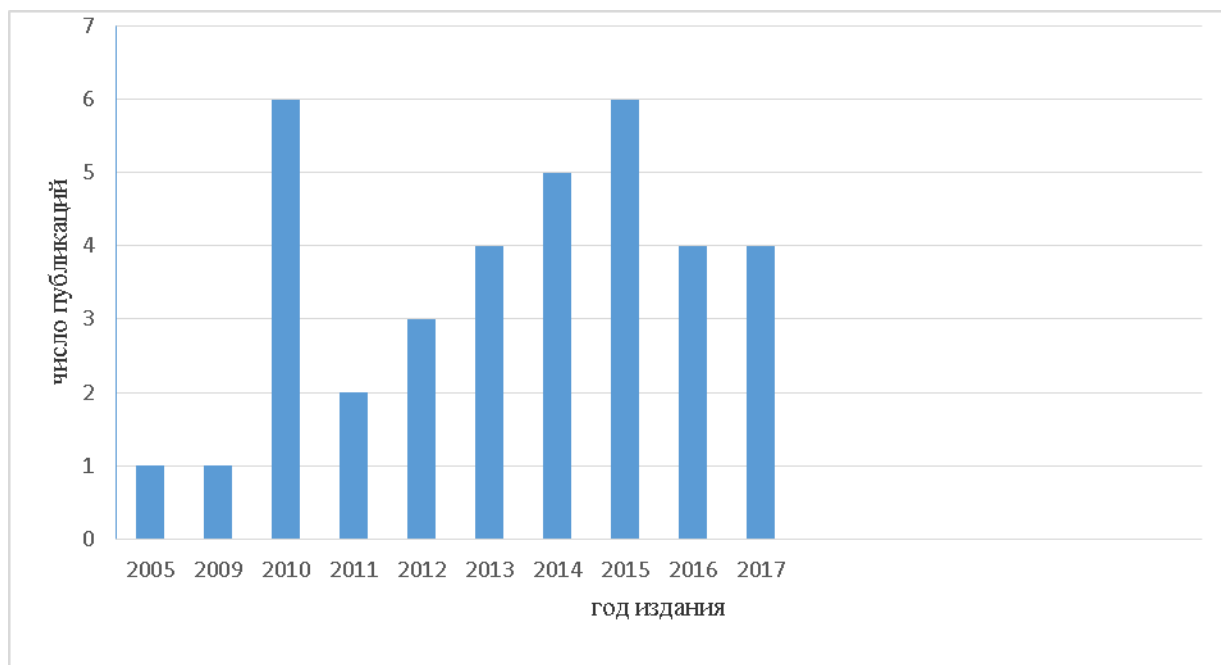


Рисунок 1 - Распределение публикаций по годам

Судя по диаграмме, наблюдается устойчивый рост интереса к проблеме процесса создания и изучения наноразмерных пленочных структур для микрополосковых СВЧ-устройств. Данные библиографической таблицы

позволили сгруппировать публикации по различным критериям. В результате было установлено, что наибольший интерес к теме НИР проявляет журнал Вестник Оренбургского государственного университета. Исследование наноразмерных пленочных структур наиболее актуально в областях химии, физики, электронике и радиотехнике. Ведущей организацией по изучению проблемы создания анодных пленок является Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники.

Судя по распределению публикаций по авторам, ведущим автором по рассматриваемой проблематике является Филяк Марина Михайловна, сотрудник Оренбургского государственного университета. В системе РИНЦ у Филяк М.М. всего найдено 34 публикации с общим количеством цитирований 60.

Динамика публикаций по числу цитирований иллюстрируется рисунком 2.

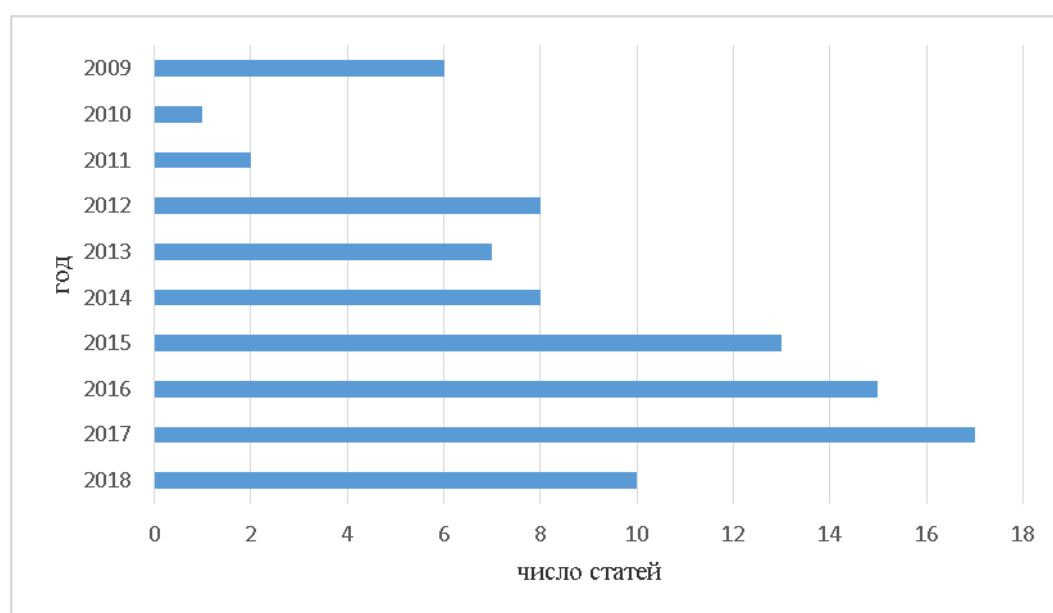


Рисунок 2 – Распределение публикаций по числу цитирований

Согласно рисункам 1 и 2, можно сделать вывод, что наблюдается достаточно активное цитирование публикаций по выбранной теме исследований. Наибольшее количество цитирующих публикаций приходится на 2017 году. Таким образом, в результате проведенного библиометрического анализа была подтверждена актуальность исследований в области изучения наноразмерных пленочных структур для микрополосковых СВЧ-устройств. Были выявлены ведущие организации и авторы, работающие по данной тематике. Определены направления научных исследований и базовые журналы, в которых публикуется наибольшее количество работ.

#### Список литературы

1. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://elibrary.ru> (дата обращения: 02.11.2016).

2 Котелкина Е.Ю., Глушеченко Э. Н. Проектирование микрополосковых СВЧ-фазовращателей для антенных решеток //Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2017.

3 Беляев Б. А., Дутышев И.Н и др. Исследование микрополосковых конструкций широкополосных полосно-пропускающих фильтров //Доклады Академии наук. – Федеральное государственное унитарное предприятие Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр Наука, 2015. – Т. 461. – №. 1. – С. 27-27.

4 Филяк М. М., Каныгина О. Н. Кинетика роста пленок анодного оксида алюминия в электролите на основе гидроксида натрия //Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – №. 9 (184).

5 Филяк М. М., Каныгина О. Н. Закономерности роста анодного оксида алюминия в щелочных электролитах //Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2013. – Т. 10. – №. 2. – С. 209-213.

# **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВОБОДНЫХ ПЛЕНОК АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВАНИЯ СВЧ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**

**Аникин А.В., Филяк М.М., канд. техн. наук, доцент  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

В настоящее время в системах беспроводной связи осуществляется переход от традиционного сантиметрового диапазона радиоволн к миллиметровому. В этом диапазоне устройства конструируются как в микрополосковом, так и волноводном исполнении. При этом микрополосковое исполнение предпочтительнее, благодаря существенному выигрышу по габаритно-массовым показателям.

При проектировании микрополосковых СВЧ устройств миллиметрового диапазона возникают значительные трудности, в том числе технологические.

Верхней границей применения таких устройств условно можно считать 100 ГГц. В этом диапазоне длин волн микрополосковые устройства изготавливаются по тонкопленочной технологии путем нанесения нескольких металлических пленок из различных металлов. Повышение функциональной сложности СВЧ-устройств при одновременном увеличении требований к их электрофизическим параметрам, надежности и технологичности требуют новых подходов к выбору несущих оснований и токопроводящих коммутационных структур, выполняющих функцию микрополосковых СВЧ-линий.

Применение анодного оксида алюминия в качестве основания устройств СВЧ позволяет получить основу для развития новых миниатюрных устройств с широким диапазоном электрических свойств, которые удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к таким устройствам.

Весьма актуальной представляется разработка технологии изготовления диэлектрических оснований для структур СВЧ-диапазона в виде свободных пленок пористого анодного оксида алюминия. Анодный оксид алюминия обладает специфической наноразмерной ячеисто-пористой структурой и, как следствие, уникальными диэлектрическими, оптическими и механическими свойствами, благодаря чему может успешно применяться при создании элементной базы изделий СВЧ-электронной техники.

Анализ возможностей алюмооксидной технологии и проведенных исследований показал, что, используя комбинированное сочетание процессов фоторезистивного маскирования, двухстороннего сквозного анодирования и химического травления исходных алюминиевых пластин, можно одновременно формировать несущие основания и системы алюминиевых межсоединений, встроенных внутри диэлектрического тела пластин из свободного анодного оксида алюминия с односторонним или двухсторонним выходом на

поверхность контактных площадок [1], что может найти применение при создании пассивной элементной базы СВЧ-систем.

Традиционно для получения пористого анодного оксида алюминия используют кислотные электролиты. Анодирование алюминия в щелочных растворах обуславливает особую структуру пленки и, как следствие, специфические электрофизические и механические свойства. Анодный оксид алюминия из щелочных электролитов может быть различной морфологии (барьерного и пористого типа), с размерами пор от 50 до 200 нанометров. Вследствие чего величина диэлектрической проницаемости основания будет изменяться от 3,5 до 7, т.е. пленки свободного анодного оксида алюминия являются низкоконстантными диэлектриками.

Ранее было показано, что симметричные микрополосковые линии, созданные по технологии анодного оксида алюминия с использованием щелочного электролита, не уступают по электрическим параметрам микрополосковым линиям, созданных с применением наиболее распространённых технологических решений на сегодняшний день [2].

В таблице 1 приведены результаты расчётов параметров симметричной МПЛ (волновое сопротивление  $Z_v$ , затухание  $\alpha$ , мощность  $P$ ) на основе нанопористого анодного оксида алюминия в зависимости от  $W/B$  ( $B$  – высота,  $W$  – ширина полоскового проводника) и диэлектрической проницаемости основания  $\epsilon_r$ , на частоте – 10 ГГц.

Таблица 1 – Параметры симметричной МПЛ на основе АОА

| W/B | $\epsilon_r = 3,5$ |                 |          | $\epsilon_r = 5$ |               |          | $\epsilon_r = 7$ |               |          |
|-----|--------------------|-----------------|----------|------------------|---------------|----------|------------------|---------------|----------|
|     | $Z_v$ , Ом         | $\alpha$ , Дб/м | $P$ , Вт | $Z_v$ , Ом       | $\alpha$ , Дб | $P$ , Вт | $Z_v$ , Ом       | $\alpha$ , Дб | $P$ , Вт |
| 0.1 | 92,6               | 2,21            | 175      | 77,5             | 2,6           | 160      | 65,5             | 3,2           | 120      |
| 0.3 | 63,2               | 1,6             | 770      | 52,9             | 1,9           | 600      | 44,7             | 2,3           | 500      |
| 0.5 | 50                 | 1,4             | 1400     | 41,8             | 1,7           | 1150     | 35,3             | 2             | 1000     |
| 0.7 | 41,3               | 1,4             | 1900     | 34,6             | 1,69          | 1660     | 29,2             | 2             | 1400     |
| 1   | 32,8               | 1,39            | 2900     | 27,5             | 1,6           | 2500     | 23,2             | 1,9           | 2100     |

Дальнейшие исследования и расчеты будут произведены на примере полосно-пропускающего фильтра, который является одними из базовых элементов системы частной селекции в радиотехнической аппаратуре. Для подобных СВЧ устройств выдвигаются довольно жесткие требования к линейности фазовой характеристики (неравномерности группового времени задержки).

В настоящее время разработаны новые топологии полосковых фильтров, которые при удовлетворении вышеуказанного требования обладают меньшими габаритными размерами по сравнению с классическими типами [3]. Использование анодного оксида алюминия в качестве основания полосно-пропускающего фильтра сделает возможным дальнейшее уменьшение габаритных размеров устройств.

В ходе исследований будут рассчитаны основные электрические характеристики полосно-пропускающего фильтров такие как центральная частота настройки  $f_0$ , ширина полосы пропускания  $\Delta f$ , затухание на центральной частоте  $L_0$  и коэффициент прямоугольности по уровню  $N_{дБ}K_{п(НдБ)}$ , а также размеры подложек. Проведено сравнение характеристик с фильтрами классического вида и установлена возможность проектирование данных фильтров на основе свободных пленок анодного оксида алюминия.

В качестве подложек будут использованы свободные пленки анодного оксида алюминия, полученные методом двухстороннего сквозного анодирования. Формирование пористого анодного оксида будет осуществляться в двухэлектродной электрохимической ячейке в электролитах на основе гидроксида натрия NaOH в потенциостатическом режиме.

Применение анодного оксида алюминия в качестве основания СВЧ элементов позволит решить проблему миниатюризации аппаратуры, улучшить характеристики устройств и повысить их экономичность и надежность.

Работа выполнена в рамках гос. бюджетной НИР № 114102270095 «Получение и исследование наноразмерных материалов на основе анодного оксида алюминия»

#### Список литературы

1. Шиманович Д. Л. Изготовление алюмооксидных подложек для микрополосковых СВЧ-структур методом сквозного двухстороннего анодирования //ББК 32я43 С568. – 2017. – С. 480.
2. Филяк М. М., Заверюха Д. К. пленки нанопористого анодного оксида алюминия в технологии электронных СВЧ-компонентов //Цифровизация агропромышленного комплекса. – С. 98.
3. Кондратенко А., Шевляков М. Полосно-пропускающие СВЧ фильтры производства НПФ «Микран» //Компоненты и технологии. – 2008. – №. 88.

## АЛГОРИТМ НАПРАВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЯ КОЛЕС ИЛОНА

Безгин А.С. канд. техн. наук, доцент,  
Греков Э.Л. канд. техн. наук, доцент,  
Жаксылыков Е.С.

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

На передвижной платформе установлены 4 колеса – 2 левосторонних и 2 правосторонних. Каждое колесо питается от отдельного шагового двигателя с независимым управлением. Она может двигаться вперед, назад, влево, вправо, по диагонали либо крутиться на месте в зависимости от направления и скорости каждого колеса. Колесо Илона спроектировано так, что может двигаться в любом направлении. Практически, это обычное колесо, но только вместо шины установлены ролики. Под углом в  $45^\circ$  находится ось вращения этих роликов относительно плоскости колеса, и под углом  $45^\circ$  относительно линии, идущей от центра ролика параллельно оси вращения колеса. Колеса Илона имеют 2 вида – левосторонние и правосторонние, отличие заключается в роликах точнее в их расположении. Из рисунков ниже, видны их отличия в расположении относительно оси вращения.

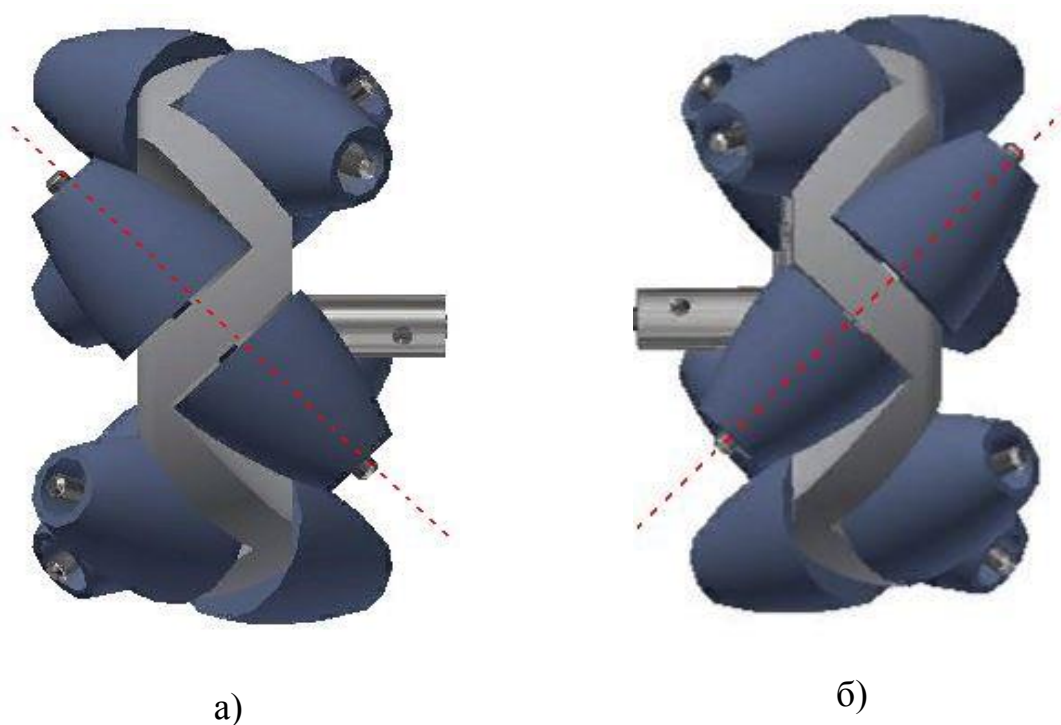


Рисунок 1 – Колеса Илона: а) левостороннее б) правостороннее

Для правильного перемещения робота нужно соблюдать некоторые правила при установке колес. Все четыре колеса должны быть установлены так что бы ось вращения верхнего ролика указывала на центр платформы.

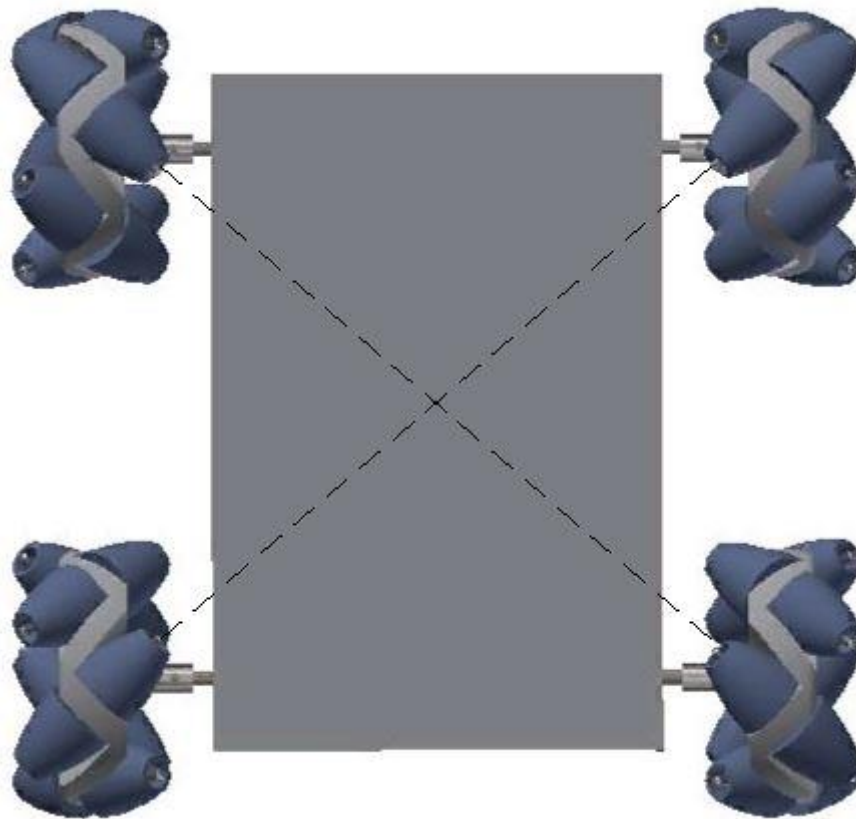


Рисунок 2 – Установка колес Илона

Все колеса платформы могут двигаться вне зависимости друга от друга с разной скоростью и в разном направлении. Ролики преобразуют часть силы вращения колеса в силу, действующую перпендикулярно направлению, в котором движется колесо. Совокупность этих сил в итоге формирует суммарный вектор силы для любого направления.

Представим, что  $R$  – это радиус колеса, угловые скорости четырех колес – это  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  и  $\omega_4$ , скорости роликов на каждом колесе – это  $vg_1, vg_2, vg_3$  и  $vg_4$ , а скорость платформы в направлении  $X$  и направлении  $Y$ , а также угловая скорость – это  $v_x, v_y$  и  $\omega_0$ . Исходная точка глобальных координат – это  $O$  (центр платформы), а исходные точки локальных координат для каждого колеса – это  $O_1, O_2, O_3$  и  $O_4$ . Расстояние между центром платформы и центром колеса – это  $L_1$ , а расстояние между центром платформы и осью вращения колеса – это  $L_2$ . Угол, под которым расположены ролики – это  $\alpha$ , т.е.  $45^\circ$ .

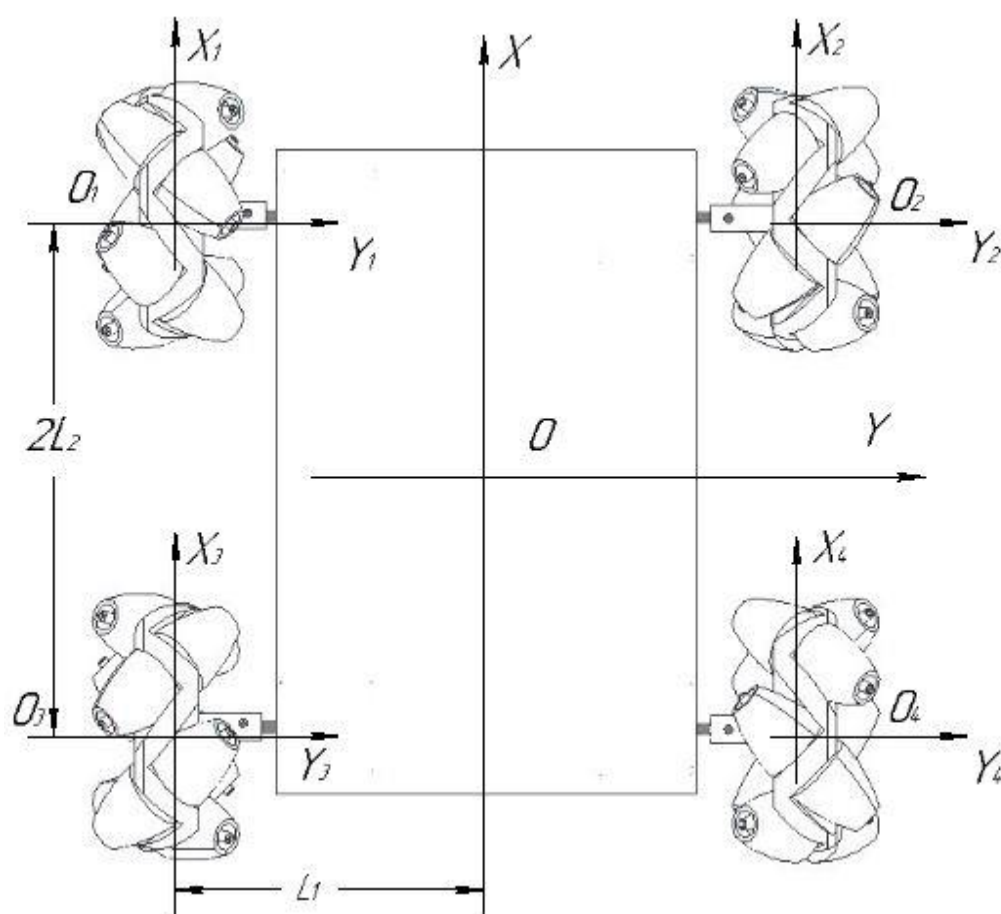


Рисунок 3 – Глобальная система координат

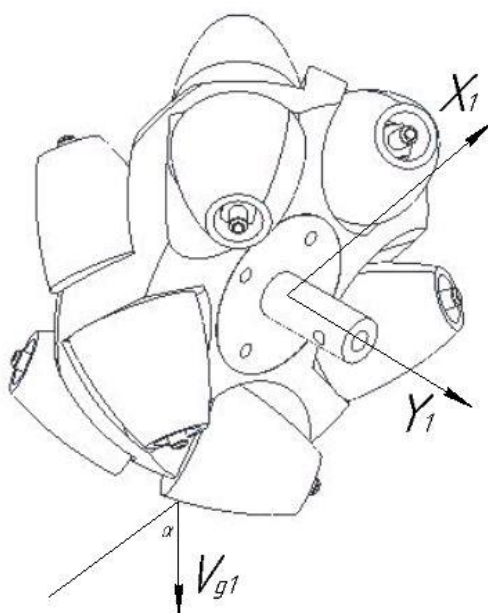


Рисунок 4 – Локальная система координат

В глобальных координатах скорость в центре 1-го колеса (O1) рассчитывается так:

$$v_{01x} = v_x - \omega_0 \cdot L_1 \quad (1)$$

$$v_{01y} = v_y - \omega_0 \cdot L_2$$

В локальных координатах скорость в центре 1-го колеса (O1) рассчитывается так:

$$v_{01x} = -v_{g1} \cdot \cos \alpha + \omega_1 \cdot R \quad (2)$$

$$v_{g1y} = v_{g1} \cdot \sin \alpha$$

Теперь объединяем формулы 1- 4 и получаем следующее:

$$v_x - \omega_0 \cdot L_1 = -v_{g1} \cdot \cos \alpha + \omega_1 \cdot R \quad (3)$$

$$v_y - \omega_0 \cdot L_2 = v_{g1} \cdot \sin \alpha$$

Преобразовав формулы 5 и 6, находим угловую скорость 1-го колеса:

$$\omega_1 = \frac{1}{R} \cdot \left[ 1 \cdot \frac{1}{\tan \alpha} - \left( L_1 + \frac{L_2}{\tan \alpha} \right) \right] \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Аналогично рассчитываем угловую скорость для трех оставшихся колес:

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} 1 & 1 & -(L_1 + L_2) \\ 1 & -1 & (L_1 + L_2) \\ 1 & -1 & -(L_1 + L_2) \\ 1 & 1 & (L_1 + L_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Формула 8 показывает взаимоотношение между скоростями вращения колес и движением платформы. Теоретически, если правильно рассчитать угловые скорости всех четырех колес, платформа может двигаться в любом направлении. Но фактически для этой платформы движения ограничены.

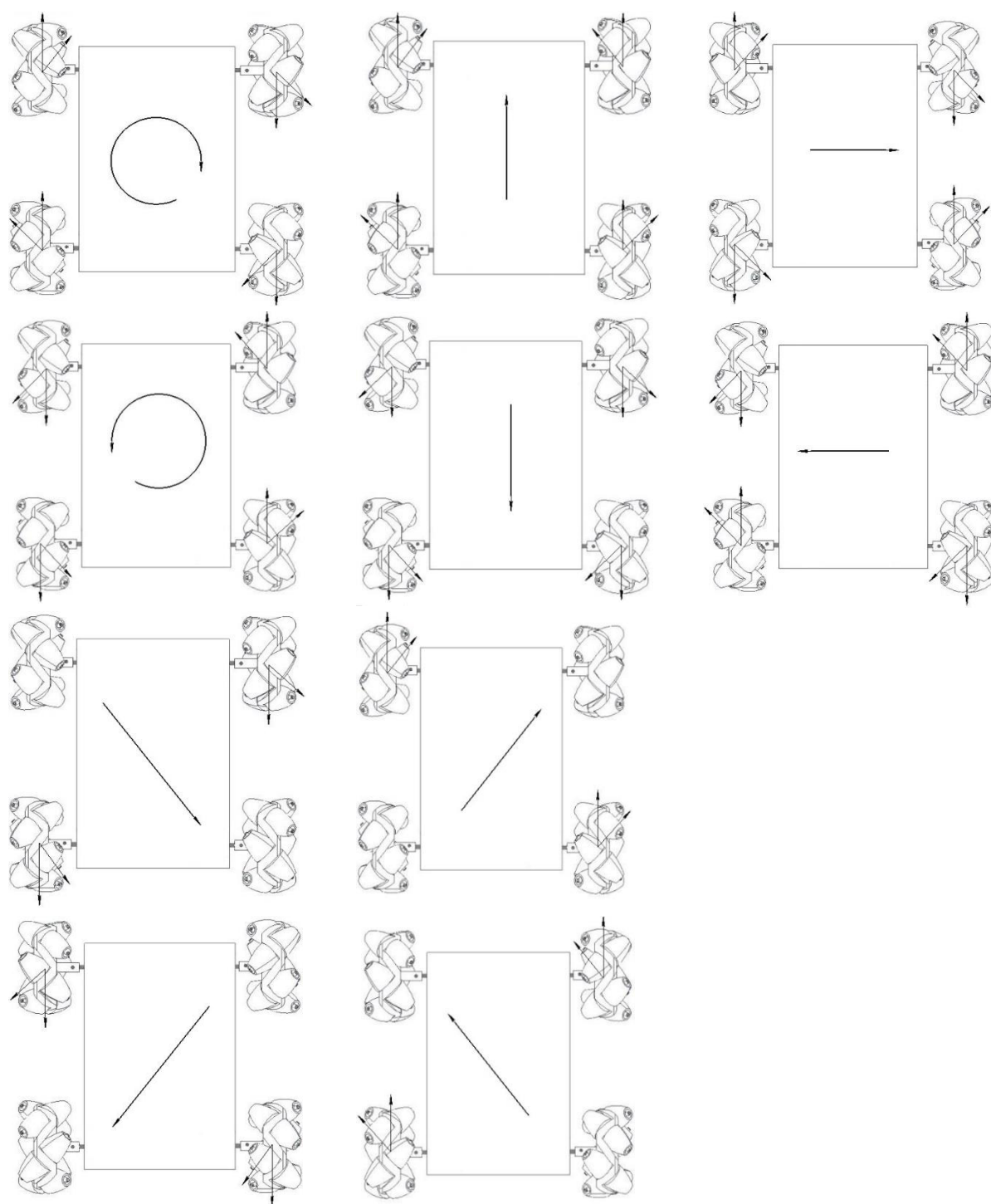


Рисунок 5 – Принцип работы колёс Илона (графически)

#### Список литературы

1. Система управления роботами на подвижном основании./ М. М. Копычев, В. В. Путов, А. В. Путов, К. В. Игнатьев.// Известия СПбЭТУ "ЛЭТИ". – 2015. N 5. – с 55-60.

2. Типы колёс мобильных роботов [Электронный ресурс] – URL <http://robotosha.ru/robotics/wheel-types-mobile-robots.html>

3. Системы передвижения мобильных роботов [Электронный ресурс] - URL: <http://asar.my1.ru/index/0-47>

4. About KUKA [Электронный ресурс] - URL: <https://www.kuka.com/en-de/about-kuka/>

5. Кизиров А.К. ПЛАТФОРМА НА ВСЕНАПРАВЛЕННЫХ // Студенческий электрон. научн. журн. 2019. №3 (47). URL: <https://sibac.info/journal/student/47/130578>

# **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ И СОДЕЙСТВИЯ ТРУДОУСТРОЙСТВУ ОБУЧАЮЩИХСЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ**

**Белянцева Н.В., Новиков И. С.**

**Орский гуманитарно-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

Практически каждый из тех, кто окончил какое-либо образовательное учреждение (среднее и высшее) – может считаться профессионалом, в той или иной степени. Каждый выпускник может предложить рынку труда свои навыки, знания и умения, при этом рассчитывая на хорошее вознаграждение. И, разумеется, проблемы, возникающие на всех этапах трудовых отношений, касаются также каждого человека.

В данной статье поговорим о таких моментах, как профессиональная ориентация, чем она важна и на что влияет, а также постараемся разобраться – так ли легко в современном мире сделать осознанный выбор профессии при наличии столь огромного предложения?

Сегодня во всем мире люди, представляющие рабочие профессии (или «синие воротнички») интересны работодателям не менее, а порой и более «белых воротничков». Например, сварщиков и рабочих строительных специальностей компании ищут по всей стране, охотно принимают в штат и предлагают высокую рыночную ставку. По данным HeadHunter (сервис, который помогает найти работу и подобрать персонал), самые большие зарплаты в России уже в перспективе ближайших лет будут получать «синие воротнички». В прошлом году спрос на них со стороны работодателей увеличился на 205%, и это далеко не предел.

Несмотря на это в вузах сохраняется стабильно высокий конкурс на специальности экономистов, юристов и менеджеров, а центры профессиональной подготовки отмечают, что к ним массово приходят повышать квалификацию работники в возрасте 40–50 лет, а вовсе не молодежь. В чем причина такого, на первый взгляд, нелогичного поведения и как бизнесу восполнить дефицит рабочих кадров? Готового ответа пока нет, но есть успешные кейсы, реализованные в разных странах [1].

Рассмотрим более детально некоторые из предпосылок кадровой нехватки.

Первая причина дефицита специалистов рабочих профессий связана с нормами и устоями взрослого поколения, воспитанного на культе высшего образования. Многие родители до сих пор уверены, что именно диплом высшего профессионального образования поможет детям достичь высот в современном мире. К сожалению, эти представления сегодня не выдерживают проверку практикой. Согласно исследованиям НАФИ, граждане, у которых в

браке оба супруга имеют высшее образование, составляют более 8% семей, живущих за чертой бедности, и эта цифра растет уже четвертый год подряд. При этом у школьников сейчас, по сути, нет альтернативного выбора: 90% подростков не знают, где искать информацию по профориентации и к кому (кроме родителей) можно обратиться с этим вопросом. Таковы результаты опроса Минпросвещения, проведенного в рамках проекта по ранней профессиональной ориентации школьников 6–11 классов «Билет в будущее». Определиться с профессией еще в школе могут только 2% детей, и это можно назвать везением, да и редкостью тоже. Разумеется, здесь проблему необходимо решать всесторонне – не только привлекая учителей к формированию интересов у обучающихся, но и вовлекать родителей в процесс профессиональной «приспособленности» и таланту ребенка. К сожалению, практика неутешительна и говорит о том, что система профориентации в современных образовательных учреждениях хромает. Ребенок зачастую может составить мнение о какой-либо трудовой деятельности, опираясь только на опыт родителей, друзей и знакомых. Не понимая, что «изнутри» любая профессия имеет свои особенности.

Второй глобальный фактор — низкий уровень престижа рабочих профессий. В России и странах СНГ это проявляется особенно ярко. Во многих городах и регионах до сих пор бытует ошибочное мнение, что на заводах работать тяжело, грязно, нерентабельно. В то время как современные фабрики — это высокотехнологичные производства с новым оборудованием и безопасными условиями, требующие операторского и даже по большей части умственного труда.

Еще один аспект кадровой проблемы — большая текучесть «синих воротничков». Работодатели все время озабочены проблемой поиска новых кандидатов. С подобной ситуацией чуть ранее столкнулся и европейский бизнес: большой спрос на сотрудников рабочих специальностей позволяет людям легко менять работу, переходя из компании в компанию, а работодатель вынужден постоянно закрывать пробелы в штатном расписании. При этом увеличивается нагрузка на HR-службы, которые не всегда могут справиться с задачей быстрого привлечения кандидатов [1].

Сегодня клиенты хотят получать от производителя и продавца комплексное решение, позволяющее грамотно управлять парками техники, получать качественный сервис и снижать издержки. Добиться этого без команды технических специалистов, опытных работников сервиса, квалифицированных механиков и т.д. не представляется возможным. В связи с этим можно уверенно заявить – заинтересованность в рабочих профессиях будет расти параллельно росту заинтересованности предприятий в квалифицированных рабочих кадрах.

Если проблема дефицита кадров рождается на этапе поиска готовых специалистов, то следует упомянуть «заготовку» любой специальности – профессиональную ориентацию. Здесь также кроется несколько немаловажных

подводных камней, которые зачастую и рожают основные вышеперечисленные проблемы.

В первую очередь, это отсутствие замотивированности школьников и студентов в поисках собственного «я». Как показывает практика, большое количество обучающихся (если говорить о студентах) далеко не всегда получает желаемое профессиональное образование. Здесь могут влиять следующие аспекты:

- материальные (нехватка денежных средств для получения образовательных услуг);
- социальные (внутрисемейные конфликты, разногласия, не позволяющие школьнику обучаться на желанных факультетах);
- личностные (отсутствие собственной мотивации и заинтересованности в само процессе обучения или профессиональной ориентации);
- образовательные (отсутствие или слабо выраженная профессиональная ориентация образовательных учреждений, не позволяющая выявлять сильные и слабые стороны каждого ученика).

Последний аспект играет немаловажную роль в основном среди школьников, т.к. на этапе личностного формирования и роста начинают развиваться определенные и индивидуальные стремления и навыки. Именно поэтому профессиональная ориентация, как таковая, способна выделять и закреплять навыки, чтобы в дальнейшем обучающиеся смогли реализовать себя в будущем.

Рассматривая профессиональную ориентацию, как исток формирования трудовых предпочтений, нельзя забывать об определенной трудовой «градации». Проще говоря, существуют более и менее востребованные профессии (об этом мы уже говорили выше). Далее следуют упомянуть о правовых и социальных аспектах, с которыми обучающиеся могут столкнуться при трудоустройстве.

Анализ статистики трудоустройства, нормативных правовых и локальных актов, результатов исследований в сфере социологии, экономики, юриспруденции позволил выявить проблемные зоны в области правового регулирования трудоустройства выпускников вузов.

1) Сложность совмещения учебы и работы. У работодателей отсутствуют локальные нормативные акты, четко регламентирующие совмещение учебной и трудовой деятельности. Ученический отпуск дается только при направлении на обучение работодателем, в других же случаях работодатель может не отпустить студента последних курсов или магистранта. Сотрудник недавно устроившийся на работу и изъявивший желание продолжить повышение своего образования испытывает сомнения, не уверенность, стресс перед тем как отнесётся к его желанию работодатель, сколь долго будет «терпеть» сотрудника, который систематически уходит на сессию и его обязанности приходится перекладывать на других.

2) Дискриминация по возрастным и гендерным признакам молодых специалистов. До сих пор существует противоречие на рынке труда, когда

опытных специалистов противопоставляют новичкам. Работодатели считают, что молодые специалисты не обладают теми навыками и знаниями, которые нужны для должного выполнения профессиональных обязанностей.

3) Нет программ поддержки молодых специалистов управленческих, юридических, экономических, а главное, технических специальностей по аналогии с программами поддержки учителей и врачей. Получая вузовский диплом, молодой человек вынужден искать работу не по специальности, теряя квалификацию. Например, выпускник очного отделения, имеющий «красный» диплом не смог трудоустроиться по окончании вуза. Работодатели, ожидая, что выпускника-бакалавра призовут в ряды Вооруженных сил, не приняли на работу. И молодой специалист, практически полгода, проработал в торговой сети, теряя знания, умения и навыки, полученные при обучении, а главное, желание, приложить их по назначению. В данной ситуации могли бы пригодиться правила, действующие в стране до 90-х годов. Когда молодой специалист, после окончания вуза, должен был отработать на производстве некоторое количество лет, что способствовало получению опыта работы для выпускника, а предприятие гарантированно имело приток рабочей силы.

4) Работа без оформления в трудовой книжке. Многие студенты во время учебы участвуют в волонтерских организациях, трудоустраиваются в качестве разнорабочих в магазинах, складах, частных компаниях, такси. Большое количество студентов оформлены без трудовой книжки, свой опыт работы они не озвучивают на собеседованиях и не отражают в резюме. В дальнейшем этот период выпадает из их общего стажа трудовой деятельности и не учитывается работодателем при приеме на работу.

5) Несоответствие требований и условий, предлагаемых работодателем. Работодатель завышает требования к выпускникам, которые планируют устроиться на работу. В то же время заработная плата предлагается не соответствующая образованию. Такой вариант невыгоден студентам и выпускникам.

6) Статус самозанятых. Часть выпускников, которые после окончания обучения не хотят связывать свою жизнь с полученной специальностью, чаще всего открывают свой бизнес. Согласно данным Всероссийского центра изучения общественного мнения, выяснившего, какие сферы деятельности выбирают россияне для развития собственного бизнеса, следует, что 24% - это сфера розничной торговли, 17% опрошенных указали сферу услуг, транспорта и общепита, 10% – строительство, по 8% производство техники, оборудования и пищевая промышленность и производство потребительских товаров, 5% – медицина, образование и культура, 4% – наука и информатика и 2% сфера финансов. Ещё 16% россиян, работающих над открытием своего дела, назвали другие отрасли экономики, а 6% затруднились ответить, в какой именно сфере они будут развиваться. Самозанятые выпускники не фиксируются в показателях трудоустройства, не отражаются в Мониторинге трудоустройства ВУЗов. Поэтому существует необходимость ввести показатели трудоустройства, учитывающие факты самозанятости [2].

Таким образом, можно сделать вывод, что проблемы профессиональной ориентации и дальнейшего трудоустройства всегда будут являться актуальными и ключевыми в жизни каждого человека. Их можно рассматривать с различных точек зрения и на разных этапах образовательной деятельности. Тем не менее, в совокупности все актуальные проблемы и способы их решения в результате формируют каждого из нас, как отдельную независимую профессиональную трудовую единицу.

#### Список литературы

1. Специалисты есть – работать некому [электронный ресурс] – М. // Строительство.ру [<https://rcmm.ru/vlast-i-samoregulirovanie/47961-specialisty-est-rabotat-nekomu.html>]. – (дата обращения 05.12.2019);
2. Журик Т. В., Вопросы соблюдения трудовых прав выпускников профессиональных образовательных организаций и образовательных организаций высшего образования: тезисы докл. На кор.совет. (Саратов, 16 мая 2019 г.). – Саратов, 2019. - С.5–6.

# **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕГИОНАХ**

**Бледных А.А., Митрофанов С.В., канд. техн. наук, доцент  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

Ученые со всего мира уже несколько десятилетий подряд бьют тревогу о близкой экологической катастрофе. Исследования, которые проводятся в разных областях, доказали, что мы уже сейчас сталкиваемся с глобальными изменениями климата и внешней среды, возникшие в процессе жизнедеятельности человека. Поэтому на сегодняшний момент вопрос уменьшения загрязнения встаёт очень остро, одним из вариантов является переход от традиционных источников на более экологически чистые, возобновляемые источники энергии. Одним из основных видов ВИЭ являются станции на основе солнечных панелей и ветроустановок.

Использовать солнечное излучение и силу ветра люди научились уже давно. Так, уже в XIX веке, в Дании стали активно использовать ветряные мельницы для производства электроэнергии. В России же в середине 1920 – х годов центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского (ЦАГИ) разрабатывал ветровые электростанции для сельского хозяйства, конструкция которых могла быть изготовлена на месте из доступных материалов. Мощность такой мобильной станции могла варьироваться от 3/8 л.с до 45 л.с. В период с 1940-х по 1970-е годы развитие ветроэнергетики в мире практически сводится к нулю, из-за развития централизованных распределительных сетей, способных выдавать энергоснабжение независимо от погоды за умеренную плату. После 1970–х годов было несколько всплесков резкого проявления интереса к ветроэнергетике (ВЭ), а именно после нефтяного кризиса 1973 г и после чернойбыльской катастрофы. Развитие ВЭ в каждой стране происходило по индивидуальному пути. Калифорния (США), например, одна из первых осуществила программу по стимуляции ветроэнергетики, а именно предоставляла налоговые льготы для производителей электроэнергии ветра.

Технический электроэнергетический потенциал ветроэнергетики России составляет порядка около 17 101 млрд кВт•ч/год, что на порядок выше чем 1 090,9 млрд кВт•ч/год - объем электроэнергии, выработанный всеми электростанциями страны в 2018 г. В таблицах 1 и 2 показаны результаты оценки экономии нефти, угля, природного газа при замещении ископаемых органических топлив энергией ветра в рамках технического потенциала, предотвращение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Таблица 1 - Топливоно – энергетический потенциал ветроэнергетики.

| Топливный энергетический потенциал |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| Электроэнергия                     | 17100,9 млрд. кВт*ч/год |
| Тепло                              | 39645,0 – млн. Гкал/год |
| Условное топливо                   | 5891,2 млн. т/год       |

Таблица 2 - Угольный и газовый потенциалы

| Технический потенциал |                          |                                                                        |
|-----------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------|
|                       | Ресурсоэнергосберегающий | Экологический                                                          |
| Угольный потенциал    | 7670,9 млн т/год         | 168756,6 СО-экв, млн т/год<br>23012,7 СО <sub>2</sub> - экв, млн т/год |
| Газовый потенциал     | 5105,1 млн т/год         | 1061,9 СО-экв, млн т/год<br>10210,1 СО <sub>2</sub> - экв, млн т/год   |
| Нефтяной потенциал    | 4300,2                   | 5374,8 СО-экв, млн т/год<br>12900,5 СО <sub>2</sub> - экв, млн т/год   |

Достоинства ветроэнергетики:

- экологически чистое производство;
- обеспечение энергоснабжения труднодоступных, отдаленных населенных пунктов, лишенных централизованного энергоснабжения;
- возобновляемость ресурсов;
- уменьшение расходуемого топлива для производства электроэнергии;
- низкая стоимость эксплуатации;
- для обслуживания не требуется большой штат сотрудников;
- не требуется постоянный, местный контроль работы ветроустановки;
- площадь, на которой находятся ветроустановки можно использовать, например, для пастбищ.

Недостатки ветроэнергетики:

- источник энергии - ветер – непостоянен;
- негативное влияние на животный мир (инфразвук),
- негативное влияние на человека при длительном и близком нахождении;
- зависимость от погодных условий и невозможность в связи с этим прогнозировать график выработки энергии.

Первые опыты применения солнца для генерации электроэнергии производил ученый Эдмон Беккерель в 1830 –х годах. Тогда были использованы электролитические ячейки, способные под воздействием солнечного света вырабатывать электричество.

Более активный интерес к солнечной энергетике возник после нефтяного кризиса 1973г. В это время в развитие и дальнейшее применение солнечных

электростанций (СЭС) вкладывались финансы, как со стороны больших компаний, так и от частных лиц. В 1980г. компания ARCO SOLAR становится первой компанией, которая произвела 1 МВт солнечных панелей в год. Эта же компания в 1982г. в Калифорнии реализовала свой первый проект солнечной электростанции мощностью 1 МВт.

Установленная мощность мировой солнечной энергетики в 2018 г. превысила 500 ГВт. За этот год были построены фотоэлектрические станции общей мощностью 100 ГВт. Первое место по вырабатываемой солнечной электроэнергии занимает Китай – 45 ГВт. 3 место США – 10,6 ГВт (таблица 3), Россия же не вошла в эту десятку.

Таблица 3 – Годовая установленная мощность солнечной электроэнергии

| №  | Страна    | Объем     |
|----|-----------|-----------|
| 1  | Китай     | 176,1 ГВт |
| 2  | Индия     | 62,2 ГВт  |
| 3  | США       | 56 ГВт    |
| 4  | Япония    | 45,4 ГВт  |
| 5  | Австралия | 32,9 ГВт  |
| 6  | Германия  | 20,1 ГВт  |
| 7  | Мексика   | 13 ГВт    |
| 8  | Корея     | 11,3 ГВт  |
| 9  | Турция    | 9 ГВт     |
| 10 | Нидерланд | 7,9 ГВт   |

Россия пыталась не отставать от Зарубежных стран в развитии солнечных станций, но конкуренция с традиционными источниками, не давала возможности совершать большие шаги в исследовании солнечных источников. На сегодняшний момент доля солнечной генерации в России составляет всего 0,3% от общего энергобаланса страны. К сравнению, самая высокая доля у Германии – 21,58%.

Сдвиг в законодательной сфере «Зеленой» энергетики в России свершился в 2015г., так как было принято Постановление от 23.01.15 №47 «О стимуляции использования возобновляемых источников энергии на розничных рынках электроэнергии». Благодаря этому постановлению произошел прорыв в области СЭС, что позволило усовершенствовать и нормировать существующий механизм поддержки генерирующих объектов, работающих на основе ВИЭ, в том числе и на основе солнечных установок.

По данным Института Энергетической стратегии, теоретический потенциал солнечной энергетики в России составляет более 2300 млрд. т.у.т., экономический потенциал – 12,5 млн. т.у.т. Доказано, что поступающий на территорию России потенциал солнечной электроэнергии в течение трех дней, превышает энергию всего годового производства электроэнергии в нашей стране.

Достоинства:

- экологически чистое производство энергии;
- получение энергии возможно практически в любом районе, не зависимо от ландшафта и от территориального расположения станции;
- малые затраты на обслуживание, и малый состав ЗИП;
- простота в обслуживании и сборке;
- возобновляемость ресурсов
- сохранение теплого баланса Земли .

Недостатки:

- зависимость от погодных условий;
- высокая стоимость фотоэлементов и других комплектующих;
- необходимость в элементах накопления электрической энергии;
- высокая стоимость аккумулирующих батарей.

Для постоянного получения электроэнергии от альтернативных источников, была создана гибридная система, на основе ветроустановки и солнечных панелей. Благодаря этому появилась возможность получать энергию в отсутствии солнца от ветра, а в отсутствии ветра от солнца. При проектировании гибридных установок необходимо учитывать климатические особенности региона, что бы выяснить потенциальную энергию солнечных и ветровых установок, от этого зависит какая часть будет являться квинтэссенцией электростанции, а какая часть - вспомогательной.

Для широкого использования подобных установок, для стабилизации выходных показателей, необходимы не только финансовые затраты, но так же и научно – технические разработки способные изучать и совершенствовать характеристики гибридных (ветро-солнечных) установок. На сегодняшний момент, вводятся эксплуатацию солнечные электростанции, которые работают в вакуумном режиме. Они способны давать энергию в любой климатической зоне, при любой погоде. Однако их стоимость и срок окупаемости достаточно высоки. Поэтому, использование альтернативной энергетики, когда работает энергия солнца и ветра, поможет решить проблему бесперебойного электроснабжения удаленных потребителей.

Достоинства:

- энергоснабжение труднодоступных, отдаленных населенных пунктов; лишенных централизованного энергоснабжения;
- круглогодичное, круглосуточное энергоснабжение;
- постоянство, эффективность за счет меньшей зависимости от случайных погодных факторов;
- в случае с параллельной работой с сетью избыток электроэнергии отдается в систему электроснабжения;
- сооружение таких установок может производиться в кратчайшие сроки;
- работа возможна полностью в автономном режиме;
- выходное напряжение автономной электросети – постоянное;
- отклонения и скачки напряжения в сети – отсутствуют;

- возможность модернизации электроэнергии в текущие запросы;
- минимализм в обслуживании при достаточно длительном сроке эксплуатации;
- относительно высокий коэффициент полезного действия за счет одновременного сочетания ветро-солнечных источников;
- простота в обслуживании.

Недостатки:

- нестабильность (по отношению к централизованной сети);
- относительно небольшая мощность, зависящая от погодных условий.

Загрязнение атмосферы – один из главных проблем XX века. С каждым годом потребность в электроэнергии возрастает, увеличивается население планеты, расширяются и появляются новые заводы, растет количество транспорта. Такой, необходимый объем электроэнергии в мире, в основном, вырабатывается традиционными источниками, которые еще больше загрязняют атмосферу. Поэтому использование возобновляемых источников энергии актуально в современном мире, так как такая энергетика способна полностью решить вопрос с экологией, дать необходимое количество электроэнергии, при этом она абсолютно безопасна. Использование ветро-солнечных станций позволяет получать электроэнергию на постоянной основе, в любой точке нашей планеты.

#### Список литературы

1. Безруких П.П. Состояние и перспективы развития возобновляемой энергетики// Электрика. 2008. №9 С. 3-10..
2. Григораш О.В , Степуха Ю.П., Сулейманов Р.А. Власенко Е.А., Власов А.Г; под общ.ред Григораш О.В. – Краснодар: КубГАУ, 2012 -272с
3. Усков А.Е. Солнечные фотоэлектрические станции как основной источник энергии// Научный журнал КубГАУ, №104(10),2014
4. Собанчин В.Р. Солнце как альтернатива традиционному топливу// Новые решения в архитектурно-строительном проектировании. 2014г. №1(7)
5. Соколов В.Ю. Нетрадиционные и возобновляемы источники энергии/ Оренбург : ОГУ, 2019. - 144 с.

# **МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ВЫПОЛНЕНИЮ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

**Богданов А.В., канд. техн. наук, Бондарев А.В., канд. техн. наук,  
Кумертаусский филиал федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

Выполнение выпускной квалификационной работы (ВКР) является результатом полного обучения обучающегося в Кумертауском филиале Оренбургского государственного университета. ВКР служит комплексным отчетом о знаниях и умениях, приобретенных обучающимся за весь период обучения в филиале университета. В большинстве случаев деятельность по выполнению ВКР прозрачно показывает индивидуальную способность студента пользоваться полученными знаниями, раскрывает личные потенциальные возможности обучающегося, умение ставить и решать поставленные задачи, показывает способность выполнения практических работ, открывает или проясняет перспективу использования его знаний и практических умений в будущей практической или научно-исследовательской работе.

Важным параметром выполнения ВКР является правильно выбранная методическая и творческая организация процесса выполнения работ не только во время исполнения проекта, но и на более ранних стадиях обучения, во время подготовки курсовых и научно-исследовательских работ. Результатирующей задачей ВКР является установление уровня практической и теоретической подготовленности выпускника кафедры к решению профессиональных задач и соответствия его по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника». В течение выполнения ВКР будущий выпускник показывает способность решать самостоятельно сложные технические задачи, эффективно использовать современные средства расчета, моделирования, компьютерного проектирования, применять современные технологические решения, проводить оценку полученных результатов работы для возможного их использования на профильных предприятиях. По ходу выполнения работы важная роль руководителя состоит в реальной оценке личностных качеств обучающегося.

На первых этапах выполнения задания возможно оказание дополнительной помощи при выборе различных вариантов решения задач. При этом важно не снижать значимость личных предложений обучающегося, даже если они не наполнены глубокой проработкой и имеют слабые места решений. Поддержка обучающегося в режиме постоянного творческого поиска и при правильно организованной взвешенной критике, безусловно, дает пользу при пошаговом продвижении к поставленной цели. Такая методика работы уже с первых этапов позволяет оценить способности будущего выпускника, его реальное желание и возможность заниматься дальнейшей научно-

исследовательской работой. Все основные позиции развития творческой личности студента как будущего специалиста подтверждаются приобретением основных компетенций, к которым относятся общепрофессиональные, производственно- и проектно-технологические, научно-исследовательские и проектно-конструкторские [4].

Основное знакомство с творческим потенциалом обучающегося начинается при выполнении его первой курсовой и первой научно-исследовательской работы. Предварительно перед обсуждением и выдачей первого задания на исследовательскую работу проводится знакомство со студентом как лично, так и посредством выявления и анализа информации от предыдущего хода выполнения всего учебного плана по основным дисциплинам до текущего времени. В результате анализа формируется предварительная картина по конкретному студенту, становятся понятными оценочный уровень полученных знаний, динамика выполнения этапов учебной нагрузки, отношение к выполнению учебного плана по общим и кафедральным дисциплинам. Проводимый анализ носит общий характер знакомства со студентом, который в некоторых случаях помогает провести дополнительные методические и педагогические мероприятия по привлечению обучающихся, имеющих различный уровень подготовки, к стандартной или более творческой работе.

К мероприятиям педагогического и методического характера можно отнести:

- проведение доказательных бесед с демонстрацией конкретных примеров по перспективным технологическим решениям рассматриваемых задач, способов их решения;
- применение современных средств вычислительной техники при моделировании и расчете поставленных задач;
- проведение реальных натурных испытаний с дальнейшим составлением перспективных планов по использованию полученных результатов в дипломном проектировании или в дальнейшей более глубокой научной работе.

Иными словами, практически во всех случаях ставится и в большинстве случаев реализуется методическая задача сквозного проведения научно-исследовательской работы студента, желательно по одной тематике, с поэтапным усилением исследовательской и практической работы во время всего периода обучения. Успешное применение тактики сквозного проектирования, методики выполнения исследовательских и практических работ зависит от руководителя, его активности, использования научных интересов, имеющих новизну, перспективу и базовые подтверждения возможности реализации на практике. Результатами сквозного проектирования, отвечающего специфике дисциплин кафедры, могут стать: проектирование систем электроснабжения небольших объектов, имеющего отличительную новизну; практическая разработка оригинальных технологических решений; разработка средств контроля параметров систем электроснабжения; использование научных разработок кафедры при изготовлении лабораторных и

модельных стендов, имеющих повышенные эксплуатационные свойства. Часто результатами сквозного проектирования являются публикации и выступления на конференциях студентов как самостоятельно, так и совместно с научным руководителем.

В результате использования представленных методологических подходов выполнения ВКР можно сделать следующие выводы:

1. Применение методологии последовательного проектирования должно показать эффективность данной методики на всех этапах выполнения ВКР, что приведет к получению реальных практических и научных результатов работы.

2. Методический способ сквозного проведения научно-исследовательской работы обучающегося позволяет ему получить полезный опыт работы, развить интерес к самостоятельным исследованиям, самоутвердиться, почувствовать уверенность в своих силах и возможность дальнейшего проведения научной работы после окончания обучения.

#### Список литературы

1. Ананьев Б.Г. Избранные психологические труды: в 2 т./ Под ред. А.А. Бодалева и др. - М., 1980.

2. Бадмаев Б.Ц. Психология: как ее изучить и усвоить. - М., 1997.

3. Зеер Э.Ф., Павлова А.М., Сыманюк Э.Э. Модернизация профессионального образования: компетентностный подход: учеб. пособие. - М.: Изд-во Моск. психол.-соц. ин-та, 2005.

2. Компетентностный подход в педагогическом образовании / под ред. проф. В.А. Козырева. - СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2005.

3. Морозов А.В., Чернилевский Д.В., Креативная педагогика и психология: учеб. пособие. - М.: Академический проект, 2004.

4. Хьелл Л., Зиглер Д. Теории личности. - 3-е изд. - СПб.: Питер, 2008.

# **АКТУАЛИЗАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ЦОС ПРИ ПОДГОТОВКЕ МАГИСТРОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА»**

**Булатов В.Н., д-р техн. наук, профессор, Тимонов Е.С.  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

## *Введение*

В области цифровой обработки сигналов (ЦОС) число применяемых методов настолько велико, что глубокое изучение их в рамках одной дисциплины просто невозможно. Вместе с тем, практика эксплуатации электронных систем, содержащих элементы ЦОС, выпускниками по направлению подготовки магистров «Электроника и наноэлектроника» в Оренбургском регионе показывает, что число актуальных методов ЦОС в этих системах ограничено. В связи с этим при изучении дисциплины ЦОС и близких с ней разделов других дисциплин (Фурье-преобразование, численные методы обработки и анализа и тому подобное) имеет смысл актуализировать содержание ЦОС в отличие от всеохватывающего подхода, например, в прекрасном учебнике [4], поневоле дублирующем теоретические положения других дисциплин бакалавриата по этому же направлению.

В оговоренных выше системах преобладают системы приема-передачи данных с видами модуляции FSK и реже PSK. Причем на приемной стороне эти сигналы представляют собой сильно зашумленную смесь. Для цифровой обработки на приемной стороне предлагается разработать методы измерения мгновенных значений угловой частоты  $\omega_H(t)$  сильно зашумленных FSK-сигналов. Существующие методы ориентированы на разбивку сигнала на равные интервалы (окна) и регистрацию на каждом интервале максимального значения линейчатого спектра, полученного быстрым преобразованием Фурье (БПФ). Частоты зарегистрированных спектральных составляющих берутся в качестве усредненных мгновенных значений (выборок) частоты FSK-колебания. Этот метод обладает хорошей производительностью, но имеет ограничения по разрешающей способности распознавания и точности (погрешность на уровне 10-15%), связанные с погрешностями алгоритма БПФ (вычисление вместо интеграла Фурье суммы аппроксимирующих прямоугольников) и «размытостью» спектра при большой девиации.

В основу изучаемого метода можно положить метод, который частично изложен в [2]. Предлагаемый метод выделения информативной части спектра зашумленных частотно-модулированных сигналов преследует своей целью увеличение указанной разрешающей способности и точности. Он основан на целенаправленном преобразовании «время-спектр» информативного колебания, заключенного в зашумленном сигнале  $e(t)$ . Предварительные исследования спектральной характеристики модулированного по частоте колебания с

амплитудой  $U_m$  и длительностью  $\tau \gg 2\pi/\omega_H(t)$  позволили установить, что существует следующая зависимость между значением спектральной составляющей  $|S(\omega_{Ц})|$  с центральной частотой  $\omega_{Ц}$  главного лепестка спектра (глобальный максимум) и величиной девиации  $\Omega_d$ :

$$|S(\omega_{Ц})|^2 \approx k_1/\Omega_d \leq U_m \tau / 2, \quad (1)$$

где  $k_1$  – коэффициент масштаба, учитывающий влияние величины  $\tau$ . Из (1) следует, что, уменьшая величину  $\Omega_d$ , можно в области  $\omega_{Ц}$  увеличить спектральную плотность информативного колебания по отношению к спектральной плотности шума в рамках установленной интервальной (оконной) выборки  $\tau$  сигнала  $e(t)$ . Но поскольку функция  $\Omega_d(t)$  является информативным параметром, то для достижения указанной цели (увеличение разрешающей способности) процесс необходимо переместить в нелинейное время, функция которого может быть представлена как [2]

$$t_H(t) = [\omega_H(t) \cdot t] / \omega_0, \quad (2)$$

где  $\omega_0$  – значение частоты в начале окна сигнала. При подобном нелинейном масштабировании времени линейно модулированное по частоте колебание превращается в немодулированный по частоте радиоимпульс с частотой заполнения  $\omega_0$ . При этом  $\Omega_d = 0$ , а модуль  $|S(\omega_{Ц})|$  принимает максимальное значение. Для того чтобы использовать экстремум функции  $S_{max}(\omega) = |S(\omega_{Ц}, \omega_H)|$  для установления факта выполнения условия (2), необходимо точно установить неизвестную функцию (объект измерения)  $\omega_H(t)$ . Для этого требуется, как минимум, знать наличие и диапазон изменения производных функции  $\omega_H(t)$ , дающих существенный вклад в (2). Нахождение численными методами значений этих производных (с обратным знаком) позволяет полностью устранить девиацию колебания. Таким образом, в результате для каждого интервала  $\tau$  можно определить не только начальное значение колебания в окне, но и функцию  $\omega_H(t)$  в целом – с учетом найденных в ней производных. Для реализации указанной методики требуется соответствующий математический аппарат спектрального преобразования, а изучение и применение на практике самой методики может лечь в основу одного из разделов дисциплины ЦОС.

Методика при его изучении может содержать два этапа:

1-й этап – аппроксимация сигнала с неравномерной варьируемой дискретизацией аналитической функцией (интерполяция по выборкам сигнала);

2-й этап – получение решения спектрального преобразования аппроксимированного сигнала в аналитическом виде с установленной погрешностью.

### *1 Аппроксимация сигнала по его выборкам*

Пусть на отрезке  $[t_0, t_n]$  заданы  $n+1$  точек  $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$ , которые называются узлами интерполяции, известны значения некоторого сигнала  $e(t)$  в этих точках:

$$e(t_0) = e_0, e(t_1) = e_1, e(t_2) = e_2, \dots, e(t_n) = e_n.$$

При этом в общем случае допускается, что

$$t_1 - t_0 \neq t_2 - t_1 \neq t_3 - t_2 \neq \dots \neq t_n - t_{n-1}.$$

Требуется построить функцию  $f(t)$ , принимающую в узлах аппроксимации те же значения, что и  $e(t)$ , то есть такую, чтобы

$$f(t_0)=e_0, f(t_1)=e_1, f(t_2)=e_2, \dots, f(t_n)=e_n. \quad (3)$$

В такой общей постановке задача может иметь бесчисленное множество решений. Однако эта задача становится однозначной, если вместо произвольной функции  $f(t)$  искать полином  $P_n(t)$  степени не выше  $n$ , удовлетворяющий условиям (3), то есть такой, чтобы:

$$P_n(t_0)=e_0, P_n(t_1)=e_1, P_n(t_2)=e_2, \dots, P_n(t_n)=e_n.$$

**Для решения поставленной задачи хорошо отработаны различные методы аппроксимации на основе интерполяционных формул. Анализ алгоритма формирования интерполяционных формул показывает, что наилучшим образом для цифровой обработки подходит полином Ньютона, так как при необходимости его «дистраивать» (при увеличении  $n$ ) полином не надо строить заново.**

Полином Ньютона строится на основе разделенных разностей [3], что при изменении значения  $n$  приводит к вычислению или исключению высшего порядка разделенных разностей.

Разделенная разность первого порядка для функции  $e(t)$ :

$$e(t_0; t_1) = \Delta_{11} = \frac{e(t_1) - e(t_0)}{t_1 - t_0}; \dots; e(t_{n-1}; t_n) = \Delta_{1n} = \frac{e(t_n) - e(t_{n-1})}{t_n - t_{n-1}}. \quad (4)$$

Разделенная разность второго порядка функции для  $e(t)$ :

$$e(t_0; t_1; t_2) = \Delta_{21} = \frac{\Delta_{12} - \Delta_{11}}{t_2 - t_0}; \dots; e(t_{n-2}; t_{n-1}; t_n) = \Delta_{2(n-1)} = \frac{\Delta_{1n} - \Delta_{1(n-1)}}{t_n - t_{n-2}}. \quad (5)$$

Учитывая очевидную закономерность формирования разделенных разностей, можно записать разделенную разность высшего порядка, которая завершает пирамиду вычисляемых значений разделенных разностей:

$$e(t_0; t_1; \dots; t_n) = \Delta_{n1} = \frac{\Delta_{(n-1)2} - \Delta_{(n-1)1}}{t_n - t_0}. \quad (6)$$

Интерполяционный многочлен Ньютона с учетом (4)-(6) будет определяться алгебраическим многочленом  $n$ -й степени:

$$P_n(t) = e(t_0) + (t - t_0)\Delta_{11} + (t - t_0)(t - t_1)\Delta_{21} + \dots + (t - t_0) \dots (t - t_{n-1})\Delta_{n1}, \quad (7)$$

что представляет собой степенной полином вида

$$P_n(t) = a_n t^n + a_{n-1} t^{n-1} + a_{n-2} t^{n-2} + \dots + a_0. \quad (8)$$

Из выражения (7) очевидно определение для (8) только двух коэффициентов:

$$a_n = \Delta_{n1}; \quad a_0 = e(t_0) + \sum_{i=1}^n [(-1)^i \Delta_{i1} \prod_{j=0}^{i-1} t_j]. \quad (9)$$

Формула для вычисления остальных коэффициентов  $a_i$  для (8) при  $n > 3$  может быть получена в результате систематизации сумм произведений из

выражения (7) для весовых множителей перед степенным аргументом  $t^i$ , которая выглядит следующим образом:

$$a_i = \sum_{m=1}^n [(-1)^{m+i} K_{i(m-i)} \Delta_{i1}], \quad (10)$$

где коэффициенты  $K_{ij}$  принадлежат неполной двухмерной матрице значений, определяемые как:

$$K_{ij} = \begin{cases} K_{i0} = 1 \text{ при } i \in [1, n]; \\ K_{i1} = \prod_{m=1}^i t_m \text{ при } i \in [1, (n-1)]; \\ K_{1j} = K_{1(j-1)} t_j + \prod_{k=0}^{j-1} t_k \text{ при } j \in [2, (n-1)]; \\ K_{ij} = K_{i(j-1)} t_{i+(j-1)} + K_{(i-1)j} \text{ при } j \in [2, (n-2)], i \in [2, (n-j)]. \end{cases}$$

Из анализа выражений (4)-(6) и (9),(10) следует, что процесс вычисления коэффициентов  $a_i$  для степенного полинома вида (8) хорошо алгоритмизируется и, с точки зрения цифровой обработки сигнала  $e(t)$  по его выборкам  $e_i$ , является эффективной основой для получения аналитического выражения аппроксимированного сигнала  $e(t)$  на интервале  $[t_0, t_n]$ .

Определение погрешности аппроксимации (8) функции сигнала  $e(t)$ , представленного выборками с неравномерной дискретизацией, целесообразно разработать (с учетом обозначенной во введении методики измерений частоты сигнала при его интервальной разбивке) для частотной области. Для этого необходимо иметь корректное решение спектрального преобразования для выражения вида (8), в качестве которого можно использовать решение для спектральной плотности оконного сигнала, приведенного в [1]. Методика применения этого спектрального преобразования для оконного сигнала приведена ниже.

## 2 Спектральная функция для оконного аппроксимированного сигнала

По условиям интегрируемости степенных рядов спектральную характеристику сигнала, представленного (8), можно записать как

$$S(\omega) = S_0(\omega) + S_1(\omega) + S_2(\omega) + S_4(\omega) + \dots + S_n(\omega) = \sum_{i=0}^n S_i(\omega), \quad (11)$$

где каждое слагаемое в общем случае можно представить интегральным преобразованием в виде первообразной без учета пределов интегрирования:

$$S_0(\omega) = \int a_0 \exp(-j\omega t) dt = \frac{\exp(-j\omega t)}{-j\omega} a_0;$$

$$S_1(\omega) = \int a_1 t \exp(-j\omega t) dt = \frac{\exp(-j\omega t)}{-j\omega} a_1 \left( t - \frac{1}{-j\omega} \right);$$

.....

$$S_n(\omega) = \int a_n t^n \exp(-j\omega t) dt = \frac{\exp(-j\omega t)}{-j\omega} a_n \left( t^n - \frac{nt^{n-1}}{-j\omega} + \frac{n(n-1)t^{n-2}}{(-j\omega)^2} - \frac{n(n-1)(n-2)t^{n-3}}{(-j\omega)^3} + \frac{n(n-1)(n-2)(n-3)t^{n-4}}{(-j\omega)^4} - \dots + (-1)^n \frac{n!}{(-j\omega)^n} \right).$$

Подставив в выражение (11) полученные выражения для  $S_i(\omega)$  и произведя систематизацию по  $a_i$ , можно получить следующее *интегральное решение в виде первообразной* для спектральной характеристики функции вида (8):

$$S(\omega) = \sum_{i=0}^n S_i(\omega) = \frac{e^{-j\omega t}}{-j\omega} \sum_{i=0}^n a_i i! \sum_{k=0}^i (-1)^k \frac{t^{i-k}}{(-j\omega)^k (i-k)!}. \quad (12)$$

При вычислении спектральной плотности оконной функции  $e(t)$  с целью исключения накопления ошибок вычислений, связанных с возведением в степень больших значений  $t$ , кроме нормирования  $t$ , необходимо привязывать отрезок к началу координат, используя теорему о смещении. Применяя понятие *окна* временной функции для спектрального преобразования длительностью

$$\tau = t_n - t_0, \quad (13)$$

на основе первообразной (12) получим выражение спектральной плотности для любого окна  $[0, \tau]$  функции  $e(t)$ , представленного  $n+1$  выборками и отстоящего от начала координат на величину  $t_0$ :

$$S(\omega) = \sum_{i=0}^n S_i(\omega) = \frac{e^{-j\omega t}}{-j\omega} \sum_{i=0}^n a_i i! \sum_{k=0}^i (-1)^k \frac{t^{i-k}}{(-j\omega)^k (i-k)!} \Big|_{t_0}^{t_0 + \tau} =$$

$$= \left\{ \left[ e^{-j\omega \tau} \sum_{i=0}^n a_i i! \sum_{k=0}^i (-1)^k \frac{\tau^{i-k}}{(-j\omega)^k (i-k)!} \right] - \left[ \sum_{i=0}^n a_i i! \frac{1}{(j\omega)^i} \right] \right\} \cdot \frac{\exp(-j\omega t_0)}{-j\omega}. \quad (14)$$

Полученное выражение (14) для его использования в учебном процессе (в части практических занятий) замечательно тем, что оно для функций вида (8):

- не содержит погрешности спектрального преобразования (в отличие от БПФ);

- хорошо алгоритмируется, то есть является удобным для программирования вычисления значений  $S(\omega)$  для различных значений  $\omega, \tau$  и  $t_0$ .

### 3 Оценка спектра аппроксимированного гармонического колебания

Как любой методический аппарат, используемый в процессе цифровой обработки, должен оцениваться методической погрешностью. В данном случае объектом для спектрального анализа является сигнал, представленный сложным колебанием с гармонической несущей. Функции подобных сигналов раскладываются в степенные ряды, в связи с чем, изъятие только нужного полинома, состоящего из первых членов степенного ряда, в качестве аппроксимирующей функции неизбежно приведет к погрешности аппроксимации. Следовательно, чтобы пользоваться рассмотренной выше

технологией спектрального анализа для гармонических колебаний, нужно разработать методику оценки указанной погрешности.

При исследовании характера погрешности аппроксимации может быть предложена норма в виде отношения числа узлов интерполяции (моментов отсчетов), приходящейся на период синусоидального колебания  $T=\tau$ , при этом считалось бы, что крайние узлы совпадают соответственно с началом и окончанием периода колебаний.

Ошибка аппроксимации на интервале  $\tau$  определяется выражением

$$\delta_n(t) = e_n(t) - P_n(t).$$

Реперные значения амплитуд функции ошибки в зависимости от числа узлов интерполяции на периоде колебаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения ошибки аппроксимации полиномом Ньютона

| Число<br>выборки, n  | 7                    | 9                    | 11                   | 13                 | 15                  | 17                    |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|
| $ \delta(n) _{\max}$ | $1,7 \times 10^{-3}$ | $7,2 \times 10^{-5}$ | $2,2 \times 10^{-6}$ | $5 \times 10^{-8}$ | $9 \times 10^{-10}$ | $1,3 \times 10^{-11}$ |

По множеству значений  $\delta_n(t)$  было получено с погрешностью не более 10% выражение функции ошибки на интервале  $\tau$ :

$$\delta(t) = (-1)^{\frac{n+1}{2}} \frac{0,0165n^3 - 0,113n^2 - 0,242n + 1,93}{10^{n-5}} \sin\left(\frac{n\pi t}{\tau}\right) \left[ \exp\left(\frac{-n\pi(\tau-t)}{\tau}\right) - \exp\left(\frac{-n\pi t}{\tau}\right) \right]. \quad (15)$$

Первый множитель в выражении (15) является весовым и зависит от числа узлов интерполяции (отсчетов), который можно обозначить как

$$g_n = (-1)^{\frac{n+1}{2}} \frac{0,0165n^3 - 0,113n^2 - 0,242n + 1,93}{10^{n-5}}. \quad (16)$$

С учетом (16), а также учитывая быстрое затухание экспонент в выражении (15) в пределах интервала аппроксимации  $\tau$ , можно получить выражение для спектральной плотности функции ошибки:

$$\begin{aligned} S_{er}(\omega) &= \int_0^{\tau} g_n \sin\left(\frac{n\pi t}{\tau}\right) \left[ \exp\left(\frac{-n\pi(\tau-t)}{\tau}\right) - \exp\left(\frac{-n\pi t}{\tau}\right) \right] e^{-j\omega t} dt \approx \\ &= g_n \frac{n\pi}{\tau} \frac{2\omega^2 \cos\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) + j4 \left[ \omega \frac{n\pi}{\tau} \cos\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) - \left(\frac{n\pi}{\tau}\right)^2 \sin\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) \right]}{4\left(\frac{n\pi}{\tau}\right)^4 + \omega^4} e^{-j\omega\tau} \end{aligned} \quad (17)$$

Выражение (17) было проверено на функции  $\sin(0,2 \cdot \pi \cdot t)$  при различных значениях n на основе сравнения с выражением

$$S_{er}(\omega) = \int_0^t (e(t) - P_n(t)) e^{-j\omega t} dt \quad (18)$$

с использованием численных методов интегрирования комплексных функций. При этом было установлено, что при равномерной дискретизации в

области несущей спектры (17) и (18) полностью совпадают. На рисунке 1 представлен амплитудный спектр  $|S_{er1}(\omega)|$  при равномерной дискретизации.

При случайном распределении интервалов дискретизации с равномерным законом распределения амплитудный спектр ошибки достигает минимума. На рисунке 1 он представлен как  $|S_{er2}(\omega)|$ . Это объясняется тем, что спектр функции ошибки при неравномерной дискретизации приближается к спектру «белого» шума, то есть становится более равномерным, а не сосредотачивается в области частот, кратных частоте несущей.

Проведенное исследование по сравнению этих двух видов амплитудных спектров функции ошибки при интерполяции полиномом Ньютона гармонической функции на интервале, равном ее периоду повторения, при различных значениях выборок  $n$  показало, что существует устойчивое соотношение между их максимальными значениями в пределах 20-и процентной погрешности:

$$\frac{|S_{er2}(\omega)|_{\max}}{|S_{er1}(\omega)|_{\max}} \approx \frac{1}{\pi}. \quad (19)$$

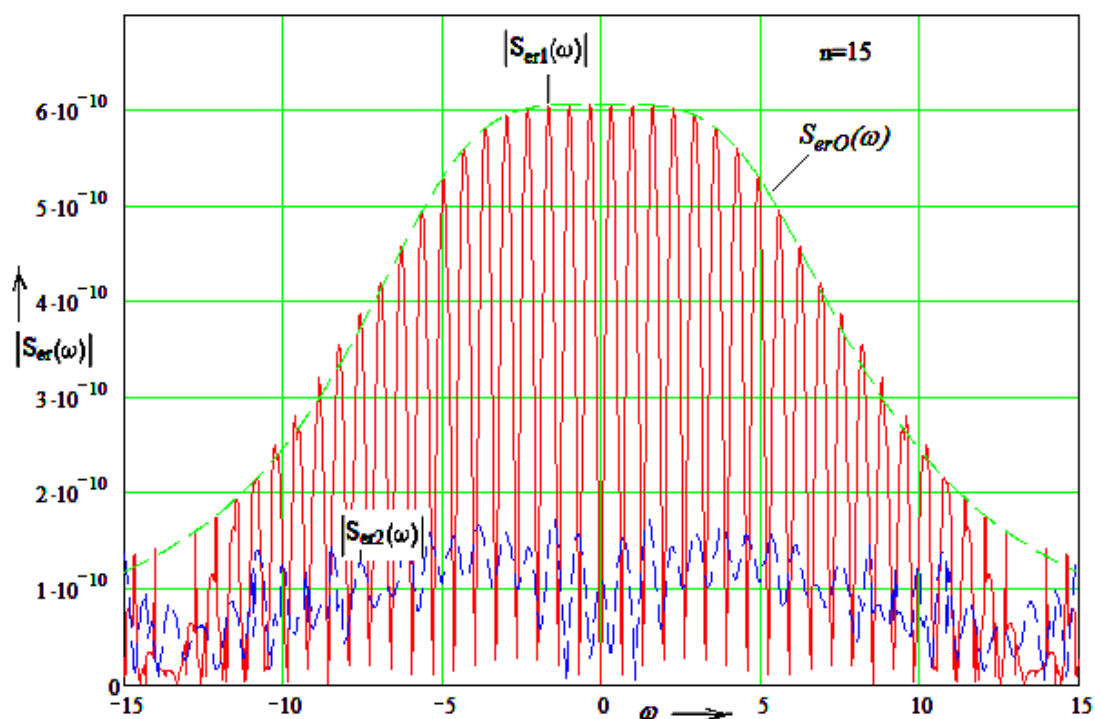


Рисунок 1 – Спектры интерполяционных ошибок

С учетом (19) на основе (17) можно составить выражение асимптотического амплитудного спектра функции ошибки интерполяции гармонического колебания, значений которого амплитудный спектр реальной ошибки аппроксимации не превысит ни при каких условиях:

$$S_{erA}(\omega) = \frac{g_n \tau}{n\pi^2} + g_n \left| \frac{n\pi}{\tau} \frac{2\omega^2 \cos\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) + j4 \left[ \omega \frac{n\pi}{\tau} \cos\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) - \left(\frac{n\pi}{\tau}\right)^2 \sin\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) \right]}{4\left(\frac{n\pi}{\tau}\right)^4 + \omega^4} \right|. \quad (20)$$

Полученное выражение, по сути, представляет собой предельную функцию амплитудного спектра шума интерполяции и может быть использовано для количественной оценки вклада этого вида шума в информационную составляющую спектра измерительного сигнала при его цифровой обработке.

Из выражения (20) можно получить огибающую спектра функции ошибки интерполяции, которая будет незаменимой при эскизной оценке наличия шумов интерполяции во всем диапазоне частот:

$$S_{erO} = g_n \frac{\tau}{n\pi} \cdot \frac{\sqrt{\left(\frac{2n\pi}{\tau}\right)^4 + 4\omega^4}}{\left(\frac{2n\pi}{\tau}\right)^2 + \omega^4 \left(\frac{\tau}{n\pi}\right)^2}. \quad (21)$$

График огибающей (21) спектра функции ошибки интерполяции гармонической функции представлен на рисунке 1.

### Заключение

Полученный в данной работе математический аппарат для спектрального анализа аппроксимированного на конечном интервале времени сигнала с неравномерной дискретизацией может стать эффективной основой для одного из разделов дисциплины, связанной с цифровой обработкой сигналов. Он может быть использован как основной инструмент для разработки спектрального метода обнаружения и измерения мгновенного значения модулированного по частоте колебания в условиях сильных шумов. Ради справедливости необходимо признать, что недостатком разработанного аппарата является существенные временные затраты при его реализации вычислительными средствами по сравнению с использованием БПФ.

При внедрении в учебный процесс описанного метода может быть использована любая среда программирования, поддерживающая математические языки для операций с комплексными числами. Поэтому данный аппарат целесообразно использовать при проведении лабораторных работ по ЦОС, строго не регламентированных по времени для обработки зарегистрированных FSK-сигналов, но требующих высокой точности измерения.

### Список литературы

1. Булатов, В.Н. Спектральное преобразование сигналов с неравномерной дискретизацией / В.Н. Булатов, О.В. Худорожков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – Тамбов: ТГТУ, 2017. – Т. 23. - № 1. - С. 33-47.
2. Булатов, В.Н. Спектрально-временной метод измерения мгновенных значений угловой частоты сильно зашумленного доплеровского колебания / В.Н. Булатов, Е.С. Тимонов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: труды XI Международной конференции / Под ред.: акад. Е.А. Федосова и др. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2009. – С. 347 – 353.
3. Волков Е.А. Численные методы: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд., испр. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 248 с.
4. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.: ил.

# **СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ УРОВНЕЙ НАПРЯЖЕННОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И МАГНИТНОГО ПОЛЕЙ ЛЭП**

**Быковская Л. В., канд. техн. наук, доцент,  
Комиссарова Т.В.**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

**Аннотация.** С развитием технологий и улучшения качества жизни, происходит расширение, а также модернизация уже существующих электрических сетей, появляются новые сети. Как известно, электрические сети являются источником электромагнитных полей, которые неблагоприятно сказываются на живых организмах и окружающей среде. Кроме этого, при близком расположении источников электромагнитных полей друг к другу, могут появляться помехи, которые отрицательно воздействуют на качество передачи электроэнергии и работу электроприемников. Поэтому выделяют, так называемые, санитарные зоны вблизи линий электропередач. При растущей плотности жилой и промышленной застройки, вопрос уменьшения санитарной зоны ЛЭП стоит особенно остро. Изучение способов снижения напряженности электрических и магнитных полей от ЛЭП является основной целью данной работы.

**Ключевые слова.** Электромагнитное поле, защита от электромагнитного излучения, напряженность электромагнитного поля

Одним из побочных эффектов работы каждого электрического устройства является электромагнитное поле, генерируемое вблизи его рабочего места.

Электромагнитное поле – это особая форма материи, посредством которой осуществляется воздействие между электрическими заряженными частицами. [1] Электромагнитное поле состоит из электрического (порождается электрическим зарядом) и магнитного (порождаемое токами) полей.

Дальность распространения каждого поля в отдельности характеризуется следующими факторами:

1. Дальность распространения электрического поля напрямую зависит от класса напряжения ЛЭП. Чем выше класс напряжения, тем больше зона повышенной напряженности электрического поля.

2. Дальность распространения магнитного поля зависит от нагрузки линии или величины протекающего тока. В отличие от зоны повышенной напряженности электрического поля, зона напряженности магнитного поля может менять свою величину с изменением времени суток и времени года.

Как было сказано ранее, электромагнитные поля промышленной частоты отрицательно влияют на живые организмы и технологическое оборудование.

Согласно [2] установлены следующие предельно допустимые уровни напряженности электрического поля:

- в жилых зданиях 0,5кВ/м;
- на территории зоны жилой застройки 1 кВ/м.

В связи с этим, для защиты населения от электрических полей ЛЭП, устанавливаются санитарно-защитные зоны вдоль трасс ВЛ, где напряженность электрического поля превышает 1 кВ/м. [2]

Для линий с горизонтальным размещением проводов принимаются следующие размеры санитарно-защитных зон:

- 330 кВ – 20 м;
- 500 кВ – 30 м;
- 750 кВ – 40 м;
- 1150 кВ – 55 м.

Ориентировочные размеры коридоров воздушных линий представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Размер коридора ВЛ.

| Напряжение, кВ | Ширина коридора, м |                                        |                                                                                    |
|----------------|--------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                | Одна линия         | Прибавка к каждой дополнительной линии | Прибавка к каждой дополнительной линии на подходах к ПС или на стесненных участках |
| 110            | 50                 | 28 (35)                                | 15                                                                                 |
| 150            | 60                 | 34                                     | 16                                                                                 |
| 220            | 64                 | 38 (41)                                | 21                                                                                 |
| 330            | 78                 | 40 (44)                                | 28                                                                                 |
| 500            | 84                 | 50                                     | 43                                                                                 |
| 750            | 120                | 75                                     | 60                                                                                 |
| 1150           | 160                | 100                                    | 80                                                                                 |

Как видно из таблицы, расстояния достигают значительных размеров, а это значит, что под воздействием электромагнитных полей оказывается большая территория. Кроме этого, наблюдается электромагнитное взаимодействие между двумя параллельно идущими линиями. Уменьшение электромагнитного влияния достигается различными способами.

Одним из способов уменьшения санитарно-защитной зоны является применение многоцепных опор. У таких опор ширина санитарно-защитной зоны по влиянию электрического поля на 15-20% ниже. [3]

Но вместе с этим появляется проблема электромагнитной совместимости параллельно идущих цепей, закрепленных на одной опоре. Уровень электромагнитных полей, создаваемых ЛЭП, существенно зависит от взаимного расположения проводов различных фаз. [4]

Для всех стандартных способов расположения проводов на одноцепных опорах существует характерная особенность – несимметричное расположение фазных проводов по отношению друг к другу. Из-за этого создается

несимметрия фазных напряжений. Создается повышенная напряженность электрического поля, это приводит к появлению коронных разрядов. Коронные разряды порождают высокочастотные токи в самих проводах. Эти токи создают помехи при работе высокочастотной связи.

Кроме этого, возможно возникновение опасного для жизни потенциала, возникающего из-за электромагнитного воздействия на отключенную линию, со стороны параллельно расположенной работающей линии.

Опасность наведенного напряжения состоит в том, что на него не реагируют штатные приборы защиты. При использовании штатного линейного заземления, появляется еще больший риск попасть под наведенное напряжение.

На высоковольтных линиях электропередач, длиной более 100 км, для уменьшения напряженности электромагнитного поля применяют транспозицию фаз.

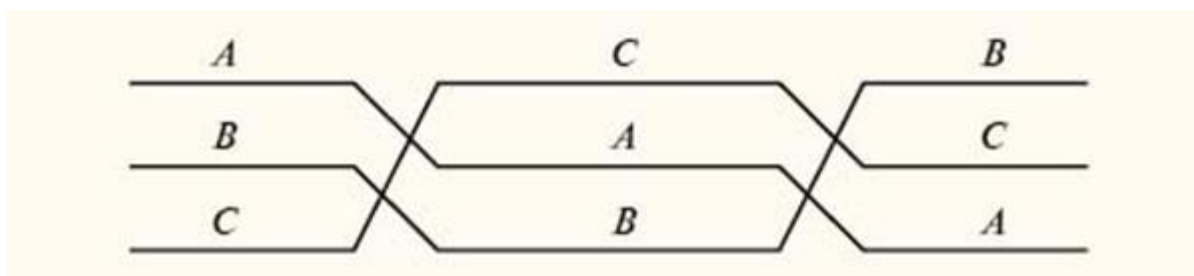


Рисунок 1 – Полный цикл транспозиции фаз

Длина транспозиционного цикла не должна превышать 300 км. На опорах с двумя цепями, целесообразно выполнять транспозицию фаз для цепей по одинаковой схеме. Взаимная транспозиция цепей усложняет эксплуатацию и обычно не требуется. [5]

При проектировании линий сверхвысокого напряжения, учитывают экономическую целесообразность рассчитывают из условия больших токовых нагрузок. На линии 500кВ токи достигают 1000 А. Для уменьшения коронного разряда на таких токах требуются провода очень большого сечения. Вместе с этим появляются проблемы при монтаже таких проводов. Кроме этого, использование провода такого сечения крайне неэффективно из-за поверхностного эффекта. Поэтому на линиях сверхвысокого напряжения используют расщепление фазы. Расщепление фаз позволяет снизить напряженность электрического поля. В этом случае одиночные провода меньшего сечения размещаются в вершинах правильного многоугольника, и такая система считается, как единичный провод.

Еще одним эффективным способом защиты от электромагнитных полей является применение специальных конструкций – экранов. На сегодняшний день на рынке имеется большое количество защитных экранов различных конструкций и назначения. Защитный экран позволяет в значительной мере снизить электромагнитное воздействие на электронное оборудование, окружающую среду, обслуживающий персонал.

Работа защитных экранов основана на отражении и поглощении электромагнитных волн при переходе из одной проводящей среды в другую.

Снижение электромагнитного поля осуществляется за счет потерь энергии при взаимодействии электромагнитной волны с экраном.

Каждый из методов имеет свои достоинства и недостатки. Способ защиты выбирается непосредственно на этапе проектировании линии и является индивидуальным для каждого случая.

В связи с вышеизложенным возникает необходимость в исследовании электрического и магнитного полей, создаваемых воздушной линией электропередач и оценке электромагнитной совместимости ЛЭП различной конфигурации.

#### Список литературы

1. Малков, Н.А. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств: учеб. пособие / Н.А. Малков, А.П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во Тамб.гос. техн. ун-та, 2007 – 88 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-8265-0659-2.
2. СанПиН 2971-84. Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты
3. Смазнов Д.Н., Родчихин С.В., Москалев А.В., Зимин К.Н. Высотные опоры в индивидуальном проектировании воздушных линий // Энергия единой сети. 2017. №1. С. 36 – 43.
4. Линии электропередачи 345 кВ и выше: сб. трудов науч.-исследов. ин-та США. М.: Энергия, 1980 – 480с.
5. Реут М.А., Рокотян С.С. Справочник по проектированию линий электропередачи. М.: Энергия, 1980 – 297с.

## **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ЛЭП 500 кВ**

**Быковская Л.В., канд. техн. наук, доцент, Маслов В.А.,  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

Стремительное развитие экономики влечет за собой увеличение электропотребления, результатом этого является экспоненциальный рост потребляемой мощности. Это, в свою очередь, сопровождается интенсивным ростом общей протяженности линий электропередач, а также увеличением числа подстанций.

Актуальность темы исследования уровней электромагнитных полей (ЭМП) воздушных линий (ВЛ)-500 кВ заключается в том, что на территориях крупных областей как правило в эксплуатации находятся как минимум две подстанции 500 кВ. Протяженность линий, прилегающих к этим подстанциям весьма значительна. Главной опасностью, исходящей от высоковольтных линий электропередач являются электромагнитные поля. Линии электропередач проходят вблизи населенных пунктов и как правило, жители не придают значения факту нахождения в опасной зоне ВЛ высокого или сверхвысокого класса напряжения, или вблизи подстанции. Отсутствуют широкодоступные материалы о влиянии ЭМП на здоровье человека, отсутствуют доступные данные об уровне таких воздействий [1].

Поэтому вопрос расчета и анализа влияния сверх высокого напряжения ЛЭП 500 кВ остается на сегодняшний день актуальным.

Осуществление расчета и проведение анализа электрических полей в инженерной практике можно разбить на три этапа.

Первым этапом является выбор численного метода и составление расчётной модели изучаемого объекта, описывающей его основные физические и технические характеристики.

Второй этап – это собственно расчёт определённых ранее параметров поля в заданной расчётной области при помощи выбранного метода.

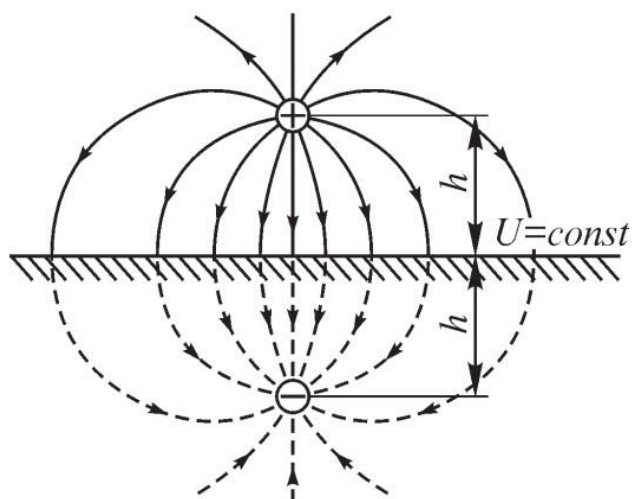
На третьем этапе производится обработка и анализ полученных результатов расчёта, предусматривающий сопоставление полученных значений напряженности и потенциала с допустимыми значениями [2].

Для решения задачи по расчету электромагнитных полей применяется аналитический метод расчета, а именно метод зеркальных изображений. Расчет поля заряженных проводников, располагаемых вблизи плоских поверхностей, ограничивающих проводящую среду, при помощи метода зеркальных изображений приводится к расчету поля нескольких проводников при отсутствии проводящей среды.

Все линии напряженности поля, имеют начало на положительно заряженном проводе, а конец на поверхности проводящей среды, где возникает

наведенный отрицательный заряд. Поле определяется как зарядом провода, так и всем зарядом, распределенным по поверхности проводящей среды. Распределение наведенного заряда из условий задачи не известно и следовательно, подлежит определению.

Расчет поля в такой системе кажется сложной задачей, но легко решается с помощью метода зеркальных изображений. Проводящая среда заменяется проводом, который является зеркальным изображением реального провода в поверхности раздела, заряд имеет такой же по величине значение, но с противоположным знаком (Рисунок 1).



$h$  – Высота на которую подвешен провод над поверхностью земли

Рисунок 1 – Зеркальное изображение провода

Действительный провод и его зеркальное изображение представляют собой двухпроводную линию, поле которой показано на рисунке 2.

Из рисунка 2 можно заметить, что плоскость, расположенная между действительным проводом и его зеркальным изображением, представляет собой поверхность равного потенциала.

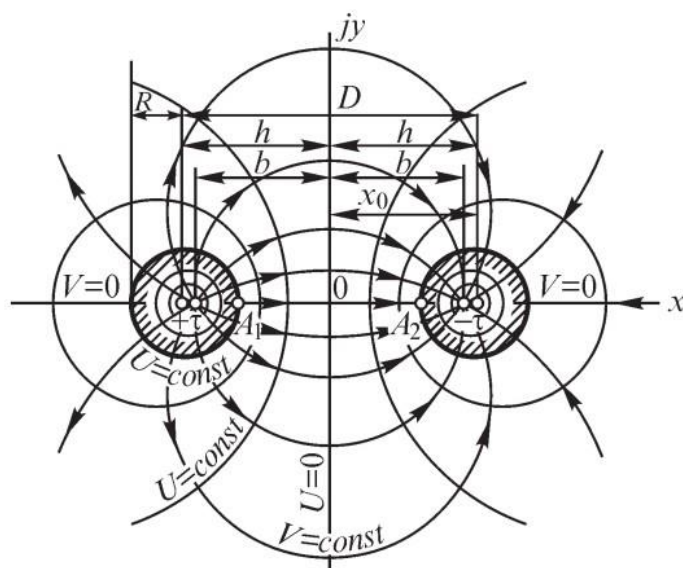


Рисунок 2 – Поле двухпроводной линии

В действительных условиях поверхность проводящей среды как раз совпадает с этой плоскостью, следовательно тоже является поверхностью равного потенциала. Из этого следует, что если заменить проводящую среду зеркальным изображением провода с изменением знака заряда на противоположный, то в области над проводящей средой поле будет таким же, как и в действительных условиях. В этом и состоит суть данного метода.

Метод зеркальных изображений может быть применен при любом числе проводов, расположенных параллельно друг другу и параллельно плоской поверхности, которая ограничивает проводящую среду.

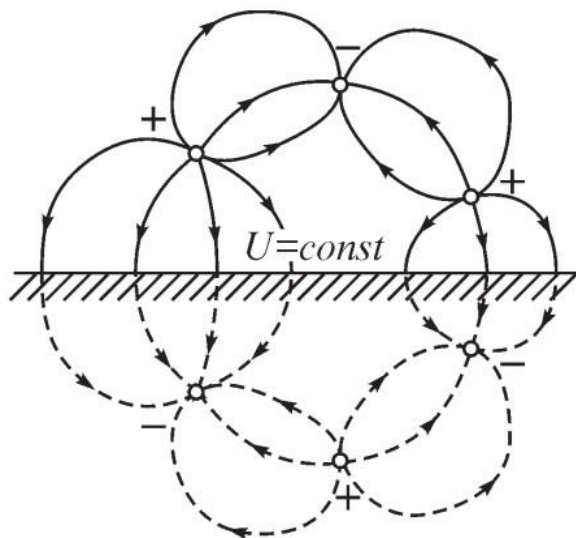


Рисунок 3 – Расположение трех параллельных проводов

Обязательно каждый провод должен быть зеркально отражен в поверхности проводящей среды, знак заряда необходимо поменять на противоположный, после этого проводящую среду можно мысленно убрать и поле будет представлять собой совокупность действительных проводов и их зеркальных изображений.

В таком поле плоскость, расположенная на месте поверхности проводящей среды, будет являться поверхностью равного потенциала, так как заряды  $+$  и  $-$  расположены симметрично данной плоскости. Найденное таким образом поле и будет являться действительным полем в области над поверхностью проводящей среды.

Метод зеркальных изображений может применяться для расчета и в том случае, когда проводящая среда ограничена двумя плоскостями, сходящимися под углом  $\alpha = \pi/n$ , где  $n$  – целое число, при этом угол  $\alpha$  отсчитывается в диэлектрике, где рассматривается поле. Данный метод подойдет для расчета заряженных тел любой формы, находящихся в диэлектрике возле плоскостей, ограничивающих проводящую среду.

Метод зеркальных изображений также может использоваться в условиях, когда плоская поверхность разделяет две среды с разными диэлектрическими проницаемостями [3].

Эффективное применение аналитических методов, возможно в тех случаях, когда форма проводников может быть представлена в какой-либо системе координат (декартовой, цилиндрической или сферической), поэтому выбор аналитических методов целесообразен при расчете поля линий электропередач (ЛЭП).

Для подтверждения полученных результатов теоретического расчета методом зеркальных изображений, необходимо провести моделирование и расчет электромагнитного поля в специализированной программе. Для этого можно воспользоваться программой FEMM (Finite Element Method Magnetics) с применением численного метода. В программе FEMM в качестве численного метода используется метод конечных элементов (МКЭ).

МКЭ – это метод расчета полей в некой области  $G$ , основанный на представлении данной области в виде совокупностей – конечных элементов, например для двумерных полей подобласти – это треугольники. В аппроксимации искомой функции, например потенциала  $\varphi$ , в каждом из этих элементов в функции координат, в составлении выражения для энергии поля всей области через потенциалы  $\varphi_k$  фиксированных точек этих элементов и в получении системы алгебраических уравнений относительно  $\varphi$  путем минимизации выражения для энергии поля [4].

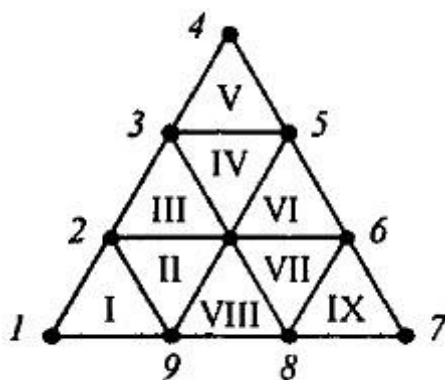


Рисунок 4 – К пояснению МКЭ

На рисунке 4 показана область  $G$  и ее разбиение на треугольники. Подобласти пронумерованы римскими цифрами,  $M=9$ . Узлы элементов обозначены арабскими цифрами,  $K=9$ .

Внутри каждого (конечного)  $e$  элемента, ( $e$  – номер подобласти) имеет:

$$\varphi^e = [N^e][\varphi]. \quad (1)$$

У текущего  $e$  элемента номера узлов входят в интервал  $1 \dots K$ .

$$[N^e] = [N_1^e, N_2^e, \dots, N_k^e]; \quad (2)$$

$$[\varphi] = [\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k]^T. \quad (3)$$

Энергия поля в объеме  $V$  для однородного и изотропного диэлектрика

$$W_3 = \int_V \frac{1}{2} \{ [g]^T \varepsilon_a [1] [g] - 2\varphi \rho \} dV. \quad (4)$$

Здесь

$$[g]^T = \left[ \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \frac{\partial \varphi}{\partial y}, \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right]; \quad (5)$$

$$[1] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Интеграл в 4 представим в виде суммы интегралов по всем элементам  $(1 \dots M)$ :

$$W_3 = \sum_{e=1}^M \int_{V^e} \frac{1}{2} \{ [g^e]^T \varepsilon_a [1] [g^e] - 2\varphi^e \rho \} dV = \sum_{e=1}^M F^e. \quad (7)$$

Имея в виду что 2 и 5, получаем:

$$[g^e] = \begin{bmatrix} \frac{\partial \varphi^e}{\partial x} \\ \frac{\partial \varphi^e}{\partial y} \\ \frac{\partial \varphi^e}{\partial z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1^e}{\partial x} & \frac{\partial N_2^e}{\partial x} & \dots & \frac{\partial N_k^e}{\partial x} \\ \frac{\partial N_1^e}{\partial y} & \frac{\partial N_2^e}{\partial y} & \dots & \frac{\partial N_k^e}{\partial y} \\ \frac{\partial N_1^e}{\partial z} & \frac{\partial N_2^e}{\partial z} & \dots & \frac{\partial N_k^e}{\partial z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \dots \\ \varphi_k \end{bmatrix} = [B^e][\varphi], \quad (8)$$

$$[B^e] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1^e}{\partial x} & \frac{\partial N_2^e}{\partial x} & \dots & \frac{\partial N_k^e}{\partial x} \\ \frac{\partial N_1^e}{\partial y} & \frac{\partial N_2^e}{\partial y} & \dots & \frac{\partial N_k^e}{\partial y} \\ \frac{\partial N_1^e}{\partial z} & \frac{\partial N_2^e}{\partial z} & \dots & \frac{\partial N_k^e}{\partial z} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Замети, что

$$[g^e]^T = [\varphi]^T [B^e]^T. \quad (10)$$

Запишем выражения для энергии, запасенной в одном элементе с учетом формул 8 и 10:

$$F^e = \int_{V^e} \frac{1}{2} [\varphi]^T [B^e] \varepsilon_a[1] [\varphi] dV - \int_{V^e} \rho [N^e] [\varphi] dV. \quad (1)$$

Для того чтобы минимизировать энергию надо приравнять нулю производную  $\frac{\partial F^e}{\partial [\varphi]}$ , так как  $[B^e] \varepsilon_a[1] [B^e] = [A]$  является симметричной матрицей, то по правилам матричного дифференцирования:

$$\frac{\partial [\varphi]^T [A] [\varphi]}{\partial [\varphi]} = 2[A][\varphi]; \quad (1)$$

$$\frac{\partial [N^e] [\varphi]}{\partial [\varphi]} = [N^e]^T. \quad (1)$$

Таким образом, условие  $\frac{\partial F^e}{\partial [\varphi]}$  для одного элемента приводит к уравнению:

$$\left\{ \int_{V^e} [B^e]^T \varepsilon_a[1] [B^e] dV \right\} [\varphi] - \int_{V^e} \rho [N^e]^T dV = 0. \quad (1)$$

А для всех  $M$  конечных элементов получим совокупность уравнений:

$$\sum_{e=1}^M \int_{V^e} [K^e] [\varphi] = \sum_{e=1}^M \rho [N^e]^T dV. \quad (1)$$

Здесь:

$$[K^e] = \int_{V^e} [B^e]^T \varepsilon_a[1] [B^e] dV. \quad (16)$$

После интегрирования и суммирования 15 будет представлять систему алгебраических уравнений относительно потенциалов всех узлов. Если поле двухмерное, то принимая размер поля в направлении одной из координат единичным, объемные интегралы заменяют на интегралы по площади и тогда:

$$[K^e] = \int_{S^e} [B^e]^T \varepsilon_a[1] [B^e] dS; \quad (1)$$

$$\sum_{e=1}^M \int_{V^e} [K^e][\varphi] = \sum_{e=1}^M \int_{S^e} \rho [N^e]^T dS. \quad (18)$$

В том случае, когда диэлектрик анизотропный, то в этом случае оси координат располагаются по направлению главных осей анизотропии и для трехмерного случая

$$F^e = \int_{V^e} \left\{ \frac{1}{2} \left[ \varepsilon_{ax} \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2 + \varepsilon_{ay} \left( \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)^2 + \varepsilon_{az} \left( \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)^2 \right] \rho[\varphi] \right\} dV. \quad (19)$$

В 1.18 следует заменить  $\varepsilon_a$  на:

$$|D_3| = \begin{bmatrix} \varepsilon_{ax} & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{ay} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{az} \end{bmatrix}. \quad (20)$$

Для трехмерного случая расположив оси параллельно главным осям анизотропии, имеем:

$$F^e = \int_{V^e} \left\{ \left[ \frac{1}{\mu_{ax}} \left( \frac{\partial A_x}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{\mu_{ay}} \left( \frac{\partial A_y}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{\mu_{az}} \left( \frac{\partial A_z}{\partial z} \right)^2 \right] - \delta_x A_x \right\} dV. \quad (21)$$

В 1.19 аналогично следует заменить  $\varepsilon_a$  на:

$$|D_\mu| = \begin{bmatrix} \frac{1}{\mu_{ax}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\mu_{ay}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\mu_{az}} \end{bmatrix}.$$

В результате проведенного анализа научно-технической литературы в области моделирования ЭМП ЛЭП были выбраны следующие методы расчета. В качестве аналитического метода расчета наиболее подходящим методом является метод зеркальных изображений, так данный метод обладает необходимыми достоинствами для проведения расчета, а именно:

1. Метод применим при любом числе проводов, протянутых параллельно друг другу и параллельно плоской поверхности, ограничивающей ферромагнитную среду;

2. Относительно простой метод;

3. Метод удобен с точки зрения алгоритмизации и автоматизации на ЭВМ;

4. Требуемая точность для инженерных расчетов.

В качестве расчетного численного метода наиболее подходящим является метод конечных элементов, так данный метод обладает необходимыми достоинствами для проведения расчета, а именно:

1. Приемлемая точность решения;

2. Возможность описания криволинейных границ области любой сложности;

3. Учет граничных условий различных типов и расчёт поля с объемным зарядом;

4. Автоматическим расчёт значений потенциала во всех узлах и, следовательно, быстрота вычисления потенциала и напряженности в любой точке области.

5. Метод обеспечивает прекрасные возможности визуализации результатов расчёта.

Методы могут быть использованы при изучении курса «Переменное электромагнитное поле» обучающимися по программе магистратуры «Автоматизированные энергетические системы и комплексы».

#### Список литературы

1. В.Н. Довбыш, Электромагнитная безопасность элементов энергетических систем: Монография / В.Н. Довбыш, М.Ю. Маслов, Ю.М. Сподобичев. – Самара: ООО «ИПК Содружество», 2009. – 198 с.

2. Демирчан К.С., Теоретические основы электротехники, Том 1 / К.С. Демирчан, Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. СПб, Питер, 2003. – 463 с.

3. Демирчан К.С., Теоретические основы электротехники, Том 3 / К.С. Демирчан, Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. СПб, Питер, 2003. – 377 с.

4. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники, Электромагнитное поле / Л.А. Бессонов. – М.: Высшая школа, 2003. – 316 с

# **АНАЛИЗ СИСТЕМ РАСЧЁТА ПОТЕРЬ В ТРАНСФОРМАТОРАХ**

**Быковский В.В. канд. техн. наук, доцент,  
Фахрутдинов Т.А.**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

В настоящее время мы не можем представить свою жизнь без электроэнергии. Трансформатор является важной частью процесса передачи энергии для нужд потребителей. Экономика и законодательство диктуют высокие требования к электросетевым, энергосбытовым компаниям и потребителям: необходимо повышать эффективность процессов передачи электрической энергии и в тоже время снижать потери. Важно, чтобы трансформатор работал максимально эффективно. Наиболее актуальной проблемой в современном мире является уменьшение потерь в трансформаторах. Для подсчёта, анализа и корректировки потерь существуют различные методы расчёта.

Трансформатор – это электромагнитное устройство, которое имеет две (или более) индуктивно связанные обмотки, предназначенное для преобразования параметров электроэнергии. Существует различные типы трансформаторов: силовой, автотрансформатор, трансформатор тока и напряжения, сварочный и другие. Силовые трансформаторы получили огромное применение в электротехнике, поскольку они изменяют значения переменного тока и напряжения. Коэффициент полезного действия мощных трансформаторов приближается к 99%.

При преобразовании параметров электрической энергии в трансформаторах возникают магнитные и электрические потери. Магнитные потери – это потери от вихревых токов, которые наводятся переменным магнитным полем в пластинах магнитопровода и потери от гистерезиса, которые связаны с уменьшением остаточного магнетизма в ферромагнитном материале магнитопровода. При неизменяемом первичном напряжении магнитные потери (холостого хода) не зависят от нагрузки трансформатора и являются постоянными для каждого типа трансформаторов.

Электрические потери состоят из потерь в металле обмоток, потерь добавочных и потерь в токоведущих частях. Величина этих потерь напрямую зависит от нагрузки трансформатора. Здесь мы можем прямо повлиять на уменьшение потерь. Для этого необходимо их посчитать. Далее рассмотрим методы расчёта электрических потерь в трансформаторах.

Существуют технические, технико-экономические и технико-экономические методы расчёта потерь с элементами технических потерь.

Рассмотрим каждый из методов расчёта потерь, их преимущества и недостатки в виде таблиц 1,2,3.

Таблица 1 - Технические потери

| Технические потери |                                                                                                                                                                                                |                                                                               |                                                                                                                              |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ФИО авторов        | П.М.Тихомиров                                                                                                                                                                                  | А.Н. Козлов<br>В.А. Козлов<br>А.Г. Ротачева                                   | Е.И. Грачева<br>О.В. Наумов                                                                                                  |
| Название           | Расчёт трансформаторов                                                                                                                                                                         | Электротехническое оборудование последнего поколения                          | Влияние потерь холостого хода трансформаторов на величину потерь электроэнергии в электрических сетях                        |
| Описание           | Основы теории расчёта силовых трансформаторов с плоскими и пространственными магнитными системами, сведения по конструкции магнитных систем, обмоток, систем охлаждения и справочные материалы | Назначение и принцип действия современных электрических аппаратов и устройств | Природа возникновения потерь холостого хода силовых трансформаторов, причины увеличения данных потерь за период эксплуатации |
| Достоинства        | точность расчёта потерь<br>полная картина неполадок<br>технические параметры нового оборудования<br>способы уменьшения потерь XX при длительной эксплуатации трансформаторов                   |                                                                               |                                                                                                                              |
| Недостатки         | большие затраты времени при расчётах<br>нет экономической составляющей расчётов                                                                                                                |                                                                               |                                                                                                                              |

Таблица 2 - Техничко-экономические потери

| Техничко-экономические потери |                                                                                                                     |                                                                                                          |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ФИО авторов                   | Ю.С. Железко, А.В. Артемьев,<br>О.В. Савченко                                                                       | В.Э. Воротницкий<br>М.А. Калинкина                                                                       |
| Название                      | Расчёт, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: руководство для практических расчётов    | Расчёт, нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. Учебно-методическое пособие |
| Описание                      | Приведена структура фактических (отчётных) потерь электроэнергии в электрических сетях энергоснабжающих организаций | Методики и программы для расчёта, нормирования и снижения потерь электроэнергии в электрических сетях    |
| Достоинства                   | быстрота расчёта потерь<br>соответствие требованиям современного мира                                               |                                                                                                          |
| Недостатки                    | малая точность расчёта потерь                                                                                       |                                                                                                          |

|  |                                                                                     |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | нет полной картины потерь<br>расчёт на сегодняшний день - нет перспектив на будущее |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------|

Таблица 3 - Техничко-экономические потери с элементами технических потерь

| Техничко-экономические потери с элементами технических потерь |                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ФИО автора                                                    | Я.И. Тульчинская                                                                                                                                                                                                                 |
| Название                                                      | Оценка эффективности применения трансформаторов с низким коэффициентом загрузки                                                                                                                                                  |
| Описание                                                      | Применение трансформаторов с низким коэффициентом загрузки по сравнению со стандартными трансформаторами для повышения энергоэффективности и уменьшения потерь                                                                   |
| Достоинства                                                   | повышение энергоэффективности применением трансформаторов с низким коэффициентом загрузки<br>быстрота расчёта потерь<br>полная картина неполадок<br>есть экономическая составляющая расчетов<br>расчет с перспективой на будущее |
| Недостатки                                                    | малая точность расчёта потерь                                                                                                                                                                                                    |

Таким образом, проанализировав положительные стороны каждого метода и выявив недостатки, для выполнения конкретной задачи наиболее подходящий метод расчёта технических потерь с элементами экономики. Для реализации необходима современная автоматизированная система расчёта потерь в трансформаторах на основе данного метода.

#### Список литературы

1. Козлов А.Н., Козлов В.А., Ротачева А.Г. К59 Электротехническое оборудование последнего поколения: учебное пособие / А.Н. Козлов, В.А.Козлов, А.Г. Ротачева. - Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2013.-166с.
2. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов: Учебное пособие для вузов.-5-е изд., перераб. и доп.-М.: Энергоатомиздат, 1986.-528 с.:ил.
3. Библия электрика: ПУЭ, МПОТ, ПТЭ.-М.:Эксмо,2012.-752с. - (Российское законодательство. Техническая литература). ISBN 978-5-699-47496-7
4. Воротницкий В.Э., Калинкина М.А. Расчет, нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. Учебно-методическое пособие. 3-е стереотип. изд.-М.: ИПКГосслужбы. 2003. - 64 с.
5. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов.- М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.-280 с.: ил.
6. Тульчинская Я.И. Оценка эффективности применения трансформаторов с низким коэффициентом загрузки. УДК 338.46:621.31
7. Грачева Е.И., Наумов О.В. Влияние потерь холостого хода трансформаторов на величину потерь электроэнергии в электрических сетях УДК 621.311

8. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.  
[Электронный ресурс]: Доступ из правовой системы «КонсультантПлюс».

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ПЕРЕВООРУЖЕНИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ

Влацкая Л.А., канд. техн. наук, доцент,  
Саккузиев Р.М.

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

В настоящее время в электроэнергетике, в связи с ее переходом на новый уровень модернизации, связанный с активным внедрением цифровых носителей информации, замена электроэнергетических объектов на современные является актуальной и значимой задачей.

Для её решения прибегают к техническому перевооружению и реконструкции энергообъектов (ЭО).

Под техническим перевооружением на предприятии и производстве понимают комплекс мероприятий, направленных на оснащение новой техникой, заменяя морально и физически устаревшее оборудование. Данные мероприятия приводят к повышению эффективности действующих электроэнергетических объектов и эффективности предприятия в целом [1].

К реконструкции относят комплекс работ, направленных на улучшение технико-экономических показателей объекта за счёт переустройства и замены строительных конструкций и сооружений, выработавших нормативный срок службы [1]. Реконструкция также снижает риск непредвиденных обстоятельств.

Важность принятия правильного решения в развитии предприятия энергообъектов, в таких условиях как множество целей функционирования, и как следствие, возрастающее число оцениваемых параметров; неопределенность части исходной информации; современные технико-экономические требования приводит к необходимости обрабатывать большие объёмы информации и прорабатывать различные варианты по улучшению функционирования ЭО. Данные аспекты существенно влияют на неизбежное появление системы поддержки принятия решения (СППР) в сфере развития промышленных энергообъектов.

Анализ научно-технической литературы [2-17] позволил выделить следующие подходы к принятию решений:

- 1) Сведение многокритериальной задачи к однокритериальной (в том числе методы свертки);
- 2) Решение задач в условиях неопределенности;
- 3) Методы искусственного интеллекта.

Кратко охарактеризуем сущность, достоинства и недостатки методов каждой группы представленных подходов. К *первой группе* отнесены методы решения многокритериальных задач, в основе которых лежит «свертывание» нескольких критериев в скалярный (обобщенный).

Аддитивная, мультипликативная, минимаксная или нелинейная свёртка относятся к классическим методам. На основе этих методов существуют также их модификации, являющиеся комбинациями классических методов свёрток, например, аддитивно – аддитивная и аддитивно – мультипликативная свёртки. Также к ним относятся методы на основе ранговых оценок Борда, методы на основе иерархии критериев, и методы на основе анализа иерархии [2-6].

Среди методов этой группы наибольшее распространение получил метод аддитивной свёртки (1) из-за своей простоты и относительно одинаковых результатов при различных используемых коэффициентах важности критериев:

$$\begin{aligned} F(a_1, a_2, \dots, a_n) &= \sum_k f_k(a_n) \\ F(a_1, a_2, \dots, a_n) &= \sum_k \lambda_k f_k(a_n) \end{aligned} \quad (1)$$

где  $n = \overline{1..A}$ ,  $A$  – множество допустимых решений (множество альтернатив);  $f_k(a_n)$  – локальные, частные критерии,  $k = \overline{1..C}$ ;  $C$  – множество критериев принятия решения;  $\lambda_k$  – весовые коэффициенты (значимость критериев).

Методы, основанные на мультипликативной свёртке (2), не могут быть использованы при нулевых значениях хотя бы одного критерия:

$$\begin{aligned} F &= \prod_k f_k(a_n) \\ F &= \prod_k f_k^{\lambda_k}(a_n) \end{aligned} \quad (2)$$

К недостаткам методов первой группы следует отнести: возможную взаимную компенсация частных критериев (уменьшение значения одного из критериев может быть покрыто возрастанием значения другого критерия); трудности с определением  $\lambda_k$  (весовые коэффициенты определяют либо с использованием формальных процедур или с применением экспертных оценок). Помимо этого, методы свертки не могут быть использованы в условиях полного или частичного отсутствия информации.

В таких условиях используют методы **второй группы**. К этим методам отнесены методы принятия решений с учетом одного фактора неопределенности, наиболее существенного с точки зрения лица, принимающего решение (методы: оптимизма; Лапласа; Вальда; Сэвиджа; Гурвица); метод принятия решений (ПР) при нечёткой исходной информации; метод анализа иерархий (МАИ); качественный метод принятия решений [7-12].

| метод     | для $f \rightarrow \min$                                                | для $f \rightarrow \max$                                                |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| оптимизма | $a^* = \min_{a_n} \{ \min_{\theta_m} f(a_n, \theta_m) \}$               | $a^* = \max_{a_n} \{ \max_{\theta_m} f(a_n, \theta_m) \}$               |
| Лапласа   | $a^* = \min_{a_n} \left\{ \frac{1}{k} \sum_k f(a_n, \theta_m) \right\}$ | $a^* = \max_{a_n} \left\{ \frac{1}{k} \sum_k f(a_n, \theta_m) \right\}$ |

|                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Вальда                                                                                                                                                                   | $a^* = \min_{a_n} \max_{\theta_m} \{f(a_n, \theta_m)\}$                                                                                                                                                                                                       | $a^* = \max_{a_n} \min_{\theta_m} \{f(a_n, \theta_m)\}$                                             |
| Сэвиджа                                                                                                                                                                  | $a^* = \min_{a_n} R_n^{\max} = \min_{a_n} \max_{\theta_m} \{R_{mn}\}$ $R_{mn} = \begin{cases} f_{mn} - \min_n \{f(a_n, \theta_m)\}, & \text{если } f \rightarrow \min \\ \max_n \{f(a_n, \theta_m)\} - f_{mn}, & \text{если } f \rightarrow \max \end{cases}$ |                                                                                                     |
| Гурвица                                                                                                                                                                  | $a^* = \min_{a_n} \left[ \alpha \max_{\theta_m} f_{mn} + (1-\alpha) \min_{\theta_m} f_{mn} \right]$                                                                                                                                                           | $a^* = \max_{a_n} \left[ \alpha \min_{\theta_m} f_{mn} + (1-\alpha) \max_{\theta_m} f_{mn} \right]$ |
| $m=1..\Theta$ , $\Theta$ – множество неопределенных факторов, влияющих на исход решения; $R_{mn}$ – матрица рисков; $\alpha$ – коэффициент пессимизма-оптимизма Гурвица. |                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                     |

В методе ПР при нечёткой исходной информации и МАИ факторы, влияющие на принятие решения делятся на объективные (могут быть выражены количественно) и на субъективные (выражается оценкой эксперта). Для каждого метода используется своя шкала ранжирования альтернатив: для метода принятия решений при нечёткой исходной информации – это оценка от 0 до 1, а для МАИ от 1/9 до 9, где шаг для оценки меньше единицы равен  $1/n$ ,  $n$  принимает значения целых чисел от 1 до 9.

Шкалы оценок в сочетании с качественным описанием факторов позволяют оценивать альтернативы по критериям вербально. Для МАИ и метода ПР необходимо относительно небольшое количество требуемых сравнений  $n(n-1)/2$  и  $n(n-1)$  соответственно, где  $n$  – количество сравниваемых альтернатив, при этом количество сравнений не зависит от количества оценок шкалы. Следует отметить, что МАИ позволяет получить достоверные результаты при использовании экспертом двух- и трёхуровневой иерархии, а метод ПР при парных сравнениях позволяет не учитывать пару, если выявить наилучший вариант из имеющихся невозможно или затруднительно.

Существенными недостатками методов второй группы являются: выбор только одного фактора неопределенности и невозможность их применения в условиях многокритериальности.

К *третьей группе* отнесены методы искусственного интеллекта: нейронные сети, нечеткие множества и нечеткая логика (НЛ), генетические алгоритмы и экспертные оценки [11-16].

Применение аппарата НЛ представляется перспективным, поскольку не требуется априорного знания статистических распределений и их числовых параметров. Вместе с тем позволяет оценить техническое состояние энергообъекта с использованием определенного набора признаков и соответствующей базы знаний и отнести его к некоторому классу состояний вида (допустимое, опасное, критическое). Рассмотренный подход позволяет не только определить интегральный риск для энергообъекта, но и спрогнозировать его значение путем оценки остаточного ресурса ЭО. Необходимость

определения остаточного ресурса энергообъекта, как правило, возникает для прогнозирования срока службы за пределами нормативного значения с целью вывода в ремонт или демонтажа при возникновении риска опасности дальнейшей эксплуатации.

Таким образом, метод позволяет решить вопрос о дальнейшем пути развития ЭО (реконструкция, либо полная замена – модернизация).

Генетические алгоритмы в свою очередь, обладая такими свойствами как: адаптивность, робастность, параллельность вычислений, – обеспечивают их эффективное использование для обработки данных и получения достоверных результатов. Процедура обработки данных сводится к поиску экстремума некоторой функции, посредством селекции «особей» с наилучшим значением функции приспособленности.

Основным недостатком генетических алгоритмов является время сходимости функции (время нахождения экстремума), но данный недостаток нивелируется введением дополнительных операторов, например, операторы объединения или разъединения.

В таблице 1 представлен краткий сравнительный анализ рассмотренных методов.

Таблица 1 – Сравнительный анализ методов принятия решений при техническом перевооружении и реконструкции энергообъектов

| Подход                                                           | Достоинства                                                                                                                                             | Недостатки                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Методы сведение многокритериальной задачи к однокритериально     | 1) Простота<br>2) Оперативность<br>3) Малые финансовые затраты                                                                                          | 1) Субъективность при определении весовых коэффициентов критериев<br>2) Трудность определения внешних факторов (природных, внешнеэкономических и т.п).<br>3) Невозможность использования в задачах с неопределённостью. |
| Методы принятия решений с учетом одного фактора неопределенности | 1) Возможность принятия решения в условиях отсутствия полной информации.<br>2) Возможность оценки как оптимистичного, так и пессимистичного результата. | 1) Риск принятия неправильного решения.<br>2) Сложность оценки непостоянных факторов.<br>3) Невозможность использования в многокритериальных задачах.                                                                   |

|                                        |                                                                                                                        |                                                                                         |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Методы<br>искусственного<br>интеллекта | 1) Высокая точность и достоверность.<br>2) Возможность использования в многокритериальных задачах с неопределенностью. | 1) Субъективизм оценок экспертов.<br>2) Трудности, связанные с программной реализацией. |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|

### Список литературы

1. РД 153-34.3-20.409. Руководящие указания об определении понятий и отнесении видов работ и мероприятий в электрических сетях отрасли. "Электроэнергетика" к новому строительству, расширению, реконструкции и техническому перевооружению. – введ. 2000–01–01. – Москва: ОРГРЭС, 2000. – 5 с.

2. Шапкин, Е. И. Выбор эффективных стратегических решений в условиях неопределенности и многокритериальности / Е. И. Шапкин, Ф. Ф. Юрлов // Вестник ЧГУ. – 2008. – №3. – С. 23-29.

3. Юрлов, Ф. Ф. Обоснование необходимости развития теории и практики выбора эффективных стратегических решений в условиях неопределённости и многокритериальности / Ф. Ф. Юрлов, И. В. Моисеева // УЭК. Экономика и бизнес – 2013. – №11. – С. 45-53.

4. Петровский, А. Б. Многокритериальное принятие решений по противоречивым данным: подход теории мультимножеств / А. Б. Петровский // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2004. – №. 2. – С. 56-66.

5. Порядина, В. Л. Метод обобщенных аддитивных сверток в задачах принятия решений: автореф. дис. ... канд. тех. наук / В. Л. Порядина. – Воронеж, 2008. – 21 с.

6. Домников, А. Ю. Аспекты многокритериального анализа направлений технического перевооружения электрических станций / А. Ю. Домников // Вестник УГТУ–УПИ. Серия экономика и управление. – 2005. – № 1. – С. 26-33.

7. Мурашко, Е. Г. Проблемы принятия инвестиционных решений в условиях неопределенности / Е. Г. Мурашко // Транспортное дело России. – 2006. – №12–III. – С. 79-80.

8. Агафонкина, Н. В. Модель однокритериального принятия решений в условиях неопределенности / Н. В. Агафонкина, Ю. А. Карпов, Д. Н. Стеганцев // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2009. – Т. 5. – №. 6. – С. 36-37.

9. Васин, В. П., Модель принятия решений в электроэнергетических системах (ЭЭС) в условиях неопределенности / В. П. Васин, А.С. Рожков, С. Н. Самойлов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2001. – Т. 22. – №. 4. – С. 108-114.

10. Усенко, О. А. Методы обработки информации в условиях неопределенности в приложении к задачам диагностики состояний технических

объектов / О. А. Усенко // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2013. – №. 5 (142). – С. 96-101.

11. Исаев, С. А. Разработка и исследование генетических алгоритмов для принятия решений на основе многокритериальных нелинейных моделей: автореф. дис. ... канд. тех. наук / С. А. Исаев // Нижний Новгород. – 2000. – 137 с.

12. Гвоздинский, А. Н. Исследование методов принятия решений в системах управления деятельностью предприятия / А. Н. Гвоздинский, Т. И. Шиманович // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2014. – №. 169. – С. 45-49.

13. Попов, В. Б. Подсистема принятия решений при проектировании технических систем / В. Б. Попов, Т. В. Кадач // Вестник Гомельского государственного технического университета им. ПО Сухого. – 2007. – №. 4 (31). – С. 20-29.

14. Антониа, Г. П. И. Многофункциональная оптимизация при компенсации реактивной мощности / Г. П. И. Антониа, М. Р. Секундино, М. С. Балабанов, Л. Л. Аристидес, М. М. Даниель // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – №. 12. – С. 94-103.

15. Пучков Е. В. Методы и системы поддержки принятия управленческих решений / Е. В. Пучков // Деловой аналитический журнал «Ваш Капитал Юг». – 2008. – №. 6-7. – С. 15-17.

16. Асеев Г. Г. Методы интеллектуального анализа данных в электронных хранилищах: генетические алгоритмы / Г. Г. Асеев // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2011. – №. 2 (25). – С. 82-85.

## ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ B-SPLINE РАЗЛОЖЕНИЯ

**Влацкая Л.А., канд. техн. наук, доцент, Скачков А.С.**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Оренбургский государственный университет»**

В настоящее время энергосистемы оснащаются современными устройствами такими как: асинхронизированные и синхронные генераторы, FACTS, СТАТКОМы, управляемые шунтирующие реакторы и т.п. С одной стороны, это ведет к повышению управляемости энергосистемы, с другой – является одним из факторов появления незатухающих или слабозатухающих колебаний, являющихся потенциальной угрозой потери устойчивости энергосистемы. Для выявления и идентификации таких колебаний с последующей ликвидацией их негативного воздействия необходимы методы и алгоритмы анализа регистрограмм, получаемых от энергосистемы.

В результате проведенного сравнительного анализа методов адаптивного разложения регистрограмм [1], предложен модифицированный алгоритм эмпирической модовой декомпозиции (*EMD*) с использованием *B*-сплайнов.

Разработанный алгоритм, как и классический *EMD*, не требует априорных знаний о наличии или отсутствии в регистрограммах определенных компонент. Вся информация извлекается из регистрограммы при разложении на эмпирические моды [2]:

$$f(t) = \sum_{i=1}^{n-1} c_i(t) + r_n(t), \quad (1)$$

где  $f(t)$  – анализируемая регистрограмма;

$n$  – количество эмпирических мод, которое устанавливается в процессе разложения;

$c_i(t)$  – эмпирические модовые функции;

$r_n(t)$  – остаток от разложения регистрограммы на модовые функции.

Алгоритм *B-spline* разложения представляет собой итерационный процесс, состоящий из следующих процедур [3]:

1. Определение экстремумов.
2. Определение среднего *B*-сплайна.
3. Отсеивание прото-IMF.
4. Определение критерия *S*-номера для остановки итерационного процесса отсеивания.
5. Формирование остатка.
6. Анализ монотонности остатка.

Разработанный алгоритм *B-spline* разложения программно реализован в Delphi. В данной работе рассмотрены первые две процедуры алгоритма и представлены результаты их программной реализации.

**Определение экстремумов** осуществляется на интервале  $b$ , который пошагово перемещается вдоль  $f(t)$  с одновременным сопоставлением трех последовательных значений (ординат) регистрограммы  $[f(t_{i-1}), f(t_i), f(t_{i+1})]$  на каждом шаге переноса. За экстремум принимается средняя точка интервала, если для нее выполняются условия:

$$f(t_{i-1}) < f(t_i) > f(t_{i+1}) - \text{для максимумов}$$

$$f(t_{i-1}) > f(t_i) < f(t_{i+1}) - \text{для минимумов.}$$

Для выполнения первой процедуры  $B$ -spline разложения был разработан циклический алгоритм, на каждой итерации которого выполняются следующие операционные действия:

- 1) Формирование скользящего интервала.
- 2) Задание начальных условий.
- 3) Определение максимального значения на интервале.
- 4) Определение минимального значения на интервале.
- 5) Формирование массивов экстремумов.

Подробное описание алгоритма представлено в [4].

На рисунке 1 представлен разработанный интерфейс программы  $B$ -spline разложения с результатами выполнения первой процедуры «Определение экстремумов».

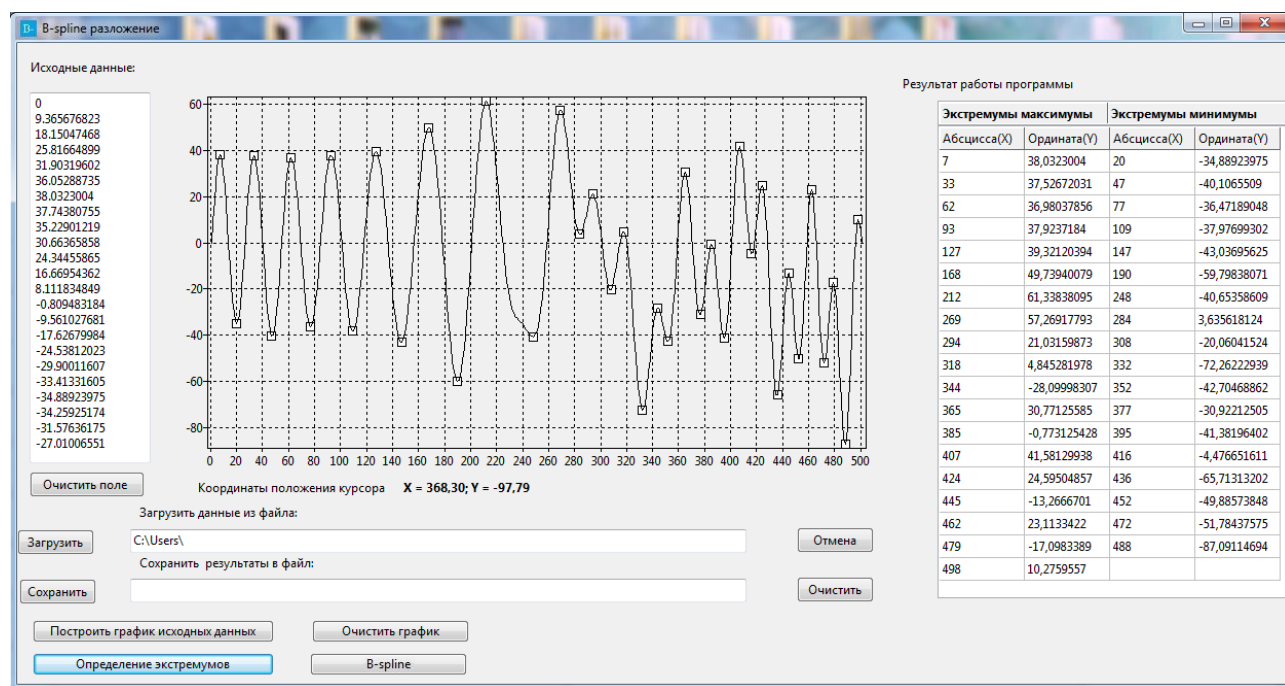


Рисунок 1 – Результат выполнения процедуры «Определение экстремумов»

Вторая процедура «Определение среднего  $B$ -сплайна» состоит из следующих операционных действий:

- 1) адаптивно-логическая коррекция экстремумов на концах анализируемой регистрограммы;

- 2) определение вершин сплайна;
- 3) формирование воображаемых вершин сплайна;
- 4) определение средней кривой на основе В-сплайн-базиса.

Наличие краевых эффектов вносит неопределенность при построении средней кривой, что в свою очередь влияет на корректность выделения эмпирических мод. *Адаптивно-логическая коррекция* заключается в анализе регистрограммы в начальный и конечный моменты времени исследования. Возможны две ситуации.

*Первая ситуация:* в крайних точках анализируемая регистрограмма увеличивается или уменьшается без зафиксированных экстремумов (начальная точка регистрограммы на рисунке 2,а и конечная точка регистрограммы на рисунке 2,б). В этом случае крайним точкам присваивается статус экстремума.

*Вторая ситуация:* крайние точки регистрограммы располагаются между двумя крайними экстремумами (конечная точка регистрограммы на рисунке 2,а и начальная точка регистрограммы на рисунке 2,б). В этих ситуациях коррекция не производится.

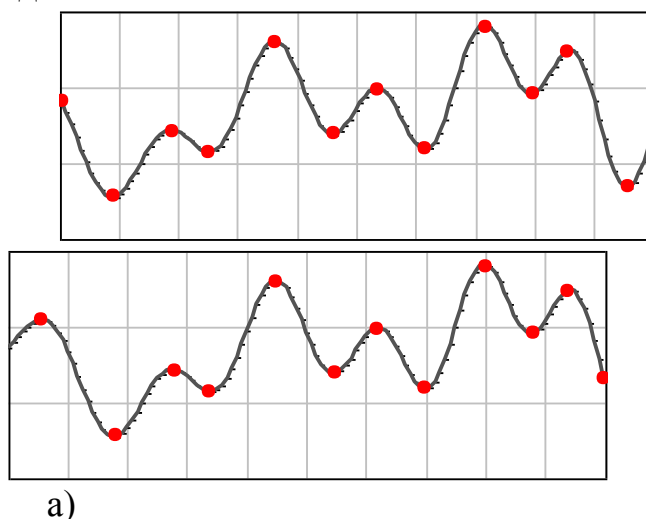


Рисунок 2 – Примеры адаптивно-логической коррекции экстремумов

*Определение вершин сплайна.* Вершины сплайна ( $\lambda_k$ ) вычисляются как биномиальные средние значения найденных ранее экстремумов ( $\text{ext}_c$ ):

$$\lambda_k = \frac{1}{4} \cdot \sum_{n=0}^2 \frac{2!}{n! \cdot (2-n)!} \cdot \text{ext}_{c+n}. \quad (2)$$

Определить  $\lambda_k$  непосредственно в крайних точках регистрограммы невозможно, поскольку первая и последняя вершины, определенные по (2), будут располагаться в треугольниках  $\text{ext}_0, \text{ext}_1, \text{ext}_2$  (рисунок 3,а) и  $\text{ext}_{p-2}, \text{ext}_{p-1}, \text{ext}_p$  (рисунок 3,б). Поскольку  $\lambda_k$  используются для построения среднего В-сплайна, то принято допущение о совпадении положений  $\lambda_0$  и  $\lambda_m$  с абсциссами крайних точек исследуемой регистрограммы. В этом случае ординаты вершин можно определить полусуммой значений крайних экстремумов:

– для начальной вершины  $\lambda_0$  (рисунок 3,в):

$$Y(\lambda_0) = \frac{Y_{\text{ext}_0} + Y_{\text{ext}_1}}{2}, \quad (3)$$

– для последней вершины  $\lambda_m$  (рисунок 3,г):

$$Y(\lambda_m) = \frac{Y_{\text{ext}_{p-1}} + Y_{\text{ext}_p}}{2}, \quad (4)$$

Формирование воображаемых вершин сплайна необходимо для исключения непредсказуемости (искажения) выделяемой модовой функции на начальном  $[\lambda_0 \dots \lambda_1]$  и конечном  $[\lambda_{m-1} \dots \lambda_m]$  интервалах регистрограммы. Сформированный В-сплайн не проходит через крайние вершины  $\lambda_0$  и  $\lambda_m$ , его начало располагается в треугольнике  $\lambda_0 \lambda_1 \lambda_2$  (рисунок 4,а), а конец – в треугольнике  $\lambda_{m-2} \lambda_{m-1} \lambda_m$  (рисунок 4,б).

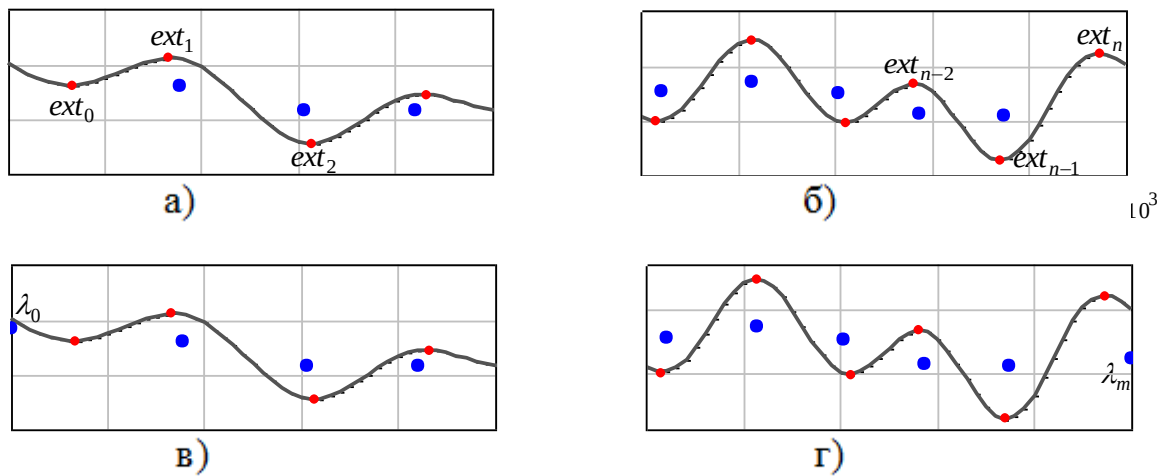


Рисунок 3 – Иллюстрация определения вершин сплайна на концах регистрограммы

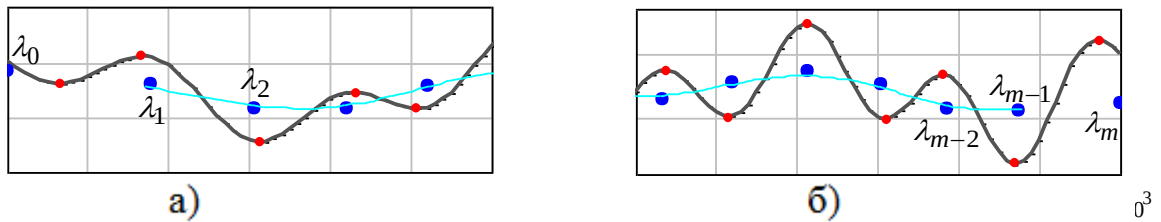


Рисунок 4 – Фрагменты построения среднего В-сплайна на начальном (а) и конечном (б) интервалах без вспомогательных вершин

Воображаемые вершины  $\lambda_{-1}$  и  $\lambda_{m+1}$  в дополнении к массиву  $\lambda_0, \dots, \lambda_m$ , определяются [5]:

$$\lambda_{-1} = 2\lambda_0 - \lambda_1, \quad \lambda_{m+1} = 2\lambda_m - \lambda_{m-1}. \quad (5)$$

Таким образом, кубический В-сплайн строится, начинаясь в вершине  $\lambda_0$  и заканчиваясь в вершине  $\lambda_m$  (рисунок 5).

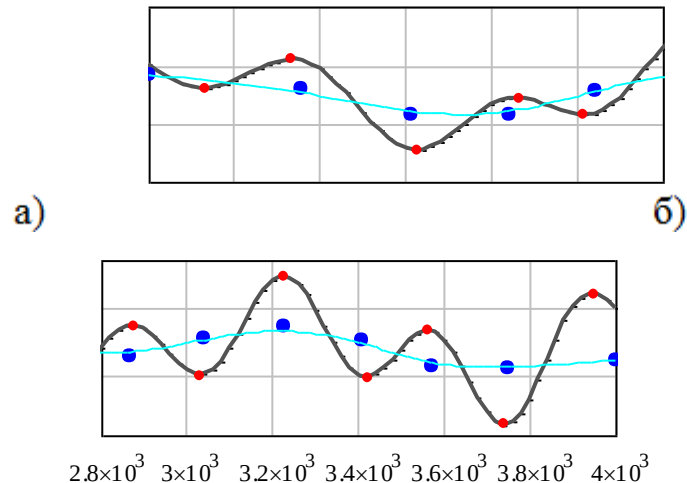


Рисунок 5 – Фрагменты среднего  $B$ -сплайна на начальном (а) и конечном (б) интервалах с учетом воображаемых вершин

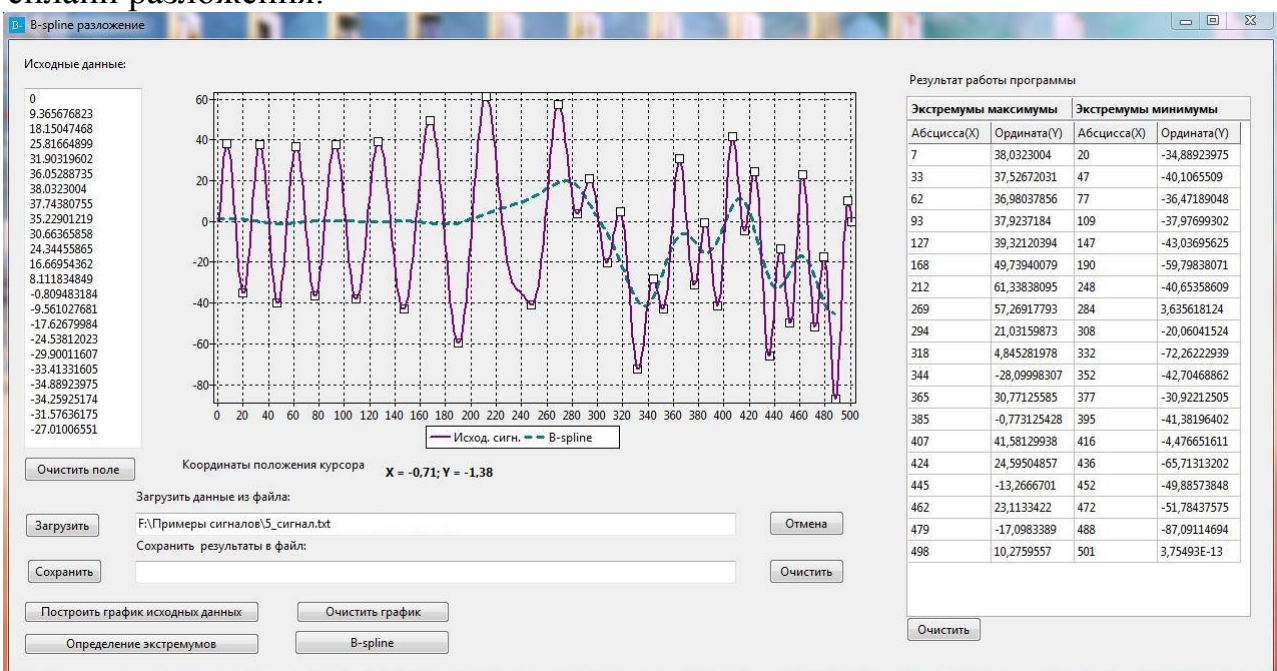
Определение средней кривой на основе  $B$ -сплайн-базиса выполняется на интервале  $[\lambda_k, \lambda_{k+1}]$  и описывается выражением [5]:

$$B(t) = \sum_{k=0}^{m-1} \lambda_k \cdot N_k(t) \quad (6)$$

где  $N_k(t)$  – весовые множители  $k$ -ого кубического  $B$ -сплайн базиса, определяемые по выражениям:

$$\begin{aligned} N_0(t) &= \frac{(1-t)^3}{6}, & N_2(t) &= \frac{-3t^3 + 3t^2 + 3t + 1}{6}, \\ N_1(t) &= \frac{3t^3 - 6t^2 + 4}{6}, & N_3(t) &= \frac{t^3}{6}. \end{aligned} \quad (7)$$

На рисунке 6 представлены результаты выполнения второй процедуры  $B$ -сплайн разложения.



## Рисунок 6 – Определение среднего *B*-сплайна

### Список литературы

1. Влацкая, Л. А. Сравнительный анализ методов адаптивного разложения регистрограмм / Л. А. Влацкая, А. С. Скачков // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всероссийской научно-методической конференции. – Оренбург: ОГУ, 2019. – С. 3381-3384.
2. Huang N. E. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis / N. E. Huang, Zheng Shen, R. L. Steven // Proceedings of the Royal Society of London A. – 1998. – Vol. 454. –P. 903-995.
3. Семенова, Л. А. В-сплайн разложение нелинейных сигналов в электроэнергетических системах / Л. А. Семенова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. – №7 – С. 151-161.
4. Влацкая, Л. А. Алгоритм определения экстремумов регистрограмм и его программная реализация в Delphi / Л. А. Влацкая, А. С. Скачков // Энергетика: состояние, проблемы перспективы : труды X Всероссийской научно-технической конференции. – Оренбург: ОГУ. – 2019. – С. 345-349.
5. Шикин, Е.В. Кривые и поверхности на экране компьютера. Руководство по сплайнам для пользователей. / Е. В. Шикин, Л. И. Плис. – Москва: ДИАЛОГ-МИФИ, 1996. – 240 с.

## **ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ И ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Безгин А.С., канд. техн. наук, доцент, Греков Э.Л.,  
канд. техн. наук, доцент, Волик В.Н.**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

На дворе во всю идет 21 век, и все чаще возникает вопрос об автоматизации различных станков, станций и даже целых заводов. Ученые и инженеры со всего мира не однократно поднимали вопрос. Как сделать так, чтобы была возможность управлять целыми станциями при помощи одной, единой системой управления? Поэтому на сегодняшний момент этот вопрос часто находится в центре внимания многих ученых и инженеров, одним из самых перспективных вариантов является внедрение концепции интернета вещей в промышленность.

В первые, термин интернета вещей появился в 1999 году. Этот термин сформулировал Кэвин Эштон, основатель исследовательской группы Auto – ID при Массачусетском технологическом институте. В своей презентации, Кэвин Эштон пояснил, что внедрение радиочастотных меток может значительно видоизменить систему управления логическими цепями. Второе упоминание об интернете вещей было в 2004 году.[4] Эта обширная статья наглядно показывала огромное применение интернета вещей в бытовом применении. В статье было показано, как бытовые приборы (будильник, кондиционер), домашние системы(система полива сада, охранный система, система освещения), датчики(датчики освещения, движения), и «вещи» (например, лекарственные препараты, снабженные идентификационной меткой) взаимодействуют между собой посредством различных коммуникационных сетей (инфракрасных, беспроводных, силовых и слаботочных сетей) и обеспечивают полностью автоматическое выполнение процессов (включают кофеварку, изменяют освещенность, напоминают о приеме лекарств, поддерживают температуру, обеспечивают полив сада, позволяют сберегать энергию и управлять её потреблением).[2] Сами по себе представленные варианты домашней автоматизации не были новыми, но упор в публикации на объединении устройств и «вещей» в единую вычислительную сеть, обслуживаемую интернет-протоколами, и рассмотрение интернета вещей как особого явления способствовали обретению концепцией широкой популярности. Настоящим рождением интернета вещей является период с 2008 года по 2009 год, именно в этот промежуток времени количество устройств, подключенных к глобальной сети, превысило численность населения Земли. В 2011 году, исследовательская компания информационных технологий Gartner называет интернет вещей одной из самых хайповых и многообещающих технологий в 21 веке.

Каждый год значительно увеличивается количество устройств и пользователей, которые способны выходить в сеть. Поэтому интернет вещей является лучшим из всех возможных систем управления в промышленности. Рисунки 1 и 2 показывают статистику использования цифровых технологий по всему миру за 2018 и 2019 год.[3]



Рисунок 1 – Статистика использования цифровых технологий в 2018 году



Рисунок 2 – Статистика использования цифровых технологий в 2019 году

Достоинства интернета вещей:

- комфорт;
- эффективность;
- сокращение временных затрат и увеличение доходов;
- **помощь в принятии социальных, экономических и других решений;**
- мониторинг;

- контроль;
- оптимизация;
- возможность дистанционного управления;
- автономность.

Недостатки интернета вещей:

- безопасность в сфере защиты данных;
- переход к протоколу IPv6, поскольку миллиардом новым датчикам понадобятся уникальные IP – адреса;
- энергопитание датчиков, датчики должны работать автономно;
- стандартизация устройств, улучшить стандарты безопасности и защиту личных данных;
- необходимость улучшения ПО и обновления существующей компьютерной базы

Первые предшественники насосных станций появились еще в глубокой древности. Человеческим поселениям, жившим в дали от водоемов, требовалась вода, которая является необходимым веществом для жизни всего живого. Тогда и были придуманы первые прототипы насосных станций.

Насосная станция – это комплексная система, которая позволяет поставлять жидкость из одной точки в другую. Существуют различные виды насосных станций, причем одни имеют весьма внушительные размеры и могут снабжать целые города, а другие имеют небольшие размеры, и годятся только для снабжения отдельных домов.

Насосные станции значительно упростили бытовую жизнь человека. Задумайтесь, раньше, что бы помыться, нужно было идти на улицу в любую погоду, набирать воду в ручную и нести ее обратно. Имея насосную станцию, достаточно просто ее включить, и она сама доставит воду туда, куда вам нужно.[1]

Достоинства насосных станций:

- стабильное напряжение;
- высокий напор;
- высокий класс защищенности;
- простота в обслуживании и сборке;

Недостатки насосных станций:

- Отсутствует дистанционное управление;
- Высокий уровень вибрации;
- Шумливость модели;
- Быстрый износ мотора.

Безусловно, насосные станции сыграли большую роль в жизни человека. Однако значительным минусом привода насосных станций является отсутствие дистанционного управления. Для решения этой проблемы является совмещение насосных станций и интернета вещей. Он не только позволит дистанционно управлять ими, но и объединить насосные станции в единую систему управления.[5]

Интернет вещей является мало исследованной концепцией, но уже имеет большое количество внушительных достоинств. На сегодняшний день, интернет вещей является одной из самых актуальных тем в области промышленной автоматизации. Существуют ряд серьезных недостатков, однако они решаются на глобальном уровне.

#### Список литературы

1. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции// Учебник для вузов 1986г.
2. Лочкарева Т.Г. Интернет вещей// Научная статья ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) г.Челябинск 2016.
3. Горькавый А.В., Ляшенко С.А. Интернет вещей// Научная журнал РЭУ им. Плеханова г.Москва 2018.
4. Щербина М.Ю., Стефанова Н.А. Концепция интернет вещей// Научный журнал ПГУТиИ г.Самара 2016.
5. Рубашенков А.М., Бобров А.В. Интернет вещей// Научный журнал МТУ ИКБисП г.Москва 2016.

## **О РАЗВИТИИ ЭЛЕКТРОНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ.**

**Герц М.А., Герц В.А., Сыродоева Л.В.**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

В данной статье рассматривается истории становления электроники как науки. Электроника стала важной и неотъемлемой частью нашего времени. Начало развития электроники приходится на XVIII-XIX, в тот период были открыты основные физические закономерности работы электронных приборов и различные явления, которые положили начало не только научно-техническому, но и социально-экономическому преобразованию общества.

XVIII-XIX столетия считаются периодом выдающихся открытий в электронике, задавшие темпы научно-технического процесса XX века.

В это время можно отметить американского инженера Т.А. Эдисона, который не только открыл, но и описал явление термоэлектронной эмиссии и прохождения электрического тока через вакуум в 1883 г. Он обнаружил, что если разместить внутри лампы металлическую пластину и соединить ее с положительным полюсом батареи через гальванометр, и образовавшейся цепи при нагревании катода начинает протекать ток.

Открытие Г. Герц электромагнитных волн в 1886-1888гг., русского физика А.Г. Столетова, который открыл основные законы фотоэффекта в 1888 г. Профессор исследовал внешний фотоэффект, установил основные законы фотоэлектронной эмиссии и создал первый фотоэлемент с внешним фотоэффектом.

Знаменитые опыты Э. Бранли с металлическими опилками по определению силовых линий магнитных полей в 1890г., изобретение трехфазного асинхронного двигателя М.О. Доливо-Добровольским в 1889г. и машины высокой частоты Н. Тесла (1893г.).

В XX столетия были изобретены электронные лампы, которые привели к началу создания современной радиоэлектроники и ЭВМ. Первая ЭВМ была создана в Пенсильванском университете в 1945 году. Она была очень громоздкой, состояла из 18000 электронных ламп, 1500 реле и занимала много места. Всего за одну секунду ЭВМ производила около 2000 операций.

Дальнейшее развитие электроники, давшее сильный толчок стало создание твердотельных полупроводников приборов – диодов и транзисторов в 1947-1948гг. тремя американскими учеными Д.Бардин, У. Браттейн, У. Шокли. В 1945 году в компании «Bell Labs» У. Шокли возглавил исследовательскую группу в лаборатории физики твердого тела, в которую вошли У. Браттейн, Д. Бардин и другие ученые. Работы группы привела к изобретению точечного транзистора.

Данное событие ознаменовало собой переход электроники из громоздких вакуумных труб на более компактные и экономичные полупроводники. В 1948

году в первые были предложены образцы полупроводниковых приборов способных усиливать и генерировать электрические колебания. Благодаря появлению транзисторов начинается период обширного применения полупроводников в электронике. Транзисторы могли работать при низких напряжениях и токах, что позволила уменьшить размеры всех элементов в схемах. В тоже время с разработкой новых типов приборов велись работы по совершенствованию технологических методов их изготовления.

Знаковым этапом развития электроники были изобретения интегральной микросхемы (1958-1959гг. Дж. Килби , Р. Нойс и К. Леговец ). Три человека, представлявшие три частные американские корпорации, решили три фундаментальные проблемы, препятствовавшие созданию интегральных схем. Джек Килби из Texas Instruments запатентовал принцип интеграции, создал первые несовершенные прототипы ИС и довёл их до серийного выпуска. Курт Леговец из Sprague Electric Company изобрёл способ электрической изоляции компонентов, сформированных на одном на кристалле полупроводника. Роберт Нойс из Fairchild Semiconductor изобрёл способ электрического соединения компонентов ИС. Все эти открытия позволили создали условия для развития электроники как науки.

Одновременно развитие электроники было взаимосвязано с развитием химии, материаловедения, использованием редкоземельных элементов, а также созданием широкого диапазона бытовой промышленной и оборонной продукции на базе разработанных электронных компонентов. Так, например, в 1943 - 1946 гг. была разработана ламповая электронная цифровая вычислительная машина, в 1959 г. Выпущен первый транзисторный компьютер, в 1971 г. создан и выпущен первый универсальный микропроцессор Intel, в 1972 г. изобретены карманные электронные калькуляторы, в 1976 г. начата разработка суперкомпьютера, в 1981 г. выпущен персональный компьютер IBM PC на базе микропроцессоров Intel 8086 и 8088 и первый переносной компьютер Osbome1. За короткий исторический период электроника реализовалась в производстве электронных технологий и стала системообразующей структурой во всех сферах жизнедеятельности человека. Развитие электроники в XIX и XX веках стало оказывать сильнейшие влияния, вызвав потребность получения новых знаний и более развитых продуктов. Только благодаря открытию электромагнитных волн и созданию основ электромагнитной теории, в жизнь воплотилось огромное количество изобретений

Развитие электроники привело к созданию новых отраслей, а также новых видов деятельности. В данный момент одним из ключевых двигателей мирового процесса в области электроники является потребительская электроника. Именно в данной сфере идет интенсивная разработка и изготовление новейших технологий, которые в дальнейшем выходят на мировой рынок.

Так, например, в современных областях электроники главным фактором разработки и производства процессоров, является скорость и размер

полупроводниковых элементов. В последние годы улучшение производительности интегральных схем, достигается путем наращивания рабочей тактовой частоты и увеличением количества транзисторов. Создание систем автоматизированного управления инженерным оборудованием зданий и сооружений, которые имеют неоспоримые преимущества во всех сферах. Эти системы снижают энергозатраты, эксплуатационные издержки, выполняют контроль износа оборудования и действий персонала, управление системой в целом, и, как следствие, предупреждают или предотвращают аварийные ситуации. Они охватывают весь спектр задач, возникающих на разных этапах и уровнях разработки и реализации автоматизированной системы. В данный момент такие системы используются повсеместно, начиная от обычных гаджетов заканчивая атомными электростанциями. Что говорит нам о благоприятном развитии данной отрасли.

#### Список литературы

1. Авдонин, Б.Н. Отечественная электроника. Этапы создания и развития: монография / Б.Н. Авдонин, В.В. Мартынов. – Москва: Креативная экономика, 2012
2. Чернецов К.Н., Лежнев Д.В., Тиллес В.Ф. История техники. Электротехника и электроника. – Пенза: Издательство Пензенского государственного университета, 2004.
3. Зарубин С. Потребительская электроника: мировые тренды и российские реалии// Ит-устройства на розничном прилавке. 2012.

# ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ТИРИСТОРНОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Греков Э.Л. канд. техн. наук, доцент, Безгин А.С., канд. техн. наук,  
Сорокин В.А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

Тиристорный преобразователь часто используют для регулирования уровня постоянного тока и напряжения различных нагрузок, в частности для питания коллекторных двигателей постоянного тока [1,2]. Активно-индуктивная цепь якоря двигателя требует постоянного наличия замкнутых контуров для прохождения тока. Иначе ЭДС самоиндукции индуктивности якоря, которая зависит от скорости изменения тока, может достигать значительных уровней. Это может вызвать повреждение полупроводниковых структур силовых тиристоров.

Достаточно часто подача переменного напряжения питания на тиристорный преобразователь (ТП) осуществляется посредством электромеханического контактора [3]. Схема подключения ТП через контактор представлена на рисунке 1.

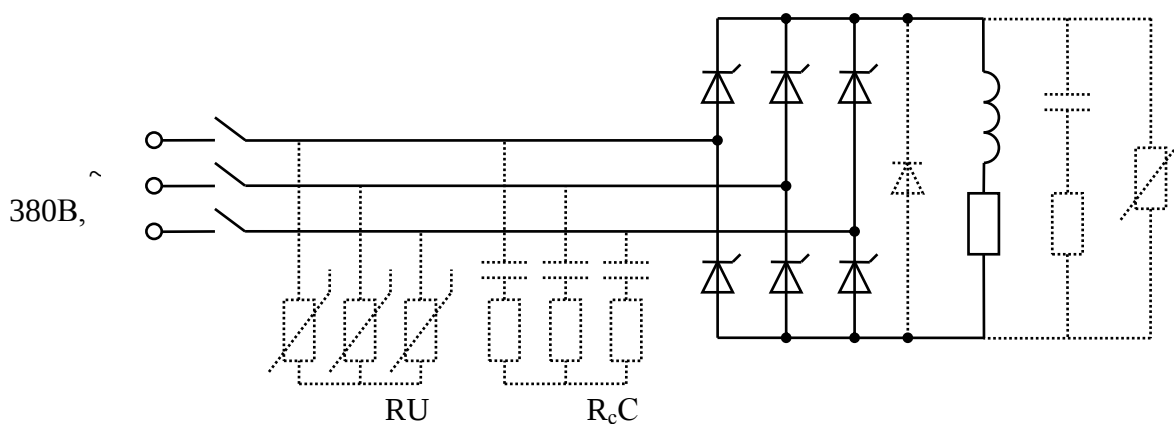


Рисунок 1 – Подключение ТП через контактор

Принцип действия ТП подразумевает последовательное подключение различных линейных напряжений сети к нагрузке в соответствии с углом управления. Таким образом ток нагрузки всегда протекает по как минимум двум фазам сети. Внезапное отключение контактора во время работы ТП вызывает дугу на контактах и перенапряжения на силовых компонентах вследствие накопленной энергии в индуктивностях  $L$  и сети.

Для защиты от перенапряжений применяют ряд схемотехнических решений, представленных на рисунке 1:

- 1) диод (VD1) параллельно нагрузке, который замыкает ток якоря;

2) защитная RC цепочка ( $R_3C_3$ ) совместно с ограничителем перенапряжений (варистором RU1) параллельно нагрузке;

3) защитные RC цепочки ( $R_cC_c$ ) совместно с ограничителями перенапряжений (варисторами RU2-4) параллельно сети.

Каждый из этих способов имеет недостатки. Первый способ самый эффективный, но исключает инверторный режим работы ТП. Второй способ имеет значительные весогабаритные показатели, третий более эффективен, по переменный ток через RC цепочки во время работы рассеивает значительное количество энергии.

В статье описывается способ защиты от перенапряжений, совмещающий первый и второй варианты.

На рисунке 2 представлена имитационная модель работы ТП при внезапном отключении сети, построенная в системе Matlab Simulink.

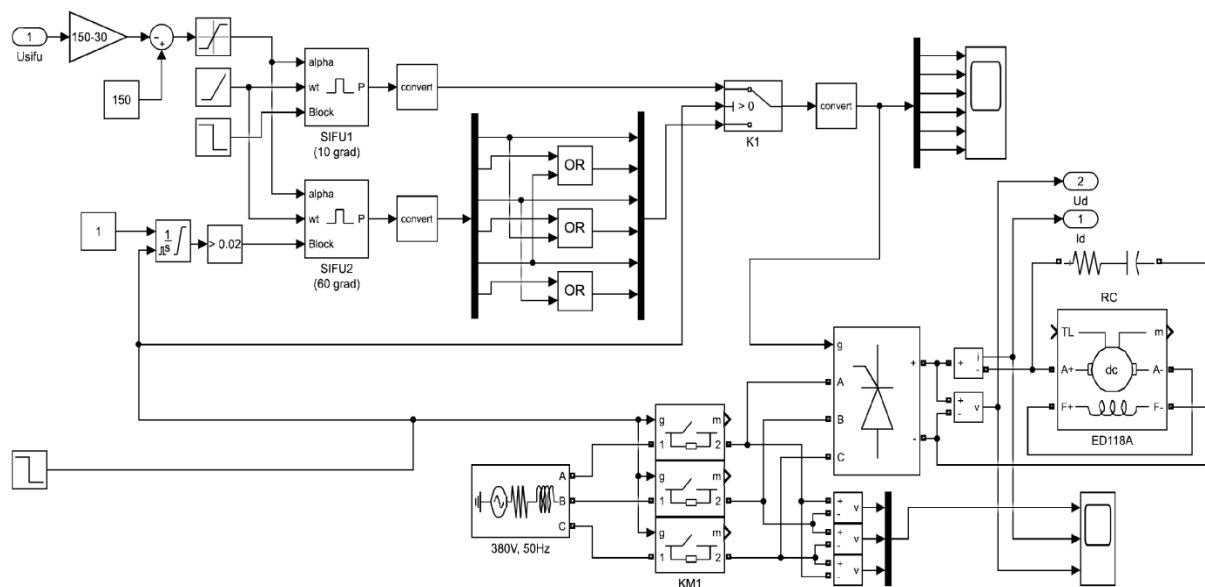


Рисунок 2 – Имитационная модель работы ТП

Модель состоит из мостового тиристорного преобразователя, нагрузки в виде тягового двигателя ЭД118А, защитной RC цепочки по постоянному току, контактора KM1, электрической сети 380В 50 Гц, системы импульсно-фазового управления «SIFU1 (10 grad)», формирующей двойные импульсы управления длительностью 10 электрических градусов. Задание на СИФУ поступает от системы управления электроприводом.

Представленная модель имеет следующие допущения:

- 1) тиристоры идеальные, время включения и выключения не учитываются;
- 2) не учитывается горение дуги на контактах контактора.

На рисунке 3 приведены осциллограммы напряжений на входе ТП, тока и напряжения якоря при внезапном отключении питающей сети посредством

контактора КМ1 в момент максимального значения тока якоря. Как видно, перенапряжение на входе и выходе ТП достигает 5.5кВ.

Предлагается для уменьшения перенапряжения формировать дополнительные импульсы управления тиристорами, повторяя для анодной группы импульсы для катодной. Таким образом одновременно подаются импульсы на группы VS1 и VS4, VS3 и VS6 или VS5 и VS2 (рисунок 1).

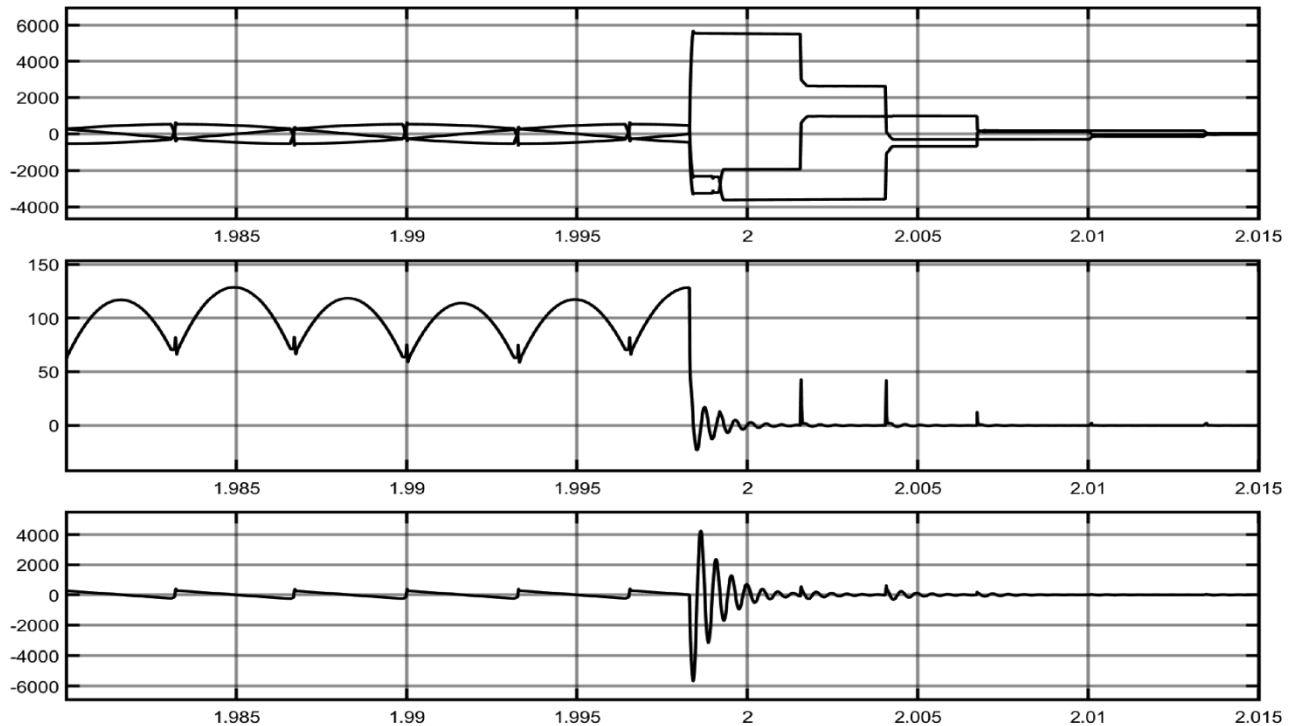


Рисунок 3 – Осциллограммы напряжения на входе ТП (в В), тока якоря (в А) и напряжения на якоре (в В).

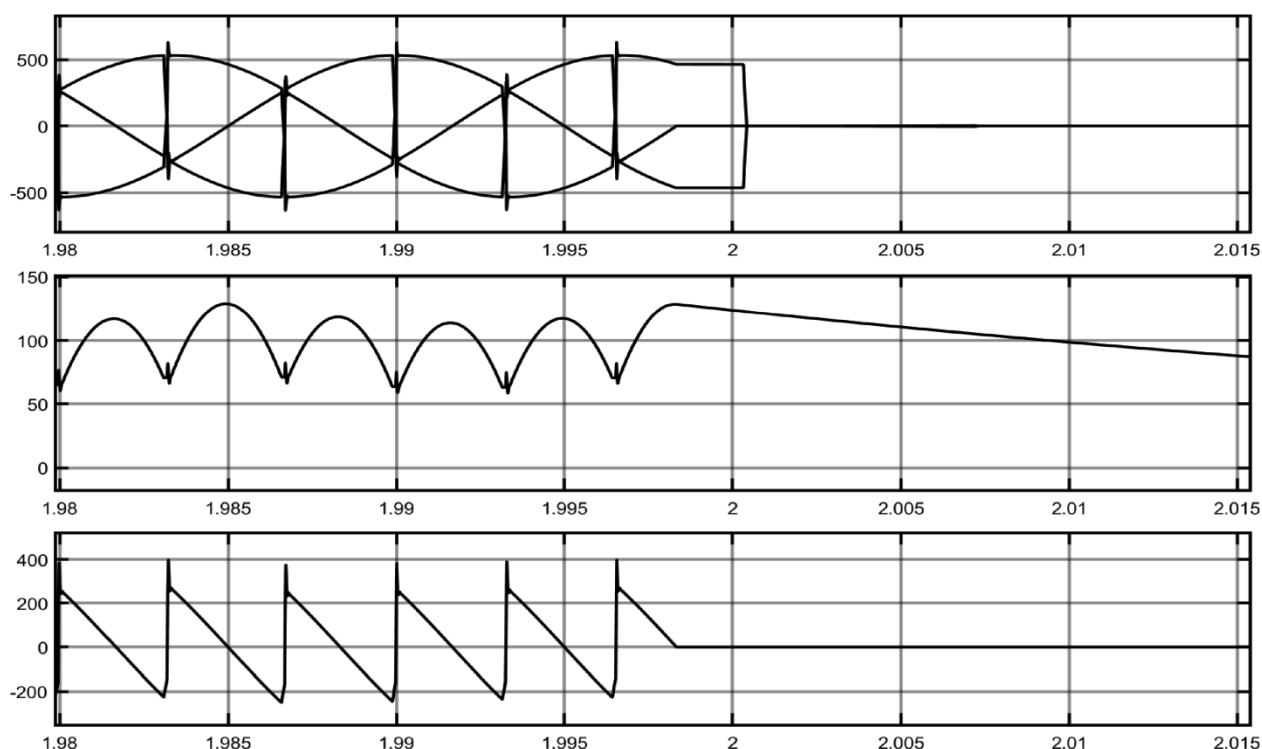


Рисунок 4 – Осциллограммы напряжения на входе ТП (в В), тока якоря (в А) и напряжения на якоре (в В).

На рисунке 2 дополнительные импульсы формируются посредством СИФУ2 с длительностью 60 эл. градусов и логических функций ИЛИ для тиристоров анодной группы (VS2,4,6 на рисунке 1). Переключение группы импульсов осуществляется ключом К1, управляемым тем же сигналом, что и контактор КМ1. Осциллограммы входного напряжения, тока якоря и напряжения на якоре показаны на рисунке 4. Как видно перенапряжения не возникают, так как включаются одновременно два тиристора, образуя цепь замыкания нагрузки.

Технически сигнал о включении режима дублирования импульсов снимается с дополнительных контактов контактора или автоматического выключателя. Перенапряжения все же будут возникать вследствие задержки прохождения сигналов в системе управления и электрических аппаратов. Соответственно для дополнительной защиты следует применять RC цепочки и варисторы. Однако применение данного способа позволяет снизить требования к мощности данных защитных элементов и улучшить весо-габаритные показатели.

#### Список литературы

1. Thyristor Control of Electric Drives V. Subrahmanyam. Tata McGraw-Hill Education, 1987.– 410 pp. ISBN 0-0746-0341-8.
2. Лебедев Е.Д. Управление вентильными электроприводами постоянного тока М., «Энергия», 1970.
3. Schröder D (2009) Elektrische Antriebe-Regelung von Antriebssystemen. Springer, Berlin, ISBN 978-3-540-89612-8.



# **ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КАК ЗАВЕРШАЮЩИЙ ЭТАП ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИКИ**

**Гусейнова Т.Н., Шамсутдинова С.А.**

**Университетский колледж федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

Дипломное проектирование это заключительный этап подготовки обучающихся специальности Электроснабжение (по отраслям). В задачу проектирования входит закрепление и углубление полученных в период обучения знаний, а также общих и профессиональных компетенций. Вместе с тем в процессе дипломного проектирования определяется уровень усвоения обучающимися материала по всем предметам и профессиональным модулям учебного цикла и его умение пользоваться приобретенными теоретическими знаниями, практическими навыками и компетенциями. Дипломный проект дает представление о степени зрелости обучающегося как специалиста по выбранной им профессии.

Успех работы над проектом по большому счету зависит от рационального проведения мероприятий, направленных на подготовку обучающихся к началу проектирования. Задание на дипломное проектирование выдается перед выходом обучающихся на производственную практику. Одновременно с этим каждому обучающемуся выдается индивидуальное задание для сбора материала по вопросам дипломного проекта, а также для более глубокого изучения производственных вопросов, связанных с темой. По окончании практики собранный материал анализируется руководителем дипломного проектирования и корректируется в соответствии с заданием проекта. При этом отмечаются вопросы, по которым объем собранного материала недостаточен, или добавляются другие вопросы.

Выбор темы работы производится из тематики, которая обсуждается и утверждается на заседании предметно-цикловой комиссии электроснабжения.

Обучающиеся выбирают одну из тем, которые рекомендует преподаватель, или может предложить свою тему, сгенерированную в процессе прохождения практик.

Объектами выпускной квалификационной работы могут быть:

- 1 Понижительные подстанции;
- 2 Районные электрические сети;
- 3 Системы электрического снабжения;
- 4 Любой другой объект, проектируя и исследуя который можно реализовать заданные цели.

Так, например, при проектировании электрической системы выполняется расчет и выбор оптимального варианта сети по технико-экономическим показателям. В свою очередь выбранный вариант должен обеспечивать качество и бесперебойность передачи электроэнергии потребителям при

грамотной комбинации расходов на сооружение и эксплуатацию электрической системы.

В процессе проектирования преимущественно определяют:

- конфигурацию электрической сети и принципиальную схему электрических соединений линий, станций и подстанций;
- параметры линий электропередачи и силовых трансформаторов;
- средства регулирования напряжения, компенсации реактивной мощности и размещения их в электрической системе.

Также намечают и организационно-технические мероприятия по обеспечению экономичности и надежности функционирования электрической системы.

При проектировании понизительной подстанции первоначально составляются структурные схемы, в которых определяется состав основного оборудования (силовые трансформаторы) и связи между ним и распределительными устройствами разных напряжений. Одновременно с выбором основного оборудования определяются и схемы, в которых оно будет работать.

В Университетском колледже ОГУ защита выпускной квалификационной работы осуществляется на открытом заседании Государственной аттестационной комиссии. В состав Государственной аттестационной комиссии входят преподаватели специальных дисциплин, приглашенные специалисты, представители предприятий (учреждений, организаций), приглашающих выпускников к себе на работу.



Рисунок 1 – Выпускник группы 13Э-2 Лынов Н.С.

Ко дню проведения защиты дипломного проекта подготавливаются необходимые документы для учебной группы и каждого обучающегося в частности.



Рисунок 2 – Выпускники группы 15Э-1 после защиты выпускной квалификационной работы

Порядок проведения защиты дипломных проектов состоит из двух основных элементов, а именно из выступления дипломника, который представляет проект к защите и из ответов обучающегося на вопросы комиссии по содержанию пояснительной записки к выполненной выпускной квалификационной работе.



Рисунок 3 – Общая фотография группы 13Э-2 после защиты выпускной квалификационной работы

Дипломники готовят речь к защите, в которой необходимо кратко сформулировать актуальность выбранной темы, основные цели и задачи, а также изложить порядок реализации поставленных задач в дипломном проекте, в завершении своего доклада обучающийся должен предоставить выводы о достижении цели работы. Подготовка доклада осуществляется под контролем

руководителя. Доклад может быть составлен по содержанию пояснительной записки. Помимо доклада обучающийся готовит мультимедийную презентацию, дополняющую доклад дополнительными материалами (схемами, рисунками, фотографиями и т. д.). Также дипломник может подготовить раздаточный материал для членов аттестационной комиссии.

*Защита выпускной квалификационной работы – это отправная точка в дальнейшую жизнь и время безмерных переживаний.* **Дипломное проектирование** является завершающим этапом на пути получения образования и свидетельством того, что вчерашний студент-первокурсник стал квалифицированным специалистом.

#### Список литературы

1. Энергосовет [Электронный ресурс]. : электронный журнал по энергосбережению и энергоэффективности / учредитель НП «Российское теплоснабжение». – 2009. - .М.: НП «Энергоэффективный город», 2016 –2018. Ежекварт. – Режим доступа: [http://www.energsovet.ru/bul\\_stat.php](http://www.energsovet.ru/bul_stat.php)
2. Кознов Д. В., Николаева Д. М. Метод проектирования дипломных работ по программной инженерии / Д. В. Кознов, Д. М. Николаева // Университетский научный журнал - 2014г.- №8.- С.131-143.
3. Черненко М. Г., Несынов В. В., Голавский И. А. Машины и механизмы в деревообрабатывающей промышленности: учеб. пособие / М. Г. Черненко, В. В. Несынов, И. А. Голавский.- М.: Лесн. пром-сть, 1979 - 136 с.

# **К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАТРАТ УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ВЫПУСКНИКОВ ВУЗА ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАПРАВЛЕНИЯМ**

**Ерунов В.П., канд. техн. наук, доцент  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

Выпускники, окончившие высшие учебные заведения, должны владеть новейшими знаниями, уметь квалифицированно решать задачи развития экономики, организации и управления производством, развития науки и культуры. Все это требует от работников высшей школы больших усилий, кропотливой работы и глубокого анализа реальных и потенциальных возможностей высшего учебного заведения. Задача работников вуза состоит не только в том, чтобы научить студентов основам необходимых наук и научить учиться, но и научить философски мыслить, то есть научить понимать диалектику науки и технического прогресса, применять диалектический метод для анализа различных явлений в социальной и производственной сферах, уметь анализировать, обобщать и делать правильные научные выводы. Решить эти сложные задачи можно тогда, когда учебный процесс в вузе будет иметь не пассивно-созерцательный характер, а деятельностно-развивающий [1]. Для этого необходимо совершенствовать не только систему передачи информации, но и формы познавательной деятельности самих обучаемых, организацию и планирование их труда, систему технического и методического обеспечения процесса обучения, методов управления.

Процесс обучения – это процесс познания мира обучаемым, осуществляемый под руководством преподавателя, при этом никаких новых истин для общества не открывается, а усваивается то, что уже познано и описано в ходе научного познания учеными. Особенность учебного процесса состоит в том, что им руководит преподаватель, используя свои знания, опыт и методические приемы. С одной стороны, он должен создать условия для большей самостоятельности в приобретении знаний, а с другой – направлять работу студентов, обеспечивая условия для более эффективного использования учебного времени при овладении знаниями.

Процесс обучения, как и процесс научного познания, происходит путем преодоления противоречий. Главными противоречиями в настоящее время являются:

- постоянно повышающиеся требования общества к уровню профессиональной подготовке выпускников вузов и реальные возможности существующих форм и методов процесса обучения в обеспечении качества подготовки выпускников;
- непрерывный рост объема научной информации и требование не увеличения, а в настоящее время даже снижения сроков обучения.

Над разрешением этих противоречий и работают многие педагоги и ученые вузов.

Обучение в вузе необходимо организовывать в соответствии с определенной логикой, обусловленной психофизиологическими особенностями обучаемого. Как известно из литературы [1,2], структура процесса обучения состоит из ряда операций:

- психологическая подготовка обучаемого к восприятию информации;
- восприятие информации;
- переработка информации в знания;
- закрепление знаний и приобретение умений.
- приобретение навыков;
- контроль знаний, умений и навыков.

Все эти операции взаимосвязаны и взаимозависимы, поэтому только полное выполнение всех требований к ним дает наилучшее качество подготовки выпускников.

Целью психологической подготовки является концентрация внимания студентов на изучаемом объекте за счет:

- а) целеопределения изучаемого объекта в профессиональной деятельности выпускника (мотивации);
- б) подготовки обучаемого к восприятию и переработке новой информации.

На протяжении всего периода обучения студенту должна быть ясна цель обучения, он должен четко видеть перспективу последующих действий как в изучении всей образовательной программы, так и отдельных ее дисциплин, иначе процесс восприятия необходимой информации будет неэффективным.

Восприятие есть осмысленное отражение в сознании человека действующих непосредственно на органы чувств предметов и явлений окружающего мира в совокупности и взаимосвязи их свойств. В осознанном восприятии учебного материала велика роль предшествующих теоретических и практических знаний обучаемого, степень его подготовленности по изучаемому предмету. Без опоры на имеющийся опыт осознанное восприятие информации невозможно, так как специфика высшего учебного заведения состоит в том, что полученную информацию студенты должны не только осмыслить, обобщить, систематизировать и переработать в знания, но и самостоятельно сделать вывод о степени ее важности в последующей профессиональной деятельности [1].

Наиболее глубокий след в сознании обучаемого остается тогда, когда преподаватель одновременно воздействует на несколько органов чувств. Каждый из органов чувств обучаемого воспринимает в единицу времени различный объем информации, так слуховой аппарат человека имеет пропускную способность 20÷50 тыс. бит/сек., в то время как зрительный канал имеет пропускную способность в 100 раз большую [3]. Таким образом, на передачу одинакового объема информации для слухового канала требуется больше времени, чем для зрительного канала. Это обстоятельство необходимо учитывать при построении организационной модели процесса обучения в вузе.

Для обобщения полученной информации и переработки ее в знания обучаемый должен сопоставить ее с известными ему понятиями, определениями, законами, обобщить и запечатлеть в своем сознании как определенную систему знаний. Это требует от обучаемого активной творческой работы, умения делать анализ и синтез полученной информации и находить в ней главное.

Современный специалист работает в условиях творчества, создания новой техники и технологий, новых условий жизни и деятельности человека. В образовательных стандартах имеется перечень требований к знаниям и умениям выпускников, но они недостаточно конкретизированы по отношению к каждой изучаемой дисциплине, что часто ставит уровень изучения различных дисциплин в зависимость от требовательности преподавателей. Здесь необходимо учитывать, что степень актуальности различных дисциплин и их разделов для профессиональной подготовки выпускников различна. Поэтому и изучение дисциплин учебного плана должно осуществляться на разных уровнях. Применительно к высшей школе в литературе [4, 5] предлагается пять уровней: 1-й – уровень представлений, 2-й – уровень знаний, 3-й – уровень умений, 4-й – уровень навыков, 5-й – уровень творчества. Для высшей школы разделение умений и навыков на самостоятельные уровни имеет существенное значение для повышения качества подготовки выпускников, так как они определяются различными целями и обеспечиваются различными видами учебной работы. Поэтому в учебном плане по направлению подготовки должен быть указан предельный уровень усвоения каждой дисциплины и с учетом этого должны формироваться рабочие программы по учебным дисциплинам.

Представление – это первичное, неподкрепленное последующей работой отражение в сознании обучаемых объективных законов развития явлений, предметов и их свойств. Они формируются при однократном прослушивании материала на лекции или прочтении в учебнике; знания – прочное отражение в сознании обучаемых объективных законов развития явлений, предметов и их свойств. Они формируются при самостоятельной отработке прослушанного на лекции или прочитанного в учебнике материала; умения – приобретенные способности сознательного применения знаний в практической деятельности. Они формируются в процессе практической работы обучаемых; навыки – быстрые и точные действия, доведенные до автоматизма и осуществляемые без непосредственного контроля со стороны сознания. Умения перерастают в навыки в результате тренировки в выполнении изученных действий. Последняя категория – навыки – характеризует наивысший уровень овладения предметом и обеспечивает условия для творческой деятельности обучаемого – для 5-го уровня, что очень важно для высшей школы.

Такое деление позволяет более обоснованно подойти к распределению объема времени, выделяемого образовательными стандартами, на различные виды учебной работы по каждой учебной дисциплине, объема заданий на самостоятельную отработку материала дисциплин и объема времени на выполнение этих заданий по соответствующим предметам. Чем выше

заявленный уровень усвоения дисциплины, тем больше времени потребуется на ее изучение. Это особенно важно для дисциплин, к которым предъявляется самый высокий уровень требований. Так, вспомогательные дисциплины следует давать на уровне представлений или знаний; специальные дисциплины – на уровне умений, а профилирующие – на уровне навыков. Уровень творчества обеспечивается постановкой учебно-исследовательской работы, работы в научных студенческих обществах и завершается выполнением курсового и дипломного проектов.

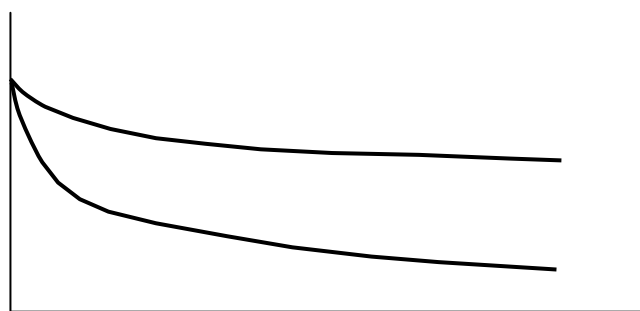
Для обеспечения этих уровней изучения необходимо соответствующим образом проектировать структуру рабочих программ изучаемых дисциплин.

Закрепление знаний путем осмысления и приобретение умений осуществляется в процессе обучения и самостоятельной работы студента. Задача обучения заключается в том, чтобы закрепить нужную информацию в памяти человека, обеспечить возможность ее сохранения на длительный период для оперативного использования в дальнейшем обучении или профессиональной деятельности.

Известно, что чем больше помех в процессе закрепления информации, тем слабее глубина восприятия, она оказывается меньше и в случае, если сообщается очень малый объем информации, то есть малый объем информации запоминается хуже, чем большой. Дело в том, что для запоминания малого объема информации обучаемый не затрачивает усилий, и она может пройти мимо его внимания, а для запоминания большого объема информации требуется больше усилий и внимания обучаемого. Кроме того, быстрее забывается та информация, которая не вызвала интерес у обучаемого.

Процесс забывания информации происходит по ниспадающей кривой, причем вначале он идет быстро, а затем медленнее. На рисунке 1 приведен график зависимости объема сохраненной информации ( $V_c$ ) от времени ( $t$ ).

Экспериментальные данные [6] показывают, что осмысленная информация, логически связанная между собой, воспринимается лучше и сохраняется дольше (см. рисунок 1, кривая 2), так как она базируется на уже известной информации, хранимой в памяти обучаемого.



1 – забывание информации

2 – забывание осмысленной информации

Рисунок 1 – Забывание информации во времени

Известно, что при повторении одной и той же информации процесс забывания идет медленнее, таким образом, повторенная информация забывается медленнее, чем новая. Кроме того, при повторении воспринятой информации, полного исчезновения знаний не происходит. Значение сохраненной информации стремится не к нулю, а к некоторому определенному значению, обусловленному переходом знаний в долговременную память.

Реальный процесс обучения является периодическим или циклическим, то есть обучаемый воспринимает информацию через некоторые промежутки времени ( $t_n$ ) в течение конкретного времени ( $t_b$ ). Тогда график зависимости объема воспринятой ( $V_B$ ) и сохраненной обучаемым информации ( $V_C$ ) от времени имеет вид, представленный на рисунке 2 [7].

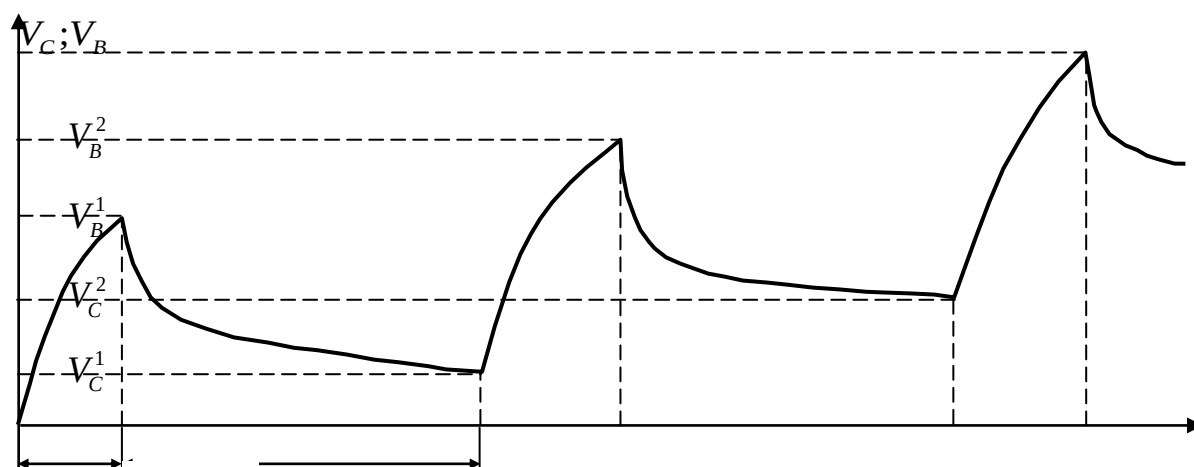


Рисунок 2 – Изменение объема воспринятой и сохраненной информации в процессе периодического обучения

Аппроксимировать кривую восприятия и сохранения информации у обучающихся предлагается следующим математическим выражением [8]

$$V_C = V_B \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t_b}{T_B}} \right) \cdot e^{-\frac{t_n}{T_3}} \cdot \left( \frac{1 - e^{-\frac{t_n \cdot n}{T_3}}}{1 - e^{-\frac{t_n}{T_3}}} \right), \quad (1)$$

где  $V_C$  – объем сохраненной информации;

$V_B$  – объем воспринятой информации;

$t_b$  – продолжительность восприятия информации (продолжительность обучения в пределах одного занятия);

$t_n$  – продолжительность перерыва между занятиями;

$T_B$  – постоянная времени восприятия информации обучаемого;

$T_3$  – постоянная времени забывания информации обучаемого;

$n$  – число циклов обучения (число занятий в семестре).

Постоянную времени восприятия информации ( $T_B$ ) и постоянную времени забывания информации ( $T_3$ ) обучаемого можно определить для любой продолжительности перерыва между занятиями ( $t_n$ ), используя график забывания информации (рисунок 3), полученный Эббингаузом опытным путем [9].

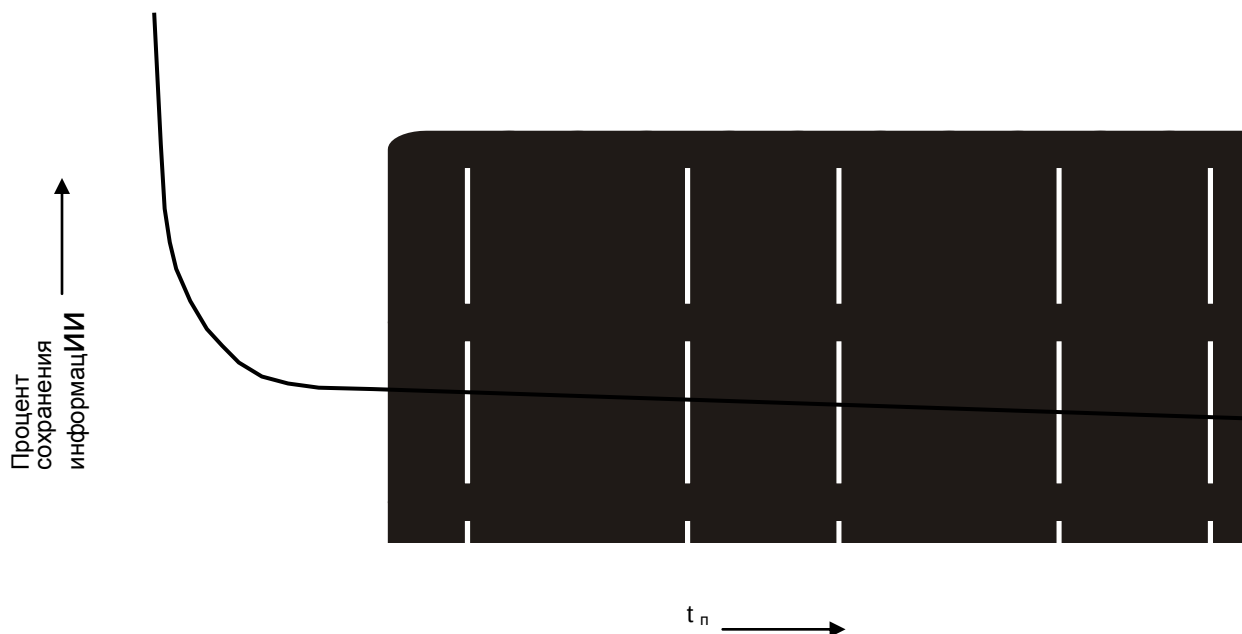


Рисунок 3 – График забывания информации

Используя вышеприведенное аппроксимирующее выражение (1), можно определить объем сохраненной информации в процентах для различной частоты учебных занятий. Результаты теоретического исследования приведены в таблице.

Таблица – Процент сохраненной информации у обучающихся

| Наименование показателя                                                       | Периодичность учебных занятий |                |                |                 |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------|----------------|-----------------|
|                                                                               | ежедневно                     | через<br>сутки | через<br>сутки | через<br>неделю |
| 1                                                                             | 2                             | 3              | 4              | 5               |
| Объем сохраненной информации, в %                                             | 53,9                          | 44,9           | 42,9           | 35,1            |
| Объем сохраненной информации по отношению к занятиям, проводимым через неделю | 153,2%                        | 127,9%         | 122%           | 100%            |

Анализируя полученные результаты можно выбрать рациональную частоту проведения учебных занятий по дисциплине, обеспечивающей наибольшую эффективность использования учебного времени в обучении

студентов. Наибольшая эффективность затрат учебного времени будет при проведении ежедневных занятий по дисциплине.

Сознательно усвоенная студентом информация превращается в прочные знания, которые становятся основой мышления в учебной деятельности обучаемого. Только при творческом усвоении знаний вырабатываются умения, то есть целеустремленные сознательные действия обучаемого, которые вырабатываются как при решении определенных логических задач, так и при выполнении конкретных механических действий.

Выработка навыков является завершающей операцией процесса обучения. Умения и навыки вырабатываются в ходе выполнения практикумов. Умения могут перейти в навыки, если будет обеспечена тренировка в выполнении определенных действий. Навыки выполнения физических и логических действий прививаются систематической тренировкой. Прочность таких навыков большая, а процесс забывания информации становится долговременным.

Контроль знаний, умений и навыков обеспечивает обратную связь от студента к преподавателю. Чем выше качество обратной связи, тем эффективнее осуществляется управление процессом обучения. Обратная связь позволяет преподавателю анализировать качество усвоения учебной информации студентами и вносить соответствующие коррективы в воздействие на студентов.

Текущая аттестация (итоговый контроль) по дисциплинам только фиксирует уровень знаний и не обеспечивает управление процессом обучения. Чтобы процесс обучения был управляемым, он должен содержать периодический текущий контроль как действенное средство обратной связи, обеспечивающий более высокую эффективность учебного процесса.

Главной фигурой в процессе обучения является преподаватель, он организует, направляет процесс обучения и управляет им. Все перечисленные операции процесса обучения взаимосвязаны, но могут иметь различный удельный вес в учебном процессе. Только системный подход в организации всех операций процесса обучения создает наибольшую эффективность как отдельных операций, так и всего процесса обучения в целом. В результативности отдельных операций и всего процесса обучения важную роль играет воспитательная работа со студентами, так как обучение и воспитание являются неразрывными составляющими процесса подготовки специалистов.

В решении задачи профессиональной подготовки выпускников большое значение имеют дидактические принципы, которые позволяют находить общие закономерности, обеспечивающие наибольшую эффективность обучения. Можно выделить следующие дидактические принципы в высшей школе [5,10]:

- научность;
- связь теории с практикой;
- воспитание;
- наглядность;
- доступность;

- систематичность и последовательность;
- сознательность и активность;
- долговременность знаний;
- дифференцированный подход;
- эффективность затрат учебного времени.

При поступлении в вуз выпускник средней школы переходит из одной организационной модели учебного процесса (средняя школа) в другую (высшее учебное заведение), существенно отличающуюся и требующую определенных волевых усилий обучаемого и некоторого времени для адаптации. Поэтому с целью повышения эффективности использования учебного времени необходимо обеспечить в системе образования преемственность организационных моделей учебного процесса вуза и школы. Путь от абитуриента до специалиста требует дифференцированного подхода к студентам со стороны преподавателей на разных курсах обучения, поэтому и значения дидактических принципов на разных курсах будут разными.

Принцип научности обуславливает, что в процессе обучения студентам нужно давать научные основы предметов, научные методы познания, современные методы приобретения знаний и поиска информации.

Высшее образование для выпускника не самоцель, а средство для решения технических, экономических и социальных задач, возникающих перед обществом в процессе его развития, и основа для дальнейшего самосовершенствования. Чтобы успешно решать возникающие задачи, необходимо уже на стадии обучения знать требования государства и потребителя к выпускнику и совершенствовать образовательную программу, делая ее адаптивной к современным требованиям практики и общества. Поэтому принцип связи теории с практикой имеет большое значение при обучении и подготовке конкурентоспособного выпускника.

Дидактический принцип воспитания очень важен для высшей школы, так как социальный прогресс во многом будет определяться тем, с какими нравственными взглядами и моральными устоями войдут в трудовую деятельность молодые выпускники, будущие руководители коллективов.

Принцип наглядности обучения также справедлив для вуза, так как для достижения наибольшей эффективности учебного процесса необходимо максимально использовать возможности зрительного канала как доминирующего органа восприятия информации.

Информация, получаемая на учебных занятиях, должна быть доступна обучаемым не только по содержанию, но и по объему. Большие объемы информации, даваемые на лекциях, не могут быть восприняты и осмыслены в полном объеме обучаемыми, малые объемы рассеивают внимание обучаемого. Поэтому принцип доступности требует от программы обучения оптимального дозирования учебного материала, включаемого в аудиторную и самостоятельную работу студента.

Обучение в вузе должно быть систематическим и последовательным, только систематическая работа над учебным материалом позволит студенту

наиболее полно воспринимать информацию и перерабатывать ее в стройную систему знаний. Поэтому для высшей школы также справедлив принцип последовательности и систематичности обучения. Для реализации этого принципа необходимо совершенствовать структурно-логические схемы дисциплин, направлений подготовки, организационную модель учебного процесса, разрабатывать оптимальные расписания учебных занятий и самостоятельной работы, учитывающие особенности обучаемого по восприятию и переработке учебной информации в знания, умения и навыки.

Для повышения эффективности обучения необходимо, чтобы обучаемый проявил активность в учебе, а активность возникает в результате сознательного отношения к обучению. Сознательное отношение обучаемого к учебе возникает тогда, когда он четко видит структуру изучаемых дисциплин в виде структурно-логической схемы направления подготовки (специальности), роль и важность каждой изучаемой дисциплины и ее разделов в формировании умений и навыков в своей будущей профессиональной деятельности. Поэтому принцип сознательности и активности важен для высшей школы. Для реализации этого принципа необходимо, чтобы студент имел четкое представление о виде своей будущей деятельности, требуемом уровне и структуре подготовки.

Структура учебного плана по направлению (специальности) проектируется так, чтобы последующий учебный материал базировался на предыдущем. Поэтому принцип долговременности знаний определяет условие эффективности обучения. Этот принцип можно реализовать при создании наилучших условий для восприятия и сохранения учебной информации, полной систематизации знаний, организации закрепления и контроля знаний.

Учитывая, что каждый обучаемый – индивид, обладающий различными психофизическими характеристиками, в частности, в плане восприятия, сохранения и применения знаний, то в процессе обучения, для повышения его эффективности по отношению к конкретным обучаемым или группам обучаемых, необходим дифференцированный подход. В этом случае принцип дифференцированного подхода позволит полнее реализовать потенциальные творческие возможности каждого обучаемого.

В настоящее время фактор времени для высшей школы приобретает особое значение, так как пятилетний нормативный период обучения уменьшился до четырех лет, а требования к качеству подготовки выпускников постоянно повышаются. Поэтому принцип эффективности затрат учебного времени очень важен для высшей школы. Реализуется этот принцип путем использования эффективных организационных моделей учебного процесса, рационального планирования труда преподавателей и студентов, применения современных методов интенсификации получения информации.

Перечисленные дидактические принципы взаимосвязаны и дополняют друг друга, и не использование какого-либо из них приведет к снижению эффективности процесса обучения и качества подготовки выпускника. Полная реализация дидактических принципов при проектировании оптимального

учебного процесса и эффективной системы управления им возможна только при учете психофизических факторов обучаемых, анализе и учете всех операций процесса восприятия и переработки учебной информации в знания, умения, навыки.

Замена государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования на федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования предполагает переход от квалификационной модели подготовки специалистов к компетентносной модели подготовки выпускников.

Независимо от того, по какой модели государственный вуз осуществляет подготовку выпускников, он должен обеспечивать востребованность своих выпускников на рынке труда. Выпускники вуза, и в особенности технических профилей, будут востребованы тогда, когда вуз будет готовить не просто выпускников с высшим образованием, а будет готовить квалифицированных специалистов, имеющих глубокую фундаментальную и специальную подготовку и определенные профессиональные навыки.

Поэтому с целью подготовки квалифицированных выпускников в сроки, установленные образовательными стандартами, необходимо провести комплексную модернизацию учебного процесса путем усовершенствования:

- модели учебного процесса;
- содержания образовательной программы;
- ресурсного обеспечения;
- системы управления.

Эффективность организационной модели учебного процесса можно повысить за счет перехода от семестровой организационной модели учебного процесса к модульно-цикловому учебному процессу, который имеет следующие особенности:

- учебный год состоит из шести учебных циклов по шесть недель каждый и недельной сессии после каждого цикла;
- уменьшается количество одновременно изучаемых дисциплин, в одном учебном цикле студент изучает не более трех дисциплин;
- длительность изучения дисциплин определяется количеством отведенных на дисциплину часов и может лежать в пределах одного или нескольких циклов;
- вводится модульное построение учебной дисциплины;
- вводится рейтинговая система контроля знаний студентов;
- после каждого учебного цикла устанавливается недельная сессия, в рамках которой студент сдает один экзамен, максимум - два экзамена;
- формируются структурно-логические схемы учебных дисциплин, в соответствии с которыми методически правильно организовывается изучение дисциплины, содержащей все виды аудиторных занятий, расположив их в расписании учебных занятий в логической последовательности;

Модульно-цикловой учебный процесс позволяет уменьшить объем часов самостоятельной работы студента по сравнению с действующей семестровой моделью учебного процесса на 45 - 50% при обеспечении одинакового уровня остаточных знаний, что позволит при определенных условиях подготовить выпускника за четыре года с таким же уровнем знаний, что и при пятилетнем обучении.

| Класс | Месяц, Не недели, недели |   |   |   |   |         |   |   |   |    |        |    |    |    |    |         |    |    |    |    |        |    |    |    |    |         |    |    |    |    |      |    |    |    |    |        |    |    |    |    |     |    |    |    |    |      |    |    |    |    |      |    | Сводные данные по бюджету времени в неделю |           |             |               |           |                |            |       |
|-------|--------------------------|---|---|---|---|---------|---|---|---|----|--------|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|------|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|------|----|----|----|----|------|----|--------------------------------------------|-----------|-------------|---------------|-----------|----------------|------------|-------|
|       | Сентябрь                 |   |   |   |   | Октябрь |   |   |   |    | Ноябрь |    |    |    |    | Декабрь |    |    |    |    | Январь |    |    |    |    | Февраль |    |    |    |    | Март |    |    |    |    | Апрель |    |    |    |    | Май |    |    |    |    | Июнь |    |    |    |    | Июль |    |                                            |           |             | Август        |           |                |            |       |
|       | 1                        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6       | 7 | 8 | 9 | 10 | 11     | 12 | 13 | 14 | 15 | 16      | 17 | 18 | 19 | 20 | 21     | 22 | 23 | 24 | 25 | 26      | 27 | 28 | 29 | 30 | 31   | 32 | 33 | 34 | 35 | 36     | 37 | 38 | 39 | 40 | 41  | 42 | 43 | 44 | 45 | 46   | 47 | 48 | 49 | 50 | 51   | 52 |                                            |           |             |               |           |                |            |       |
|       | в                        | н | в | н | в | н       | в | н | в | н  | в      | н  | в  | н  | в  | н       | в  | н  | в  | н  | в      | н  | в  | н  | в  | н       | в  | н  | в  | н  | в    | н  | в  | н  | в  | н      | в  | н  | в  | н  | в   | н  | в  | н  | в  | н    | в  | н  | в  | н  | в    | н  | Твор. обуч.                                | Зна. рас. | Учеб. прак. | Пропаг. прак. | Гос. изд. | Допол. проект. | Киев. уль. | Всего |
| 1     | .                        | . | . | . | . | С       | . | . | . | .  | С      | .  | .  | .  | .  | .       | .  | .  | .  | С  | К      | К  | .  | .  | .  | .       | .  | С  | .  | .  | .    | .  | .  | .  | С  | .      | .  | .  | .  | С  | У   | У  | У  | К  | К  | К    | К  | К  | К  | К  | К    | 36 | 6                                          | 3         | 0           | 0             | 0         | 7              | 52         |       |
| 2     | .                        | . | . | . | . | С       | . | . | . | .  | С      | .  | .  | .  | .  | .       | .  | .  | .  | С  | К      | К  | .  | .  | .  | .       | .  | С  | .  | .  | .    | .  | .  | .  | С  | .      | .  | .  | .  | С  | П   | П  | П  | К  | К  | К    | К  | К  | К  | К  | К    | 36 | 6                                          | 0         | 3           | 0             | 0         | 7              | 52         |       |
| 3     | .                        | . | . | . | . | С       | . | . | . | .  | С      | .  | .  | .  | .  | .       | .  | .  | .  | С  | К      | К  | .  | .  | .  | .       | .  | С  | .  | .  | .    | .  | .  | .  | С  | .      | .  | .  | .  | С  | П   | П  | П  | К  | К  | К    | К  | К  | К  | К  | К    | 36 | 6                                          | 0         | 3           | 0             | 0         | 7              | 52         |       |
| 4     | .                        | . | . | . | . | С       | . | . | . | .  | С      | .  | .  | .  | .  | .       | .  | .  | .  | С  | З      | К  | К  | П  | П  | П       | П  | Д  | Д  | Д  | Д    | Д  | Д  | Д  | Д  | Д      | Д  | Д  | Д  | Д  | Д   | Д  | Д  | Д  | Д  | Д    | Д  | Д  | Д  | Д  | 18   | 3  | 0                                          | 4         | 1           | 16            | 10        | 52             |            |       |
| 5     | .                        | . | . | . | . |         | . | . | . | .  |        | .  | .  | .  | .  | .       | .  | .  | .  |    |        |    |    |    |    |         |    |    |    |    |      |    |    |    |    |        |    |    |    |    |     |    |    |    |    |      |    |    |    |    |      | 0  | 0                                          | 0         | 0           | 0             | 0         | 0              | 0          |       |
| 6     | .                        | . | . | . | . |         | . | . | . | .  |        | .  | .  | .  | .  | .       | .  | .  | .  |    |        |    |    |    |    |         |    |    |    |    |      |    |    |    |    |        |    |    |    |    |     |    |    |    |    |      |    |    |    |    |      | 0  | 0                                          | 0         | 0           | 0             | 0         | 0              | 0          |       |
|       | Итого                    |   |   |   |   |         |   |   |   |    |        |    |    |    |    |         |    |    |    |    |        |    |    |    |    |         |    |    |    |    |      |    |    |    |    |        |    |    |    |    |     |    |    |    |    |      |    |    |    |    |      |    | 126                                        | 21        | 3           | 10            | 1         | 16             | 31         | 208   |

Т - теор. обучение     
 П - практика     
 Д - дипл. проектирование     
 К - каникулы     
 Г - государственная аттестационная комиссия  
С - экзам. сессия     
 З - зачетная неделя     
 У - учебная практика     
 Ук - учебно-компьютерная     
 Э - государственные экзамены

[illegible]

2735

3. Крайзман, Л.П. Память кибернетических систем / Л.П. Крайзман, С.А. Матюхин, С.Г. Майоркин. – М.: Сов. радио, 1971.
4. Беспалько, В.П. Программированное обучение / В.П. Беспалько. – М.: Высшая школа, 1970.
5. Молибог, А.Г. Вопросы научной организации педагогического труда в высшей школе / А.Г. Молибог. – Изд. 2-е. – Минск: Высшэйш. школа, 1975.
6. Психология / Под ред. А.А. Смирнова. – М.: Учпедгиз, 1962.
7. Ерунов, В.П. Цикловой график учебного процесса и цикловое обучение / В.П. Ерунов // Современные технологии в энергетике, электронике и информатике: материалы региональной научно-практической конференции. – Выпуск 1. – Оренбург: ОГУ, 1998. – С. 234 – 236.
8. Ерунов, В.П. Модульно-цикловой учебный процесс / В.П. Ерунов // Учебная, научно-производственная и инновационная деятельность высшей школы в современных условиях: тез. докл. международной научно-практической конф. – Оренбург: ОГУ, 2001. – С. 173 – 174.
9. Потеев, М.И. Основы аналитической дидактики: учеб. пособие / М.И. Потеев. – Санкт-Петербург: ЛИТМО, 1992. – 167 с.
10. Ерунов, В.П. Обеспечение качества подготовки специалистов путем реализации дидактических принципов в высшей школе / В.П. Ерунов // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы: труды Всероссийской научно-технической конференции. – ИПК ГОУ ОГУ, 2007. – С. 509 – 521.

## **К ВОПРОСУ РЕКОНСТРУЦИИ ПОДСТАНЦИИ ПС 110/35/6 кВ г. ОРСКА**

**Задорожный В.Д., канд. техн. наук, доцент  
Орский гуманитарно-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

Для бесперебойного электроснабжения потребителей большее значение имеет выбор схемы первичных электрических соединений подстанции.

Электрическая схема должна содержать минимальное количество оборудования. Оперативные переключения в ней должны осуществляться просто, удобно и безопасно.

Такая манёвренность возникает в нормальных режимах, при выводе оборудования в ремонт, при проведении испытаний, ликвидации аварий.

Известны первичные и вторичные схемы электрических соединений энергообъектов.

К первичным относят цепи, где электроэнергия передается по силовому оборудованию от источника к потребителям.

Такие электрические схемы можно условно подразделяют на главные схемы электрических соединений подстанции и схемы электрических соединений собственных нужд.

Вторичные цепи включают цепи постоянного и переменного токов, которые питают аппаратуры управления, защиты, автоматики, измерительных приборов.

Целью реконструкции подстанции является повышение надёжности и качества электроснабжения путем оптимизации главной электрической схемы и замены основного и вспомогательного оборудования.

К задачам, решаемым в ходе реконструкции подстанции, относится выбор оптимальной схемы и напряжений, подбор силового оборудования, выбор оборудования системы автоматики и управления.

Актуальность модернизации состоит в том, что на данный момент оборудование выработало свой ресурс, устарело морально, имеет низкое качество электроснабжения.

В связи с этим Филиал ПАО «МРСК Волги» – «Оренбургэнерго», являясь организатором модернизации ПС 110 кВ Левобережная» для нужд Восточного ПО филиала ПАО «МРСК Волги» - «Оренбургэнерго» объявил тендер на проведение работ по реконструкции подстанции.

Характеристика объекта. До реконструкции подстанция ПС «Левобережная» предназначалась для трансформации и распределения электроэнергии на напряжение 6 кВ непосредственно потребителям с дальнейшей передачей электроэнергии на напряжение 35 кВ в сеть электросистемы 35 кВ.

Основными электроприемниками на напряжении 6 кВ являлись потребительские подстанции 6/0,4 кВ от которых питаются объекты Южно-Уральской железной дороги (ЮУЖД, филиал ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»)) (фид. №9, фид. №20 – потребители первой категории), коммунально-бытового сектора (фид. 6, фид. 7, фид. 4, фид. № 19, фид. № 15 – I, II категории – жилой фонд посёлка Мясокомбинат, посёлка Биофабрика, котельные, больницы, объекты Орского мясокомбината (фид. №1, №3, №2, №5 – потребители – I, II категории). Имеются потребители III категории – это Ф13 – Нагорное ремонтно-техническое предприятие.

Электроприемники потребляют переменный ток промышленной частоты 50 Гц. Промышленными потребителями являются трёхфазные электроприемники, напряжением до 1000 В с продолжительным режимом работы. Есть электроприемники, питающиеся непосредственно на напряжение 6кВ. К ним относятся синхронные двигатели компрессорной станции мясокомбината. Бытовые потребители состоят из однофазных электроприемников до 1000 В промышленной частоты.

Требования к подстанции. Реконструкция подстанции должна решить вопрос удобного подвода дорог, удобных подходов и выходов воздушных линий электропередачи всех напряжений и кабельных сооружений в требуемых направлениях с учетом будущего расширения. Расположение зданий и установку электрооборудования следует спроектировать так, чтобы обеспечить выполнение всего комплекса монтажных работ с последующим ремонтом оборудования в ходе эксплуатации.

В проекте следует предусмотреть прогрессивные технические решения и мероприятия, которые обеспечивают возможность выполнения работ индустриальными методами.

Компоновку конструктивного исполнения подстанции следует выполнять в соответствии с главной схемой электрических соединений. Наилучшей компоновкой ОРУ на подстанциях принять компоновку с расположением оборудования в одной плоскости. При таком расположении оборудование размещается на нулевой отметке. Так можно обеспечить удобство и безопасность его обслуживания.

Схемные и компоновочные вопросы подстанций принимаем преимущественно по типовым схемам и проектам, где использовано минимальное количество электрооборудования и приняты блочные конструкции заводского изготовления. В ходе проектирования системы электроснабжения исходим из раздельной работы линий и раздельной работы трансформаторов, поскольку в этом случае снижаются токи короткого замыкания, упрощаются схемы первичной коммутации и релейная защита.

Для восстановления питания потребителей требуется применять простейшие схемы автоматики АВР, АПВ с целью повышения показателей качества, надёжности и устойчивости системы. В направлении оптимизации реконструкций подстанций, полностью или частично выработавших свой ресурс, посвящены исследования молодых авторов, которым удалось

систематизировать проблемы и предложить свои оригинальные решения по данному вопросу, [1,2,3].

Выбор типа оперативного тока.

Известно, что как на электрических станциях, так и крупных подстанциях необходима установка постоянного тока с аккумуляторными батареями для питания цепей управления, сигнализации, автоматики, аварийного освещения, электроснабжения наиболее ответственных механизмов собственных нужд, эти потребители сохраняют оборудование, поддерживая в работоспособном состоянии.

Потребителей энергии, получающие питание от аккумуляторной батареи, делят на группы:

- постоянно включенная нагрузка;

К ним принадлежат аппараты устройств управления, блокировки, сигнализации и релейные защиты, постоянно обтекаемые током, постоянно включенная часть аварийного освещения.

- временная нагрузка, которая появляется, когда исчезает переменный ток во время аварийного режима:

К ним относятся нагрузки аварийного освещения, электродвигателей постоянного тока. Длительность такой нагрузки задаётся длительностью аварийного отключения.

- кратковременная нагрузка, длящаяся не более пяти секунд.

Она возникает от токов включения и отключения приводов выключателей, автоматов, пусковыми токами электродвигателей, токами нагрузки аппаратов управления, блокировки, сигнализации и релейной защиты, кратковременно обтекаемых током.

Постоянная нагрузка на аккумуляторную батарею необходима для мощности постоянно работающих ламп сигнализации, а также, аварийного освещения и разных типов реле.

Оперативным током на подстанции принят постоянный ток [1].

Источниками постоянного оперативного тока выступают аккумуляторные батареи. К ним, подключены самые ответственные потребители цепи РЗ, автоматики и управления с выключателями.

Чтобы повысить надежность, шины сети постоянного тока секционированы. Каждая секция шин управления питает цепи РЗ, автоматики и управления определенного участка выключателей.

Между секциями расположены рубильники, которые в случае повреждении питающей линии осуществляют питание потребителей постоянного тока от соседней секции. Чтобы выполнить защиту цепей управления в схеме установлены предохранители.

Практика показала, что аккумуляторные батареи признаны надежным источником оперативного тока, но они сравнительно дороги, им необходимо специальное помещение и зарядное устройство. Для рассматриваемой подстанции выбрана аккумуляторная батарея типа СК-8;

У<sub>бат</sub>=241В; с количеством элементов, равным 108 и емкостью батареи 288 А/ч.

б) Исследования в области повышении эксплуатационных свойств

Воприков А.В., решая вопрос повышение эффективности эксплуатации силовых трансформаторов тяговых подстанций железных дорог переменного тока, начал с анализа износа изоляции обмоток силовых трансформаторов, рассмотрел особенности условий работы силовых подстанций [1]. Особым вкладом автора являются предложения по продлению срока эксплуатации тяговых трансформаторов. В качестве базовых позиций теории стали разработка:

- ряда мер по снижению неравномерности износа изоляции обмоток;
- алгоритма выбора новых схем подключения;
- выводов по связи между количеством схем подключения трансформаторов с неравномерностью износа изоляции обмоток.

Ряд решений позволило выявить экономическую эффективность выбора новых схем подключения, [1].

Вотякова О.Н. выполнила исследование “специфических особенностей реконструкции линий электропередачи [2]. Автор разработала ряд методик, оставивших след в науке, но имеющих прикладной характер.

Суворова И.А. обратила внимание на “инновационные технические решения при сооружении воздушных и кабельных линий среднего напряжения”, [3]. Наибольшую значимость приобрели вопросы “Оценка эффективности передачи электроэнергии по воздушным линиям 10 –35 кВ” и “Оценка эффективности передачи электроэнергии по кабельным линиям 10 –35 кВ”

Вышеперечисленные достижения научных исследований лежат в основе концепции реконструкции подстанции ПС «Левобережная» Восточного ПО филиала ПАО «МРСК Волги» – «Оренбургэнерго»).

#### Список литературы

1. Воприков, А. В./ Повышение эффективности эксплуатации силовых трансформаторов тяговых подстанций железных дорог переменного тока/А.В. Воприков /Автореферат диссертации/ Хабаровск, 2016, / [Электронная источник], Режим доступа <https://www.dissercat.com/content/povyshenie-effektivnosti-ekspluatatsii-silovykh-transformatorov-tyagovykh-podstantsii-zhelez> свободный
2. Вотякова, О. Н./ Разработка укрупненных организационно-технологических моделей реконструкции линий электропередачи/О.Н. Вотякова /Автореферат диссертации/ Москва, 2015, / [Электронный источник], Режим доступа <https://www.dissercat.com/content/razrabotka-ukrupnennykh-organizatsionno-tekhnologicheskikh-modelei-rekonstruktsii-linii-elek> свободный
3. Суворова И. А./ Выбор сечений проводников и рациональных напряжений распределительных электрических цепей /И.А. Суворова / Диссертация /ВГУ, 2015, Вятка/ [Электронный источник], Режим доступа

[https://www.npi-tu.ru/assets/diss/d212.304.01/files/suvorova/Suvorova\\_IA-dissertaciya.pdf](https://www.npi-tu.ru/assets/diss/d212.304.01/files/suvorova/Suvorova_IA-dissertaciya.pdf)

# **ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

**Коряков О.В., Кортунков А.А., Гук А.А.**

**Орский гуманитарно-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

В области промышленной безопасности опасных производственных объектов в России наблюдаются некоторые положительные тенденции. По данным Ростехнадзора, уровень несчастных случаев на производстве все еще очень высок, что подтверждается статистикой несчастных случаев и аварийности на производстве.

Общими проблемами и факторами риска в области промышленной безопасности являются:

- высокая степень износа основных фондов;
- низкий уровень производственно-технологической дисциплины;
- нехватка квалифицированных специалистов;
- низкий уровень подготовки специалистов и персонала;
- недостаточное знание требований безопасности;
- нестабильное финансовое положение компаний, вызванное последствиями мирового финансового кризиса.

Компаний в машиностроение, химия и металлургия и др. переживают не лучшие времена. Изменения в рыночных условиях, конкуренция со стороны иностранных производителей, отсутствие или недостаточность государственных заказов, смена собственников и реорганизация в некоторых случаях привели к остановке и перепрофилированию производственных мощностей, сокращение инвестиций в бизнес и недостаточное финансирование для технического перевооружения программ.

Результат - хроническое старение основных фондов, эксплуатация оборудования и технологий, не отвечающих современным требованиям.

Аналогичные проблемы существуют в энергетическом секторе страны. Например, в топливно-энергетическом комплексе большинство котельных было построено в 60–80-х годах прошлого века, около половины из них отработали стандартный срок службы, что увеличивает риск несчастных случаев.

Поэтому организации должны как можно точнее соблюдать требования руководства по промышленной безопасности, обеспечивать своевременную диагностику и ремонт оборудования.

Помимо социальных проблем, существуют проблемы промышленной безопасности. Обанкротившаяся компания не может поддерживать свои опасные производственные объекты в установленном порядке, что создает дополнительный риск несчастного случая и создает угрозу жизни и здоровью

людей. В связи с этим мы считаем необходимым создать резервный фонд для консервации или ликвидации опасного производственного объекта. Это сложная проблема, которая должна решаться на государственном уровне.

Есть проблемы безопасности и факторы риска, связанные с «человеческим фактором». Мы считаем, что подготовка технических специалистов в вузах должна быть на достаточном уровне. Вуз должен поддерживать свои лучшие традиции, своих квалифицированных преподавателей, свою научную и образовательную базу. Предоставив компаниям страны компетентных специалистов. Однако работа на опасных производственных объектах имеет свои особенности и трудности.

Если специалисту требуется работать на опасных производственных объектах, он должен пройти предаттестационную подготовку и сертификацию в области промышленной безопасности. Предаттестационная подготовка проводится в образовательных учреждениях для дополнения базовых знаний специалистов, полученных в вузах, знания требований действующих нормативных документов в области промышленной безопасности.

Департамент Ростехнадзора проводит целевую работу по мониторингу качества предаттестационной подготовки и достижению необходимого уровня сертификации для руководителей и специалистов государственных образовательных учреждений.

Для обеспечения единообразия требований к сертифицированным лицам в сертификационных центрах должен быть проведен технический обзор (тестирование) для руководителей и специалистов организаций. В данное время в стране не очень хорошо с подготовкой рабочих для обслуживания опасных производственных объектов. Существовавшая ранее система профессионального обучения в постсоветский период практически рухнула. Учебные подразделения самих компаний начали заниматься обучением работников. В настоящее время около 60% работников получают специальность в организациях, где они находят работу.

Передача центра тяжести подготовки работников из организаций профессионального образования на предприятия негативно повлияла на уровень их профессиональной подготовки. Кроме того, в производство вступает современное и сложное оборудование, требующее знаний и необходимой требований обслуживания. К сожалению, органы Ростехнадзора теперь имеют право контролировать подготовку работников только на этапе координации учебных программ и участвовать в работе экзаменационных комиссий по ряду профессий. Конечно, этого недостаточно, вы должны продолжать искать пути повышения качества обучения.

Анализ несчастных случаев и травм на производстве показывает, что более 70% всех нарушений, которые привели к несчастным случаям в компаниях, связаны с тем, что сотрудники не знают требований безопасности или намеренно их нарушают, не воображая возможные последствия. Чаще всего несчастные случаи, вызванные персоналом, происходят в строительной

отрасли. Например, аварии, которые произошли во время эксплуатации грузоподъемных сооружений.

Экономический кризис, конечно, обостряет ситуацию в сфере безопасности на производстве. Сокращение эксплуатационных расходов, включая ремонт оборудования, экспертизу в области промышленной безопасности, диагностику устаревших технических устройств, обучение персонала, может оказать негативное влияние на деловые операции. В связи с этим Ростехнадзор постоянно отслеживает меры по повышению уровня промышленной безопасности в государственных службах, чтобы тщательно рассмотреть ситуации, когда устранение нарушений требует финансовых затрат. Центральный офис Ростехнадзора просит территориальные власти контролировать все случаи своевременного соблюдения и привлекать к ответственности лиц, виновных в грубых нарушениях промышленной безопасности.

Мы видим повышение эффективности надзорной деятельности за счет более тесного взаимодействия между органами Ростехнадзора и компаниями с опасными производственными объектами.

Федеральный закон № 116-ФЗ от 21 июля 1997 года «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21 июля 1997 года (с изменениями от 29 июля 2018 года) обязывает организации, эксплуатирующие ОПО, организовывать и контролировать производство. Каждая эксплуатирующая организация разрабатывает регламент контроля производства с учетом профиля производственной единицы. Положение утверждается руководителем организации и согласовывается с территориальным органом Ростехнадзора. Основными задачами производственного контроля являются организация проверок состояния промышленной безопасности работниками, ответственными за предприятия, выявление нарушений, анализ и оценка результатов, разработка мероприятий для улучшения безопасности.

Информация об организации и осуществлении производственного контроля предоставляется территориальному органу Ростехнадзора. Инспекция Ростехнадзора в соответствии с трудовыми нормами оценивает эффективность работы производственного контроля и информирует о результатах и выводах руководителей контролируемых организаций. При необходимости работники Ростехнадзора дают советы и рекомендации.

Разумеется, функционирование систем управления производством положительно сказывается на безопасности производства. Руководители предприятий получают достоверную информацию от своих подразделений, анализируют их, проводят измерения и отправляют отчеты о результатах производственного контроля в Ростехнадзор. Отчеты предоставляют информацию:

- план мероприятий по обеспечению промышленной безопасности на текущий год;
- результаты проверок, проведенных сотрудниками компании, как выявленные нарушения были устранены;

- соблюдение требований органов Ростехнадзора;
- реализация плана действий по выявлению аварий и устранению их последствий;
- информация о состоянии оборудования и обследовании и контроле установок;
- описание аварий и инцидентов (если таковые имеются), анализ причин их возникновения и предпринятых действий;
- подготовка и аттестация руководителей, специалистов и рабочих, занятых на опасных производственных объектах и т. д.

Анализ итоговой информации позволяет менеджеру объективно увидеть ситуацию в области промышленной безопасности и, при необходимости, принять соответствующие меры. А инспекторам следует оценить степень риска несчастных случаев на предприятиях и, при необходимости, скорректировать план работы, оптимизировать все меры для обеспечения безопасности.

К сожалению, производственный контроль во многих компаниях недостаточно эффективен и чаще всего носит формальный характер. Исследования Ростехнадзора в области организации управления промышленной безопасностью показывают, что информация из отделов производственного контроля выходит на первый план по частям и не всегда отражает реальную реальность ситуации. Почти половина нарушений требований промышленной безопасности известна руководству в результате плановых проверок инспекторами Ростехнадзора, а не службами производственного контроля. Результаты такого незнания могут повлиять на безопасность производственного процесса и, как следствие, на рентабельность производства за счет потерь в результате аварии и компенсации в случае аварии.

Нашим приоритетом является анализ и оценка деятельности по контролю производства в компаниях и принятие мер для их эффективной и результативной работы.

Учитывая недостатки в организации управления производством, Ростехнадзор рекомендует руководителям предприятий рассмотреть возможность подключения своих организаций к системе удаленного управления системой управления производством.

При использовании этой системы компания получит механизм оказания реальной помощи предпринимателю в организации системы промышленной безопасности.

Система дистанционного управления производственным контролем - новый проект в стадии разработки. Ряд компаний уже внедрили подобные системы.

Безопасность производства, жизнь и здоровье человека зависят от эффективности взаимодействия территориальных органов Ростехнадзора и предприятий, эксплуатирующих опасные производственные объекты. В это трудное для всех время наша общая задача - поддерживать промышленную безопасность на должном уровне.

### Список литературы

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов [Электронный ресурс]//Консультант плюс: Справочно-правовая система
2. Управление персоналом. Учебник. / Кибанов А.Я. Ивановская Л.В. Митрофанова Е.М. 2006
3. Федеральный закон № 116-ФЗ от 21 июля 1997 года «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21 июля 1997 года (с изменениями от 29 июля 2018 года)

# АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТЕЛЕЖКИ И ПОДАЧИ ШЛАКООБРАЗУЮЩИЕ СМЕСИ В КРИСТАЛЛИЗАТОР

Лицин К.В., канд. тех. наук, доц., Утямишев Д.М.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

Новотроицкий филиал национального исследовательского технологического университета «Московский институт стали и сплавов»

В настоящее время смеси подаются в кристаллизатор МНЛЗ №2, который расположен в электросталеплавильном цехе (ЭСПЦ) АО "Уральская Сталь", вручную. Очевидно, что скорость выполнения представленной операции достаточно низкая, к тому же сама по себе операция считается ещё и физически тяжёлой, монотонной и опасной.

В электросталеплавильном цехе АО "Уральская Сталь" изготавливаются слябы, сечение которых составляет 190×1200 мм и 270×1200 мм. Согласно проведенному обзору и анализу месторасположения установки была разработана конструкция, представленная на рисунке 1[1,2].

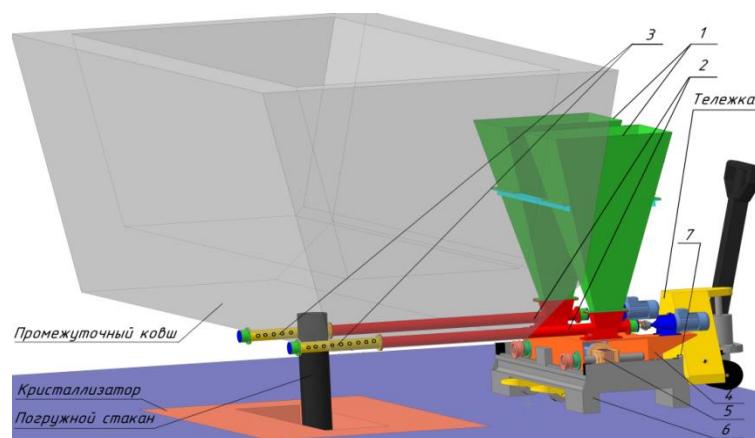


Рисунок 1 – Разработанной устройство подачи смеси

1-бункера; 2- дозаторы со шнеком; 3-насадки с выходными отверстиями; 4-тележка; 5-механизм передвижения; 6-рама; 7-датчики ограничения хода

Шнековые дозаторы 2 располагаются горизонтально и устанавливаются в нижней части бункеров 1. Смесь подаётся через шнеки и выходит через отверстия насадок 3. Механизм передвижения тележки 4 включает в себя трансмиссию и четырех двухребордных колеса, два из которых приводных. Тележка опирается на раму 6, а последующее её ограничение движение будет выполняться с помощью датчиков 7.

Целью данной статьи является разработка автоматической системы перемещения тележки и подачи шлакообразующие смеси в кристаллизатор

Для создания автоматической системы передвижения тележки вдоль широкой стенки кристаллизатора был составлен алгоритм, представленный на рисунке 2.

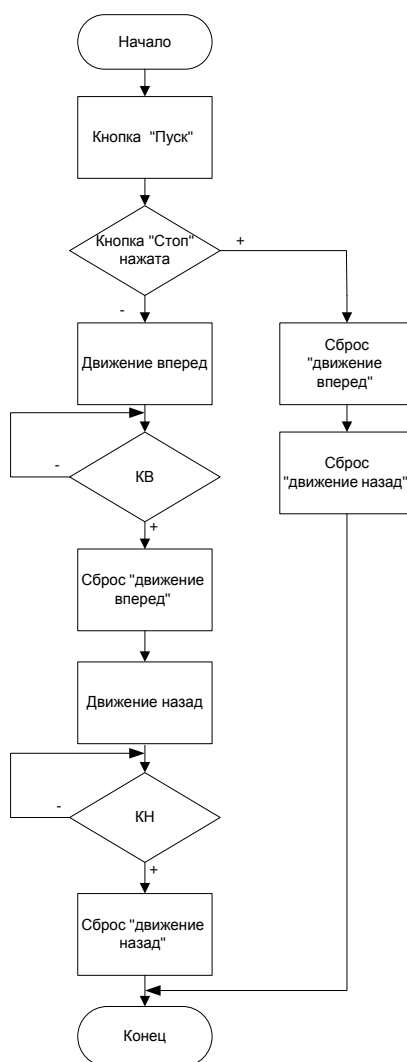


Рисунок 2 – Алгоритм работы механизма перемещения тележки

При перемещении тележек на расстояние, равное 0,4 – 0,45 ширины сляба, автоматически осуществляется реверс привода и тележки начинают движение в обратном направлении.

В алгоритме представлен датчик, формирующий сигнал окончания движения вперед (КВ) и датчик, показывающий окончание движения назад (КН). Алгоритм реализуется с помощью индуктивных датчиков Е2А-М30КС100-WP-С1 5М. Данная модель датчиков имеет высокую степень защиты, что особенно важно для применения ее в тяжелых условиях цеха [3,4].

Разработанное устройство подачи смеси функционирует с помощью компьютерной программы. Она управляется пультом, изображенным на рисунке 3. Так же все происходящие процессы информируются включением датчиков.



Рисунок 3 - Пульт управления и табло датчиков:

1 – датчик движения платформы; 2 – датчик остановки; 3 – датчик подачи ШОС; 4- датчик уровня ШОС в бункерах; 5 – лампа аварийной остановки; 6 – кнопка включения модели

Активация устройства задаётся при нажатии кнопки 6. О том, что программа включена, информируют зеленые индикаторы расположенные слева и справа от самой кнопки. Запустив программу, активируются кнопки «←» и «→» отвечающие за перемещение платформы с бункерами. Эти кнопки реализуют за ручной режим. За уровень шлакообразующей смеси в бункерах отвечают датчики 4. О движении платформы нас информируют датчики 1. Платформу возможно остановить с помощью кнопки «Р», нажав которую загорается датчик 2. Кнопки «↑» и «↓» отвечают за подачу ШОС через шнеки. Процесс сопровождается подачей сигнала на датчики 3. Зеленый цвет информирует о том, что идет подача, а красный – нет. При необходимости тележка может быть остановлена с помощью кнопки «STOP», нажав на которую загорится лампа 5.

Программа позволяет реализовать ручной и автоматический режим управления «АУТО» [5].

#### Список литературы

1. Ковальчук Т.В., Гусев А.А., Лицин К.В. Исследование электропривода системы подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок // Известия Высших Учебных Заведений. Электромеханика. 2018. Т.61, № 5. С. 38-43.
2. Ганин Д.Р., Лицин К.В., Гусев А.А., Ковальчук Т.В. Разработка системы автоматизированного электропривода для подачи шлакообразующих смесей в кристаллизатор МНЛЗ-2 АО «Уральская Сталь» // Наука и производство Урала. Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2018. № 14. С. 51-54.
3. Ляпушкин С.В. Повышение эффективности управления электроприводом автоматизированного комплекса дозирования сыпучих

материалов дис.канд.техн.наук: 05.09.03 / Ляпушкин Сергей Викторович – Томск., 2015. – 146 с.

4. Ключев, В.И. Теория электропривода учебник для вузов / В.И. Ключев. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1998. 704 с.

5. Абдулвелеева Р.Р, Утямишев Д.М. Имитационная модель устройства для подачи слябов на продольную порезку. Научное электронное изда-ние. Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития [Электронный ресурс]: тезисы докладов Четвертой всероссийской молодежной научной конференции / под ред. Д. Ю. Муромцева и др.; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. С. 120-121.

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ РЕЖИМА РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

**Лобанов В.А., Валиуллин К.Р. канд. техн. наук  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

Одним из перспективных направлений развития релейной защиты (РЗ) является внедрение алгоритмов работы, в основе которых лежит использование искусственного интеллекта (ИИ) [1]. Как отмечено в [2], искусственная нейронная сеть (ИНС) при использовании ее в качестве основы алгоритма работы РЗ по сравнению с другими методами ИИ имеет ряд преимуществ: высокое быстродействие и способность самообучаться, а также способность адаптироваться к изменениям в электроэнергетической системе (ЭЭС).

Одной из основных задач РЗ является определение ненормальных и аварийных режимов работы ЭЭС, поэтому выбранный метод ИИ должен успешно применяться для решения различных задач классификации.

Например, искусственные нейронные сети используются для классификации образов и изображений [3, 4, 5], или для решения задач классификации в области медицины [6, 7, 8], или менеджмента [9, 10, 11].

В электроэнергетической области ИНС также применяются для решения задач классификации, например, в [12] был создан алгоритм работы системы диагностики преобразовательных комплексов, позволяющий определить аварийные и предаварийные ситуации, а в [13] искусственная нейронная сеть используется для классификации состояния системы электроснабжения (СЭС) промышленного предприятия.

Для реализации искусственных нейронных сетей активно применяется среда моделирования Matlab Simulink.

Примером использования среды моделирования Matlab для создания и обучения ИНС может послужить статья [14], где дано описание графического интерфейса пользователя Graphical User Interface для ИНС – NNtool и дана техника его применения при решении ряда задач синтеза цепей и сетей связи [15].

В данной статье показано создание и обучение в среде моделирования Matlab Simulink искусственной нейронной сети, задачей которой является классификация режима работы электрической сети. ИНС создана с помощью функции пакета Neural Networks Toolbox, в состав которого входит более 160 различных функций, основными задачами которых являются:

- подготовка данных;
- создание ИНС;
- обучение ИНС;

- оценка результатов.

### **Подготовка данных**

Так как основной задачей искусственной нейронной сети является классификация режима работы ЭЭС, в качестве результата работы ИНС должен формироваться вектор значений  $\{Y_1, Y_2\}$ , где значение  $Y_1$  соответствует степени принадлежности режима к классу «Нормальный», а  $Y_2$  – степень принадлежности режима к классу «Аварийный». Таким образом, для нормального режима ИНС должна возвращать вектор значений  $\{1,0\}$ , а для аварийного  $\{0,1\}$ .

В качестве входных данных использовались действующие значения токов и напряжений в фазах сети. В связи с тем, что указанные значения могут лежать в широких пределах, производилось их нормирование по формулам:

$$I_{\text{норм}} = \frac{I}{I_{\text{дл.доп}}} \quad (1)$$

где  $I$  – действующее значение тока фазы;

$I_{\text{дл.доп}}$  – длительный допустимый ток для провода с меньшим сечением в схеме.

$$U_{\text{норм}} = \frac{U}{U_{\text{ном}}} \quad (2)$$

где  $U$  – действующее значение напряжения фазы;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение сети.

После того, как были определены входные и выходные данные, были получены их примеры для обучения нейронной сети – обучающая выборка, и примеры для проверки уже обученной ИНС – контрольная выборка. Для получения выборок использовалась модель линии электропередач, описанная в [16]. Выборки были получены в результате моделирования различных аварий на всех участках ЛЭП. Для обучающей и контрольной выборок в одних и тех же точках моделировались разные виды коротких замыканий.

Моделирование аварий происходило с частотой дискретизации  $5 \cdot 10^{-5}$  с., при этом значения величин входных переменных для обучения записывались в массив InputTeach, а соответствующие входным переменным значения выходных переменных сохранялись в OutputTeach. Для контрольной выборки все проводилось аналогично, только массивы называются InputControl и OutputControl соответственно. Каждая выборка содержит 185.6 тыс. примеров.

### **Создание и обучение ИНС**

После того, как были получены необходимые данные для обучения сети, с помощью команды NNtool был вызван пакет Neural Networks Toolbox и создана сама искусственная нейронная сеть.

Сеть выбрана типа feed-forward backprop с прямой передачей сигнала и обратным распространением ошибки.

При создании ИНС были опробованы различные конфигурации сети: разное количество скрытых слоев и количество нейронов в этих слоях.

Пример конфигурации сети с двумя скрытыми слоями и 12 и 16 нейронами в них изображен на рисунке 1.

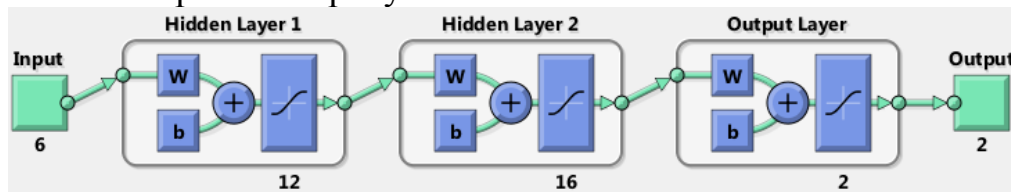


Рисунок 1 – Пример конфигурации ИНС

Помимо конфигурации на этапе создания ИНС задается функция, по которой сеть будет обучаться в дальнейшем. Обучение происходило методом упругого обратного распространения ошибки с помощью функции TrainRP.

TrainRP – функция с устойчивой обратной связью (Rprop), алгоритм ее обучения состоит в том, чтобы устранить неблагоприятное воздействие значений частных производных.

Обучение останавливалось, при достижении одного из следующих заданных условий:

- достижение заданного числа эпох обучения, задавалось 1000 эпох;
- достижение нулевой ошибки на обучающей выборке;
- снижение градиента функции ниже  $1 \cdot 10^{-7}$ ;
- увеличение ошибки ИНС на тестовой выборке на протяжении более 20 эпох обучения.

В процессе обучения ИНС выводятся все заданные условия, при которых обучение останавливается, рисунок 2.

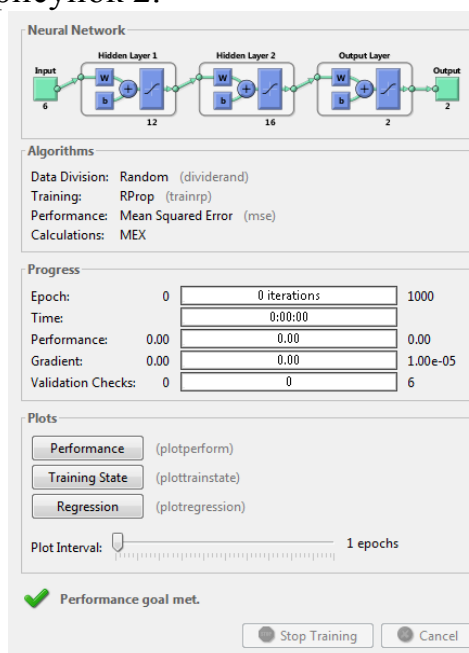
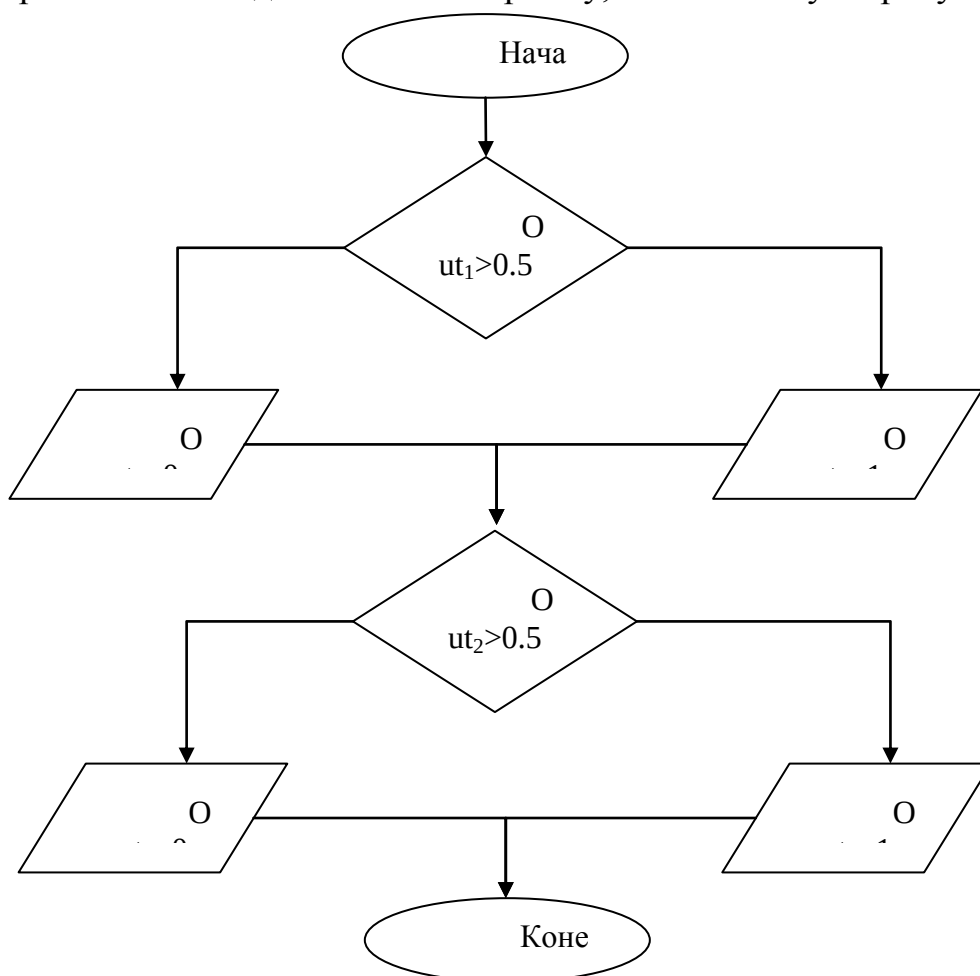


Рисунок 2 – Процесс обучения ИНС

### Оценка результатов работы ИНС

После обучения ИНС была проведена проверка точности работы по контрольной выборке. Примечательно то, что процесс проверки занимает доли секунд, независимо от объема.

В результате проверки были созданы два массива `network1_outputs` – выходные данные и `network_errors` – ошибки, которые были также сохранены в рабочей области Matlab. Полученные данные были округлены до однозначного результата и сравнены с ожидаемым по алгоритму, показанному на рисунке 3.



|                                                                                                                                                                              |                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Нормальный режим распознан как аварийный<br>$Out_1=1; Tar_1=0$<br>$Out_2=0; Tar_2=1$                                                                                         | Нормальный режим распознан как нормальный<br>$Out_1=1; Tar_1=0$<br>$Out_2=0; Tar_2=0$ |
| Аварийный режим распознан как нормальный<br>$Out_1=0; Tar_1=1$<br>$Out_2=1; Tar_2=0$                                                                                         | Аварийный режим распознан как аварийный<br>$Out_1=0; Tar_1=0$<br>$Out_2=1; Tar_2=1$   |
| $\{Tar_1; Tar_2\}$ - то, что должна показывать ИНС;<br>$\{Out_1; Out_2\}$ - то, что ИНС показала;<br>Нераспознанный режим – режим, который ИНС не смогла отнести ни к одному |                                                                                       |

из вышеперечисленных.

Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма

Для наглядности результаты были сведены в таблицу 1.

Для оценки классификатора также были использованы дополнительные параметры: точность (precision), полнота (recall) и F-мера [17].

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$F = 2 \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

где  $TP$  – истинно-положительное решение;

$TN$  – истинно отрицательное решение;

$FP$  – ложно-положительное решение;

$FN$  – ложно-отрицательное решение.

Оценка работы классификатора, зависимость метрик от количества скрытых слоев и нейронов в них отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка работы ИНС в зависимости от конфигурации сети

| Конфигурация сети                                                 | Метод обучения TrainRP |       |       |         |         |         |         |         |         |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                                                   | 6-10                   | 6-20  | 6-30  | 6-10-10 | 6-15-10 | 6-15-15 | 6-20-10 | 6-10-20 | 6-20-20 |
| Процент распознавания нормального режима, %                       | 82,52                  | 83,16 | 84,28 | 88,85   | 53,5    | 87,68   | 87,78   | 87,5    | 87,89   |
| Нормальный режим распознан как нормальный. (True Negative, TN), % | 27,39                  | 27,6  | 27,98 | 29,49   | 27,72   | 29,1    | 29,13   | 29,05   | 29,17   |
| Процент распознавания аварийного режима, %                        | 96,61                  | 96,5  | 82    | 72      | 90,72   | 76,71   | 89,98   | 72,39   | 79,16   |
| Аварийный режим распознан как аварийный. (True Positive, TP), %   | 64,54                  | 64,47 | 54,79 | 48,1    | 60,61   | 51,25   | 60,11   | 48,36   | 52,88   |
| Процент                                                           | 91,93                  | 92,08 | 82,76 | 77,6    | 88,33   | 80,36   | 89,25   | 77,41   | 82,05   |

|                                                                               |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------------------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| правильных<br>распознаваний,<br>%                                             |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Нормальный<br>режим распознан<br>как аварийный.<br>(False Positive,<br>FP), % | 2,26 | 2,29  | 11,97 | 18,65 | 6,09  | 15,41 | 6,69  | 16,25 | 13,73 |
| Аварийный<br>режим распознан<br>как нормальный.<br>(False Negative,<br>FN), % | 5,77 | 5,53  | 5,17  | 3,68  | 5,4   | 4,04  | 4,04  | 4,014 | 3,97  |
| Нераспознанные<br>режимы, %                                                   | 0,03 | 0,1   | 0,10  | 0,07  | 0,17  | 0,18  | 0,02  | 2,32  | 0,24  |
| Процент<br>ошибочных<br>распознаваний,<br>%                                   | 8,06 | 7,92  | 17,23 | 22,4  | 11,67 | 19,64 | 10,74 | 22,58 | 17,94 |
| Точность                                                                      | 0,96 | 0,96  | 0,82  | 0,72  | 0,9   | 0,76  | 0,9   | 0,74  | 0,79  |
| Полнота                                                                       | 0,92 | 0,92  | 0,91  | 0,93  | 0,918 | 0,927 | 0,937 | 0,923 | 0,93  |
| F мера                                                                        | 0,94 | 0,942 | 0,864 | 0,811 | 0,913 | 0,84  | 0,918 | 0,827 | 0,857 |

Вывод: Была создана искусственная нейронная сеть, позволяющая решить задачу классификации режима работы электроэнергетической системы с точностью 96%. Было выяснено, что усложнение конфигурации не улучшило оценку работы ИНС и не существует определенной зависимости между точностью работы сети и количеством скрытых слоев и нейронов в них.

#### Список литературы

1. Валиуллин, К. Р. Исследование возможности применения искусственного интеллекта в релейной защите [Электронный ресурс] / Валиуллин К. Р., Лобанов В. А. // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием), 23-25 янв. 2019 г., Оренбург / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбургский гос. ун-т". - Электрон. дан. - Оренбург: ОГУ, 2019. - С. 3367-3373. - 7 с.
2. Лобанов, В.А. Анализ возможностей применения методов искусственного интеллекта в релейной защите [Электронный ресурс] / Валиуллин К. Р., Лобанов В. А. // Труды X Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: состояние, проблемы, перспективы»; Оренбург. гос. ун-т. – Электрон. дан. – Оренбург: ОГУ, 2019. – с 450-455.
3. Сикорский О.С. Обзор свёрточных нейронных сетей для задачи классификации изображений // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2017. №20.

4. В.И.Дубровин, С.А.Субботин Методика синтеза и обучения многослойной нейронной сети классификации образов // Радіоелектроніка, інформатика, управління. 2002. №2 (8).
5. Глазков А. В., Крутов А. В. Моделирование процессов распознавания и классификации образов на основе нейросетей // Вестник ВГТУ. 2009. №11.
6. Бакуткин В. В., Зайко Ю. Н., Лепеско А. С., Скиданов А. Н. Разработка системы классификации и диагностики офтальмологических заболеваний на основе искусственных нейронных сетей // Изв. Саратов. ун-та Нов. сер. Сер. Физика. 2008. №1.
7. Бердибаева Гульмира Куанышевна, Бодин Олег Николаевич, Фирсов Дмитрий Сергеевич Классификация звуков астматического дыхания с использованием нейронных сетей // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2018. №2 (24).
8. Молодченков Алексей Игоревич, Фраленко Виталий Петрович, Хачумов Вячеслав Михайлович Классификация степени тяжести заболевания на основе искусственных нейронных сетей // Вестник РУДН. Серия: Математика, информатика, физика. 2014. №2.
9. Г. Сетлак Использование искусственных нейронных сетей для решения задач классификации в менеджменте // Радіоелектроніка, інформатика, управління. 2004. №1 (11).
10. Корнеев Д. С. Использование аппарата нейронных сетей для создания модели оценки и управления рисками предприятия // УБС. 2007. №17.
11. Курочкина И.П., Калинин И.И., Маматова Л.А., Шувалова Е.Б. Метод нейронных сетей в моделировании финансовых показателей компании // Статистика и экономика. 2017. №5.
12. Денисов А. В., Томашевский Ю. Б. Интеллектуальная система диагностики аварийных режимов в преобразовательных комплексах на основе нейросетевого подхода // Вестник СГТУ. 2012. №1.
13. Пантелеев В. И., Шевченко В. В. Классификация состояний электрической системы промышленного предприятия с помощью искусственных нейронных сетей // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. 2004. №5-6.
14. Семейкин Валерий Дмитриевич, Скупченко Александр Вячеславович Моделирование искусственных нейронных сетей в среде Matlab // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2009. №1.
15. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks. - М.: Горячая линия - Телеком, 2000. - С. 392.
16. Лобанов, В.А. Имитационное моделирование участка энергосистемы в среде моделирования Matlab Simulink [Электронный ресурс] / Валиуллин К. Р., Лобанов В. А. // Труды X Всероссийской научно-технической конференции «Автоматизированные системы управления и информационные технологии»; Перм.нац.исслед. политех. ун. – Электрон. дан. – Пермь: ПСТУ, 2019. – с 651-658.

17. Бессмертный И.А., Интеллектуальные системы: учебник и практикум для СПО / И. А. Бессмертный, А. Б. Нугуманова, А. В. Платонов, - М. : Издательство Юрайт, 2018. – 243 с. – (Серия : Профессиональное образование). ISBN 978-5-534-07818-3

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОТ ГТУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ГПЗ**

**Матвейкин С. Н., Нелюбов В. М., канд. техн. наук, доцент  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

Газотурбинная установка (ГТУ) – это энергетическая установка, конструктивно объединяющая в себе газовую турбину, электрический генератор, газовоздушный тракт, системы управления, а также пусковое устройство, компрессор, теплообменный аппарат или котёл-утилизатор для подогрева сетевой воды для промышленного снабжения, или пара для поступления на паровую турбину, главной целью взаимодействия компонентов которой является выработка электроэнергии, путем сжигания топлива [1].

Основным преимуществом при использовании ГТУ для газоперерабатывающего завода, несомненно, является постоянное наличие топливного газа, получаемого после осушки и обессеривания, что существенно снижает себестоимость вырабатываемой электроэнергии и попутного тепла.

Актуальность работы заключается в том, что ведение третьего независимого источника электроэнергии – ГТУ на предприятии ГПЗ является необходимой мерой для обеспечения надежности потребителей особой группы 1 категории по ПУЭ. Применение ГТУ также позволит путем снижения затрат на энергоносители и эффективного использования топливного газа увеличить доход предприятия что для ПАО «Газпром» является главной задачей. Стоит отметить, что возведение ГТУ способствует улучшению экологической обстановки на предприятии.

Предварительная схема планируемого подключения ГТУ в действующую систему электроснабжения технологических установок ГПЗ изображена на рисунках 1-3.

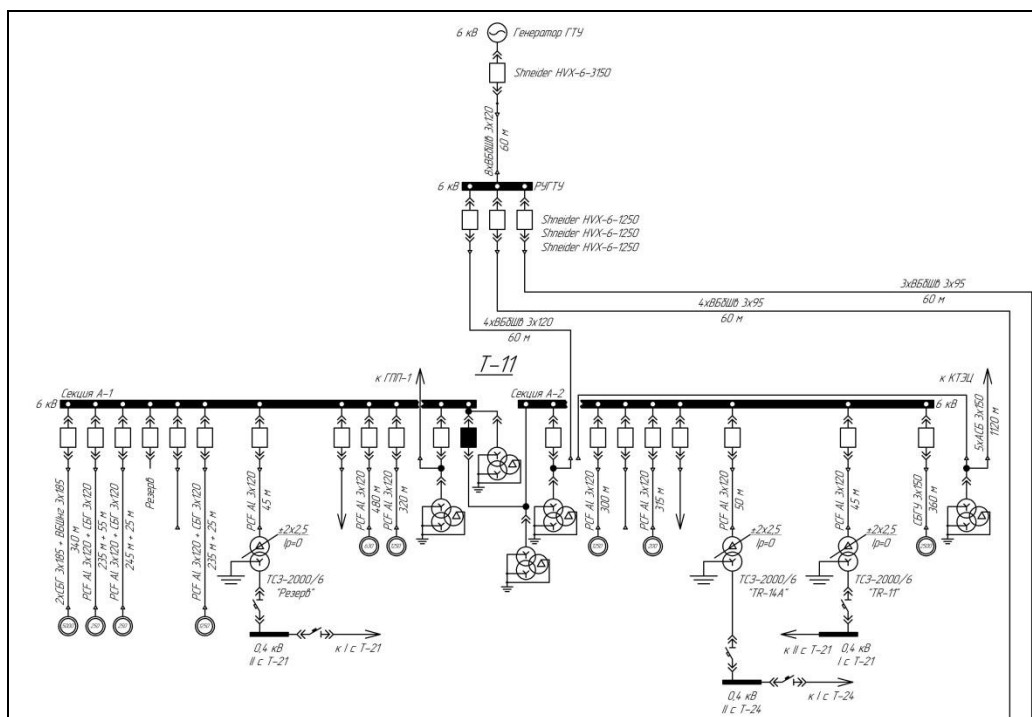


Рисунок 1 – Однолинейная схема подключения ГТЭС к щиту Т-11

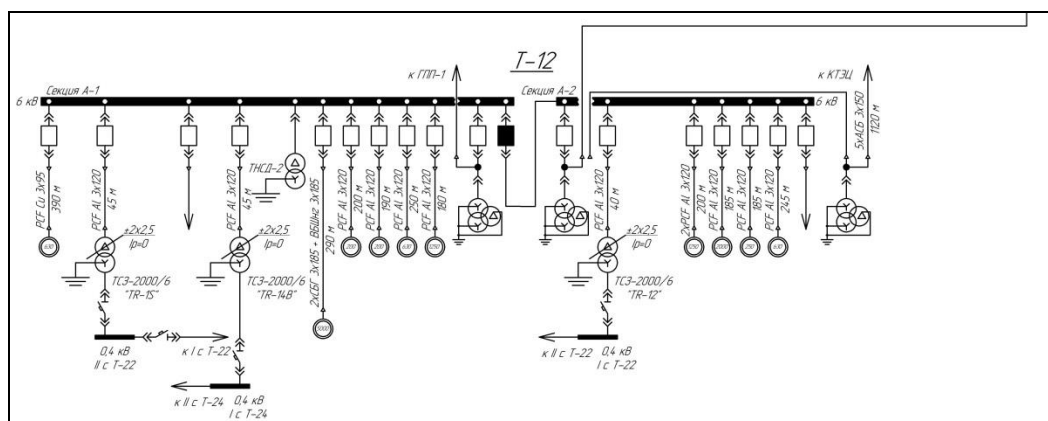


Рисунок 2 – Однолинейная схема подключения ГТЭС к щиту Т-12

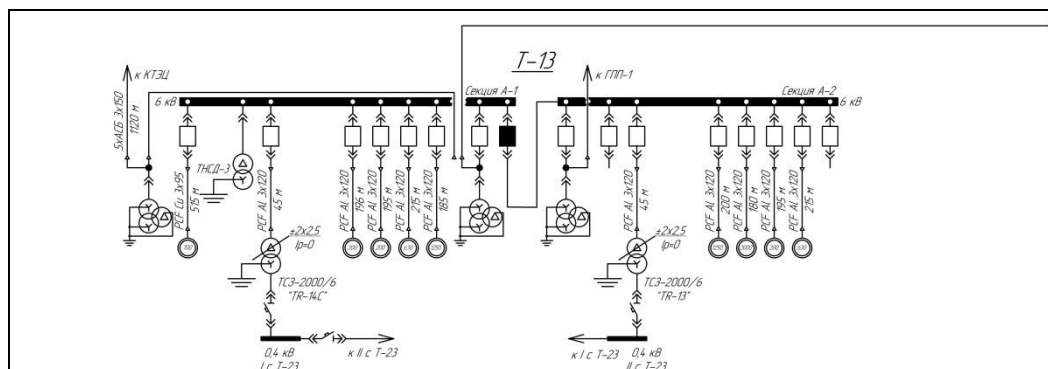


Рисунок 3 – Однолинейная схема подключения ГТЭС к щиту Т-13

По схеме электроснабжения технологических установок ГПЗ, руководствуясь [2], был выполнен анализ потребителей щитов Т-11, Т-12 и Т-13, которые планируется запитывать от проектируемой ГТУ. Он показал, что

часть потребителей (группа электродвигателей напряжением 6 кВ) относится к потребителям особой группы первой категории, а остальные потребители – высоковольтные двигатели напряжением 6 кВ и подключенные через цеховые трансформаторы низковольтные щиты Т21 – Т24 относятся к потребителям первой категории.

В наилучшем режиме (нормальном режиме работы) ГТУ питает только вторые секции щитов, а в аварийном – щиты целиком, но это возможно только с условием отключением менее значимых потребителей автоматической частотной разгрузкой. Для этих режимов выполнен расчет нагрузок с учетом потерь мощности в элементах системы электроснабжения.

В результате расчета нагрузок щитов Т11 – Т13 была определена по [3, 4] суммарная полная мощность ГТУ с учетом потерь для нескольких режимов работы ГТУ:

1. В нормальном режиме работы, когда ГТУ питает только одну секцию щитов Т11 – Т13,  $S_{\text{нормГТУ}} = 12773.568$  кВА,
2. В аварийном режиме работы без отключения АЧР части нагрузки, когда ГТУ питает две секции щитов,  $S_{\text{авГТУ}} = 32454.152$  кВА,
3. В аварийном режиме работы с отключением АЧР менее значимых потребителей, когда ГТУ питает две секции не полностью,  $S_{\text{авАЧР}} = 27965.627$  кВА.

На основании выполненного расчета нагрузок была выбрана и проверена газотурбинная установка ГТЭС-22 с  $P_{\text{нГТУ}} = 21750$  кВт и  $\cos\varphi_{\text{нГТУ}} = 0,9$ , а так же побочное оборудование системы электроснабжения. Проверка на перегрузку показала, что выбранная газотурбинная электростанция будет работать без систематической перегрузки в нормальном режиме работы, а в аварийном будет испытывать аварийную перегрузку и сможет ее выдержать только при отключении АЧР менее значимых потребителей.

Выбранная по [5] газотурбинная установка ГТЭС-22 – блочно-модульной конструкции с номинальной активной мощностью генератора  $P_{\text{нГТУ}} = 21750$  кВт и номинальным коэффициентом мощности  $\cos\varphi_{\text{нГТУ}} = 0.9$  [6], а так же побочное оборудование системы электроснабжения. Проверка на перегрузку показала, что выбранная газотурбинная электростанция будет работать без систематической перегрузки в нормальном режиме работы, а в аварийном будет испытывать аварийную перегрузку и сможет ее выдержать только при отключении АЧР менее значимых потребителей.

Газотурбинная установка и схема ее подключения была спроектирована таким образом, чтобы в дальнейшем обеспечить безаварийную и удобную автоматизированную эксплуатацию ГТУ и регулирование нагрузки с целью загрузки ГТУ наиболее близко к 100 % путем одновременной согласованной коммутации секционных выключателей и вводных выключателей фидеров энергосистемы.

Алгоритм работы системы предположительно будет основываться на сопоставлении значения полной мощности ГТУ как источника питания ограниченной мощности и значений полных мощностей потребления щитов Т-

11, Т-12 и Т-13. Предполагается комплексное и единичное переключение питания нагрузок в виде двигателей и подстанций от ГТУ, в связи с этим необходимо принять к установке в щитах быстродействующие выключатели. Комплексное переключение предусматривает переключение между секциями щитов, а единичное – переключение между резервным и рабочим потребителями в виде электродвигателей.

Разработанный алгоритм работы системы электроснабжения представлен на рисунках 4 и 5.

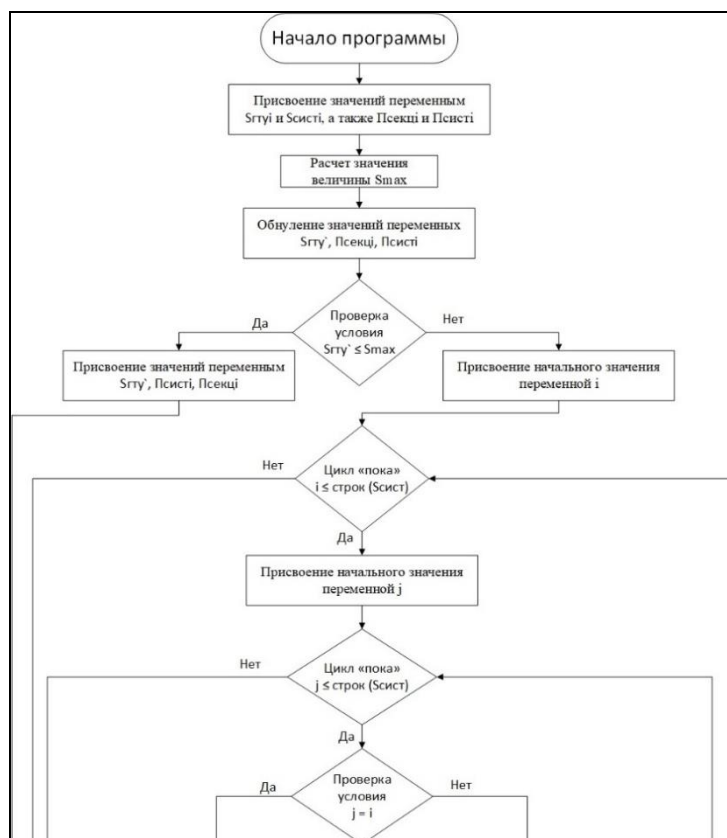
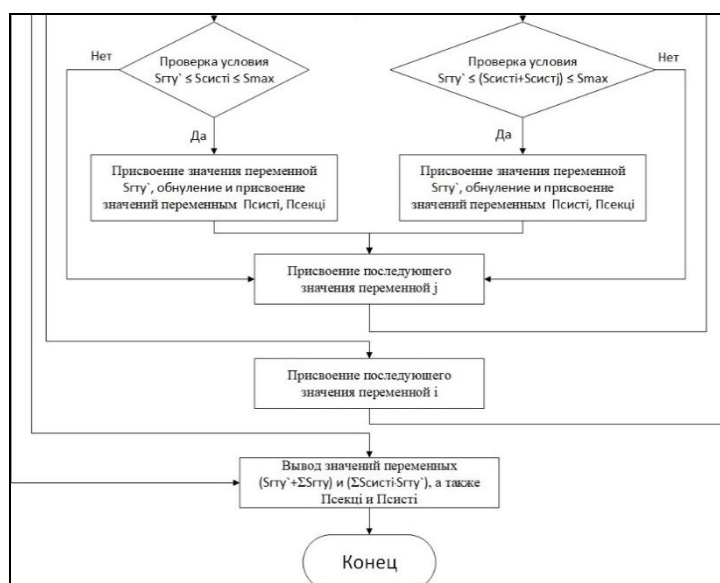


Рисунок 4 – Первая часть алгоритма работы системы электроснабжения



## Рисунок 5 – Вторая часть алгоритма работы системы электроснабжения

Операции приведенного сверху алгоритма работы системы осуществляются в соответствии со следующей последовательностью:

1) Определяются полные мощности  $i$ -ых секций ГТУ  $S_{ГТУi}$  и  $i$ -ых секций энергосистемы  $S_{систі}$ , а также положения выключателей этих секций  $П_{секці}$  и  $П_{систі}$  аналогично. В начальный момент времени по умолчанию планируется подключение к ГТУ только одной из двух секций каждого щита, получается, что условно включены все выключатели, отходящие к щитам от ГТУ и от системы, а «секционные» условно отключены.

2) Рассчитывается максимальная свободная мощность ГТУ  $S_{max}$ . Она дает представление о том, сколько полной мощности необходимо подключить к ГТУ до полной ее загрузки.

3) Максимально-возможная добавочная мощность ГТУ приравняется равной нулю:  $S_{ГТУ}^* = 0$  кВА, «регистрируются» положения выключателей, соответствующие положениям, присвоенным в 1 пункте алгоритма:  $П_{секці} = 0$  и  $П_{систі} = 1$ .

4) Выполняется проверка условия №2 подключения всех «свободных» секций щитов к ГТУ. Это условие повышает быстродействие алгоритма и упрощает его. При выполнении условия №2 алгоритм переходит к выполнению следующего пункта, а при невыполнении к пункту 6.

5) Осуществляется присвоение значения переменной максимально-возможной добавочной мощности ГТУ:  $S_{ГТУ}^* = \sum S_{систі}$  и переменным положений выключателей:  $П_{секці} = 0$  и  $П_{систі} = 1$ , а затем происходит переход к 17 пункту алгоритма. Получается, что, если возможно подключить к ГТУ все «свободные» секции щитов одновременно, они будут подключены через секционные выключатели, при это выключатели, отходящие от системы, будут отключены.

6) Начинается перебор всех возможных вариантов подключения мощности секций щитов к ГТУ и поиск оптимального значения  $S_{ГТУ}^*$ , присваивается начальное значение переменной:  $i = 1$ .

7) Запускается цикл «пока №1». При выполнении условия 1 цикла алгоритм переходит к выполнению следующего пункта, а при невыполнении происходит выход из цикла и переход к 17 пункту.

8) Происходит вход в тело цикла «пока №1», осуществляется присвоение начального значения переменной:  $j = 1$ .

9) Запускается цикл «пока №2». При выполнении условия 2 цикла алгоритм переходит к выполнению следующего пункта, а при невыполнении происходит выход из цикла и переход к 16 пункту.

10) Происходит вход в тело цикла «пока №2», выполняется проверка условия на совпадение номера секций щитов. Условие учитывает варианты, при которых к ГТУ может быть подключена только одна секция любого щита. При выполнении условия алгоритм переходит к выполнению следующего пункта, а при невыполнении к пункту 13.

11) Осуществляется проверка условия на подключение к ГТУ только одной секции. При выполнении условия алгоритм переходит к выполнению следующего пункта, а при невыполнении к пункту 15.

12) Осуществляется присвоение значения переменной максимально-возможной добавочной мощности ГТУ:  $S_{ГТУ} = S_{систі}$  и переменным положений выключателей:  $P_{секці} = 0$  и  $P_{систі} = 1$ , а затем происходит переход к 15 пункту алгоритма. Получается, что, если возможно подключить к ГТУ только одну секцию, она будет подключена через секционный выключатель, при это выключатель, отходящий от системы, будет отключен.

13) Противоположно действиям пунктов 11 и 12 осуществляется проверка условия на подключение к ГТУ нескольких секций одновременно. При выполнении условия алгоритм переходит к выполнению следующего пункта, а при невыполнении к пункту 15.

14) Осуществляется присвоение значения переменной максимально-возможной добавочной мощности ГТУ:  $S_{ГТУ} = (S_{систі} + S_{систj})$  и переменным положений выключателей:  $P_{секці} = 0$ ,  $P_{систі} = 1$ ,  $P_{секціj} = 0$  и  $P_{систj} = 1$ , а затем происходит переход к 15 пункту алгоритма. Получается, что, если возможно подключить к ГТУ несколько секций одновременно, они будут подключены через секционные выключатели, при это выключатели, отходящие от системы, будут отключены.

15) Осуществляется переприсвоение начального значения переменной:  $j = j + 1$ . Происходит переход на следующий шаг цикла «пока №2», возвращаясь к условию цикла 2.

16) Осуществляется переприсвоение начального значения переменной:  $i = i + 1$ . Происходит переход на следующий шаг цикла «пока №1», возвращаясь к условию цикла 1.

17) Осуществляется вывод результатов работы алгоритма: полученных значений переменных  $(S_{ГТУ} + \Sigma S_{ГТУi})$ ,  $(\Sigma S_{систі} - S_{ГТУ})$  и положений выключателей  $P_{секці}$  и  $P_{систі}$ .

На основании разработанного алгоритма работы системы электроснабжения составлена математическая модель в программе Mathcad, программный код которой представлен на рисунках 6 и 7.

```

ORIGIN := 1                               ShlTY := 24166.667

Srry :=  $\begin{pmatrix} 6129.328 \\ 4696.781 \\ 1935.467 \end{pmatrix}$       Псеки :=  $\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$       Псисг :=  $\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$       Scisг :=  $\begin{pmatrix} 7672.638 \\ 7121.911 \\ 4898.027 \end{pmatrix}$        $\begin{pmatrix} 7672.638 \\ 7121.911 \\ 4898.027 \end{pmatrix}$ 

 $\sum Srry = 12761.576$        $\sum Srry + \sum Scisг = 32454.152$        $\sum Scisг = 19692.576$       19692.576

Smax ← (ShlTY -  $\sum Srry$ ) =  $\begin{pmatrix} 20434.214 & 1 & 0 & 0 \\ 12019.938 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$ 
Srry' ← 0
Псеки1 ← 0 ∧ Псеки2 ← 0 ∧ Псеки3 ← 0
Псисг1 ← 1 ∧ Псисг2 ← 1 ∧ Псисг3 ← 1
if  $\sum Scisг \leq Smax$ 
| Srry' ←  $\sum Scisг$ 
| Псисг1 ← 0 ∧ Псисг2 ← 0 ∧ Псисг3 ← 0
| Псеки1 ← 1 ∧ Псеки2 ← 1 ∧ Псеки3 ← 1

```

Рисунок 6 – Первая часть программного кода в Mathcad

```

otherwise
| i ← 1
| while i ≤ rows(Scisг)
| | j ← 1
| | while j ≤ rows(Scisг)
| | | if Srry' ≤ (Scisгi) ≤ Smax if j = i
| | | | Srry' ← (Scisгi)
| | | | Псеки1 ← 0 ∧ Псеки2 ← 0 ∧ Псеки3 ← 0
| | | | Псисг1 ← 1 ∧ Псисг2 ← 1 ∧ Псисг3 ← 1
| | | | Псисгi ← 0 ∧ Псекиi ← 1
| | | if Srry' ≤ (Scisгi + Scisгj) ≤ Smax otherwise
| | | | Srry' ← (Scisгi + Scisгj)
| | | | Псеки1 ← 0 ∧ Псеки2 ← 0 ∧ Псеки3 ← 0
| | | | Псисг1 ← 1 ∧ Псисг2 ← 1 ∧ Псисг3 ← 1
| | | | Псисгi ← 0 ∧ Псекиi ← 1
| | | | Псисгj ← 0 ∧ Псекиj ← 1
| | | j ← j + 1
| | i ← i + 1
| ( Srry' +  $\sum Srry$  Псеки1 Псеки2 Псеки3 )
| (  $\sum Scisг - Srry'$  Псисг1 Псисг2 Псисг3 )

```

Рисунок 7 – Вторая часть программного кода в Mathcad

### Список литературы

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/ГТУ> (дата обращения: 11.12.2019);
2. РД 51-00158623-08-95 Категорийность электроприемников промышленных объектов газовой промышленности. Руководящий нормативный документ. Введ 1995-07-01;
3. Мукосеев Ю. Л., Электроснабжение промышленных предприятий. Учебник для вузов. М., «Энергия», 1973 – 584 с. ил.;
4. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию: Учеб. пособие / Том. политехн. ун-т. – Томск, 2005. – 168 с.;
5. <https://www.reph.ru/production/type/116/4311/> (дата обращения: 12.12.2019);

6. Каталог «Газотурбинные электростанции на базе газовых турбин мощностью 22/25 Мвт» АО «РЭП Холдинг».

# **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ СОЛНЦА С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО УРАЛА**

**Митрофанов С.В., канд. техн. наук, доцент,**

**Калашник Н.А., Рычкова А.С.**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное**

**учреждение высшего образования**

**«Оренбургский государственный университет»**

Оренбургская область занимает лидирующее место в России в сфере солнечной энергетики [1]. Здесь насчитывается 10 действующих солнечных электрических станций и еще 4 планируется к строительству. В целях повышения КПД этих станций инженеры предлагают все новые и более усовершенствованные решения. Одной из актуальных проблем является установка такого подвижного солнечного трекера, который бы на протяжении всего дня располагал солнечную панель так, чтобы лучи Солнца падали на нее под углом  $90^\circ$ , ведь именно под таким углом падения мы получаем максимальный КПД. На крыше 7 учебного корпуса электроэнергетического факультета ОГУ расположены солнечные панели, ориентация на Солнце которых разработана на основе фотоэлементов [2]. Такое техническое решение не всегда правильно ориентирует солнечные панели относительно Солнца, особенно в пасмурную погоду и переменную облачность. Предлагается для ориентации панели по Солнцу предложить методику определения положения солнечной панели на основе астрофизических данных. На основе полученной методики можно разработать программное обеспечение для микроконтроллера системы управления поворотной платформой. В данной статье рассматривается методика определения оптимального положения солнечной панели относительно Солнца в любой произвольный момент времени (светлое время суток), в любой географической точке.

Каждое небесное тело вращается по эллиптической орбите и имеет свои небесные координаты, по которым мы легко можем найти нужный объект на небе. Сложности, которые возникают в ходе данных расчетов, прежде всего связаны с переводом координат из прямоугольных в сферические. Для вычисления положения Солнца (рисунок 1) относительно нашей солнечной панели [3] необходимо задать год, месяц, день. Исходя из заданной даты, мы находим Юлианскую дату  $d$  по формуле 1.

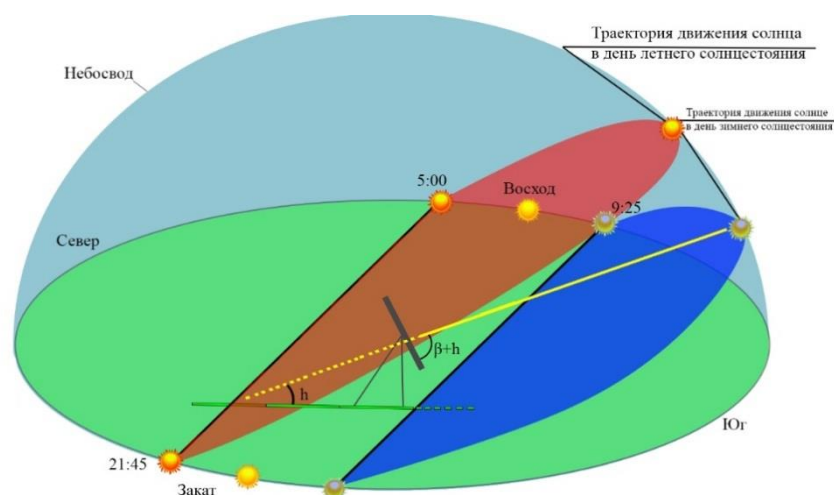


Рисунок 1 – Траектория движения солнца в летние и зимние дни

Юлианская дата – это система нумеровки дней, введенная астрономами на основе юлианского цикла, которая берет свое начало с 1 января 4713 года до нашей эры. Минусом данного способа является то, что в пересчете на наше время дата юлианского дня составляет большое число, поэтому его модифицировали и назвали модифицированным юлианским днем (MJD) и теперь отсчет Юлианского дня начинается с 1 января 2000 г.

$$d = 367 \cdot Y - \frac{7 \cdot \left( Y + \frac{M+9}{12} \right)}{4} + \frac{275 \cdot M}{9} + D - 730530 \quad (1)$$

где  $Y$  – год (все 4 цифры);  
 $M$  – месяц;  
 $D$  – число месяца.

В качестве примера примем широту и долготу учебного корпуса №7 электроэнергетического факультета, находящегося в г. Оренбурге (широта  $51^{\circ}48$  мин, долгота  $55^{\circ}08$  мин). Для примера переведем 22 декабря 2019 года в Юлианскую систему отсчета:  $d=7.295354 \cdot 10^3$ .

Всем известно, что планета Земля движется вокруг Солнца. Для упрощения расчетов представим обратное: Земля неподвижна и является центром Солнечной системы. Таким образом, орбитальные элементы, заданные ниже, действительны только для видимой орбиты Солнца вокруг Земли. Мы вычисляем долготу перигелия  $w$ , которая представляет собой координаты ближайшей точки эклиптики к Солнцу (формула 2), эксцентриситет  $e$  (формула 3), числовое значение отклонения от круглой орбиты и среднее расстояние между перигелием и афелием (наиболее удаленная точка орбиты планеты от Солнца)  $M$  (формула 4).

$$w = 282.9404 + 4.70935 \cdot 10^{-5} \cdot d \quad (2)$$

$$e = 0.016709 - 1.15 \cdot 10^{-9} \cdot d \quad (3)$$

$$M = 356.0470 + 0.9856002585 \cdot d \quad (4)$$

Среднее расстояние  $a$  примем равным 1.

Также по формуле 5 мы рассчитываем наклон эклиптики  $oblec1$ , который является углом смещения плоскости экватора Земли к плоскости ее орбиты:

$$oblec1 = 23.4393 - 3.556 \cdot 10^{-7} \cdot d \quad (5)$$

Средняя долгота Солнца  $L$  (формула 6) – это угол между точкой эклиптики в день мартовского равноденствия и Солнцем:

$$L = w + M - 360 \quad (6)$$

Теперь по формуле 7 мы вычислим вспомогательный угол эксцентрической аномалии  $E$  первого приближения, так как эксцентриситет солнечной (т.е. земной) орбиты очень мал – 0.017.

$$E = M + \frac{180}{\pi} \cdot e \cdot \sin(M) \cdot (1 + e \cdot \cos(M)) \quad (7)$$

После чего мы вычисляем прямоугольные координаты Солнца в плоскости эклиптики  $x$  и  $y$  (формулы 8 и 9), где ось  $X$  указывает на точку перигелия:

$$x = \cos(E) - e \quad (8)$$

$$y = \sin(E) - \sqrt{1 - e^2} \quad (9)$$

С помощью вычисленных координат находим расстояние  $r$  и истинную аномалию  $v$  (формулы 10 и 11).

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (10)$$

$$v = \arctan2(y, x) \quad (11)$$

В нашем случае расстояние  $r=0.983787$ , а истинная аномалия  $v=-14.110954$ .

Теперь мы сможем вычислить долготу Солнца  $LON$  по формуле 12:

$$LON = v + w \quad (12)$$

Приступим к вычислению эклиптических прямоугольных координат Солнца  $x$  и  $y$  (формулы 13 и 14):

$$x = r \cdot \cos(\text{LON}) \quad (13)$$

$$y = r \cdot \sin(\text{LON}) \quad (14)$$

Повернем эклиптические прямоугольные координаты к экваториальным координатам по формулам 15, 16 и 17:

$$x_{\text{equat}} = x \quad (15)$$

$$y_{\text{equat}} = y \cdot \cos(\text{oblecl}) - z \cdot \sin(\text{oblecl}) \quad (16)$$

$$z_{\text{equal}} = y \cdot \sin(\text{oblecl}) + z \cdot \cos(\text{oblecl}) \quad (17)$$

Далее мы вычисляем прямое восхождение RA (формула 18), которое является астрономическим эквивалентом земной долготы:

$$\text{RA} = (\arctan 2(y_{\text{equat}}, x_{\text{equat}}))/15 \quad (18)$$

В нашем расчете прямое восхождение RA получилось равным -6.06.

По формуле 19 мы находим склонение Decl, более точное определение которого изображено на рисунке 2.

$$\text{Decl} = \arctan 2(\sqrt{x_{\text{equat}}^2 + y_{\text{equat}}^2}, z_{\text{equal}}) \quad (19)$$

Склонение Decl= -23.434.

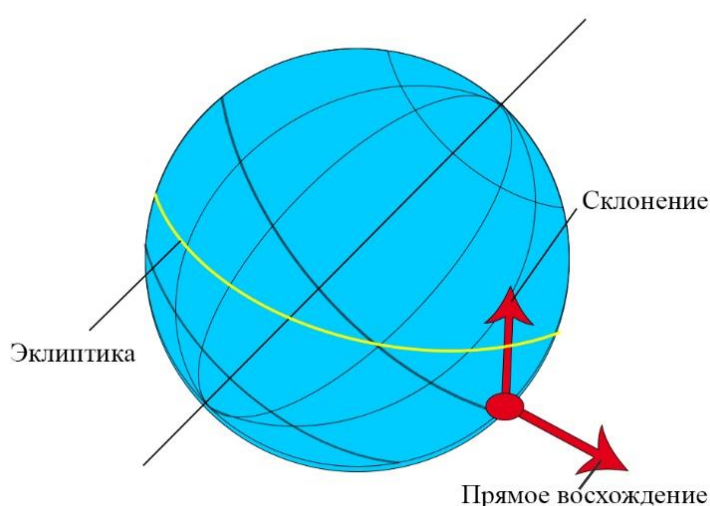


Рисунок 2 – Вторая экваториальная система координат

После чего мы вычисляем время в Гринвичском меридиане путем прибавления 12 часов к средней долготе Солнца. Деление на 15 в данной формуле преобразует градусы в часы. GMST0 показывает звездное время по гринвичскому меридиану в 00:00 прямо сейчас (формула 20):

$$GMST0 = \frac{L}{15} + 12 \quad (20)$$

Следующим шагом является вычисление звездного времени SIDTIME (местное время) по формуле 21:

$$SIDTIME = GMST0 + UT + \frac{L}{15} \quad (21)$$

где UT – всемирное время;  
L – географическая долгота.

Если время получается отрицательным, то мы прибавляем 24 часа, если же оно превышает 24 часа, то мы вычитаем 24 часа.

Далее мы находим часовой угол HA по формуле 22, которое показывает угловое расстояние, измеренное вдоль небесного экватора на запад от небесного меридиана (той его части, которую светила пересекают в момент верхней кульминации) до часового круга, проходящего через избранную точку на небесной сфере

$$HA = SIDTIME - RA \quad (22)$$

После чего мы преобразуем часовой угол и склонение в прямоугольную (x, y, z) систему координат (формулы 23, 24, 25), где ось X указывает на небесный экватор на юге, ось Y – на горизонт на западе, а ось Z – к северному небесному полюсу. Расстояние r здесь не имеет значения, поэтому принимаем r = 1.

$$x = \cos(HA) \cdot \cos(Decl) \quad (23)$$

$$y = \sin(HA) \cdot \cos(Decl) \quad (24)$$

$$z = \sin(Decl) \quad (25)$$

Теперь мы поворачиваем прямоугольную систему координат вдоль оси, идущей с Востока на Запад, т. е. по оси Y, таким образом, чтобы ось Z указывала на Зенит (формулы 26, 27, 28). На Северном полюсе угол поворота будет равен нулю, так как там Северный небесный полюс уже находится в Зените. В другом месте широта угол поворота становится 90°-широта.

$$x_{hor} = x \cdot \sin(LAT) - z \cdot \cos(LAT) \quad (26)$$

$$y_{hor} = y \quad (27)$$

$$z_{hor} = x \cdot \cos(LAT) + z \cdot \sin(LAT) \quad (28)$$

где LAT – географическая широта.

И, наконец, можем вычислить азимут и высоту по формулам 29 и 30 соответственно:

$$\text{Azimut} = \arctan2(y_{hor}, x_{hor}) + 180^\circ \quad (29)$$

$$\text{Altitude} = \arctan2(\sqrt{x_{hor}^2 + y_{hor}^2}, z_{hor}) \quad (30)$$

Азимут и амплитуда получились равными 274.736 и -34.25. Полученный результат является достоверным.

Пользуясь данным алгоритмом для вычисления положения Солнца относительно заданной точки, мы получаем достаточно точные результаты, погрешность которых составляет меньше 1%.

Полученная математическая модель может быть использована для ориентации не только фотоэлектрических солнечных панелей, но и например для солнечных коллекторов.

#### Список литературы

1. Перспективы повышения энергетической эффективности солнечной электростанции в условиях Южного Урала. Митрофанов С.В., Немальцев А.Ю., Байкасенов Д.К. В сборнике: Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (Бенардосовские чтения) материалы международной (XX Всероссийской) научно-технической конференции. 2019. С. 200-203.
2. Первичная апробация автоматизированного двухкоординатного солнечного трекера в климатических условиях оренбургской области как перспектива создания программно-аппаратного комплекса. Митрофанов С.В., Немальцев А.Ю., Байкасенов Д.К. Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2018. № 7-9 (255-257). С. 43-54.
3. Computing planetary positions - a tutorial with worked examples [Электронный ресурс]. URL: <http://stjarnhimlen.se/comp/tutorial.html#1>
4. Устройство слежения за Солнцем [Электронный ресурс]. URL: <https://electshema.ru/osnovy/ustrojstvo-slezheniya-za-solntsem.html>

# **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

**Митрофанов С. В., канд. техн. наук, доцент,  
Распутько М.В.**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

В данной статье проведен анализ научной литературы по теме автоматизированные системы учета электрической энергии автономного источника электроснабжения. Приведены системы электроснабжения с использованием солнечных электростанций. Приведены плюсы и минусы данных систем. Приведены факторы от которых зависит качество электроэнергии.

**Ключевые слова:** солнечные станции, учет электрической энергии, солнечные батареи, качество электроэнергии.

## **AUTOMATED ELECTRIC ACCOUNTING SYSTEM ENERGY OF AUTONOMOUS POWER SUPPLY SOURCE**

This article analyzes the scientific literature on the topic of automated metering systems for electric energy of an autonomous power supply source. Power supply systems using solar power stations are given. The pros and cons of these systems are given. The factors on which the quality of electricity depends.

**Keywords:** solar stations, electricity metering, solar panels, power quality.

### **Актуальность темы исследования**

В наши дни, среди наиболее разных и перспективных направлений, которые способствуют огромному повышению эффективности энергосбережения, является внедрение возобновляемых источников энергии в энергетическую систему страны. Большое количество исследований и изучений подтверждают тот факт, что при существующих в настоящее время темпах научно-технического прогресса к 2020 году органическое топливо (нефть, газ, уголь и торф) не сможет полностью удовлетворять потребности всей мировой энергетики. Отсюда получается, что традиционные системы электроснабжения, в том числе автономные, работающие на топливе обычном, в любом случае как бы они технически не развивались, в недалеком будущем окажутся бесперспективными [1,2]. В области солнечной энергетики признаны наиболее многообещающими солнечные фотоэлектрические станции с прямым преобразованием солнечного излучения в электроэнергию с помощью солнечных батарей [3]. Современные солнечные станции необходимо оснастить приборами учета и контроля качества электрической энергии. В настоящее

время имеющиеся на рынке общедоступные для потребителя солнечные электростанции не имеют таких устройств.

Любая электрическая схема солнечной станции состоит во-первых из солнечных панелей, а также датчиков напряжения и тока, аккумулятора, контроллера заряда, инвертора, счетчика электрической энергии, анализатора качества электроэнергии.

Имеются определенные системы электроснабжения [4] с использованием солнечных электростанций.

1. **Автономная фотоэлектрическая система.** Система, которая не зависит от сетей внешнего электроснабжения, также при которой все автономные системы должны иметь в своем составе аккумуляторные батареи. Энергия от аккумуляторов используется в то время, когда нагрузка превышает генерацию солнечных батарей.

2. **Система, соединенная с внешней сетью.** Это система, в которой также используются аккумуляторные батареи, но также имеется и подключение от внешней сети. Поэтому солнечные излишки, генерируемые солнечными батареями, могут направляться в нагрузку или сеть. Для этого используются инверторы - преобразователи напряжения постоянного тока в переменный, которые работают параллельно с сетью. Если потребление превышает генерацию электроэнергии солнечными батареями, то недостающая энергия берется от сети.

3. **Система с безаккумуляторным соединением с сетью.** Система, состоящая из ветроагрегата или солнечных батарей, а также подключенного к сети инвертора. Вся вырабатываемая электроэнергия отдается в сеть. Если рассматривать такую систему, то в ней не присутствуют аккумуляторы.

У солнечных фотоэлектростанций, как и у других станций существуют присущие им не только достоинства, а также и недостатки.

Интенсивность солнечного излучения изменяется на всем протяжении дня, во-первых из-за зависит от изменения облачности, а во-вторых из-за движения солнца. Тогда, когда угол составляет 90 градусов, солнечные фотоэлектрические батареи вырабатывают электроэнергию в зависимости от угла падения солнечных лучей и производительность достигает максимума. В ясную солнечную погоду, например в полдень, количество солнечной энергии может достигать  $1000 \text{ Вт/м}^2$ , а при повышенной облачности может опуститься до  $100 \text{ Вт/м}^2$  и ниже.

Самое главное верно установить точный угол наклона и ориентировать поверхность солнечных модулей.

Несмотря на то, что со временем все технологии постоянно развиваются, усовершенствуются, среди всех наиболее дорогим из известных видов ВИЭ солнечная энергия остается. Развитие солнечной энергетики приводит к существенному удешевлению солнечной энергии и фотоэлементов. В настоящее время, использовать фотоэлектрические элементы приходится не везде, а только там, где подходят для этого условия, т.е. для удаленных от централизованного электроснабжения районов, а также при отсутствии

возможности использования каких-либо других автономных источников энергии по экологическим причинам.

Солнечная энергия бесплатна в настоящее время, но процесс получения электричества из нее достаточно дорогостоящий. Поэтому специалисты изо дня в день стараются усовершенствовать солнечные элементы и сделать их эффективнее.

Солнечное излучение в электрическую энергию постоянного тока преобразуется фотоэлементами. Большинство таких элементов представляют собой кремниевые полупроводниковые фотодиоды. Энергетические характеристики фотоэлементов следующими параметрами определяются: интенсивность солнечного излучения, величина нагрузки, рабочая температура.

Одним из приоритетных направлений получения солнечной электроэнергии в мире стал метод фотоэлектрического преобразования [5], так как он обеспечивает:

- максимальную экологическую чистоту преобразования энергии;
- возможность получения энергии практически в любом районе;
- значительный срок службы;
- малые затраты на обслуживание;

Все со временем совершенствуется и электростанции на солнечных элементах непрерывно в том числе. Сегодня мы можем такие электростанции использовать, как дополнительные источники электроснабжения, работающие совместно с другими электростанциями или же работать полностью автономно. На солнечных электростанциях, также как и на любых других станциях, должен осуществляться как контроль, так и анализ качества электрической энергии, который позволит нам выявить и устранить все негативные процессы, возникающие в электрических сетях, и негативно влияющие на работоспособность электрооборудования.

Существуют следующие формы измерений качества электрической энергии: диагностика, инспекционный контроль, операционный контроль, коммерческий учет.

Качество электроэнергии зависит от многих факторов, например таких как:

1) Суточные колебания, которые связаны с неравномерным подключением потребителей, либо с влиянием приливов, отливов на морских станциях.

2) Изменения воздушной среды: повышение или понижение влажности, образование наледи на питающих проводах.

3) Качество проводки, так как со временем любая проводка изнашивается.

Качество электроэнергии определяется характеристиками трёхфазных сетей и распространенных в быту цепей:

1) Установившееся значение отклонения напряжения, которое определяет величину характеристики, при которой потребители могут

совершать работу без сбоя. Устанавливается нижний нормальный предел от 220 В это 209 В и верхний, который равен 231 В.

2) Размах изменения входного напряжения. Он представляет собой разность величин действующей и амплитудной.

3) Доза фликера. Существует две дозы фликера, а именно они подразделяются на кратковременную (в пределах 10 минут) и длительную (около 2 часов).

4) Импульсное напряжение. Оно описывается временем восстановления, которое имеет разную величину в зависимости от причины возникновения скачка.

5) Коэффициенты с помощью которых можно дать оценку качества питающей сети: по искажению синусоидальности, значения временного перенапряжения, гармонических составляющих, несимметричности по обратной и нулевой последовательностях.

6) Интервал провала напряжения.

7) Отклонение питающей частоты, которое может привести к повреждениям электрических частей и проводников.

Контроль качества электрической энергии, это сложный процесс, который требует неопределенных решений. Процессы, что происходят в электрической сети, отличаются быстро текучестью и носят бессистемный характер. Большую часть показателей качества электрической энергии невозможно измерить напрямую, поскольку определяются расчетным путем на основе имеющихся замеров. Анализ качества электрической энергии проводится по статически обработанным результатам, на основе большого количества проведенных замеров, а также с математической обработкой полученных результатов.

#### Список литературы

1. Григораш О.В. Автономные источники электроэнергии: Состояние и перспективы/ О.В. Григораш, С.В. Божко, А.Ю. Попов и др. - Краснодар 2012. с. 174.

2. Григораш О.В. Выбор оптимальной структуры системы автономного электроснабжения / О.В Григораш, С.А. Симоненко, А.М. Передистый и др. //Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2-7. №8. С. 31-33.

3. Квитко А.В., Отмахов Г.С. Перспективы и особенности работы солнечных фотоэлектрических станций.

4. Винников А.В., Денисенко Е.А., Долбенко Д.В. К вопросу выбора солнечной фотоэлектрической станции.

5. Усков А.Е., Гиркин А.С., Дауров А.В. Солнечная энергетика: Состояние и перспективы.

6. Митрофанов, С. В. Методика расчета мощности автономной солнечной электростанции для нужд освещения лаборатории энергосбережения и энергоэффективности [Электронный ресурс] / Митрофанов С. В., Немальцев А. Ю. // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и

культуры : материалы Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием), 3-5 февр. 2016 г., Оренбург / М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Электрон. дан. - Оренбург : ОГУ, 2016. - . - С. 333-337. . - 5 с.

7. Митрофанов, С. В. Перспективы использования солнечных батарей для электроснабжения предприятий [Электронный ресурс] / Митрофанов С. В., Копылов Д. А. // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы : тр. VII Всерос. науч.-техн. конф., 21-23 окт. 2014 г., Оренбург / М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Электрон. дан. - Оренбург: Университет, 2014. - . - С. 153-155. . - 3 с.

8. Митрофанов, С. В. Переносная солнечная электростанция с автономной системой слежения за солнцем [Электронный ресурс] / Митрофанов С. В., Немальцев А. Ю. // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы : тр. VII Всерос. науч.-техн. конф., 21-23 окт. 2014 г., Оренбург / М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Электрон. дан. - Оренбург : Университет, 2014. - . - С. 40-44. . - 5 с.

9. Митрофанов, С. В. Перспективы повышения энергетической эффективности солнечной электростанции в условиях Южного Урала [Электронный ресурс] / Митрофанов С. В., Немальцев А. Ю., Байкасенов Д. К. // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (Бенардосовские чтения) : материалы Междунар. (XX Всерос.) науч.-техн. конф., 29-31 мая 2019 г., Иваново / Иванов. гос. энергет. ун-т им. В. И. Ленина. - Электрон. дан. - Иваново : Иванов. гос. энергет. ун-т им. В. И. Ленина, 2019. - Т. II: Теплоэнергетика. - С. 200-203. . - 4 с.      3 Статья конференции 0.333

# НАХОЖДЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

**Митрофанов С.В., канд. техн. наук, доцент, Распутько М.В.**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Оренбургский государственный университет»**

Использование данной экспертной системы нечеткого вывода в электроэнергетике позволяет нам решать поставленные перед нами задачи выбора того либо иного варианта с использованием системы нейронных сетей, а также с созданием базы знаний в несколько раз быстрее и точнее, чем другие способы экспертного оценивания.

В нашей статье в качестве программы для симуляции экспертной системы нечеткой логики используется пакет программ «fuzzy logic toolbox». Данный пакет позволяет нам создавать экспертные системы на основе нечеткой логики, а также проводить кластеризацию нечеткими алгоритмами и проектировать нечеткие нейросети. Также пакет включает в себя графический интерфейс для интерактивного пошагового проектирования нечетких систем, функции командной строки для разработки программ и специальные блоки для построения систем нечеткой логики в Simulink. Все функции пакета написаны на открытом языке MATLAB, что позволяет контролировать исполнение алгоритмов, изменять исходный код, а также создавать свои собственные функции и процедуры.

Для того что бы создать начальные условия и начать решать конкретную задачу, нам нужно первоначально создать базу знаний.

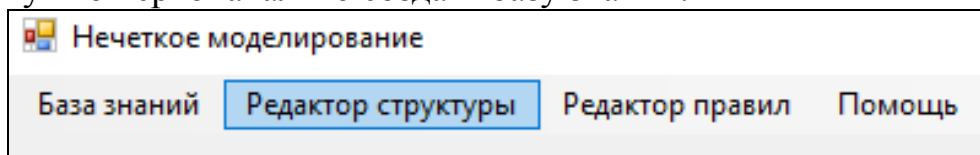


Рисунок 1 – Выбор редактора структуры в программе «fuzzy logic»

В редакторе структуры необходимо выбрать пункт «добавить переменную» и затем начать ввод данных.

В качестве вводных данных в данной статье используются две переменных – «амплитуда напряжения», «отклонение частоты». Снижение напряжения приводит к увеличению длительности технологического процесса в электротермических и электролизных установках, а также к невозможности устойчивого приема в коммунальных сетях телевизионных передач. Отклонение частоты от номинальной приводит к увеличению потерь энергии в сети, а также к снижению производительности технологического оборудования.

В качестве выходной переменной определяется качество электрической энергии. В данной статье при проведении симуляции мы определяли насколько качественная электроэнергия поступает к потребителям

Разберем переменную «амплитуда напряжения». В данную переменную входят три критерия или «терма», которые отражают возможные изменения параметра качества от самого низкого его значения к самому высокому, к ним относятся пониженное, нормальное и повышенная амплитуда напряжения. В данной статье для упрощения расчетов используются три критерия, хотя для расширения зоны градиента можно задать большее количество «терм».

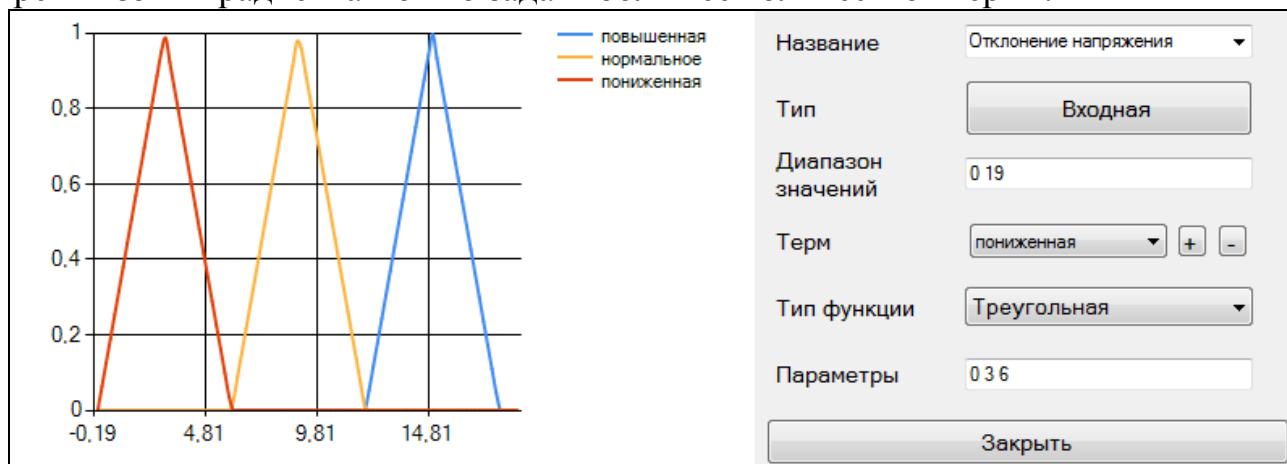


Рисунок 2 –Панель редактора ввода переменной «амплитуда напряжения»

Первый терм – «пониженный» уровень амплитуды напряжения – он отвечает за самые низкие параметры переменной «амплитуды напряжения». В виде расчетной функции используется треугольная функция.

Второй терм – «нормальный» уровень – описывает уровень амплитуды напряжения, при котором значение напряжения не отличается от номинального значения.

Третий терм – «повышенное» - описывает уровень амплитуда напряжения, при котором значения превышают допустимое номинальное значение.

Тип функций для всех терм переменной «амплитуда напряжения» является треугольная функция, а ее параметры подобраны экспериментальным путем так, чтобы добиться максимальной точности и порядок логических терм – соответствовал порядку математическому.

Далее рассмотрим вторую переменную «отклонение частоты». В статье используется три терма этой переменной, а именно допустимое, максимальное, аварийное.

Терм «максимальное» представляет собой ситуацию с наибольшим отклонением частоты от допустимого, соответственно качество электрической энергии значительно ухудшается.

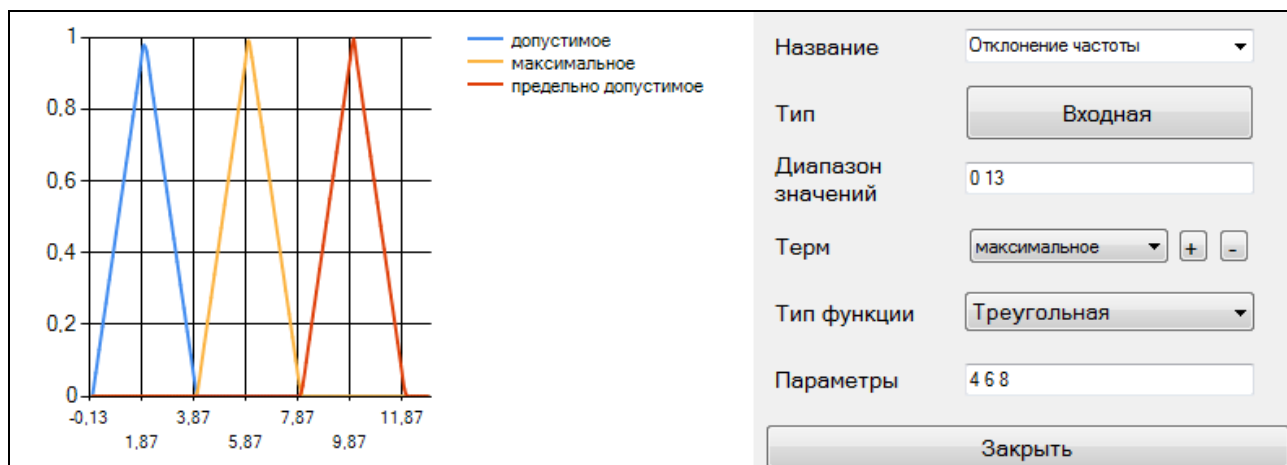


Рисунок 3 - Панель редактора ввода переменной «Отклонение частоты»

После добавления всех вводных переменных необходимо добавить выводную, которая будет являться следствием преобразования вводных параметров.

В виде выводной переменной служит «Качество электрической энергии». Данная переменная содержит в себе три трема, а именно: низкое, среднее, высшее. Вид функции – «треугольная».

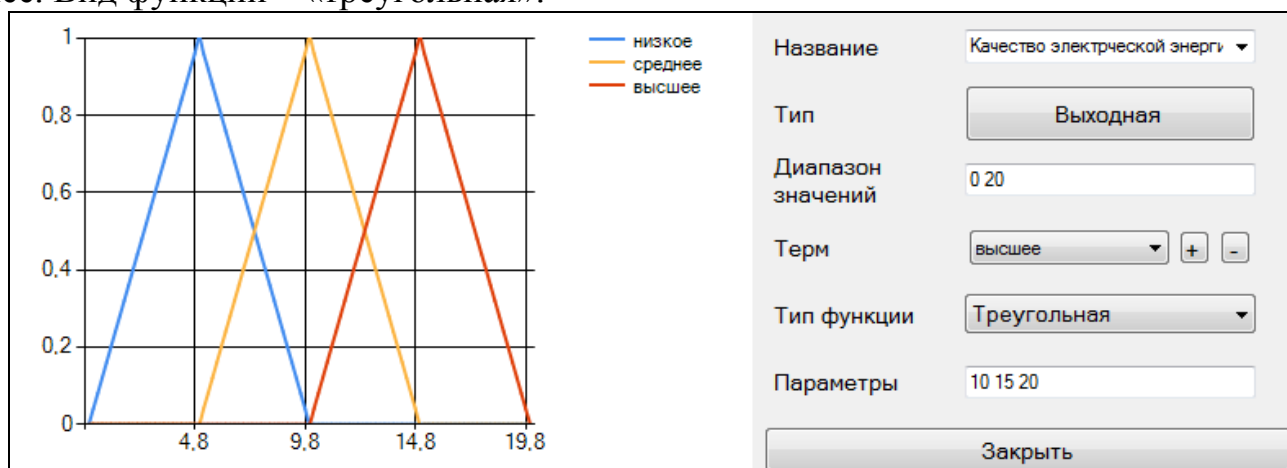


Рисунок 4 - Панель редактора ввода переменной «Качество электрической электроэнергии»

После добавления всех входных и выходных переменных необходимо создать правила, согласно которым будут определяться значения выходной переменной.

|                                                                                                                                     |  |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
| ЕСЛИ Отклонение напряжения ЕСТЬ пониженная И Отклонение частоты ЕСТЬ аварийное ТОГДА Качество электрической энергии ЕСТЬ низкое     |  |  |
| ЕСЛИ Отклонение напряжения ЕСТЬ пониженная И Отклонение частоты ЕСТЬ максимальное ТОГДА Качество электрической энергии ЕСТЬ среднее |  |  |
| ЕСЛИ Отклонение напряжения ЕСТЬ пониженная И Отклонение частоты ЕСТЬ допустимое ТОГДА Качество электрической энергии ЕСТЬ среднее   |  |  |
| ЕСЛИ Отклонение напряжения ЕСТЬ нормальное И Отклонение частоты ЕСТЬ допустимое ТОГДА Качество электрической энергии ЕСТЬ высшее    |  |  |
| ЕСЛИ Отклонение напряжения ЕСТЬ нормальное И Отклонение частоты ЕСТЬ максимальное ТОГДА Качество электрической энергии ЕСТЬ среднее |  |  |
| ЕСЛИ Отклонение напряжения ЕСТЬ нормальное И Отклонение частоты ЕСТЬ аварийное ТОГДА Качество электрической энергии ЕСТЬ низкое     |  |  |

|                            |                          |             |
|----------------------------|--------------------------|-------------|
| Если                       |                          |             |
| Лингвистическая переменная | Не                       | Терм        |
| Отклонение напряжения      | <input type="checkbox"/> | Отсутствует |
| Отклонение частоты         | <input type="checkbox"/> | Отсутствует |

|                                |                          |             |
|--------------------------------|--------------------------|-------------|
| Тогда                          |                          |             |
| Лингвистическая переменная     | Не                       | Терм        |
| Качество электрической энергии | <input type="checkbox"/> | Отсутствует |

Рисунок 5 – Создание правил логики для принятой симуляции

Например, если вводная переменная «амплитуда напряжения» и вводная переменная «отклонение частоты» носят терм максимального отклонение от номинального, то при выводной переменной будет иметь место быть также терм наихудшего значения, что видно из рисунка 5.

Итогом выполненной симуляции служит вывод графической части программы.

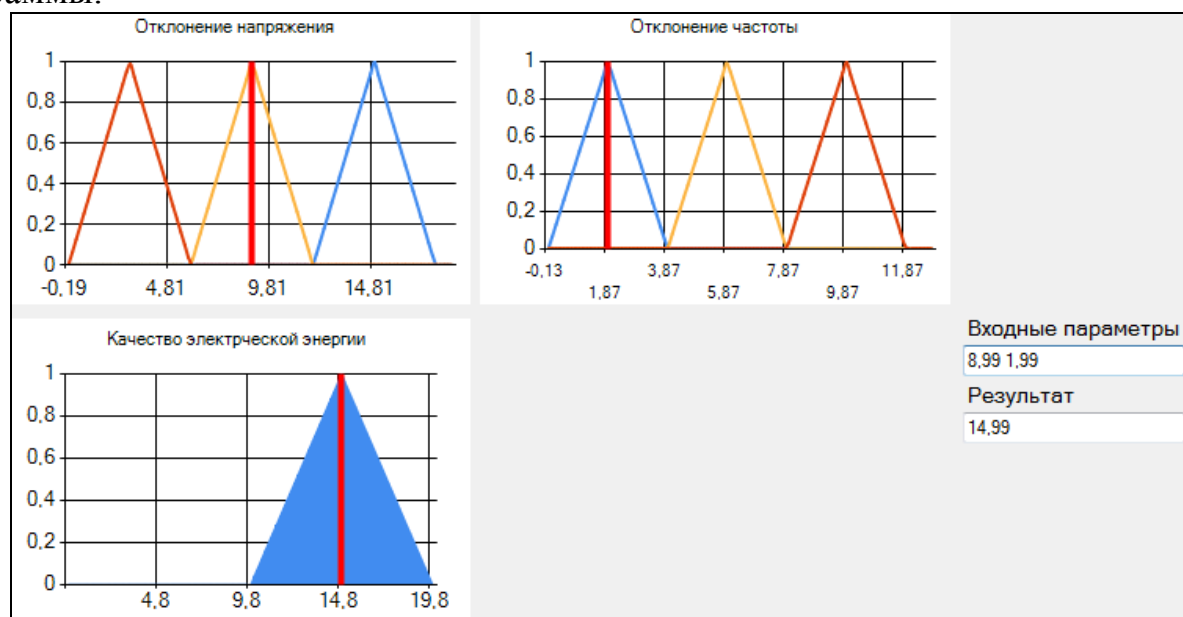


Рисунок 6 – Графическая часть

Изменяя параметры двух вводных переменных – получаем графическое решение для выводной функции. Из рисунка 6 видно, что показатель качества электрической энергии, равный 100% возможен благодаря совпадению двух терм с максимальными значениями от двух вводных переменных, а именно при амплитуде напряжения равной «нормальному» и отклонением частоты с термом «допустимое».

Применение искусственного интеллекта с использованием нечеткой логики позволяет нам в разы сократить время обработки принятия решений, а также увеличить истинность принятых решений, что в свою очередь позволяет увеличить производительность труда и экономические показатели в различных сферах применения системы на основе ИИ с нечеткой логикой.

#### Список литературы

1. Тарасян В. С., T19 Пакет Fuzzy Logic Toolbox for Matlab : учеб. пособие / В. С. Тарасян. — Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2013. — 112 с.;
2. Павлов С. Н., Системы искусственного интеллекта: учеб. пособие. В 2-х частях. /С. Н. Павлов. — Томск: Эль Контент, 2011. —176 с.;
3. Замятин Н. В., Нечеткая логика и нейронные сети: учебное пособие / Н. В. Замятин; рец.: И. А. Ходашинский, С. Н. Ливенцов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Томск). - Томск: Эль Контент, 2014. - 146 с.;
4. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. Матлаб 6. М.: Диалог МИФИ, 2002. – 496с.

# **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ С ПОМОЩЬЮ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА**

**Митрофанов С.В., канд .техн. наук, доцент, Суховеев А.В.  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

Использование экспертной системы нечеткого вывода в электроэнергетике позволяет решать поставленные задачи выбора того или иного варианта с использованием системы нейронных сетей с созданием базы знаний в разы быстрее и точнее, нежели другие способы экспертного оценивания.

В статье в качестве программы для симуляции экспертной системы нечеткой логики используется пакет программ «fuzzy logic toolbox». Пакет позволяет создавать экспертные системы на основе нечеткой логики, проводить кластеризацию нечеткими алгоритмами, а также проектировать нечеткие нейросети. Пакет включает графический интерфейс для интерактивного пошагового проектирования нечетких систем, функции командной строки для разработки программ, а также специальные блоки для построения систем нечеткой логики в Simulink. Все функции пакета написаны на открытом языке MATLAB, что позволяет контролировать исполнение алгоритмов, изменять исходный код, а также создавать свои собственные функции и процедуры.

Для создания начальных условий и решения конкретной задачи необходимо создать базу знаний.

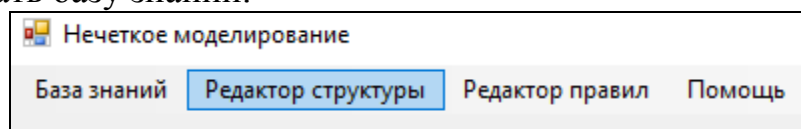


Рисунок 1 – Выбор редактора структуры в программе «fuzzy logic»

В редакторе структуры необходимо выбрать пункт «добавить переменную» и затем начать ввод данных.

В качестве вводных данных в данной статье используется две переменных – «погодные условия» и «степень свободы трекера». В погодные условия входят понятия уровня инсоляции – это время контакта солнечного света с панелью солнечной электростанции, а также процента отраженного и рассеянного атмосферой солнечного света. Степенью свободы трекера называют – системой независимых координат поворота и вращения солнечной панели вокруг своей оси.

В качестве выходной переменной используется коэффициент полезного действия генерирования электроэнергии солнечной панели. В данной статье при проведении симуляции были приняты два допущения - количество энергии направленного пучка солнечного света должно быть полностью поймано и

трансформировано солнечной электростанцией в энергию электрического тока. В таком случае КПД составляет 100%. И КПД преобразования панели солнечного света в электроэнергию также составляет 100%.

Разберем переменную «погодные условия». В данную переменную входят три критерия или «терма», которые отражают возможные изменения параметра качества от самого низкого его значения к самому высокому. В данной статье для упрощения расчетов используются три критерия, хотя для расширения зоны градиента можно задать большее количество «терм».

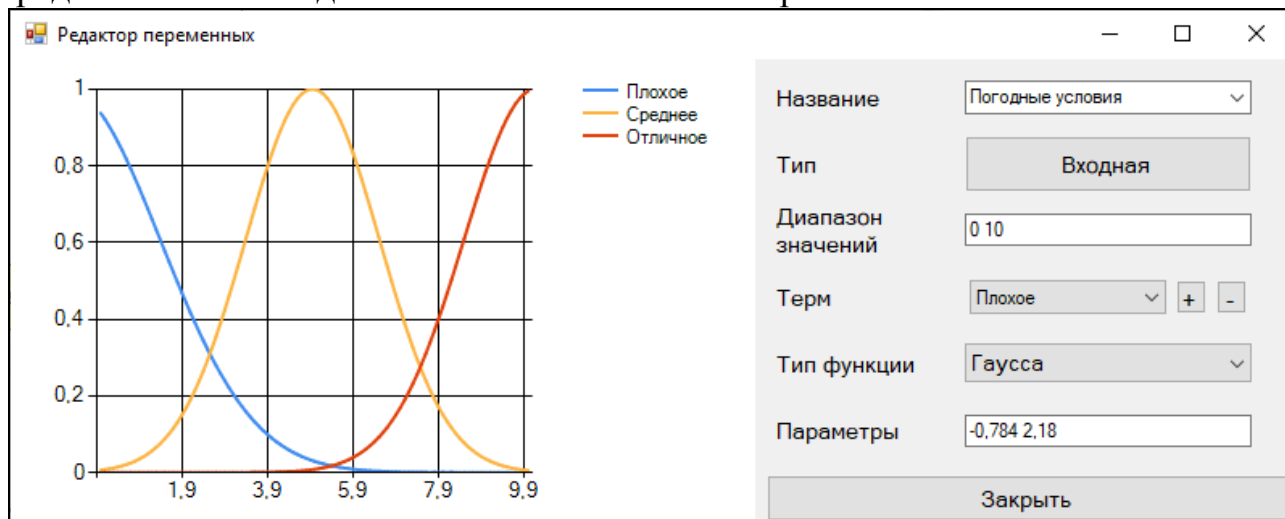


Рисунок 2 –Панель редактора ввода переменной «погодные условия»

Первый терм – «плохое» состояние погодных условий – он отвечает за самые низкие параметры переменной «погодные условия». В виде расчетной функции используется функция Гаусса. Функция Гаусса описывает предельное распределение результатов измерений величины  $x$ , истинное значение которой равно  $X$ . Причем при измерении величины  $x$  оказываются только случайные ошибки. Принято считать, что результаты измерений распределены нормально, если их предельное распределение описывается функцией Гаусса.

Второй терм – «среднее» состояние – описывает состояние погоды, при которой освещенность примерно равна среднему значению за весь световой день.

Третий терм – «отличное» - описывает погодные условия при которых достигается максимальная инсоляция при минимальных значениях отражённого и рассеянного атмосферой солнечного света.

Тип функций для всех терм переменной «погодные условия» является функция Гаусса, а ее параметры подобраны экспериментальным путем так, чтобы добиться максимальной точности и порядок логических терм – соответствовал порядку математическому.

Далее рассмотрим вторую переменную «степень свободы». В статье используется два терма этой переменной, а именно степень свободы равная единице и степень свободы равная 2. При степени свободы 2 солнечный трекер способен вращать солнечную панель по осям  $X$  и  $Y$  соответственно.

Терм «Степень свободы 1» представляет собой ситуацию с наихудшим КПД генерирования солнечной панели, ведь такая панель математически будет улавливать солнечный свет в два раза хуже, чем со степенью свободы 2.

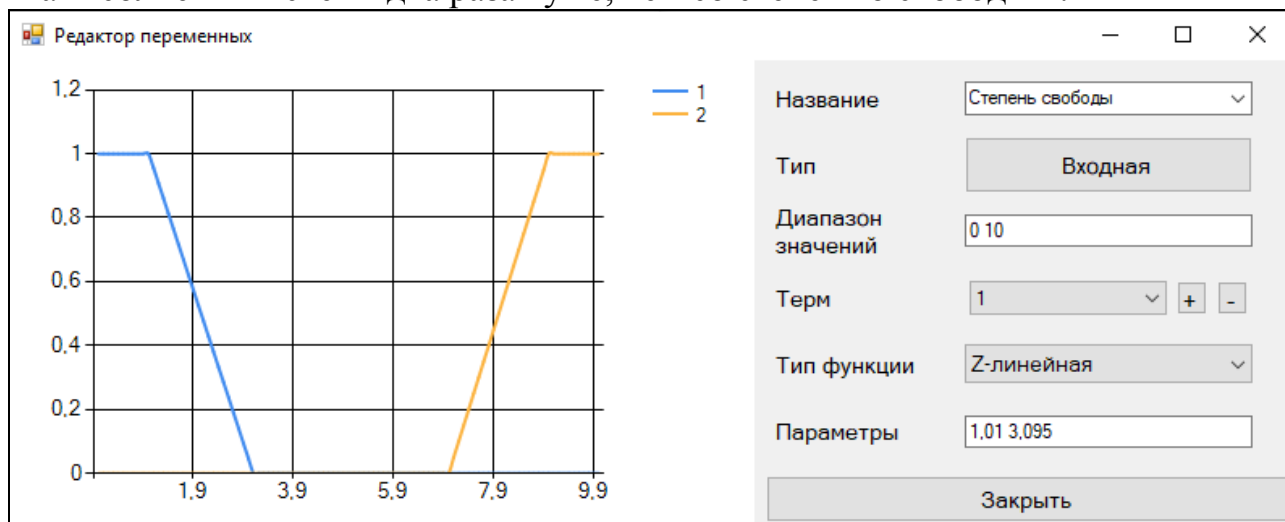


Рисунок 3 - Панель редактора ввода переменной «Степень свободы»

В данной переменной для всех терм использована функция «Z-линейная», которая представляет собой массив  $Z$ , каждый элемент которого  $Z[i]$  равен длине наиболее длинного префикса, начинающегося с позиции  $i$  суффикса строки  $S$ , который одновременно является и префиксом всей строки  $S$ .

После добавления всех вводных переменных необходимо добавить выводную, которая будет являться следствием преобразования вводных параметров.

В виде выводной переменной служит «КПД генерации электроэнергии». Данная переменная содержит в себе три трема, а именно: малые значения КПД, средние и высокие. Вид функции – «треугольная».

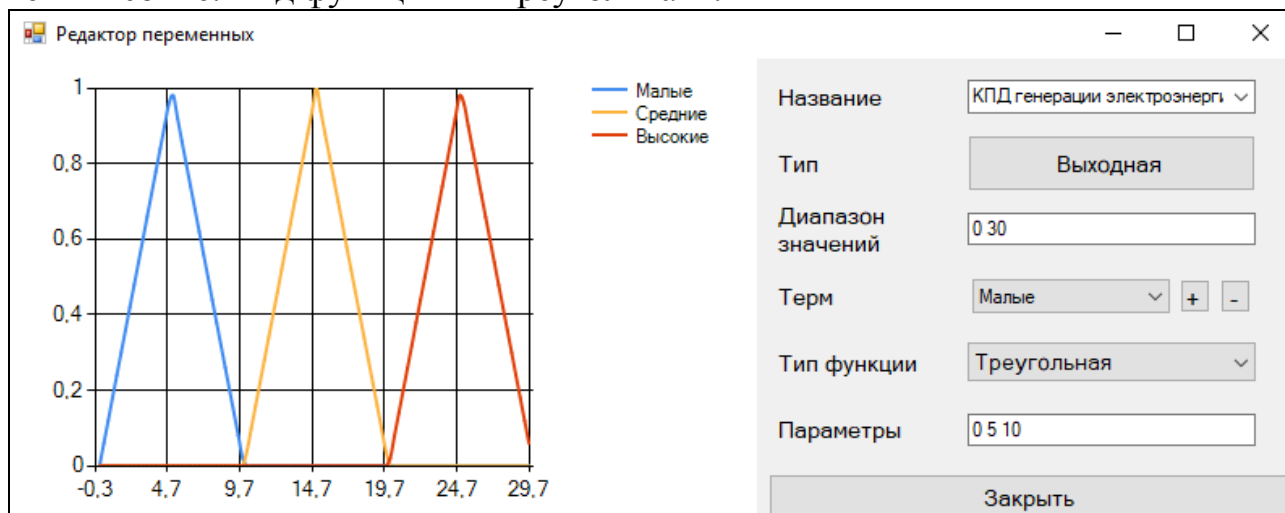


Рисунок 4 - Панель редактора ввода переменной «КПД генерации электроэнергии»

После добавления всех входных и выходных переменных необходимо создать правила, согласно которым будут определяться значения выходной переменной.

|                                                                                                              |                          |          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------|
| ЕСЛИ Погодные условия ЕСТЬ Отличное И Степень свободы ЕСТЬ 2 ТОГДА КПД генерации электроэнергии ЕСТЬ Высокие |                          |          |
| ЕСЛИ Погодные условия ЕСТЬ Отличное И Степень свободы ЕСТЬ 1 ТОГДА КПД генерации электроэнергии ЕСТЬ Средние |                          |          |
| ЕСЛИ Погодные условия ЕСТЬ Среднее И Степень свободы ЕСТЬ 2 ТОГДА КПД генерации электроэнергии ЕСТЬ Средние  |                          |          |
| ЕСЛИ Погодные условия ЕСТЬ Среднее И Степень свободы ЕСТЬ 1 ТОГДА КПД генерации электроэнергии ЕСТЬ Малые    |                          |          |
| ЕСЛИ Погодные условия ЕСТЬ Плохое И Степень свободы ЕСТЬ 2 ТОГДА КПД генерации электроэнергии ЕСТЬ Малые     |                          |          |
| ЕСЛИ Погодные условия ЕСТЬ Плохое И Степень свободы ЕСТЬ 1 ТОГДА КПД генерации электроэнергии ЕСТЬ Малые     |                          |          |
| Если                                                                                                         |                          |          |
| Лингвистическая переменная                                                                                   | Не                       | Терм     |
| Погодные условия                                                                                             | <input type="checkbox"/> | Отличное |
| Степень свободы                                                                                              | <input type="checkbox"/> | 2        |
| Тогда                                                                                                        |                          |          |
| Лингвистическая переменная                                                                                   | Не                       | Терм     |
| КПД генерации электроэнергии                                                                                 | <input type="checkbox"/> | Высокие  |

Рисунок 5 – Создание правил логики для принятой симуляции

Например, если вводная переменная «погодные условия» и вводная переменная «степень свободы» носят терм максимального значения, то при выводной переменной будет иметь место быть также терм максимального значения, что видно из рисунка 5.

Итогом выполненной симуляции служит вывод графической части программы.

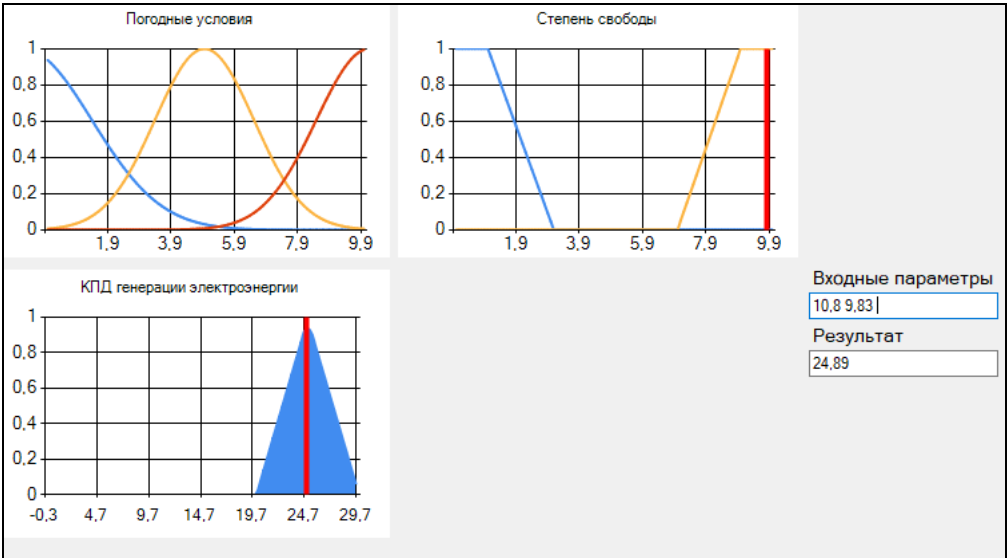


Рисунок 6 – Графическая часть

Изменяя параметры двух вводных переменных – получаем графическое решение для выводной функции. Из рисунка 6 видно, что максимальный КПД, равный 100% возможен благодаря совпадению двух терм с максимальными значениями от двух вводных переменных, а именно при степени свободы равной двум и погодным условиям с термом «отличное».

Применение искусственного интеллекта с использованием нечеткой логики позволяет в разы сократить время обработки принятия решений и увеличить истинность принятых решений, что в свою очередь увеличит

производительность труда и экономические показатели в различных сферах применения системы на основе ИИ с нечеткой логикой.

#### Список литературы

1. Круглова Т.Н., Методы нечеткой логики в нефтегазовой отрасли: учебно-методическое пособие Юж-Рос. гос. техн. ун-т(НПИ). - Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2015. – 42 с.;
2. Тарасян В. С., T19 Пакет Fuzzy Logic Toolbox for Matlab : учеб. пособие / В. С. Тарасян. — Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2013. — 112 с.;
3. Павлов С. Н., Системы искусственного интеллекта: учеб. пособие. В 2-х частях. /С. Н. Павлов. — Томск: Эль Контент, 2011. —176 с.;
4. Замятин Н. В., Нечеткая логика и нейронные сети: учебное пособие / Н. В. Замятин; рец.: И. А. Ходашинский, С. Н. Ливенцов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Томск). - Томск: Эль Контент, 2014. - 146 с.;
5. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. Матлаб 6. М.: Диалог МИФИ, 2002. – 496с.

# **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭКСПЛУАТАЦИЯ И МОНТАЖ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ» С УЧЁТОМ ТРЕБОВАНИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Морозов В.А., Митрофанов С.В., канд.техн.наук, доцент,  
Кильметьева О.И.**

**ООО «КЭС Оренбуржья»,  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

Современные условия энергетического производства предъявляют особые требования к подготовке технических специалистов инженерного профиля. Это определяет важность изучения дисциплин, которые составляют основу будущей профессиональной деятельности студентов и позволяют правильно определить ключевые моменты практической деятельности по выбранной специальности. При этом, крайне важно, чтобы уже в период обучения в вузе студенты достаточно хорошо представляли себе основные требования к организации действующего энергетического производства, ключевые особенности работы с персоналом, документальное сопровождение подготовки и производства работ и многие другие практически важные аспекты, знание которых актуально, в том числе и при необходимых собеседованиях для претендентов на производственные вакансии.

При производстве строительно-монтажных работ в энергетике, а также при последующей эксплуатации введенного в действие энергетического объекта необходимо решать широкий круг практических производственных вопросов, поэтому кадровые интересы электроэнергетической отрасли отражают необходимость гармоничного решения задач подготовки будущих бакалавров (специалистов), как минимум, в двух направлениях:

– научить студентов методологии инженерного труда, в том числе электромонтажного производства и эксплуатации, познакомить с основными сферами деятельности и задачами организации производства, определить основные направления практических знаний, особо значимые для осуществления руководства персоналом подразделений, занятых в производстве работ на энергетических объектах и др.;

– научить студентов правильно позиционировать себя на рынке труда, стремиться к самосовершенствованию и интересоваться современными тенденциями развития энергетического производства. Кроме того, важно также прививать студентам необходимые умения и навыки (квалификации), развивать у них способности аргументированно защищать свои технические решения.

Будущий руководитель производства должен представлять основные функциональные виды деятельности производственного персонала, хорошо представлять этапы подготовки строительно-монтажных работ, знать основные

понятия проектно-сметного дела, уметь «читать» рабочую документацию (чертежи, схемы) и сметы на выполнение работ, представлять для себя основные требования при составлении деловых документов, а также разбираться в документообороте предприятия. Реалии жизни отражают тот факт, что предприятиям, выступающим в качестве работодателей, требуются подготовленные специалисты с опытом работы на объектах. Для строительных и электромонтажных организаций это обусловлено сжатыми сроками договоров подряда, территориальной удаленностью объектов производства работ, необходимостью принятия персоналом большого количества технических и управленческих решений «по месту».

Все приведённые выше аргументы указывают на необходимость учёта в учебном процессе вуза реальных практических требований действующего производства.

В учебном плане подготовки бакалавров электроэнергетического профиля - Электроснабжение одной из учебных дисциплин, непосредственно связанных с производственными процессами, является дисциплина «Эксплуатация и монтаж систем электроснабжения» (ЭиМСЭ). Рабочая программа по этой дисциплине включает в себя лекции, практические занятия и лабораторные работы (проводятся, в том числе, на электронных тренажёрах оперативных переключений в электроустановках), а также выполнение курсовой работы. В процессе освоения студентами данной учебной дисциплины, особенно при выполнении курсовой работы, с учётом требований энергетического производства, предлагается самостоятельно разработать и задокументировать основные моменты полного цикла монтажа или эксплуатации одной из электроустановок, указанной в теме задания, такой как: воздушные или кабельные линии; основное оборудование распределительных устройств открытого и закрытого типа (ОРУ и ЗРУ); трансформаторные пункты (ТП); силовые трансформаторы и другое электрооборудование систем электроснабжения. В процессе выполнения курсовой работы студенты составляют технологические карты (ТК) на монтаж электроустановок и регламенты технического обслуживания при эксплуатации, а также прорабатывают вопросы выполнения измерений, испытаний и диагностики энергетического оборудования и занимаются определением методической и приборной базы. Практические требования к содержанию и объёму курсовых работ по тематике монтажа и эксплуатации энергетического оборудования систем электроснабжения представляются согласно таблице 1.

**В результате освоения дисциплины** студенты получают знания об основных технологических этапах подготовки и производства строительно-монтажных работ электроустановок современных систем электроснабжения, а также о требованиях эксплуатации и технического обслуживания электрооборудования. Так же закрепляется определенный опыт деятельности - формулирование и анализ задачи, поиск и принятие оптимального технического решения. Полученные теоретические знания закрепляются в ходе работы на лабораторных и практических занятиях.

Таблица 1 – Содержание курсовых работ по дисциплине ЭиМСЭ

| № п.п. | Содержание курсовой работы по дисциплине «Эксплуатация и монтаж систем электроснабжения»                |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | <b>Тематика «Монтаж электроустановок»</b>                                                               |
| 1.1    | Подготовка к производству электромонтажных работ (ЭМР)                                                  |
| 1.2    | Техническая документация (договор, проект, сметы)                                                       |
| 1.3    | Проект производства работ (ППР)                                                                         |
| 1.4    | Типовые технологические карты (ТТК) на отдельные электромонтажные операции                              |
| 1.5    | Порядок выполнения ЭМР                                                                                  |
| 1.6    | Инструменты и механизмы                                                                                 |
| 1.7    | Исполнительная документация                                                                             |
| 1.8    | Пусконаладочные работы (ПНР) и проведение испытаний и измерений                                         |
| 1.9    | Оформление документации ПНР                                                                             |
| 1.10   | Приёмо-сдаточные испытания                                                                              |
| 1.11   | Нормативная база (документация)                                                                         |
| 1.12   | Обеспечение охраны труда и техники безопасности при производстве электромонтажных работ                 |
| 2      | <b>Тематика «Эксплуатация электроустановок»</b>                                                         |
| 2.1    | Описание технологического оборудования, находящегося в эксплуатации                                     |
| 2.2    | Система планово-предупредительного ремонта                                                              |
| 2.3    | Регламенты эксплуатационного обслуживания данного вида электрооборудования                              |
| 2.4    | Типовые технологические карты производства ремонтных работ                                              |
| 2.5    | Текущий ремонт электрооборудования                                                                      |
| 2.6    | Капитальный ремонт электрооборудования                                                                  |
| 2.7    | Диагностика эксплуатационного состояния электрооборудования                                             |
| 2.8    | Инструменты и механизмы                                                                                 |
| 2.9    | Приборы и установки для проведения измерений и испытаний                                                |
| 2.10   | Документация измерений и испытаний                                                                      |
| 2.11   | Соблюдение условий, обеспечивающих нормальное эксплуатационное состояние электрооборудования            |
| 2.12   | Обеспечение охраны труда и техники безопасности при производстве работ по обслуживанию электроустановок |

В заключение необходимо отметить, что для успешного внедрения в учебный процесс ВУЗа и освоения студентами практических задач организации

производства следует принимать во внимание ряд проблемных вопросов, как со стороны ВУЗа, так и со стороны предприятий, которые, по-прежнему, сдерживают получение положительного результата [1].

#### Проблемы ВУЗа:

- несоответствие существующей лабораторной базы требованиям, предъявляемым к качеству подготовки и объему практических знаний, востребованных на производстве;
- отсутствие достаточного финансирования для приобретения сложных программно-технических комплексов;
- необходимость переподготовки ППС (в т.ч. стажировки) на передовых предприятиях, в ведущих технических центрах при университетах, в т.ч. за рубежом;
- практическое обучение и аттестация студентов на получение группы допуска по электробезопасности;
- диалог с предприятиями, поиск направлений для взаимовыгодного сотрудничества, создание базовых кафедр.

#### Проблемы со стороны предприятий:

- отсутствие мотивации у руководства;
- отсутствие свободного персонала, подготовленного для непосредственной работы со студентами в период производственной практики или практических занятий на производстве в учебном семестре;
- отсутствие гарантии трудоустройства студентов после прохождения практики на предприятии;
- потребность в кадровых ресурсах на предприятиях может изменяться при изменении конъюнктуры рынка.

### **ВЫВОДЫ**

1 Процесс получения высшего технического образования, отражающего современные реалии энергетического производства, должен содержать изучение основ актуальных инженерных дисциплин, к одной из которых можно отнести учебный курс «Эксплуатация и монтаж систем электроснабжения».

2 Студенту, при изучении курса «Эксплуатация и монтаж систем электроснабжения», предлагается проработать теоретические и практические вопросы подготовки и производства строительно-монтажных работ электроустановок современных систем электроснабжения, а также требования эксплуатации и технического обслуживания электрооборудования на промышленных и коммунально-бытовых объектах.

3 С целью повышения практической значимости данной дисциплины, предлагается дополнить учебный материал разделами, посвященными реальной документальной технической подготовке производства работ, основами составления проектно-сметной документации, а также составом приёмосдаточной документации при проведении испытаний и сдаче объекта в промышленную эксплуатацию. Особое внимание следует обратить на

ознакомление студентов с составом необходимой исполнительной документации.

4 Изучение дисциплины «Эксплуатация и монтаж систем электроснабжения» закладывает знания, необходимые студентам в дальнейшей профессиональной деятельности, что повышает их профессиональную оценку со стороны потенциальных работодателей.

#### Список литературы

1. Вакулюк, В.М. Подготовка кадров для электроэнергетической отрасли Оренбуржья / В.М. Вакулюк, С.В. Митрофанов, В.А. Морозов // Высшее образование в России. – 2014. - №7. - С. 122 – 128.

2. ГОСТ Р 21.1101-2009. Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации. – Введ. 2010 – 03 – 01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 54 с.

3. Организация строительства: Свод правил СП 48.13330.2011: утв. Минрегион России 27.12.2010: ввод. в действие с 20.05.2011. – М.: Стандартинформ, 2011.

4. Требования к составу и порядку ведения исполнительной документации при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства и требования, предъявляемые к актам освидетельствования работ, конструкций, участков сетей инженерно-технического обеспечения: РД-11-02-2006: утв. Ростехнадзор 26.12.2006: ввод. в действие с 06.03.2007.

5. Инструкция по оформлению приемо-сдаточной документации по электромонтажным работам: И 1.13-07: утв. Ассоциацией «Росэлектромонтаж» 12.04.2007: ввод. в действие с 01.08.2007. - М.: Ассоциация «Росэлектромонтаж», 2007. – 57 с. (взамен ВСН 123-90 ММСС СССР)

6. О порядке проведения строительного контроля при осуществлении строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов капитального строительства: постановление Правительства Рос. Федерации от 21 июня 2010 г. N 468 // Собр. законодательства Рос. Федерации. – 2010. - № 26. – ст. 3365.

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ ФИЛЬТРОСИММЕТРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ**

**Нелюбов В.М., канд. техн. наук, доцент, Жилиев Н.Ю.**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования**

**«Оренбургский государственный университет»**

Особое место, среди видов энергии, применяемых людьми, отводится электрической энергии. Трудно представить производство чего-либо, в которых электроэнергия не играла хотя бы минимальную роль.

Электрическая энергия, как и любой товар на рынке, характеризуется показателями качества. Техничко-экономические показатели электроприменителей напрямую зависят от соответствия качества потребляемой ими электрической энергии требованиям ГОСТ.

В ГОСТе 32144-2013 « Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» описаны следующие показатели качества.

1) Продолжительные изменения характеристик напряжения :

- Отклонение частоты
- Медленные изменения напряжения
- Колебания напряжения и фликер
- Несинусоидальность напряжения
- Несимметрия напряжения в трехфазных сетях

2) Случайные события изменения характеристик напряжения

- Прерывание напряжения
- Провалы напряжения и перенапряжения
- Импульсные напряжения

На данный момент существует три основных метода повышения качества показателей электрической энергии:

- рационализация системы электроснабжения;
- улучшение структуры первого уровня электроснабжения;
- использование устройств коррекции качества.

При этом каждый метод в свою очередь делится на способы его осуществления.

Так, метод, основанный на рационализации системы электроснабжения, включает в себя следующие способы:

- повышение мощности питающей сети, - применяется для уменьшения потерь при передаче электрической энергии;
- регулирование напряжения в центре питания, - данный способ реализуется с помощью изменения коэффициента трансформации на подстанции;
- применение установок продольной компенсации.

Эти способы характеризуются следующими общими достоинствами:

- регулирование качеств электроэнергии в широких пределах;
- простота реализации и надежность в эксплуатации.

Для продольной компенсации выделяется дополнительное преимущество, - обеспечение автоматической регулировки напряжения в зависимости от тока нагрузки.

Так же имеются существенные недостатки, а именно:

- относительно большие капитальные и эксплуатационные затраты;
- целенаправленное воздействие на изменение одного вида искажений показателей качества вызывает косвенное воздействие на другие виды искажений.

Улучшение структуры первого уровня электроснабжения реализуется с помощью следующих способов:

1) Использование многофазных схем выпрямления.

Достоинства многофазных схем выпрямления:

- возможность регулирования показателей качества у самого приемника;
- небольшие габариты;
- простота монтажа.

Недостатки данного способа

- большие затраты на реализацию;
- использование только для индивидуальной коррекции качества электроэнергии конкретного электроприемника.

2) Включение в состав потребителя корректирующего устройства, для осуществления поперечной компенсации.

Достоинства данного способа:

- простота и надежность эксплуатации
- автоматическое безинерционное регулирование напряжения.

Недостатки:

- возрастает вероятность возникновения резонансных явлений;
- возникает опасность появления на конденсаторах высокого напряжения при коротких замыканиях;
- коррекция только одного показателя качества электроэнергии.

3) Схемные решения повышения качества электроэнергии включают в себя: рациональное распределение нагрузок на самом предприятии, питание однофазной и нелинейной нагрузки через собственные шины и трансформатор.

Данный способ повышения качества чаще всего применяется при проектировании новых систем электроснабжения. Реализация в уже существующих системах связана с большими затратами.

Достоинства:

- возможность регулирования показателей качества на самом предприятии;
- возможность регулирования несколько показателей качества электроэнергии.

Основной и главный недостаток этого способа – это большие капитальные вложения.

Для промышленных предприятий характерны следующие типы нагрузок:

Симметричная нагрузка

Несимметричная нагрузка

Нелинейная нагрузка

Последние два типа оказывают существенное влияние на качество электроэнергии. Для предотвращения негативных последствий используют метод, основанный на применении устройств коррекции качества электроэнергии.

Данный метод делится на два способа:

1) Использование пассивных фильтров

Этот способ корректировки показателей используется для удаления из сети гармоник, появляющихся из-за использования нелинейных нагрузок, а так же производят сглаживание возмущений в системе.

Выделяют два основных достоинства использования данных фильтров – возможность воздействия на несколько показателей качества электроэнергии и относительное быстрое действие

Не лишены они и недостатков:

- снижение эффективности фильтрации при колебаниях частоты и температуры элементов схемы.

- большие занимаемые площади

- возможность перегрузки фильтров

2) Использование фильтросимметрирующих и фильтрокомпенсирующих устройств.

Фильтросимметрирующие устройства осуществляют выравнивание несимметрий фазных напряжения, снижают нелинейные искажения, подавляют импульсные перенапряжения, а так же производят фильтрацию высших гармоник

Фильтрокомпенсирующие устройство помимо выше указанных функций так же могут генерировать реактивную мощность в сеть

Таким образом, фильтросимметрирующие и фильтрокомпенсирующие устройства способны воздействовать одновременно на несколько показателей качества

Выделяют следующие достоинства активных ФКУ и ФСУ:

- воздействие одновременно на несколько показателей качества;

- быстрое действие;

- дополнительная компенсация реактивной мощности;

- возможность установки непосредственно у электроприемника либо в распределительной сети.

Недостатками являются:

- относительно большие затраты на реализацию

- возможно появление резонансных явлений.

Исходя из анализа всех перечисленных выше методов кондиционирования качества электроэнергии, можно сделать следующий вывод, - использование фильтросимметрирующих устройств является наиболее перспективным и экономически выгодным способом повышения сразу нескольких показателей качества электроэнергии.

#### Список литературы

1. И. В. Жежеленко, М. Л. Рабинович, В. М. Божко. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях // Киев : Техника, 1981. - 160 с
2. Веселов А.Е. , Фастий Г.П., Ярошевич В.В Разработка схемных решения в промышленных распределительных энергетических сетях для повышения качества электроэнергии // Научный журнал Энергетика, №1 ,2010
3. Розанов Ю.К., Рябчинский М.В. Современные методы улучшения качества электроэнергии (аналитический обзор) // Электротехника. – 1998.–№3. – С.10-17
4. Кафиев И.Р, Галлямова Л.Р. Фильтросимметрирующие устройства для снижения влияния несимметрии напряжения источника питания / / Тенденции развития науки и образования. Научный журнал БГУ. 2018г. №34-4
5. Мустафа Г.М., Гусев С.И.- Активные фильтро-симметрирующие устройства для электроэнергетики. Теоретические и прикладные аспекты использования.- LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. - 114 с.
6. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 2014-07-01

## **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМЕ ОСВЕЩЕНИЯ**

**Посягина Т.А., канд. пед.наук., Федоров С.В., канд. техн. наук.  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет» филиал в г.  
Кумертау**

Светодиодное освещение в качестве инновационной энергосберегающей технологии год за годом вытесняет традиционные источники освещения. В частном секторе светодиодная техника внедряется давно и успешно. В государственном и муниципальном сегментах процесс идет несколько медленнее, однако, в настоящее время политику энергоэффективности активно стимулирует государство – в «Стратегии 2020» определен был ряд конкретных целевых показателей в этой области. Планировалось, что к 2020 году 75% всех закупаемых уличных светильников должны быть энергоэффективными, доля светодиодных промышленных светильников должна была вырасти до 73%, а системы управления освещением должны были быть установлены не менее чем в 25% госучреждений. Здесь автоматизация освещения, внедрение «умной» составляющей в светильники было обязательное условие дальнейшей экономии энергопотребления. Таким образом, в настоящее время мир стоит на пороге второй волны светодиодной революции. Все больше пользователей проявляет интерес уже не просто к светодиодным светильникам, а к системам автоматизированного управления светом.

Это направление, лежащее на стыке электротехники и информационных технологий, в обиходе получило известность как «умный» свет. Управляемый свет обязательно будет востребован в будущем, поскольку имеет два неоспоримых плюса. Во-первых, потребитель заинтересован в том, чтобы осветительные приборы не работали вхолостую, а светили бы тогда, когда это необходимо, с минимальной возможной мощностью для комфортной работы. В-вторых, это достижение нового уровня удобства и комфорта. Управление системой освещения в огромном здании всего лишь нажатием кнопки на мобильном устройстве. За одну секунду возможно сделать свет либо ярким и «холодным – 6000K» (подходящим для работы), либо мягким, теплым - 3000K и приглушенным - (идеальным для отдыха).

С экономической точки зрения, в масштабах современного города в ночные часы управление освещенностью актуально с конца XIX века. В России в XXI веке на освещение тратится около 14 % общего объема энергопотребления. При этом свет - это не просто затраты электроэнергии, а элемент комфорта и даже безопасности, он важен для настроения и в целом качества жизни. По экспертным оценкам [2; 4; 5] порядка 40 % затрат на освещение можно сэкономить, если не просто использовать энергоэффективные лампы, но и сделать систему управления ими. Более того, в современных жилых и коммерческих зданиях использование датчиков как

средств управления искусственным освещением не только позволяет повысить комфорт эксплуатации помещений, но и становится экономически и энергетически выгодным.

Самое простое применение "умных систем" – это автоматизация освещения. Например, когда при срабатывании датчиков движения, в комнате включается свет, и соответственно выключается при отсутствии движения в течение определенного периода времени. В «умном доме» можно запрограммировать различные комбинации освещения, например, в зависимости от времени суток и уровня естественной освещенности в помещении. Так, если встроенный датчик автоматически отключает освещение через десять минут после того, как люди покинут помещение, то повсеместная замена старых выключателей на новые в общественных зданиях сразу дает ощутимый эффект. По исследованию С.К. Дмитриева [1], в среднем их окупаемость составляет для гостиничных зданий от 1 до 1,5 лет, для жилых зданий от 1,5 до 2 лет, для офисов от 2 до 2,5 лет. При стабильном росте цен на электроэнергию, составляющем около 30 % в год, сроки окупаемости инвестиций будут снижаться. При этом оптимизация систем внутреннего освещения по предварительным расчетам позволит сэкономить около 70 % средств, затрачиваемых собственником помещений на освещение.

Отмечая определенный вклад вышеназванных исследователей, мы предлагаем использовать в рамках преподавания энергосбережения у бакалавров направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», комплекс лабораторного оборудования П.Н. Сенигова [3]. В качестве примера исследования ниже представлена (рисунок 1) электрическая схема уменьшения энергопотребления системы электрического освещения путем регулирования интенсивности освещенности.

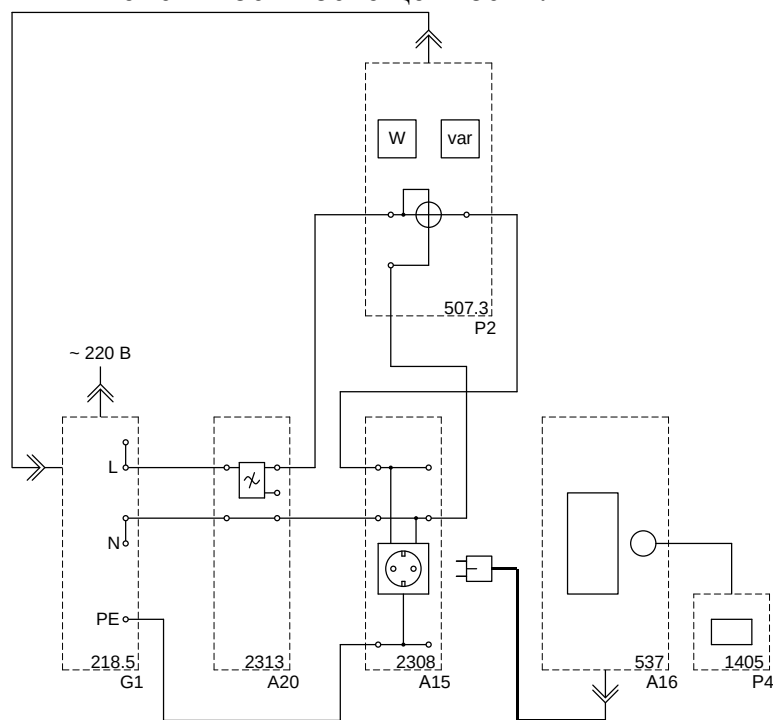


Рисунок 1 – Схема электрического соединения

| Обозначение | Наименование                             | Тип     |
|-------------|------------------------------------------|---------|
| G1          | Однофазный источник питания              | 218.5   |
| A15         | Электророзетка с заземляющими контактами | 2308    |
| A16         | Фотометрический блок                     | 537     |
| A20         | Светорегулятор                           | 2313    |
| P1          | Блок мультиметров                        | 509.2.1 |
| P2          | Измеритель мощностей                     | 507.3   |
| P4          | Люксметр                                 | 1405    |

В результате этого эксперимента установлена зависимость между потребляемой лампочкой электрической энергии от создаваемой ею освещенности и приложенного к ней напряжения. Более того, комплекс лабораторного оборудования позволяет изменять условия эксперимента, применить датчики движения или фотореле, тем самым творчески моделируя реальную ситуацию оптимизации и при освещении мест общего пользования.

Таким образом, система автоматизации управления «Умный дом», образно «мозга» вашего дома, имеет широкий функционал и способна взять под контроль все в вашем доме. Единственным ее серьезным недостатком является, высокая цена оборудования и монтажа таких систем. Система умного дома предоставляет своему владельцу массу преимуществ, а возможности, сценарии и количество режимов функционирования системы ограничиваются только фантазией и финансовыми возможностями заказчика.

#### Список литературы

1. Дмитриев, С.К. Датчики движения и присутствия – реальная экономия электроэнергии/ С.К. Дмитриев // Энергосбережение. - 2009. - №7 С. 38 – 44.
2. Слободник, Э.Б. Система управления освещением на светодиодах / [Э. Б. Слободник](#), [Е. Х. Аллаш](#), [В. А. Казаков](#), С. Б. Казанцев // Энергосбережение. - 2008. - №8 С. 34 – 38.
3. Сенигов, П.Н. Энергосбережение в системах электроснабжения и электропотребления. Руководство по выполнению базовых экспериментов. ЭССЭСП.004 РБЭ (961.4) / П.Н. Сенигов. – Челябинск: ИПЦ «Учебная техника», 2013. – 75 с.
4. Федорищев, А.Ю. Освещение города: энергосберегающие мероприятия / А.Ю. Федорищев // Энергосбережение. - 2007. - №3 С. 6 – 10.
5. [Щепетков](#), Н. И. Энергоэффективный подход к освещению помещений и городской среды / Н.И. Щепетников// Энергосбережение. - 2016. - №3 С. 20 – 28.



## **ОБОСНОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РАЙОНА ГОРОДА**

**Семенова Н.Г., д-р пед. наук, доцент, Грубник Е.И.**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Оренбургский государственный университет»**

В настоящее время наблюдается износ систем электроснабжения (СЭС), особенно для оборудования подстанций 35-110 кВ и питающих их линий электропередач, где износ составляет более 50%. Для обеспечения потребителя бесперебойным и надежным потреблением электрической энергией встает проблема выбора стратегии развития СЭС. Под стратегией развития СЭС понимаем совокупность мероприятий, проводимых в соответствии с типовыми технологическими решениями по техническому перевооружению или реконструкции электроэнергетических объектов в зависимости от типа СЭС района города [1].

Анализ научно-технической литературы позволил условно классифицировать по значению коэффициента роста нагрузки ( $k_{рн}$ ) городские районы [2]. Нами выделено три группы городских районов:

- развивающийся - к этой группе относятся районы города на которых ведется строительство новых объектов или происходит модернизация уже существующих, в виду чего потребление электроэнергии постоянно возрастает. Соответственно, для этой группы городских кластеров коэффициент роста нагрузки будет больше 1,  $k_{рн} > 1$ ;

- стабильно функционирующие - к этой группе относятся большинство жилых районов города и промышленных объектов. Эти районы, как правило находятся в центре города, где не ведется активного строительства, а соответственно, потребление электроэнергии остается неизменным, т.е. коэффициент роста нагрузки примерно равен 1,  $k_{рн} \approx 1$ ;

- угасающие - к этой группе относятся районы городов, в которых произошло уменьшение потребляемой электроэнергии в виду сноса аварийных зданий, изменение промышленного статуса района и т.д.. Для таких городских кластеров коэффициент роста нагрузки меньше 1,  $k_{рн} < 1$ .

В зависимости от того в какой группе относится район города, соответственно с этим выбирается стратегия развития системы электроснабжения. Если городской район относится к группе «развивающийся», то приоритетной стратегией развития является «строительство развития СЭС». Как отмечено в [3] эта стратегия включает в себя следующее: сооружение новых участков линии электропередачи (ЛЭП), трансформаторных станций и подстанций и т.д. для новых потребителей, увеличение пропускной способности существующих сетей, а также сооружение новых участков сетей в результате изменения конфигурации действующих сетей в зонах затопления полей при севообороте [3].

Если городской район относится к группе «стабильно функционирующие», приоритетной стратегией развития является «технологическое присоединение СЭС», основными альтернативами развития которой будут: комплекс технических мероприятий и юридических процедур, обеспечивающих в совокупности фактическое присоединение объектов заявителя (энергопринимающих устройств, энергетических установок, объектов электросетевого хозяйства) к объектам электросетевого хозяйства сетевой организации, в которую была подана заявка на технологическое присоединение [3].

При отнесении городского района к группе «угасающие», стратегией развития СЭС является «реконструкция СЭС», альтернативами развития которой имеют место быть: изменение электрических параметров сетей и подстанций (сечение участков линий электропередачи, мощностей трансформаторов) при сохранении капитальной части электрических объектов.

Обобщая вышеизложенное, представим возможные варианты стратегий развития СЭС, таблица 1.

Таблица 1 – Возможные варианты стратегий и альтернатив развития СЭС района города

| <b>Типы городских районов</b> | <b>Гипотетические стратегии развития СЭС</b> | <b>Альтернативы развития стратегий СЭС</b>                                                                                                                          |
|-------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Развивающиеся                 | Строительство системы электроснабжения       | 1. Строительство новых электросетевых объектов.<br>2. Увеличение пропускной способности ПС.<br>3. Замена проводов на большие сечения.                               |
| Стабильно функционирующие     | Технологическое присоединение СЭС            | 1. Проведение плановых мероприятий по ремонту и обслуживанию СЭС.<br>2. Техническое перевооружение электросетевых объектов.<br>3. Малая (распределенная генерация). |
| Угасающие                     | Реконструкция СЭС                            | 1. Замена физически устаревшего электрооборудования на новое.<br>2. Замена дефективных опор ЛЭП на новые.<br>3. Применение технологий по улучшению                  |

|  |  |                      |
|--|--|----------------------|
|  |  | энергоэффективности. |
|--|--|----------------------|

В исследовании рассматривается Дзержинский район города Оренбург. За последние 5 лет потребление электроэнергии данного района составляло (см.табл.2):

Таблица 2 – Потребление электроэнергии

| 2014 год           | 2015 год           | 2016 год           | 2017 год           | 2018 год           |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 16042<br>млн.кВтч. | 15169<br>млн.кВтч. | 15977<br>млн.кВтч. | 16460<br>млн.кВтч. | 16416<br>млн.кВтч. |

На основании сравнения потребления электроэнергии за последние 5 лет, очевидно, что коэффициент роста нагрузки примерно равен 1,  $k_{рн} \approx 1$ . Следовательно, рассматриваемый район можно отнести к группе «*стабильно функционирующие*». Стратегией развития этой группы является, как видно из таблицы 2, технологическое присоединение.

#### Список литературы

1. Семенова Н.Г. Выбор предпочтительного решения по развитию электрических сетей на основе нейросетевых технологий / Н. Г. Семёнова, А. Д. Чернова // Вестник ЮУрГУ. Серия: «Энергетика». – 2018. – Т. 18. № 3. – С. 38-45.
2. Семенова. Л.А. «Разработка методики принятия решения по развитию системы электроснабжения с применением техноценологического подхода и теории нечетких множеств» - Дис. Кандидата тех. Наук – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2010.
3. Ефентьев С.Н. Развитие методики технико-экономического анализа при выборе основных параметров электрических сетей с учетом неопределенности исходной информации: Ав-тореф. дисс. ... канд. техн. наук. — М.: МЭИ, 2004.

# РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ МЕТОДОВ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ДЛЯ ВЫБОРА АЛЬТЕРНАТИВЫ РАЗВИТИЯ СЭС РАЙОНА ГОРОДА

Семенова Н.Г., д-р пед. наук, доцент, Грубник Е.И.  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

Очень часто перед лицом, принимающим решение в электроэнергетике, ставится задача, по какому пути должна развиваться система электроснабжения (СЭС) района города. В настоящее время из-за отсутствия автоматизированных систем поддержки принятия решений в электроэнергетике на решение этой задачи уходит довольно большое количество времени. В связи с этим разработка программы, позволяющей уменьшить время по выбору наилучшей альтернативы развития СЭС района города, является актуальной и важной задачей.

В работе [1] нами обоснованно, что в зависимости от коэффициента роста нагрузки,  $k_{рн}$  все районы города могут быть условно классифицированы на развивающиеся, стабильно функционирующие и угасающие. Для каждого типа СЭС района города, нами предложены гипотетические варианты стратегий развития, с соответствующими альтернативами развития СЭС, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Соответствие стратегий и альтернатив развития СЭС по типам района города.

| Типы районов              | Гипотетические стратегии развития СЭС  | Альтернативы развития СЭС района                                                                                                                                        |
|---------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Развивающиеся             | Строительство системы электроснабжения | 1. Строительство новых электросетевых объектов.<br>2. Увеличение пропускной способности ПС.<br>3. Замена проводов на большие сечения.                                   |
| Стабильно функционирующие | Технологическое присоединение СЭС      | 1. Проведение плановых мероприятий по ремонту и обслуживанию СЭС.<br>2. Техническое перевооружение электросетевых объектов.<br>3. Малая (распределенная) генерация.     |
| Угасающие                 | Реконструкция СЭС                      | 1. Замена физически устаревшего электрооборудования на новое.<br>2. Замена дефективных опор ЛЭП на новые.<br>3. Применение технологий по улучшению энергоэффективности. |

В качестве района для которого требуется определить наилучшую альтернативу развития выбран Дзержинский район г. Оренбурга, который относится к типу «стабильно функционирующий», т.к. рассчитанное нами прогнозное значение  $k_{pn} \approx 1$ . К районам города, относящихся к типу «стабильно функционирующий», как следует из таблицы 1 относятся следующие альтернативы развития: проведение плановых мероприятий по ремонту и обслуживанию СЭС (А1); техническое перевооружение электросетевых объектов (А2); малая (распределенная) генерация (А3).

Для выбора предпочтительной альтернативы в данной работе предложено использовать методы непосредственного оценивания, к которым относятся: метод непосредственной оценки, метод парных сравнений и метод ранжирования [2]. Для этого нами были привлечены четыре квалифицированных эксперта. В таблицах 2, 3, 4 представлены оценки экспертов, выставленные в относительных единицах за каждую альтернативу развития СЭС района в отдельности.

Таблица 2 – Оценки экспертов альтернатив развития СЭС района города метода непосредственной оценки

|    | Эксперт 1 | Эксперт 2 | Эксперт 3 | Эксперт 4 |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A1 | 0,2       | 0,1       | 0,2       | 0,1       |
| A2 | 0,6       | 0,4       | 0,4       | 0,3       |
| A3 | 0,2       | 0,5       | 0,4       | 0,6       |

Таблица 3 – Оценки экспертов альтернатив развития СЭС района города метода парных сравнений

|    | Эксперт 1 |     |     | Эксперт 2 |     |     |
|----|-----------|-----|-----|-----------|-----|-----|
|    | A1        | A2  | A3  | A1        | A2  | A3  |
| A1 | 0,5       | 0   | 0   | 0,5       | 0   | 0   |
| A2 | 1         | 0,5 | 1   | 1         | 0,5 | 0   |
| A3 | 1         | 0   | 0,5 | 1         | 1   | 0,5 |

|    | Эксперт 3 |     |     | Эксперт 4 |     |     |
|----|-----------|-----|-----|-----------|-----|-----|
|    | A1        | A2  | A3  | A1        | A2  | A3  |
| A1 | 0,5       | 1   | 1   | 0,5       | 1   | 0,5 |
| A2 | 0         | 0,5 | 0   | 0         | 0,5 | 0   |
| A3 | 0         | 1   | 0,5 | 0,5       | 1   | 0,5 |

Таблица 4 – Оценки экспертов альтернатив развития СЭС района города метода ранжирования

|    | Эксперт 1 | Эксперт 2 | Эксперт 3 | Эксперт 4 |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A1 | 2         | 1         | 1         | 3         |
| A2 | 1         | 2         | 3         | 2         |
| A3 | 3         | 3         | 2         | 1         |

Разработаны блок-схемы алгоритмов методов непосредственной оценки, парных сравнений и ранжирования, рисунки 1, 2, 3, соответственно.

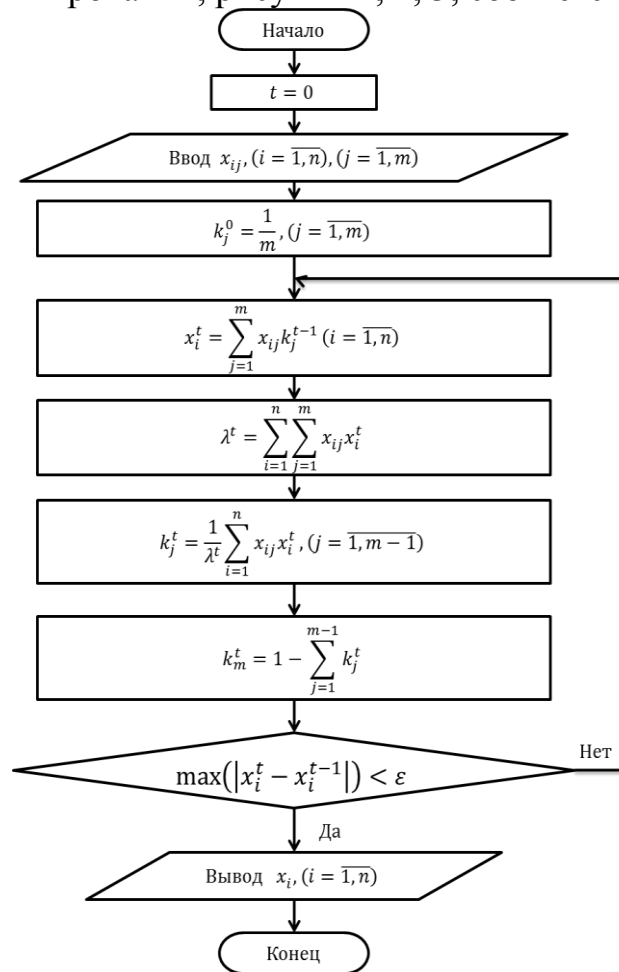


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма метода непосредственной оценки

В блок-схеме приняты следующие обозначения:

$x_i^t$  - групповая оценка для  $i$ -ого объекта на  $t$ -ом шаге итерационного процесса;  $\lambda^t$  - нормировочный коэффициент на  $t$ -ом шаге;  $k_j^t$  - коэффициент компетентности  $j$ -ого эксперта на  $t$ -ом шаге;  $\varepsilon$  - задаваемая точность окончания итерационного процесса.

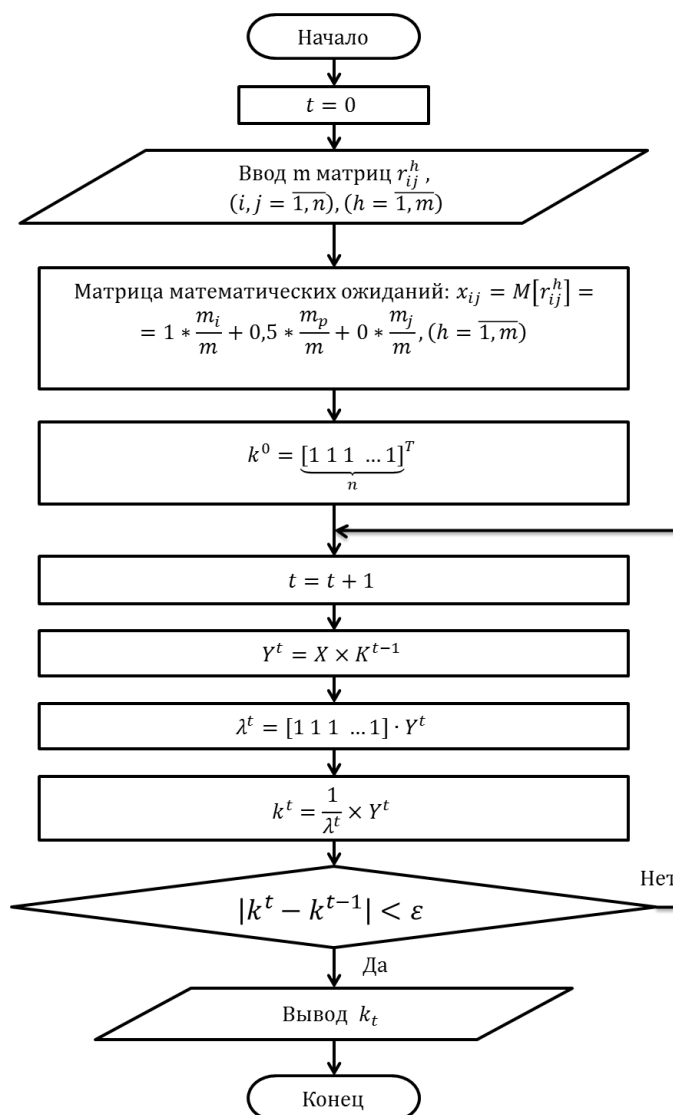


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма метода парных сравнений

В блок-схеме алгоритма метода парных сравнений приняты следующие обозначения:

$x_i^t$  - групповая оценка для  $i$ -ого объекта на  $t$ -ом шаге итерационного процесса;  $X$  – матрица математических ожиданий оценок пар объектов;  $k^t$  – вектор коэффициентов относительной важности объектов порядка  $t$ ;  $\lambda^t$  – нормировочный коэффициент на  $t$ -ом шаге;  $k_j^t$  – коэффициент компетентности  $j$ -ого эксперта на  $t$ -ом шаге;  $\varepsilon$  – задаваемая точность окончания итерационного процесса.

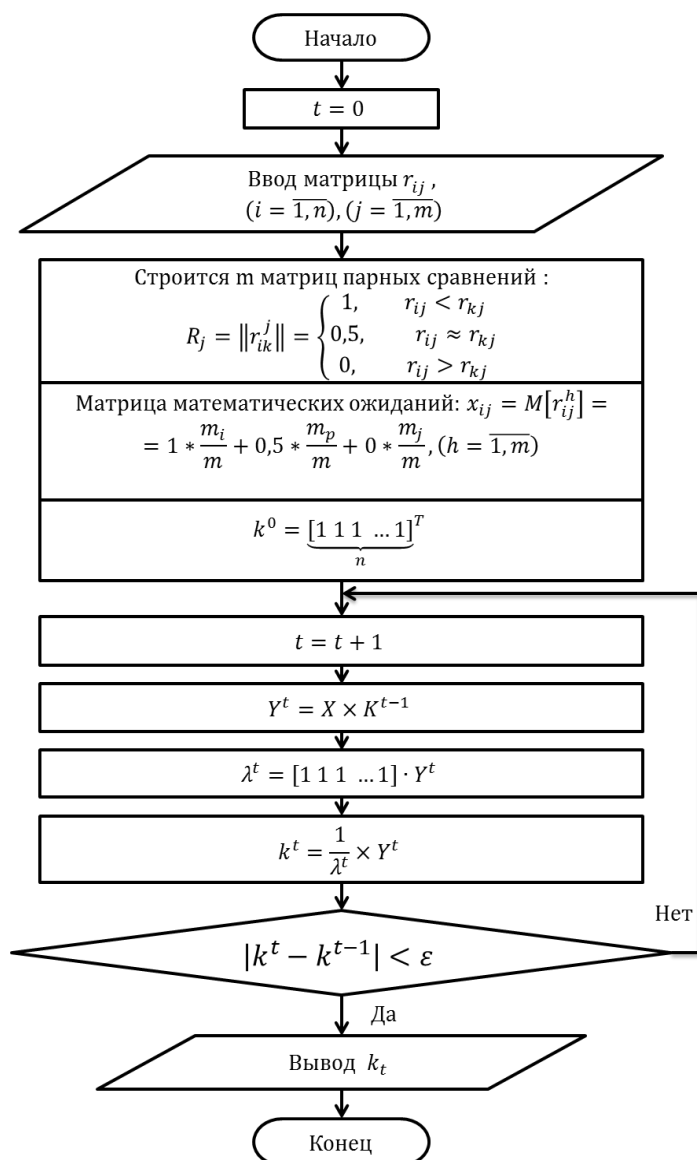


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма метода ранжирования

В блок-схеме приняты следующие обозначения:

$\|r_{ij}\|$  - матрица рангов;  $n$  – число объектов ( $i=\overline{1,n}$ ),  $m$  – число экспертов ( $j=\overline{1,m}$ );  $j$  – номер эксперта;  $i, k$  – номера сравниваемых объектов;  $x_i^t$  - групповая оценка для  $i$ -ого объекта на  $t$ -ом шаге итерационного процесса;  $X$  – матрица математических ожиданий оценок пар объектов;  $k^t$  – вектор коэффициентов относительной важности объектов порядка  $t$ ;  $\lambda^t$  - нормировочный коэффициент на  $t$ -ом шаге;  $k_j^t$  - коэффициент компетентности  $j$ -ого эксперта на  $t$ -ом шаге;  $\varepsilon$  - задаваемая точность окончания итерационного процесса.

Программная реализация алгоритмов методов непосредственной оценки, парных сравнений и ранжирования осуществлена с помощью программы Microsoft Excel.

Результаты расчета метода непосредственной оценки представлены на рисунке 4.

$$x^2 = (0,148; 0,422; 0,429)$$

$$x^3 = (0,148; 0,422; 0,43)$$

$$\lambda^2 = 1,537$$

$$\lambda^3 = 1,537$$

$$k^2 = (0,24; 0,259; 0,241; 0,26)$$

$$k^3 = (0,24; 0,259; 0,241; 0,26)$$

а) Значения 2-го приближения

б) Значения 3-го приближения

Рисунок 4 – Результаты итерационного процесса метода непосредственной оценки

Проведенный расчет показал, что итерационный процесс сходится с заданной точностью  $\varepsilon = 0,001$  на 3-м шаге итерации, поэтому значение групповой оценки принимается:

$$x = x^3 = (0,148; 0,422; 0,43).$$

Из полученных данных очевидно, что наилучшей альтернативой развития СЭС района города является малая (распределенная) генерация.

Полученные результаты расчета метода парных сравнений представлены на рисунке 5.

$$K^2 = [0,308; 0,272; 0,418]^T$$

$$K^3 = [0,308; 0,272; 0,418]^T$$

Рисунок 5 – Результаты итерационного процесса метода парных сравнений

На третьем шаге выполняется условие выхода, что позволяет за групповую оценку степени влияния на результат принять вектор коэффициентов относительной важности объектов вида:

$$K = [0,308; 0,272; 0,418]^T.$$

Из расчетов видно, что наилучшей альтернативой развития СЭС района города является малая (распределенная) генерация.

Полученные результаты расчета метода обобщенных ранжировок представлены на рисунке 6.

$$K^4 = [0,273; 0,340; 0,385]^T$$

$$K^5 = [0,274; 0,339; 0,386]^T$$

Рисунок 6 – Результаты итерационного процесса метода парных сравнений

Итерационная процедура с заданной точностью ( $\varepsilon = 0,001$ ) является сходящейся на пятом шаге к значениям:

$$K = [0,274; 0,339; 0,386]^T.$$

Из полученных расчетов видно, что наилучшей альтернативой развития СЭС района города является также малая (распределенная) генерация.

Одинаковый полученный результат решения позволяет судить о том, что разработанные программы по выбору наилучшей альтернативы развития Дзержинского района г. Оренбурга достоверны и адекватны.

#### Список литературы

1. Грубник Е.И. Обоснование альтернатив развития систем электроснабжения района города / Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры [Электронный ресурс]: материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием); Оренбург. гос. ун-т. - Электрон. дан. - Оренбург: ОГУ, 2020.- С. 3006 – 3008.

2. Семенова, Л.А. «Разработка методики принятия решения по развитию системы электроснабжения с применением технoценoлогического подхода и теории нечетких множеств» - дис. кандидата тех. наук – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2010.

3. Воропай, Н. И. Иерархическое моделирование при обосновании развития электроэнергетических систем // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2003. – №4 (4) – С. 24-27.

# РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ КОТТЕДЖА НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА МАМДАМИ

Семенова Н.Г. д-р пед. наук, профессор, Умарханов К.Н.  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

В современной энергетике автоматизация систем управления электроснабжением является актуальной задачей, так как АСУ обеспечивает решение одной из главных ее задач: обеспечение высокой экономичности при достаточно устойчивой надежности. Также актуальность обусловлена основной стратегией развития электроэнергетики – энергоэффективность и энергосбережение, согласно Федеральному закону РФ N261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности».

Целью исследования является разработка энергоэффективной системы управления электроснабжением коттеджа. Разработка алгоритма работы данной системы будет проводиться методом теории нечеткого вывода Mamdani. Данный алгоритм будет реализовываться в программе Fuzzy Logic [5].

На рисунке 1 показаны основные этапы алгоритма.



Рисунок 1 – Основные этапы алгоритма нечеткого вывода Mamdani

АСУ электроснабжением коттеджа представляет собой совокупность устройств, состоящая из датчиков, электроустановок освещения, отопления и кондиционирования. На рисунке 2 представлена структурная схема АСУ. Датчики, собирают информацию о входных переменных системы. В данном исследовании входные переменные это:

- Освещенность, с термами {нулевая; низкая; средняя; высокая};
- Присутствие людей, {человек присутствует; человек отсутствует};
- Влажность воздуха, {высокая; средняя; низкая};
- Температура воздуха, {высокая; средняя; низкая}.

Выходная переменная характеризует оптимальную мощность выделяемую системе, для осуществления регулирования состояния помещения:

- Мощность, {нулевая; малая; средняя; максимальная}.

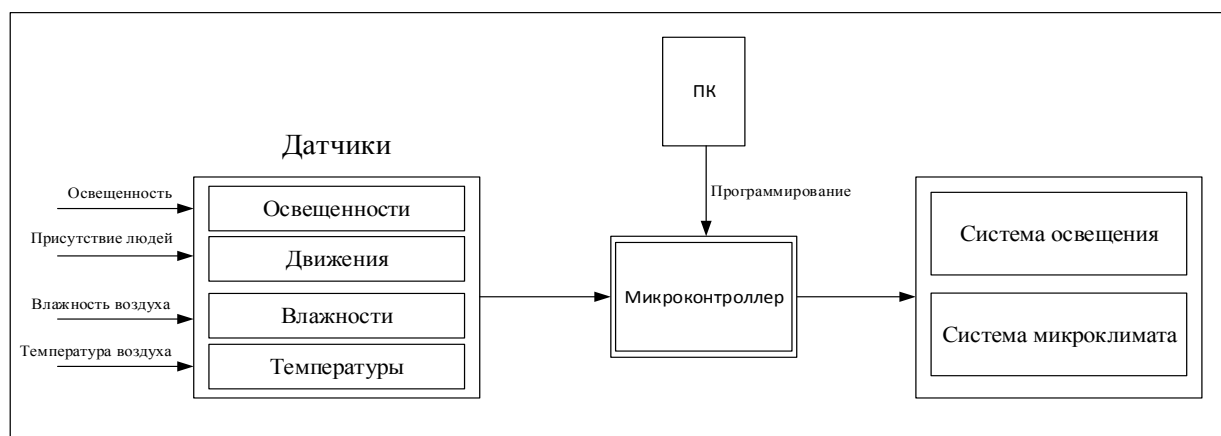


Рисунок 2 – Структурная схема АСУ освещением и микроклиматом

База правил системы нечеткого вывода это итоговая совокупность нечетких правил, в которой используются лингвистические переменные. В процессе разработки алгоритма, было сформировано 36 нечетких правил.

Примеры нечетких правил:

1. Если человек присутствует, освещенность средняя, температура воздуха низкая, влажность воздуха высокая, то мощность выделяемая системе максимальная;
2. Если человек присутствует, освещенность сильная, температура воздуха средняя, влажность воздуха низкая, то мощность выделяемая системе малая;
3. Если человек присутствует, освещенность сильная, температура средняя, влажность воздуха средняя, то мощность выделяемая системе нулевая;
4. Если человек отсутствует, то мощность выделяемая системе нулевая

Интерфейс программы Fuzzy Logic состоит из:

- меню «База знаний»
- «Редактора структуры»
- «Редактора переменных»
- «Редактора правил»
- меню «Помощь»

В редакторе структуры необходимо вызвать «Редактор переменных». На рисунках 3-7 представлены скриншоты «Редактора переменных».

Диапазон значений, и функции принадлежности для каждого терма переменной «Освещенность» составлены в соответствии со СНИП [3].

Диапазон значений, и функции принадлежности для термов переменных «Температура воздуха» и «Влажность воздуха» составлены в соответствии с ГОСТ [4].

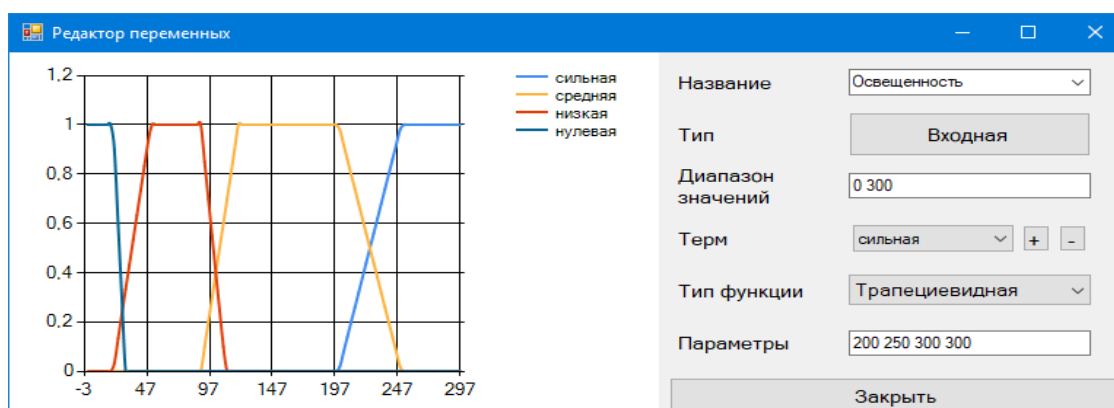


Рисунок 3 – Редактор переменных «Освещенность»

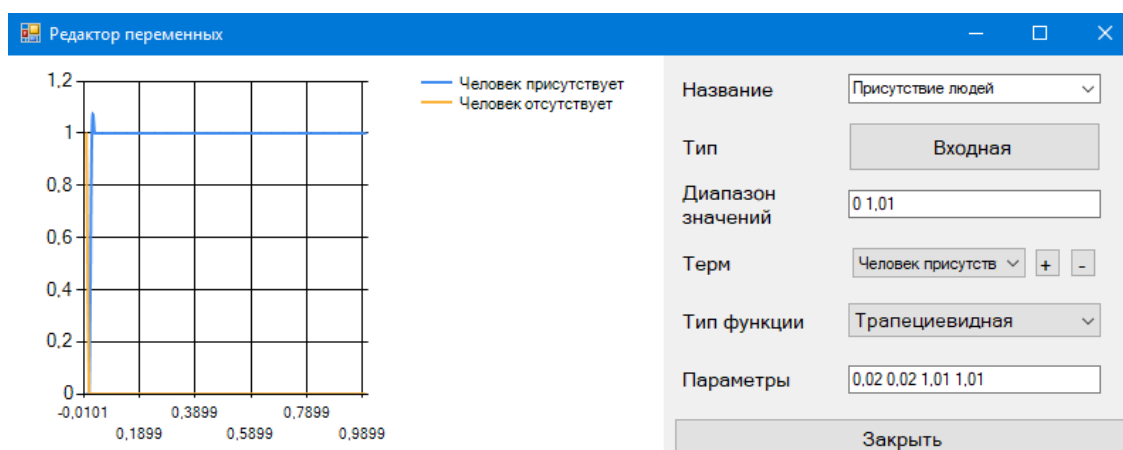


Рисунок 4 – Редактор переменных для «Присутствие людей»

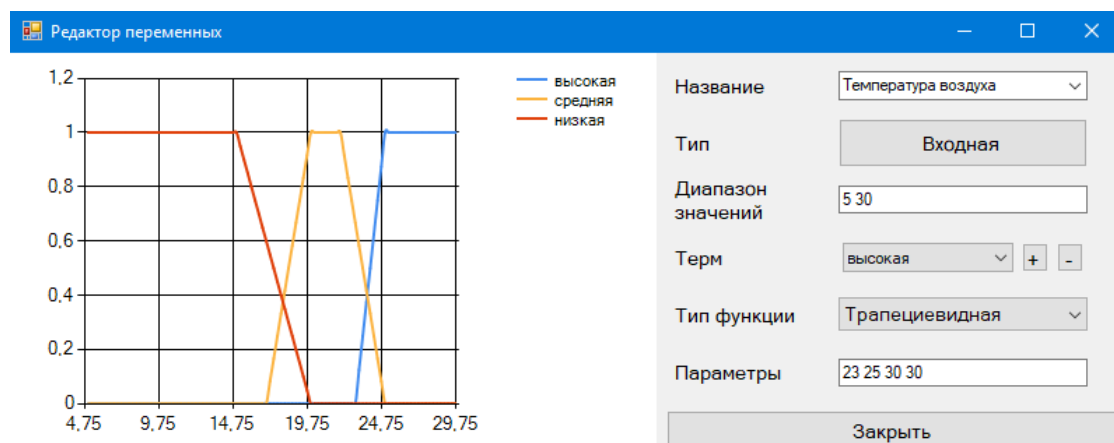


Рисунок 5 – Редактор переменных для «Температура воздуха», [ $^{\circ}\text{C}$ ]

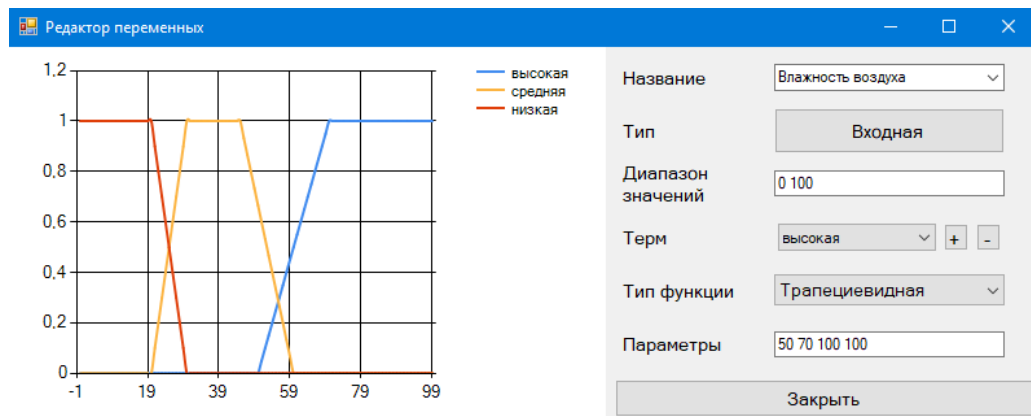


Рисунок 6 – Редактор переменных для «Влажность воздуха», [%]

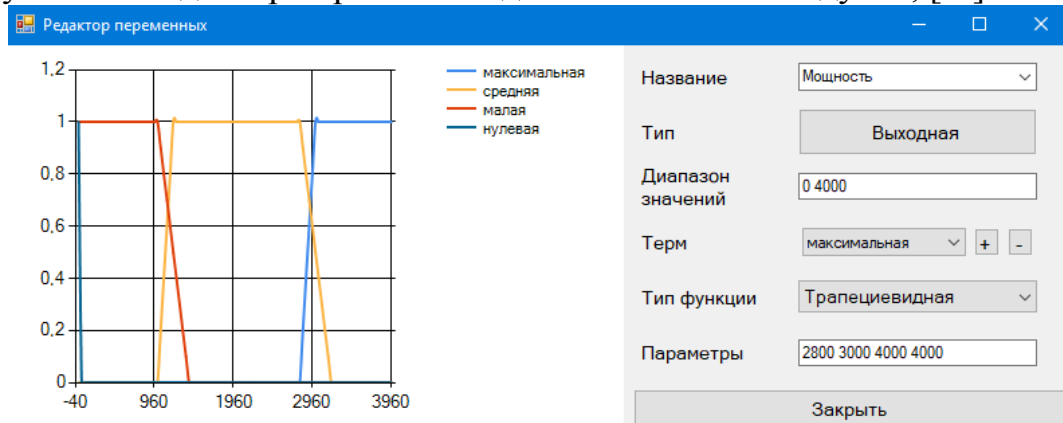


Рисунок 7 – Редактор переменных для «Мощность», [Вт]

После ввода переменных, в «Редакторе структуры» отобразится структура алгоритма нечеткого вывода (рисунок 8).

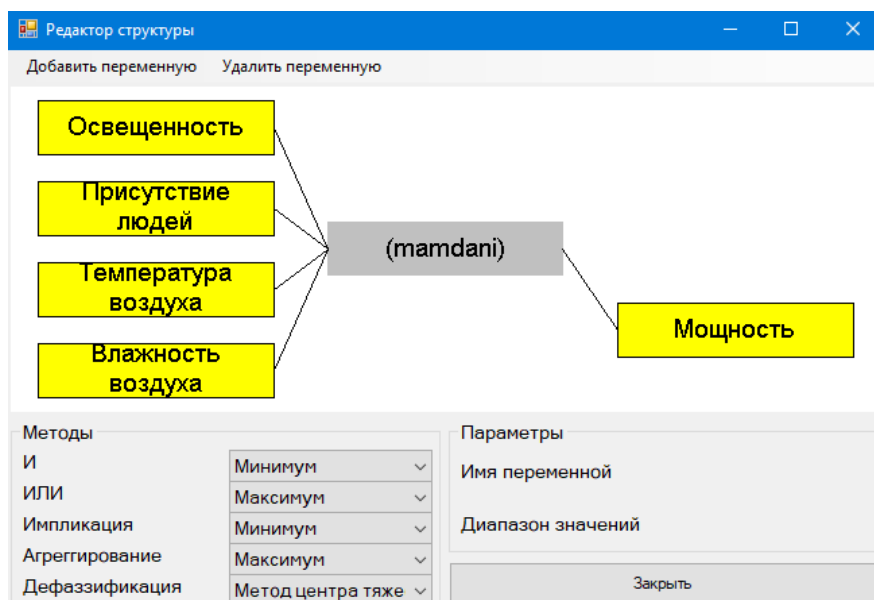


Рисунок 8 –Редактор структуры

После формирования базы правил в главном окне программы отображается полученный результат. Входные данные можно изменять интерактивно, перетаскиванием красной вертикальной линии в поле каждой

входной переменной, или непосредственным вводом каждой из переменных в поле «Входные параметры».

На рисунке 9 представлен результат расчета при входных параметрах: 150 Лк; 17,5<sup>0</sup>С; 50%; 1 - человек присутствует.

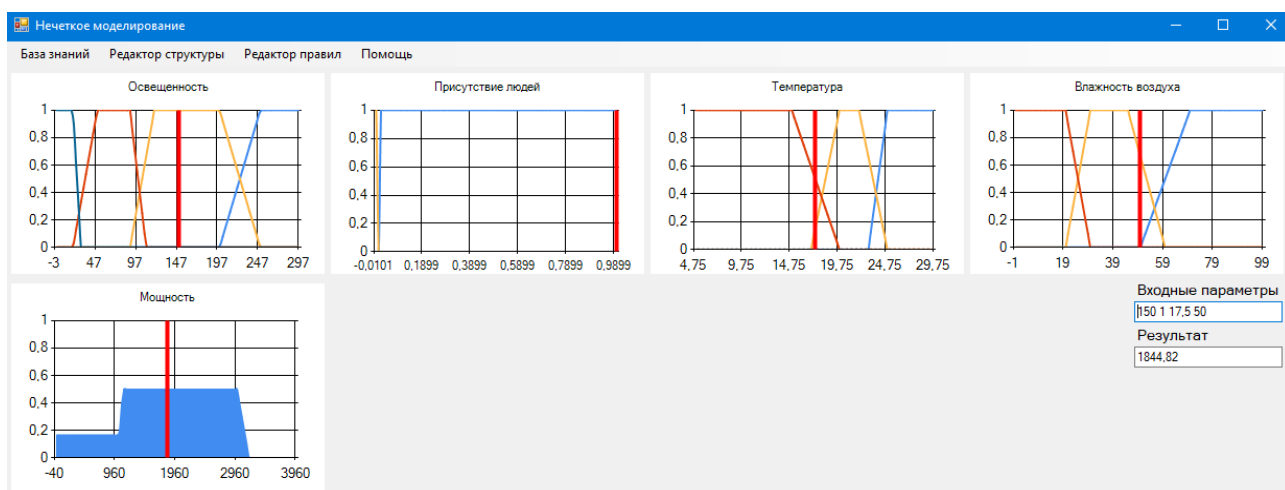


Рисунок 9 – Главное окно системы «Нечеткий вывод Mamdani»

Положение красной вертикальной полосы в поле выходной переменной, соответствует значению, рассчитанному в результате дефаззификации по Методу центра тяжести. В данном случае  $P = 1845$  Вт.

Вывод: в ходе исследования был разработан алгоритм автоматизированного управления электроснабжением коттеджа на основе теории нечеткого вывода Mamdani, реализованный в программе Fuzzy Logic. Был смоделирован случай получения входных сигналов от датчиков, и получен результат.

#### Список литературы

1. Яхьева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети: Учебное пособие /Г.Э. Яхьева. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 316 с.
2. Белов А.А., Гвоздева Е.В. Основы теории нечеткости: Учебное пособие /А.А. Белов, Е.В. Гвоздева. – М.: ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2001. – 119с.
3. СНиП 23-05-95\* Естественное и искусственное освещение. – М: ГУП ЦПП, 2011. – 76 с.
4. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: Стандартинформ, 2013. 15с.
5. Семенов А.М., Мулюков Р.Р. программное средство для нечеткого моделирования экспертных и управляющих систем Fuzzy logic. – 2014г.

# **ВЫБОР НАИЛУЧШЕЙ АЛЬТЕРНАТИВЫ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ОЦЕНИВАНИЯ**

**Семенова Н.Г., д-р пед. наук, профессор, Чугунов А.С.  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

Под системой электроснабжения (СЭС) понимают совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электрической энергией [1].

Реконструкция – процесс обновления устаревшего объекта для использования его в новых условиях. С большой долей вероятности можно предполагать, что большинству СЭС развивающихся и стабильно-функционирующих промышленных предприятий неизбежно потребуются реконструкция или техническое перевооружение. По этой причине достаточно часто лицу, принимающему решение в электроэнергетике, ставится задача определения оптимальной альтернативы (стратегии) по реконструкции (развитию) системы электроснабжения промпредприятия.

На сегодняшний день из-за отсутствия автоматизированных систем поддержки принятия решений в сфере электроэнергетики на разрешение этой задачи тратится достаточно много времени. В связи с данным обстоятельством важной и актуальной становится задача разработки и внедрения программы для быстрого принятия решения по выбору наилучшей стратегии по обновлению СЭС промышленного предприятия.

Для формирования различных альтернатив (стратегий) по реконструкции нами был предложен состав основного силового оборудования с разбивкой по типам (таблица 1).

Таблица 1 – Оборудование для реконструкции

| Оборудование   | Тип оборудования                                                       |
|----------------|------------------------------------------------------------------------|
| Кабели         | 1. С изоляцией из СПЭ (1)<br>2. С изоляцией из ЭПР (2)                 |
| Трансформаторы | 1. Масляные (3)<br>2. Сухие (4)                                        |
| Ячейки КРУ     | 1. С воздушными выключателями (5)<br>2. С вакуумными выключателями (6) |

На основе составленного перечня оборудования были сформированы восемь возможных альтернатив (стратегий) по реконструкции распределительной сети (РС) промпредприятия (таблица 2).

Таблица 2 – Комбинации оборудования и стратегии развития

| № | Стратегия | № | Стратегия | № | Стратегия | № | Стратегия |
|---|-----------|---|-----------|---|-----------|---|-----------|
| 1 | (1)(3)(5) | 3 | (1)(4)(5) | 5 | (2)(3)(5) | 7 | (2)(4)(5) |
| 2 | (1)(3)(6) | 4 | (1)(4)(6) | 6 | (2)(3)(6) | 8 | (2)(4)(6) |

Для выбора наилучшей альтернативы можно использовать метод непосредственной оценки [2, 3] с привлечением определенного числа экспертов ( $m$ ).

В данной ситуации было привлечено три эксперта ( $m=3$ ), которые провели оценку восьми мероприятий (по реконструкции РС) ( $n=8$ ) по степени их влияния на решение одной проблемы (выбору наилучшей альтернативы) ( $h=1$ ). Результаты оценки сведены в таблицу 3. Каждый элемент  $x_{ij}$  таблицы 3 представляет оценку  $n$ -ой стратегии каждым экспертом по выбранной шкале (диапазону)  $[0; 0,01...; 1]$ .

Таблица 3 – Оценка мероприятий по реконструкции экспертами

| $x_{ij}$    | Эксперт 1 | Эксперт 2 | Эксперт 3 |
|-------------|-----------|-----------|-----------|
| Стратегия 1 | 0,12      | 0,13      | 0,10      |
| Стратегия 2 | 0,14      | 0,11      | 0,13      |
| Стратегия 3 | 0,12      | 0,17      | 0,12      |
| Стратегия 4 | 0,22      | 0,13      | 0,14      |
| Стратегия 5 | 0,09      | 0,21      | 0,15      |
| Стратегия 6 | 0,10      | 0,06      | 0,11      |
| Стратегия 7 | 0,08      | 0,10      | 0,12      |
| Стратегия 8 | 0,13      | 0,09      | 0,13      |

Так как  $h=1$ , то групповое оценивание объектов может производиться на основе одного показателя [3]. Тогда алгоритм вычисления групповых оценок и коэффициентов компетентности экспертов будет определяться выражениями (1)-(5).

Начальные значения коэффициентов компетентности для всех экспертов (при  $t=0$ ) принимаются одинаковыми и равными

$$k_j^0 = \frac{1}{m}, \quad (j = \overline{1, m}). \quad (1)$$

Групповая оценка  $i$ -ого объекта на  $t$ -ом шаге на основе индивидуальных оценок  $x_{ij}$  вычисляется по выражению

$$x_i^t = \sum_{j=1}^m x_{ij} k_j^{t-1}, \quad (i = \overline{1, n}). \quad (2)$$

Нормировочный коэффициент рассчитывается по формуле

$$\lambda^t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_i^t x_{ij}. \quad (3)$$

Коэффициенты компетентности  $j$ -ого эксперта на  $t$ -ом шаге определяются по формуле

$$k_j^t = \frac{1}{\lambda^t} \sum_{i=1}^n x_{ij} x_i^t, \quad (i = \overline{1, m-1}). \quad (4)$$

Коэффициенты компетентности  $m$ -ого эксперта из условия нормировки рассчитываются по выражению

$$k_m^t = 1 - \sum_{j=1}^{m-1} k_j^t. \quad (5)$$

Итерационный процесс заканчивается, когда выполняется неравенство

$$\max \left( \left| x_i^t - x_i^{t-1} \right| \right) < E, \quad (6)$$

где  $E$  – точность вычисления в относительных единицах.

Программная реализация метода непосредственного оценивания выполнена с помощью среды программирования Lazarus.

|             | Эксперт 1 | Эксперт 2 | Эксперт 3 | Групповая оценка стратегий |
|-------------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|
| Стратегия 1 | 0,12      | 0,13      | 0,10      |                            |
| Стратегия 2 | 0,14      | 0,11      | 0,13      |                            |
| Стратегия 3 | 0,12      | 0,17      | 0,12      |                            |
| Стратегия 4 | 0,22      | 0,13      | 0,14      |                            |
| Стратегия 5 | 0,09      | 0,21      | 0,15      |                            |
| Стратегия 6 | 0,10      | 0,06      | 0,11      |                            |
| Стратегия 7 | 0,08      | 0,10      | 0,12      |                            |
| Стратегия 8 | 0,13      | 0,09      | 0,13      |                            |

Задайте точность вычисления: 0,01

Определить наилучшую стратегию

Рисунок 1 – Интерфейс программы, ввод экспертных оценок

|             | Эксперт 1 | Эксперт 2 | Эксперт 3 | Групповая оценка стратегий |
|-------------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|
| Стратегия 1 | 0,12      | 0,13      | 0,10      | 0,117                      |
| Стратегия 2 | 0,14      | 0,11      | 0,13      | 0,127                      |
| Стратегия 3 | 0,12      | 0,17      | 0,12      | 0,137                      |
| Стратегия 4 | 0,22      | 0,13      | 0,14      | 0,163                      |
| Стратегия 5 | 0,09      | 0,21      | 0,15      | 0,15                       |
| Стратегия 6 | 0,10      | 0,06      | 0,11      | 0,09                       |
| Стратегия 7 | 0,08      | 0,10      | 0,12      | 0,1                        |
| Стратегия 8 | 0,13      | 0,09      | 0,13      | 0,116                      |

Задайте точность вычисления: 0,01

Определить наилучшую стратегию

Стратегия 4

Рисунок 2 – Результаты определения наилучшей альтернативы

Из результатов расчета следует, что наилучшей альтернативой по реконструкции СЭС предприятия следует признать стратегию №4.

Практическая ценность разработанной программы заключается в том, что принятие решения по определению оптимальной альтернативы происходит за минимальное количество времени и повышается обоснованность принятого решения за счет использования метода непосредственной оценки.

#### Список литературы

1. Кудри, Б. И. Электроснабжение: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / Б.И. Кудрин. - М. : Издательский центр «Академия», 2012. - 2-е изд., перераб. и доп. - 352 с. - ISBN 978-5-7695-9307-9.
2. Воропай, Н. И. Иерархическое моделирование при обосновании развития электроэнергетических систем // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2003. – №4 (4) – С. 24-27.
3. Хабаров, С.П. Интеллектуальные информационные системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа – [habarov.spb.ru](http://habarov.spb.ru) (дата обращения: 24.12.2019)

## **АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОГРАММ КОНТРОЛЯ РЕЖИМАМИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ**

**Семенова Н.Г. д-р пед. наук, доцент, Бахчиев А.Ю.  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

Электрические сети 6-10 кВ в системе Территориальных сетевых организаций (ТСО) являются основным средством передачи электроэнергии от Единой Энергетической системы России (ЕЭС РФ) до конечного потребителя, как в населенных пунктах, так и в сельской местности. В связи с этим возникает необходимость повышения качества оперативного управления и скорости реагирования административно-технического персонала, а как следствие повышение общей надежности и скорости устранения аварии. Вышеизложенное приводит к сокращению экономических потерь и повышению производительности труда.

У потребителей, имеющих собственные источники электрической энергии или имеющих в своей системе электроснабжения самостоятельные предприятия электрических сетей, должно быть организовано оперативное диспетчерское управление электрооборудованием, задачами которого являются: разработка и ведение требуемого режима работы, производство переключений пусков и остановов, локализация аварий и восстановления режима работы, планирование и подготовка схем и оборудования к производству ремонтных работ в электроустановках, выполнение требований по качеству электрической энергии, обеспечение экономичности работы электрооборудования и рационального использования энергоресурсов при соблюдении режимов потребления [1]. Из этого следует вывод: в диспетчерских пунктах управления необходимо применение диспетчерских автоматизированных комплексов с цифровой передачей данных, ведущих контроль за режимами работы сети.

Оперативно-диспетчерское управление в энергосистеме осуществляется посредством централизованного круглосуточного и непрерывного управления эксплуатационным состоянием и взаимосвязанными технологическими режимами работы объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок потребителей электрической энергии, образующими в совокупности электроэнергетический режим соответствующей энергосистемы [2]. При сменном графике персонала появляется необходимость передачи документов сменяющему персоналу. Для этого можно применять специальные модули в программном комплексе диспетчера. Это решение сократит количество ошибок, затраченного времени персонала и упростит просмотр документации по требованию надзорных органов.

На данный момент на рынке присутствует огромное количество разработчиков программного обеспечения (ПО) под необходимые задачи.

Далее в таблицах будут приведены необходимые данные для сравнения диспетчерских систем различных производителей. Данные программы являются отечественными разработками, что упрощает процесс обучения персонала, таблица 1.

Таблица 1 – Основные особенности

| Название программы   | «Антракс»<br>Цифровая система управления РЭС                                                                                                  | Оперативный информационный комплекс ООО «Прикладные программы»                                                                                          | Диспетчерская информационная система «Модус»                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Основные особенности | Наличие собственных комплексов измерительных, коммутационных, передающих аппаратов. Относительная гибкость системы под конкретные задачи [3]. | Есть возможность применения «слоев» на схеме. Ведение полного комплекса оперативной документации. Контроль за выполнением операций с оборудованием [4]. | Реализует полный набор задач, стоящих перед диспетчером. Сдачу/ приемку смены. Ведение полного комплекса оперативной документации. Возможность работы в сетях различного напряжения 0,4 - 500кВ. Проверочные операции при переключениях (включение заземляющих ножей под напряжением, отключение разъединителей) [5]. |

Подавляющее большинство городских распределительных сетей появилось в середине 50-70-х годов минувшего столетия, с 1991 года в связи экономической обстановкой в стране реконструкция сетей и коммутационного оборудования была приостановлена [6]. Такая ситуация привела к ускоренному старению сетей, оборудования и как следствие, к возникновению технологических нарушений, связанных со старением оборудования. Для сокращения времени реагирования на происшествие, программы были дополнены модулями сбора и передачи данных.

При выборе диспетчерской системы отдельное внимание стоит обратить на модули сбора и передачи технологической информации по каналам сотовой связи в связи с экономической нецелесообразностью проводного подключения, таблица 2.

Таблица 2 – Сбор и передача информации

| Название программы                                       | «Антракс»<br>Цифровая система управления РЭС                       | Оперативный информационный комплекс ООО «Прикладные программы»     | Диспетчерская информационная система «Модус»                                                                         |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Система сбора и передачи технологической информации [3]. | Возможность работы с протоколами GPR, LPWAN, IEC 608-70-5-104 [3]. | Возможность работы с протоколами GPR, LPWAN, IEC 608-70-5-104 [4]. | Возможность работы с протоколами GPR, LPWAN, IEC 608-70-5-104<br>Поддержка коммутационных протоколов OPC DA 2.0 [5]. |

Для полного контроля над ситуацией и безошибочных действий персонала при ликвидации технологического нарушения необходимо четко, быстро и визуально доступно воспринимать положение коммутационных аппаратов, диспетчерских знаков и положение заземляющих ножей. В этих целях применяется модуль «On-lain». Стоит отметить, что данные задачи способны выполнять все программы из списка, ниже приведены ключевые особенности, таблица 3.

Таблица 3 – Режим «On-lain»

| Название программы | «Антракс»<br>Цифровая система управления РЭС | Оперативный информационный комплекс ООО «Прикладные программы» | Диспетчерская информационная система «Модус» |
|--------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|--------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|

|                 |                                                                                                                                                |                                                                                                |                                                                                                                                                                             |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Режим «On-lain» | Контроль режимов работы диагностических приборов. Возможность просмотра осциллограмм и векторных диаграмм происходящих на линии процессов [3]. | Ведение статистики работы коммутационных аппаратов, изменений режимов работы оборудования [4]. | Возможность просмотра осциллограмм и векторных диаграмм происходящих на линии процессов. Информация о состоянии оборудования. Вывод показаний аналоговых телеизмерений [5]. |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

При покупке дорогостоящего программного оборудования, конечный потребитель обращает внимание на возможность дополнения различными модулями свой комплекс для выполнения различных задач, таблица 4.

Таблица 4 – Дополнительные модули

|                       |                                                                                                                                    |                                                                |                                                                        |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Название программы    | «Антракс»<br>Цифровая система управления РЭС                                                                                       | Оперативный информационный комплекс ООО «Прикладные программы» | Диспетчерская информационная система «Модус»                           |
| Дополнительные модули | Присутствует. При использовании позволяет осуществить функции секционирования места аварии и расчета оптимальных переключений [3]. | Отсутствует, продукт предоставляется единым пакетом [4].       | Присутствует. Тренажер по оперативным переключениям для персонала [5]. |

При сравнении продуктов нельзя не затронуть тему недостатков. Поскольку все продукты являются адаптируемыми под разные задачи, на наш взгляд основными недостатками сравниваемых программ (модулей) можно назвать следующие, таблица 5:

Таблица 5 – Недостатки

|                    |                                              |                                                                |                                              |
|--------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Название программы | «Антракс»<br>Цифровая система управления РЭС | Оперативный информационный комплекс ООО «Прикладные программы» | Диспетчерская информационная система «Модус» |
| Недостатки         | Для работы                                   | Отсутствует                                                    | Высокая цена                                 |

|  |                                                                                            |                                                                                      |                                                                                                         |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | комплекса необходимо приобретение полного комплекса оборудования и датчиков производителя. | возможность подключения дополнительных модулей.<br>Нет поддержки режима видео стена. | конечного продукта. Необходимость привлечения специализированного персонала для пуско-наладочных работ. |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Таким образом, проанализировав положительные стороны каждого продукта и выявив недостатки для выполнения конкретной задачи, считаем диспетчерский информационный комплекс «МодуС» наиболее подходящим для реализации системы мониторинга распределительной сети 6-10 кВ с цифровой передачей данных.

#### Список литературы

1. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. [Электронный ресурс]: Доступ из правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Правительство Российской Федерации постановление от 27 декабря 2004 г. N 85. Об утверждении Правил оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике. [Электронный ресурс]: Доступ из правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Антракс//antraks.ru: сайт производителя URL: <http://www.antraks.ru/produktsiya/sistemy-i-kompleksy> (дата обращения 11.11.2019).
4. Прикладные программы// [software2b.ru/](http://www.software2b.ru/) сайт производителя URL: <http://www.software2b.ru/index.php/2013-11-27-07-57-41> (дата обращения 12.11.2019).
5. Программный комплекс для энергетики//[swman.ru/](http://swman.ru/) сайт производителя URL: <http://swman.ru/content/blogcategory/128/197/> (дата обращения 13.11.2019).
6. Дьяченко М.Д. Обзор каналов передачи данных для системы мониторинга городской распределительной сети среднего и низкого напряжения Международный журнал «Инновационная наука» №1 2016г – С/569-582с. –ISSN 1436-4522,

# **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «МВТУ» В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

**Сильвашко С.А., канд. техн. наук, доцент  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

При изучении функционирования электрических машин (ЭМ) важное место занимает исследование их механических и рабочих характеристик. Ввиду высокой стоимости применяемых для этой цели лабораторных стендов, актуальной является задача замены лабораторного оборудования соответствующим программным обеспечением для ЭВМ, позволяющим выполнять математическое моделирование процессов в электрических машинах с достаточной для реализации учебных целей точностью.

В настоящее время для моделирования ЭМ широко применяется матричная математическая система Matlab (пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений) с пакетом блочного имитационного моделирования Simulink. Однако стоимость названного программного обеспечения для одного персонального компьютера соизмерима со стоимостью одного лабораторного стенда, что ограничивает (ввиду недостаточного финансирования материально-технического обеспечения учебного процесса) возможность его использования при выполнении лабораторных работ. С учетом этого следует внедрять в учебный процесс свободно распространяемое программное обеспечение, функциональные возможности которого обеспечивают решение учебных задач. Одной из таких программ является программный комплекс (ПК) «МВТУ» (моделирование в технических устройствах), разработанный авторским коллективом под руководством доцента О. С. Козлова на кафедре «Ядерные реакторы и установки» Московского государственного технического университета (МГТУ) им. Н. Э. Баумана.

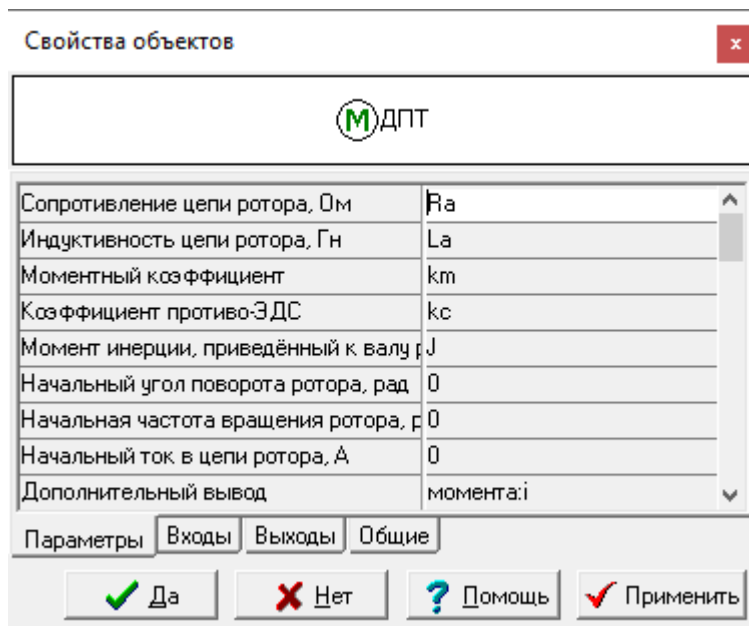
ПК «МВТУ» находит широкое применение в учебном процессе для моделирования переходных процессов и исследования устойчивости в различных технических системах, описание динамики которых может быть реализовано методами структурного моделирования [1]. Вместе с тем программный комплекс содержит библиотеку «Электромшины» с моделями электрических машин (двигателя постоянного тока, асинхронного и синхронного двигателей, 2х-фазного и 3х-фазного генераторов и др.), что позволяет использовать его для исследования электродвигателей различных типов.

Особенности моделирования асинхронного электродвигателя в среде ПК «МВТУ» рассмотрены в [2]. В данной работе уделим внимание компьютерному моделированию в программном комплексе двигателя постоянного тока. С процедурой построения математической модели исследуемой системы и

особенностями использования этой модели при проведении исследований в среде ПК «МВТУ» можно ознакомиться в [3].

В библиотеке ПК «МВТУ» имеется блок , реализующий математическую модель двигателя постоянного тока (ДПТ) с независимым возбуждением. Блок имеет два входных и три выходных порта. На один из входных портов подают сигнал возмущающего момента, а на второй – сигнал, соответствующий напряжению питания двигателя (напряжению, приложенному к якорю). На выходных портах формируются сигналы: угол поворота вала, рад; угловая скорость, рад/с; момент, развиваемый на валу двигателя, Н·м. Дополнительно на третий выход можно выводить сигнал, соответствующий току в цепи якоря двигателя (в амперах).

Для функционирования блока в окне «Свойства объектов» (рисунок 1) необходимо задать числовые значения следующих параметров: сопротивления цепи якоря  $R_a$ , Ом; индуктивности цепи якоря  $L_a$ , Гн; моментного коэффициента  $k_m$ ; коэффициента противо-ЭДС  $k_c$ ; момента инерции якоря  $J$ , кг·м<sup>2</sup>. Кроме этого дополнительно можно задать: начальный угол поворота вала двигателя, рад; начальную угловую скорость вращения вала двигателя, рад/с; начальный ток в цепи якоря, А. Чтобы обеспечить возможность выводить сигнал, соответствующий току в цепи якоря двигателя, в поле «Дополнительный вывод» добавить символ «i».



| МДПТ                                                  |            |
|-------------------------------------------------------|------------|
| Сопротивление цепи ротора, Ом                         | Ra         |
| Индуктивность цепи ротора, Гн                         | La         |
| Моментный коэффициент                                 | km         |
| Коэффициент противо-ЭДС                               | kc         |
| Момент инерции, приведённый к валу, кг·м <sup>2</sup> | J          |
| Начальный угол поворота ротора, рад                   | 0          |
| Начальная частота вращения ротора, рад/с              | 0          |
| Начальный ток в цепи ротора, А                        | 0          |
| Дополнительный вывод                                  | момента: i |

Параметры Входы Выходы Общие

Да Нет ? Помощь Применить

Рисунок 1 – Окно свойств двигателя

Если числовые значения требуемых для модели параметров электродвигателя в паспорте на двигатель отсутствуют, их можно вычислить с достаточной для проведения исследований в учебных целях точностью по формулам [4]:

$$k_m = \frac{M_n}{I_n}, \quad (1)$$

где  $M_n$  – пусковой момент двигателя, Н·м;

$I_n$  – пусковой ток якоря двигателя, А,

$$k_c = \frac{M_n}{I_a}, \quad (2)$$

где  $M_n$  – номинальный момент двигателя, Н·м;

$I_a$  – номинальный ток якоря двигателя, А,

$$R_a = \frac{U_a - \frac{\pi k_c n}{30}}{I_a}; \quad (3)$$

где  $U_a$  – номинальное рабочее напряжение двигателя, В;

$n$  – номинальная частота вращения вала двигателя, об/мин,

$$L_a \approx \frac{3,82 R_a}{n}. \quad (4)$$

Структурная схема компьютерной модели лабораторной установки для проведения исследований механической характеристики ДПТ в среде ПК «МВТУ» приведена на рисунке 2.

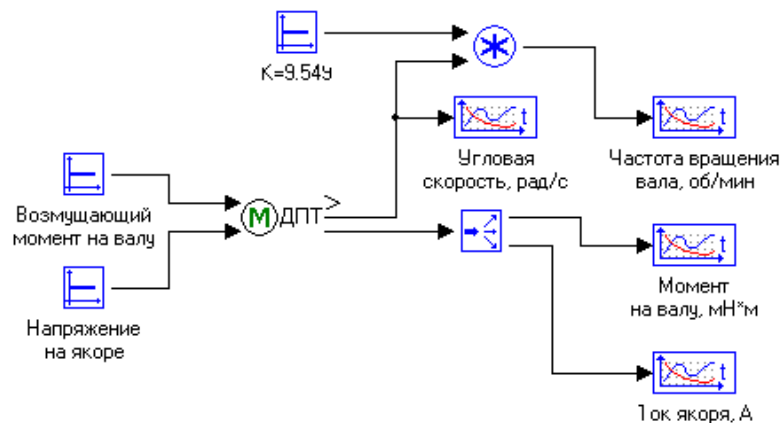


Рисунок 2 – Схема для проведения исследований

В схеме на рисунке 2 блок с подписью «K = 9.549» используется для преобразования угловой скорости вращения вала двигателя в частоту вращения.

На рисунке 3 приведены временные диаграммы сигналов, полученных в результате моделирования микродвигателя постоянного тока ДПР-32-Н5-02 с номинальным напряжением питания 27 В, номинальным током в цепи якоря 0,11 А и номинальной частотой 4000 об/мин при значении возмущающего момента  $M = 0,0013$ . Как видно из рисунка, модель адекватно отображает процесс изменения тока в цепи якоря от момента пуска двигателя (пусковой ток существенно больше, чем ток в установившемся режиме) до момента установления скорости.

Для построения механической характеристики двигателя достаточно определить частоту вращения вала (установившееся значение) при нескольких значениях возмущающего момента на валу (от нуля до номинального момента двигателя).

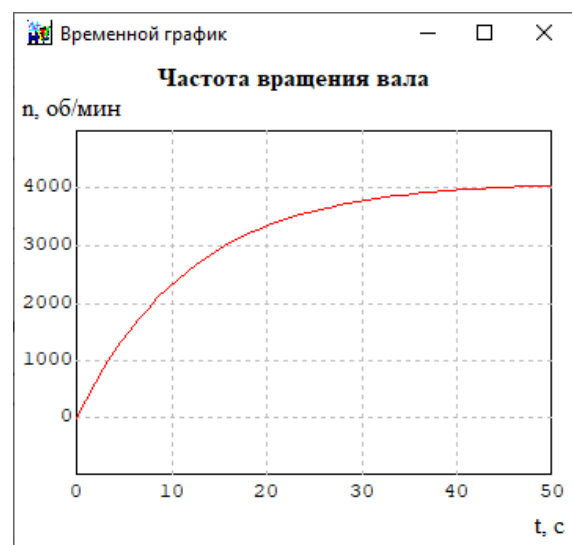
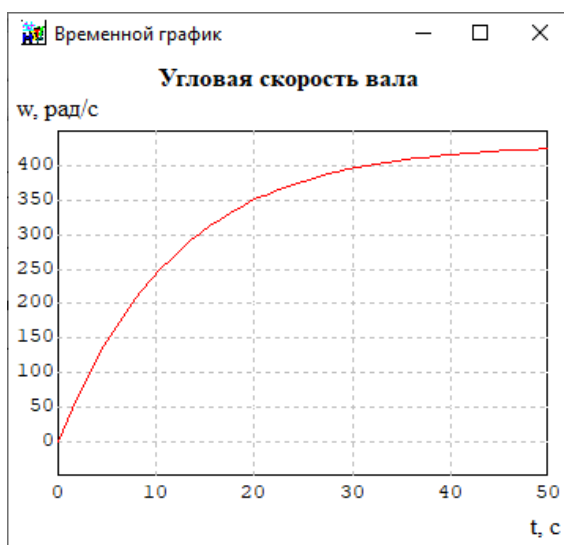
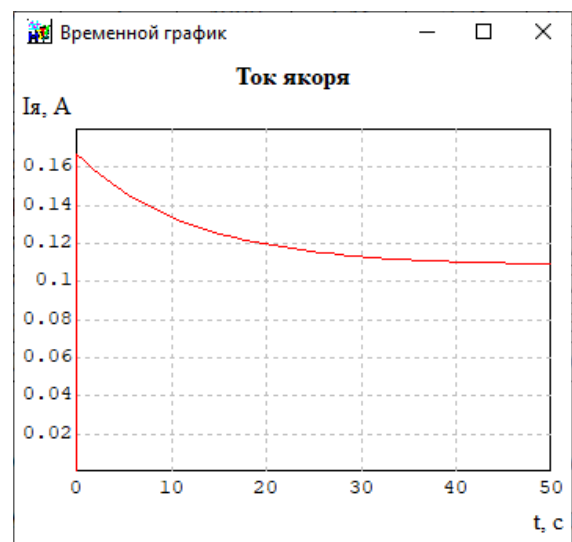
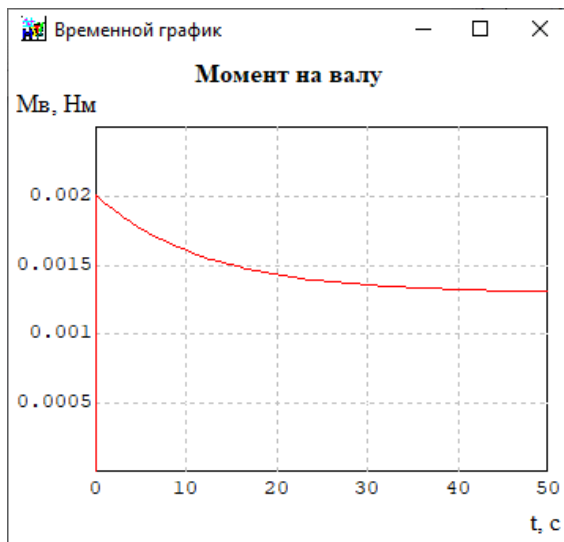


Рисунок 3 – Временные диаграммы сигналов на выходах модели двигателя

Структурная схема, приведенная на рисунке 2, может быть использована, в том числе, для исследования регулировочной характеристики ДПТ ( $n = f(U_a)$ ) при использовании непрерывного управления. С этой целью достаточно изменять напряжение на якоре двигателя при фиксированном значении возмущающего момента на валу и определять соответствующую напряжению частоту вращения вала двигателя.

Для исследования регулировочной характеристики ДПТ при импульсном управлении (при использовании в качестве управляющего напряжения сигнала с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ-сигнала)) можно воспользоваться структурной схемой, приведенной на рисунке 4. Среднее значение напряжения на выходе генератора ШИМ-сигнала ( $U_{cp}$ , следовательно, и на якоре ДПТ) обратно пропорционально скважности  $q$  импульсной последовательности:

$$U_{cp} = \frac{U_a}{q}, \quad (5)$$

где  $U_a$  – номинальное рабочее напряжение двигателя, В,

$$q = \frac{T_1 + T_2}{T_1}. \quad (6)$$

где  $T_1$  – длительность импульсов управляющего напряжения;  
 $T_1 + T_2$  – период следования импульсов.

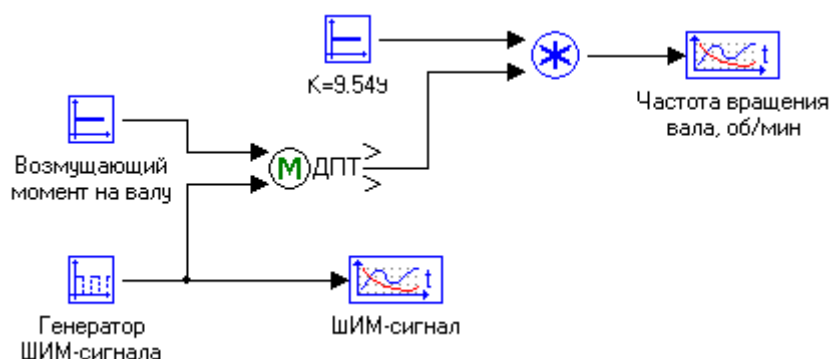


Рисунок 4 – Схема для исследования регулировочной характеристики ДПТ

Как задать параметры ШИМ-сигнала в окне «Свойства объектов» блока «Генератор ШИМ-сигнала» показано на рисунке 5.

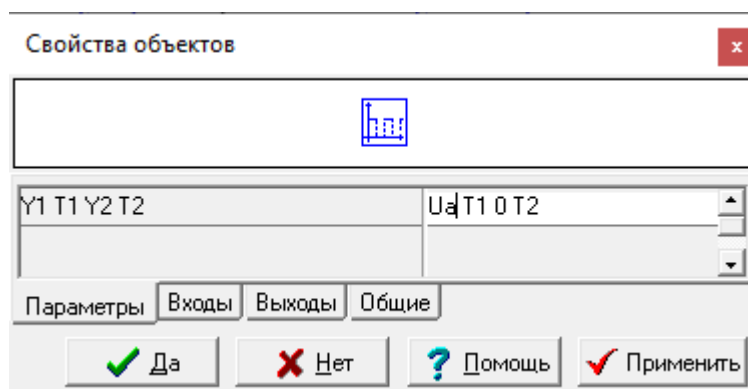


Рисунок 5 – Установка параметров ШИМ-сигнала

Изменяя скважность  $q$  импульсной последовательности в диапазоне от 0,5 до единицы и определяя соответствующие значения частоты вращения вала, можно построить регулировочную характеристику ДПТ.

Таким образом, программный комплекс ПК «МВТУ» может быть использован в учебном процессе как при моделировании систем автоматического регулирования, так и при моделировании электрических машин с целью исследования их механических и регулировочных характеристик.

### Список литературы

1 Ершова, Н. М. Применение систем моделирования в дисциплине «Современная теория управления динамическими системами» бакалавров специальности «Компьютерные науки» / Н. М. Ершова, Н. А. Вельмагина // Вестник Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. – 2017. – № 5. – С. 60 – 68.

2 Дмитриев, В. Н. Разработка и анализ математической модели асинхронного электродвигателя в программном комплексе MBTU 3.7 / В. Н. Дмитриев, А. А. Горбунов, М. М. Мухитов // Вестник УлГТУ. – 2009. – № 4. – С. 39 – 43.

3 Инструкция пользователя программным комплексом «Моделирование в технических устройствах» (ПК «MBTU», версия 3.6) / О. С. Козлов, Д. Е. Кондаков, Л. М. Скворцов, В. В. Ходаковский. – Москва: Учебно-научный центр «НУКЛОН» при МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 187 с.

4 Иванов-Смоленский, А. В. Электрические машины : учебник для вузов. В 2-х т. Том 2 / А. В. Иванов-Смоленский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательство МЭИ, 2004. – 532 с. – ISBN 5-7046-0913-9 (т. 2); ISBN 5-7046-0914-7.

# **МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЕДИНИЦЫ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ПОДВИЖНОЙ ОПОРЫ**

**Соколов В.Ю., канд. техн. наук, доцент,**

**Бисенов А. С.**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования**

**«Оренбургский государственный университет»**

Тепловое состояние подвижной опоры зависит от уровня нагрузок на опору которые возникают в процессе перемещения. Уровень нагрузок в свою очередь зависит от нагрузки платформы, жесткости пути, характера неровностей, траектории участка пути и других факторов, которые необходимо учитывать - при моделировании. Узел опоры при движении платформы совершает динамические движения, вызванные неровностями пути, неравномерностью жесткости пути, автоколебательными процессами сил сухого трения - в гасителе колебаний и другими причинами. Эти смещения являются внешними факторами, влияющими на мощность сигнала в инфракрасном приемнике, что должно учитываться при создании модели. Выходные данные исследования движения представляют собой главным образом радиальную и осевую составляющие силы, действующей на узел оси. Вертикальные и горизонтальные перемещения узлов осей и других узлов, попадающих в зону управления станции технического контроля. Модели, разработанные различными авторами [1-4] с использованием данной программной среды, могут быть использованы для моделирования любого вида преобразования энергии качения в тепловое излучение. Теоретические положения разработки модели движения платформы основаны на теории анализа динамики систем сопряжённых тел. Транспортные энергетические средства - многомерные голономные системы. Положение каждой точки измерения представлено пятью обобщенными координатами, соответствующими шести степеням свободы твердого тела. Эти координаты можно объединить в вектор распределения размерности  $6 \times 1$ :

$$\underline{q} = [r_{i,x} \ r_{i,y} \ r_{i,z} \ \chi_i \ \psi_i \ \varphi_i]^T \quad (1)$$

В расчет принята голономная система - грузовой вагон - которая состоит из 19 тел и четырех голономных ограничений, имеет  $m$  степеней свободы:  $m = 6n - k = 110$ . Положение системы может быть однозначно определено с помощью 110 обобщенных координат  $q$ , суммированных в вектор состояния.

В расчетной схеме, описывающей перемещение тележки вагона, с каждым телом условно связывается собственная система координат. Имеются также две общие системы координат: базовая неподвижная и путевая.

Подвижная система координат движется вдоль оси пути относительно базовой неподвижной.

Смещение каждого элемента системы фиксируется относительно подвижной системы координат вектором перемещения центра масс и матрицей направляющих косинусов (матрицей поворота). Для описания движения всего тела каждая точка тела определяется координатами в собственной и путевой системе координат тела и задается радиус-вектором. Положение каждого тела из 19 тел расчетной схемы вагона по отношению к путевой системе координат определяется вектором положения  $r_i$  центра масс  $C_i$  каждого тела и матрицей поворота  $\Pi_i$  (направляющих косинусов):

$$\underline{r_i} = (r_{xi} r_{yi} r_{zi})^T, i=1-19 \quad (2)$$

$$\underline{\Pi_i} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix},$$

где  $r_{xi} r_{yi} r_{zi}$ - проекции вектора на оси путевой системы координат;  $a_{11} - a_{33}$  косинусы углов между соответствующими ортами собственной системы координат и путевой.

Подчеркивание понизу принято для обозначения матриц для всех параметров. Положения учитываемых элементов тележки вагона записываются в путевой системе координат кинематическими соотношениями в матричном виде:

$$\begin{aligned} r_i^{(0)} &= r_i^{(0)}(q, t); \Pi_i = \Pi_i(q, t); i = 1 \dots 19 \\ v_i^{(0)} &= D_i^{(0)} \cdot (\dot{q}) + w_i'^{(0)}; w_i^{(0)} = B_i^{(0)} \cdot (\dot{q}) + w_i'^{(0)} \\ a_i^{(0)} &= D_i^{(0)} \cdot (\ddot{q}) + a_i'^{(0)}; \varepsilon_i^{(0)} = B_i^{(0)} \cdot (\ddot{q}) + \varepsilon_i'^{(0)} \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь  $i$  -обозначение любого элемента системы;  $r_i^{(0)}$  - радиус-вектор начала системы координат;  $v_i^{(0)}, w_i^{(0)}, a_i^{(0)}, \varepsilon_i^{(0)}$  - линейные и угловые скорости и ускорения по выбранной системе координат

Положение системы координат пути в свою очередь регистрируется через функция времени в зависимости от скорости перемещаемого элемента и углов, характеризующих положение системы координат дорожки относительно фиксированного основания системы координат.

При замене указанных выше кинематических отношений в уравнения динамики Ньютона-Эйлера которое после преобразования примет форму системы обычных дифференциальных уравнений второго порядка,

описывающих движение системы в обобщенных координатах, с нелинейными правыми сторонами (в виде матрицы).

$$\sum_{i=1}^{19} M_i((q, t))\ddot{q} + \sum_{i=1}^{19} k_i((q, \dot{q}, t))\ddot{q} = \sum_{i=1}^{19} Q_i \quad (4)$$

где  $M_{\_}$  - матрица масс;  $k$  — матрица-столбец сил инерции;  $Q$  - матрица-столбец обобщенных сил.

Для деривации правой части - обобщённых сил - была разработана математическая модель силовых связей в телеге, затем был сделан синтез общих уравнений движения с использованием аналитической программной среды «Универсальный механизм». Для этого авторы разработали программное обеспечение для математических моделей отношений на языке используемой аналитической программной среды (APS).

#### Список литературы

1 Погорелов Д.Ю. Введение в моделирование динамики систем тел: Учеб. пособие. - Брянск: Изд-во БГТУ, 1997. - 156 с.

2 Погорелов Д.Ю., Павлюков А.Э., Юдакова Т.А., Котов С.В. Моделирование контактных взаимодействий в задачах динамики систем тел / Динамика, прочность и надежность транспортных машин: Сб. науч. тр. / Под ред. В.И. Сакало. Брянск: БГТУ, 2001. С. 11-23.

3 Погорелов Д.Ю., Толстошеев А.К., Ковалев Р.В. и др. Динамический анализ и синтез механизмов с использованием программы УМ // Брянск: Изд-во БГТУ, 1997. - 16 с.

4 Ковалев Р.В., Погорелов Д.Ю. Параметрическая оптимизация механических систем в программном комплексе "Универсальный механизм" // Тезисы докладов пятого международного симпозиума по классической и небесной механике, 23-28 августа, 2004 года, Великие Луки. - С. 107.

# **АНАЛИЗ ОПЫТА ФАКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОТУРБИННЫХ АГРЕГАТОВ Capstone C1000, ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ**

**Соколов В.Ю., канд. техн. наук, доцент  
Карпухов В.Н., начальник службы энергообеспечения  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»,  
Ямальского филиала ООО «Газпромтранс»**

В данной работе мной проведен анализ опыта фактической эксплуатации газотурбинных электроагрегатов (далее ГТЭА) Capstone C1000, мощностью 1000 кВт. Обобщены основные проблемы, возникавшие при эксплуатации данных ГТЭА. Представлены методы решения данных проблем, как уже проверенные опытным путем и зарекомендовавшие себя, так и находящиеся в стадии опытной эксплуатации.

ГТЭА Capstone C1000 представляет собой кластер из 5-и микротурбинных установок (далее МТУ) Capstone C200, мощностью 200 кВт каждая, работающих на газовом топливе. В качестве топлива может использоваться газ 4-х видов:

- природный газ высокого давления (HPNG);
- природный газ низкого давления (LPNG);
- свалочный (анаэробный) газ высокого давления;
- промышленный пропан высокого давления.

МТУ C200 представляет собой турбинный двигатель на воздушных подшипниках, с установленным на роторном валу трехфазным двух полюсным генератором с переменной скоростью вращения – от 20 000 до 60 000 тыс. об./мин.

ГТЭА Capstone C1000 может работать в трех рабочих режимах:

- параллельно с внешней сетью (режим grid connect);
- автономно (режим stand alone);
- совмещенно (режим dual mode).

Особенностью ГТЭА Capstone C1000 является возможность объединения в единый кластер MultiPack, до 10-и агрегатов.

Ниже представлен анализ опыта эксплуатации кластера из 4-х ГТЭА Capstone C1000 (20 единиц МТУ), работающих на природном газе высокого давления в режиме stand alone, общей мощностью 4 МВт за период с 2015 года по октябрь 2019 года включительно.

Ключевые моменты эксплуатации ГТЭА Capstone C1000, на которые следует обратить внимание, можно разделить на 3 укрупненные группы:

1. Технические особенности оборудования Capstone C1000.

2. Неисправности, выходы из строя запасных частей и отдельных узлов, аварийные ситуации и ошибки программного обеспечения, возникающие в процессе эксплуатации.

3. Ценообразование на запасные части, расходные материалы и сервисное обслуживание на территории РФ.

В группу технических особенностей мной были выделены некоторые конструкторские и технические решения ГТЭА Capstone C1000, которые влияют на процесс эксплуатации, вынуждая обслуживающий персонал подстраивать работу энергетического комплекса под данные особенности.

К таким особенностям относятся:

- необходимость поддержания в работе нескольких дополнительных МТУ в качестве «горячего резерва» для обеспечения стабильной работы ГТЭА, особенно при электроснабжении потребителей с резкопеременной нагрузкой. Выбор количества МТУ для обеспечения «вращающегося резерва» устанавливается как примерная величина максимального изменения потребности в электроэнергии с учетом собственных нужд ГТЭА (заряд аккумуляторных батарей). Влечет за собой дополнительный расход газового топлива и амортизацию оборудования. Количество МТУ, находящихся в «горячем резерве» напрямую зависит от состояния аккумуляторных батарей (далее АКБ);

- зависимость стабильной работы ГТЭА от состояния и качества АКБ. Всего в состав 4-х ГТЭА входит 960 герметичных свинцово-окисдных АКБ, по 48 единиц в каждой МТУ.

- более высокая чувствительность релейной защиты МТУ по отношению к другим релейным защитах сети. Невозможность выполнить настройку селективности, так как время срабатывания отсечки МТУ быстрее чем у коммутационных аппаратов сети;

- невозможность включения силовых трансформаторов в сеть без полного отключения всех ГТЭА, так как намагничивание трансформатора воспринимается машиной как короткое замыкание в сети, после чего она сбрасывает нагрузку;

- требовательность к заземлению. Для ГТЭА Capstone C1000 важно чтобы заземление во всей сети было выполнено по системе TNS, присутствие в сети других систем заземления вызывает нестабильную работу турбин вплоть до остановок.

Таким образом, фактическая эксплуатация ГТЭА Capstone C1000 в некоторой степени отличается от заявленной компанией-изготовителем Capstone Inc. надежности, и экономичности, а также простоты оборудования.

Но самыми значительными проблемами, с которыми пришлось столкнуться во время эксплуатации агрегатов, оказались многочисленные аварийные остановки как самих агрегатов в целом, так и отдельно взятых МТУ. Причинами таких остановок послужили неисправности отдельных запасных частей и узлов МТУ, программные сбои и ошибки связи.

Причины аварийных остановок можно разделить на несколько групп, отображенных.

1. **Неисправности «горячей» части.** К ним относятся неисправности, связанные с элементами МТУ, где происходит сжигание топлива, а также с системой топливоподачи, начиная от выхода из строя форсунок, деформации запальных свечей, и заканчивая прогаром камер сгорания и заклинивания роторной части (Power Head). Регулярный прогар камер сгорания является самой значительной проблемой, выявленной при эксплуатации ГТЭА, которая до сих пор находится на стадии решения. Об этой проблеме ниже остановлюсь отдельно.

2. **Неисправности, связанные с АКБ.** В связи с тем, что в режиме Stand alone АКБ осуществляют запуск микротурбин, их остановку и компенсацию кратковременного увеличения мощности в сети, то основные виды неисправностей АКБ - это преждевременный выход из строя либо разряд батарей из-за увеличения мощности в сети. Как правило обе неисправности связаны с неправильным выбором количества МТУ для «горячего» резерва или с неправильным выбором марки АКБ.

3. **Сбои программного обеспечения** (далее ПО) – это все неисправности, связанные с неправильной работой ПО. Решить данную проблему без обращения к компании разработчику не представляется возможным, так как производители оборудования категорически не допускают потребителей к исходным кодам ПО. Опыт эксплуатации показал, что, для стабильной работы ГТЭА, необходимо не реже одного раза в год полностью переустанавливать ПО и прошивки на всех МТУ.

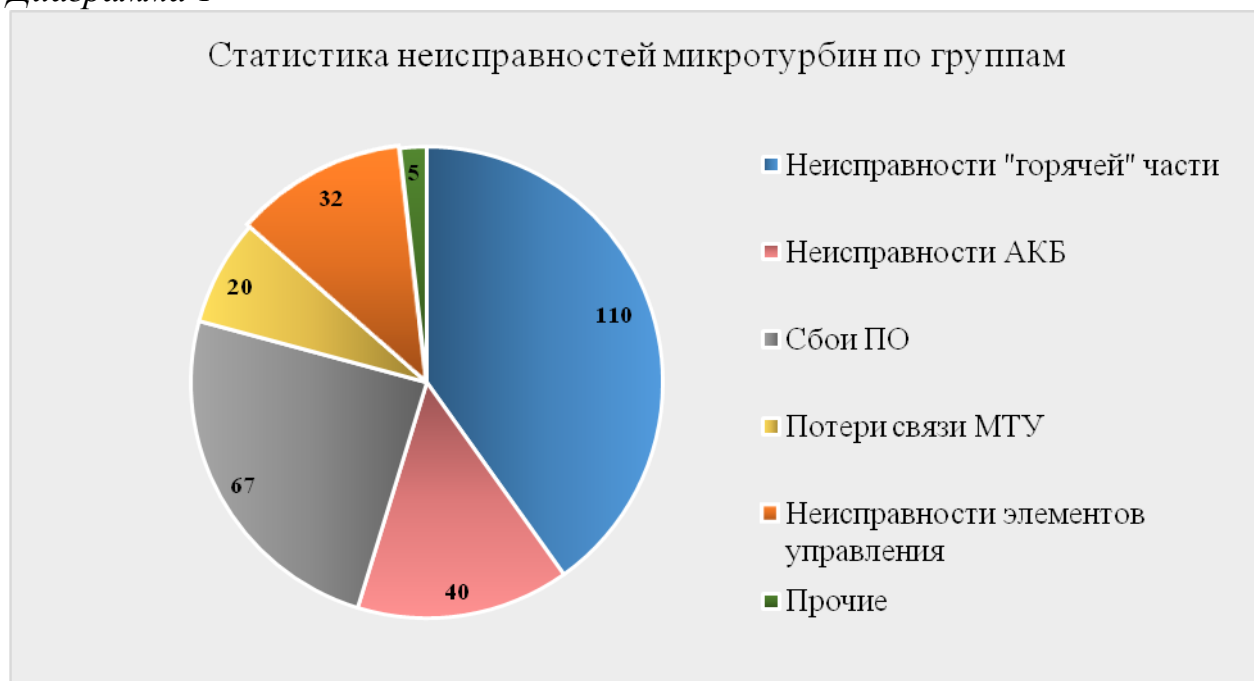
4. **Потеря связи внутри МТУ и между МТУ в кластере.** Для работы в режиме Stand alone одна из МТУ в кластере на программном уровне назначается ведущей (master), остальные ведомыми (slave). Ведущая МТУ первой принимает на себя нагрузку, распределяя ее по ведомым МТУ. Потеря связи между МТУ приводит к остановке агрегата по перегрузке, потеря связи внутри МТУ к ее остановке, что в дальнейшем также приводит к остановке всего агрегата.

5. **Неисправности, связанные с элементами управления.** К данному типу неисправностей относятся все виды выходов из строя плат управления МТУ и других элементов силовой электроники, то есть то, что называется неисправностями «железа».

Ниже в диаграмме 1 приведена статистика по группам неисправностей за анализируемый период.

Из диаграммы № 1 видно, что больше всего неисправностей приходится именно на неисправности «горячей» части. Вторыми по численности являются сбои ПО, далее идут неисправности АКБ, элементов управления и потери связи. К прочим неисправностям относятся аварийные остановки, вызванные сработкой релейной защиты ГТЭА, по причине коротких замыканий в сети. Это именно те случаи, когда сработка релейной защиты турбин происходит быстрее сработки коммутационных аппаратов.

Диаграмма 1



В диаграмме 2 приведена общая статистика аварийных остановок МТУ в составе ГТЭА Capstone C1000 с разбивкой по годам.

Диаграмма 2



Из диаграммы видно, что пик аварийных остановок приходится на 2016 год. В тот же период стали впервые диагностироваться деформации и прогары камер сгорания МТУ. К этому моменту ГТЭА находились в эксплуатации 4-е года (эксплуатация началась в 2012 году). Общий вид камеры с прогаром представлен на рисунке 1.

*Рисунок 1*



На проблеме прогара камер сгорания хочу остановиться подробнее, так как до настоящего времени она не имеет конечного решения.

Заявленный производителем срок службы камер сгорания до замены составляет 20 000 моточасов, но первые прогары появились при наработке 8 087 что более чем в половину меньше, заявленного ресурса.

Проведенный анализ условий эксплуатации ГТЭА и характеристик используемого газового топлива показал, что агрегаты эксплуатируются в полном соответствии с требованиями предприятия-изготовителя. Качество газового топлива также соответствует требованиям предприятия-изготовителя.

При этом, прогар камер сгорания выявлялся при разной наработке моточасов, причем не у каждой МТУ, что позволяло сделать вывод: либо о конструкторской недоработке МТУ, либо об использовании разных сортов металла при изготовлении камер сгорания, и, соответственно отнести данные неисправности к гарантийному случаю.

По этой причине, нашим предприятием было инициировано обращение к официальному дилеру Capstone Inc. на территории РФ о гарантийной замене камер сгорания. Официальный дилер не признал данный случай гарантийным и предложил приобрести новые камеры сгорания, взамен вышедших из строя. Стоимость одной новой камеры сгорания по цене дилера составляла порядка 14 000 тысяч долларов США. В настоящее время эта цена в России составляет – 36 000 тысяч долларов. Необходимо отметить, что несмотря на то, что корпорация Capstone официально не признала прогары камер сгорания следствием конструктивных недостатков, на всех турбинах, произведённых после 2015 года установлены камеры сгорания изменённой (доработанной) конструкции.

По причине высокой стоимости камер сгорания, нами было принято решение о проведении их ремонта. В течении 2017 года организацией, осуществляющей обслуживание ГТЭА, была проведена работа по поиску заводов, готовых осуществить ремонт камер, а также подбору металла для такого ремонта.

Единственной организацией, которая оказалась готовой осуществлять ремонт камер сгорания, оказался один из авиационных заводов на территории республики Беларусь.

Отремонтированные данным заводом камеры представлены на рисунках 2 и 3.

*Рисунок 2*

*Рисунок 3*



С подбором металла для камер сгорания, также возникли определенные проблемы. На начальных этапах отремонтированные камеры повторно прогорали после 100-300 часов наработки. Со временем, этот показатель увеличивался, в настоящий момент отремонтированные камеры сгорания работают более 10 000 моточасов. Кроме того, в качестве эксперимента на одну из отремонтированных камер нанесли керамическое напыление, в настоящее время она находится в опытно-промышленной эксплуатации.

Стоит отметить, что две МТУ до настоящего времени работают на оригинальных камерах и имеют наработку более 20 000 моточасов.

В настоящее время, нами проведено уже 32 ремонта камер сгорания. Статистика выходов из строя камер сгорания по наработке моточасов указана в таблице 1.

Подводя итоги проведенного анализа можно сказать, что опыт фактической эксплуатации ГТЭА Capstone C1000 показал ряд отличий работы агрегата от заявленного компанией- производителем. Имеется ряд недостатков и особенностей агрегатов, освещенные в данной статье.

К тому же эксплуатация ГТЭА осложняется нежеланием дистрибьютора сотрудничать в части устранения конструкторских недоработок и высокая стоимость расходных материалов и запасных частей. Но тем не менее ГТЭА Capstone C1000 является достаточно перспективной энергогенерирующей установкой и при наличии должной доработки вполне может занять достойную нишу для автономного энергоснабжения небольших предприятий или поселков, что особенно актуально для энергорайонов расположенных изолировано от ЕЭС Российской Федерации.

*Таблица 1- Статистика выхода из строя камер сгорания*

| Наименование агрегата                                                                          | Наработка камер на момент прогара, моточасы |   |   |   | Общая наработка, моточасы | Примечание   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---|---|---|---------------------------|--------------|
|  МТУ С200 А | -                                           | - | - | - | 20 704                    | Оригинальная |

|             |            |        |        |        |        |        |                        |
|-------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------------|
|             |            |        |        |        |        |        | камера                 |
|             | MTU C200 B | 12 287 | -      | -      | -      | 18 879 |                        |
|             | MTU C200 C | 16 078 | -      | -      | -      | 20 022 |                        |
|             | MTU C200 D | 13 121 | 13 242 | 14 571 | 18 578 | 19 962 |                        |
|             | MTU C200 E | 18 578 | -      | -      | -      | 19 824 |                        |
| ГТЭА<br>№ 2 | MTU C200 A | 11 444 | 14 588 | 17 614 | -      | 20 053 |                        |
|             | MTU C200 B | 8 087  | 9 390  | -      | -      | 17 700 |                        |
|             | MTU C200 C | -      | -      | -      | -      | 1 278  | MTU неисправна         |
|             | MTU C200 D | -      | -      | -      | -      | 22 558 | Оригинальная<br>камера |
|             | MTU C200 E | 8 567  | -      | -      | -      | 20 636 |                        |
| ГТЭА<br>№ 3 | MTU C200 A | 16 054 | -      | -      | -      | 19 737 |                        |
|             | MTU C200 B | 9 377  | 9 488  | 9 942  | 13 892 | 18 128 |                        |
|             | MTU C200 C | 13 656 | -      | -      | -      | 18 566 |                        |
|             | MTU C200 D | 10 424 | -      | -      | -      | 18 253 |                        |
|             | MTU C200 E | 9 472  | 9 754  | 17 448 | -      | 18 757 |                        |
| ГТЭА<br>№ 4 | MTU C200 A | 10 867 | 11 207 | 12 827 | 19 203 | 20 429 |                        |
|             | MTU C200 B | 9 736  | -      | -      | -      | 22 086 |                        |
|             | MTU C200 C | 16 121 | -      | -      | -      | 18 580 |                        |
|             | MTU C200 D | 11 149 | 16 888 | -      | -      | 17 694 |                        |
|             | MTU C200 E | 20 545 | -      | -      | -      | 20 714 |                        |

В настоящее время продажи микротурбин в России очень сильно упали по сравнению с периодом до 2014 года, и перспектив их резкого роста нет. Единственный стабильный доход теперь может обеспечить только продажа запчастей, а также сервис. Но это не те десятки миллионов долларов в год, которые хотели бы получить новые дистрибьюторы.

После того как в 2014 году курс доллара сильно подскочил, рублевые цены на микротурбины Capstone выросли настолько, что новое оборудование теперь доступно очень ограниченному числу покупателей. Эта техника и при 30-33 руб./долл. была очень дорогой. И теперь по курсу около 70 руб./долл., Capstone может позволить себе, в общем, только предприятия нефтегазового сектора российской экономики.

Для всех остальных сейчас это крайне дорого. В качестве основного решения, прежде всего, следует обратить внимание на вторичные микротурбины (которые недавно были в работе, с машинами на консервации проблем может быть больше чем на тех что используются), и только в случае невозможности реализовать этот вариант рассмотреть возможность покупки нового Capstone. Кроме того, хорошей альтернативой микротурбинам являются более дешёвые газопоршневые установки российской сборки с немецкими двигателями MAN.

Сейчас в России для оборудования Capstone нефтегазовая отрасль - наиболее привлекательный рынок. Что касается других секторов, то без

изменения американской ценовой политики в ближайшие годы вряд ли можно ожидать серьезного роста продаж микротурбин.

Модель российской газотурбинной установки МГТУ-100 можно рассматривать как аналог микротурбин Capstone. Использование этих установок позволяет эффективно решать задачи автономного производства электрической энергии, резервирования электроснабжения, снижения нагрузки на централизованную энергосистему, обеспечивает дополнительные мощности, что значительно повышает эффективность производственных процессов в объекте реализации. МГТУ-100 обладает способностью трансформироваться в когенерационную установку, что позволяет решать сложные задачи электроснабжения и теплоснабжения нефтегазовых месторождений, производственной инфраструктуры и т. д. Конструкторские особенности микротурбинных электростанций производства ОАО СКБ "Турбина" позволяет использовать попутный нефтяной газ в качестве топлива, что резко повышает экологичность производственного процесса, позволяет отказаться от систем утилизации факелов, позволяет использовать электрическую энергию для собственных нужд.

#### Список литературы

1. Газотурбинные электроагрегаты С600, С800, С1000. Руководство по эксплуатации, БПЦЭ.400024.00РЭ, ВРС group, 2010 год.
2. Руководство по диагностике и устранению неисправностей в микротурбинном агрегате Capstone модели C200/C1000 (Troubleshooting Guide), ВРС group, 2011 год.
3. Техническое руководство. Программное обеспечение Capstone Remote Monitoring System (CRMS) для Advanced Power Server (APS) и контроллера серии C1000, ВРС group, 2011 год.
4. Техническое руководство. Двухрежимный контроллер Capstone Dual Mode Controller Technical Reference, ВРС group, 2011 год.

## **УСТАНОВКА АБСОРБЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ НУЖД КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ МОЛЛА «АРМАДА»**

**Соколов В. Ю., канд. техн. наук, доцент,**

**Кузнецов П. В., Рычкова А. С.**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное**

**учреждение высшего образования**

**«Оренбургский государственный университет»**

В настоящее время в системе кондиционирования воздуха молла «Армада» применяются парокомпрессионные чиллеры (парокомпрессионные холодильные машины), охлаждающие направляемые в систему фанкойлов воду[2].

Для производства холода парокомпрессионные холодильные машины (ПКХМ) используют электрическую энергию. В отличие от них абсорбционных холодильных машины (АБХМ) для производства холода используют тепловую энергию (в горячей воде или паре), а электрическую энергию – преимущественно для работы циркуляционных насосов. По оценкам производителей холодильных машин при одной и той же хладопроизводительности потребление электроэнергии абсорбционных холодильных машин составляет 21% потребления электроэнергии парокомпрессионных холодильных машин [1].

При замене чиллеров парокомпрессионных холодильных машин на абсорбционные холодильные машины принцип «win-win»[3] между ГК «Армада» и ПАО «Т Плюс» достигается за счёт:

- увеличения объёмов реализации тепловой энергии в летний период года от Сакмарской ТЭЦ (увеличение выручки филиала, увеличение базовой загрузки Сакмарской ТЭЦ и как следствие улучшение ТЭП) – PROFIT для ПАО «Т Плюс»;

- снижения годовых эксплуатационных затрат системы кондиционирования воздуха – PROFIT для ГК «Армада».

Молл «Армада» подключён к водяной тепловой сети от Сакмарской ТЭЦ (магистраль М1 с перемычкой на М3), и в настоящее время потребляет тепловую энергию только на нужды отопления в зимний период года (горячее водоснабжения комплекса осуществляется электрическими водяными нагревателями). Это обуславливает с целью снижения капитальных затрат применение абсорбционных холодильных машин на горячей воде с подводом тепловой энергии в горячей воде в летний период года по существующей тепловой сети. Так как расчётная температура горячей воды, подаваемой к абсорбционным холодильным машинам (120 °С), отличается от температуры воды в летний период в подающих магистралях от Сакмарской ТЭЦ (75 °С), предполагается строительство однотрубного участка тепловой сети от коллекторной СТЭЦ до стойки № 126 (ответвление на молл «Армада») протяжённостью 1500 м, диаметром условного прохода 150 мм по

существующим коридорам, опорам и эстакадам на бывший Шёлкокомбинат. В части обратного трубопровода предполагается использование существующей линии[4].

Принципиальная схема подключения приведена на рисунке 1.

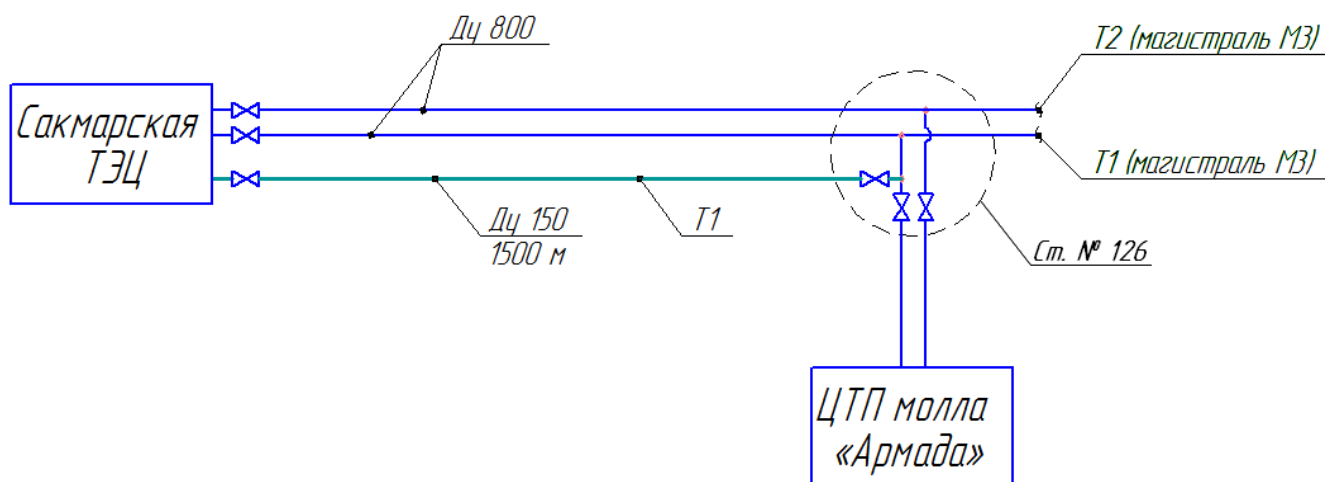


Рисунок 1 – Схема подключения молл «Армада» к Сакмарской ТЭЦ

Трассировка тепловых сетей (отражены строящийся и существующий участки T1, используемая существующая T2 не показана) приведена на рисунке 2.

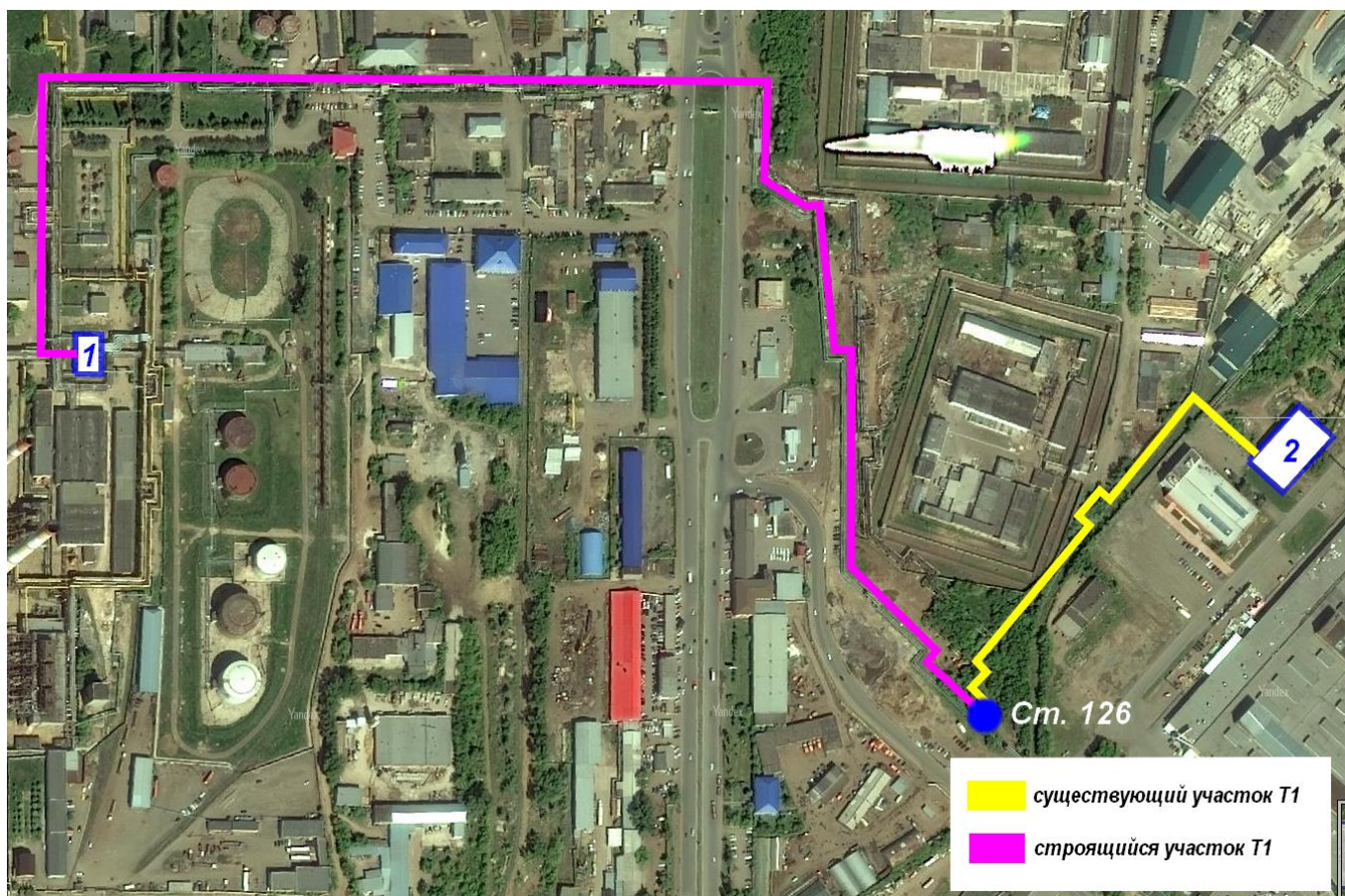


Рисунок 2 – Трассировка тепловых сетей

Помесячные расчётные расходы теплоты на выработку холода абсорбционных холодильных машин на горячей воде для нужд СКВ молла «Армада» (рассчитанные исходя из предоставленных моллом данных фактического потребления электроэнергии на нужды СКВ за 2018 г.) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Расход теплоты на выработку холода молла «Армада»

| Показатель                                                                             | Май    | Июнь   | Июль     | Август | Сентябрь | ВСЕГО<br>за<br>летний<br>период: |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|----------|--------|----------|----------------------------------|
| Расход тепла на производство холода, молл «Армада», Гкал                               | 240,96 | 696,31 | 1 024,63 | 971,41 | 316,23   | 3 249,54                         |
| Расчётная средняя часовая тепловая нагрузка СКВ молла «Армада», Гкал/ч                 |        |        |          |        |          | 0,98                             |
| Расчётная максимально достигнутая часовая тепловая нагрузка СКВ молла «Армада», Гкал/ч |        |        |          |        |          | 4,77                             |

Расчётные капитальные затраты по замене чиллеров парокомпрессионных холодильных машин на абсорбционные холодильные

машины с обеспечением поставки тепловой энергии в горячей воде от Сакмарской ТЭЦ приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Мероприятия на тепловых сетях (затраты ПАО «Т Плюс»)

| № п/п  | Наименование                                                                                                                                                                      | Количество | Измеритель | Стоимость, тыс. руб. без НДС        |                                  | Примечание                                                                                                                                                                            |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        |                                                                                                                                                                                   |            |            | одного измерителя, в исходных ценах | всего объёма, в ценах I кв. 2017 |                                                                                                                                                                                       |
| 1.1    | Строительство участка тепловой сети 1Ду150, надземная прокладка в минераловатной изоляции с покровным слоем из оцинкованной стали по существующим опорам (с учётом ПнР, СМР, ПНР) | 1,5        | км         | 5 500,00                            | 9 817,50                         | По данным оценочной стоимости строительства (реконструкции) тепловых сетей БЕ Инжиниринг ПАО «Т Плюс» с учётом переводного коэффициента от цен 2015 года к ценам I квартала 2018 года |
| 1.2    | Прочие и неучтённые расходы                                                                                                                                                       | —          | —          | —                                   | 981,75                           | Принято в размере 10% от стоимости строительства участка тепловой сети                                                                                                                |
| ИТОГО: |                                                                                                                                                                                   |            |            |                                     | 10 799,25                        | —                                                                                                                                                                                     |

Таблица 3 – Мероприятия на стороне клиента (затраты ГК «Армада»)

|     |                                     |      |     |          |           |                                                                                                                                                                                                 |
|-----|-------------------------------------|------|-----|----------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.1 | Приобретение АБХМ на горячей воде   | 5000 | кВт | 16,00    | 80 010,00 | Исходя из данных поставщиков АБХМ, удельная стоимость АБХМ на горячей воде принята в размере 254\$ за 1 кВт холодопроизводительности, курс доллара в I квартале 2018 года принят равным 63 руб. |
| 2.2 | Приобретение градири для АБХМ       | 1    | шт. | 2 660,00 | 2 793,00  | По данным поставщиков АБХМ в ценах 2019 года, с учётом переводного коэффициента от цен 2018 года к ценам I квартала 2018 года                                                                   |
| 2.3 | Затраты на доставку и хранение АБХМ | 1    | шт. | 321,12   | 321,12    | Принято в размере 12% от стоимости оборудования                                                                                                                                                 |

|        |                                                |   |     |        |           |                                                                                                            |
|--------|------------------------------------------------|---|-----|--------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.4    | Затраты на ПиР АБХМ                            | 1 | шт. | 299,71 | 299,71    | Принято в размере 10% от стоимости оборудования с доставкой                                                |
| 2.5    | Затраты на СМР АБХМ                            | 1 | шт. | 899,14 | 899,14    | Принято в размере 30% от стоимости оборудования с доставкой                                                |
| 2.6    | Затраты на ПНР АБХМ                            | 1 | шт. | 630,00 | 630,00    | Принято в размере 10000\$ по данным поставщиков, курс доллара в I квартале 2018 года принят равным 63 руб. |
| 2.7    | Прочие и неучтенные расходы на стороне клиента | – | –   | –      | 8 495,30  | Принято в размере 10% от суммарной стоимости оборудования, доставки, ПиР, СМР, ПНР                         |
| ИТОГО: |                                                |   |     |        | 93 448,27 |                                                                                                            |

Примечание: Затраты на реконструкцию внутренней системы хладоснабжения молла «Армада» не учтены.

Молл «Армада» здесь рассматривается как коллекторный потребитель с реализацией тепловой энергии в горячей воде по коллекторному тарифу. С целью оценки экономической эффективности подключения холодильной нагрузки молла «Армада» к Сакмарской ТЭЦ рассчитаны следующие варианты:

1. К Сакмарской ТЭЦ одновременно подключается вся тепловая нагрузка СКВ молла «Армада». При этом годовой полезный отпуск тепловой энергии в горячей воде возрастает на величину, указанную в таблице 1.

2. Тепловая нагрузка СКВ молла «Армада» подключается к Сакмарской ТЭЦ 2 равными очередями в течение 2 лет. При этом за период подключения полезный отпуск тепловой энергии в горячей воде от Сакмарской ТЭЦ ежегодно возрастает на 1/2 величины, указанной в таблице 1.

3. Тепловая нагрузка СКВ молла «Армада» подключается к Сакмарской ТЭЦ 3 равными очередями в течение 3 лет. При этом за период подключения полезный отпуск тепловой энергии в горячей воде от Сакмарской ТЭЦ ежегодно возрастает на 1/3 величины, указанной в таблице 1.

4. Тепловая нагрузка СКВ молла «Армада» подключается к Сакмарской ТЭЦ 4 равными очередями в течение 4 лет. При этом за период подключения полезный отпуск тепловой энергии в горячей воде от Сакмарской ТЭЦ ежегодно возрастает на 1/4 величины, указанной в таблице 1.

При этом капитальные затраты ПАО «Т Плюс» по всем вариантам приведены в разделе 1 таблицах 2 и 3.

Показатели экономической эффективности вариантов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели экономической эффективности

| Показатель                                            | Вариант<br>1 | Вариант<br>2 | Вариант<br>3 | Вариант<br>4 |
|-------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Капитальные затраты ПАО «Т Плюс», млн. руб.           | 10,80        | 10,80        | 10,80        | 10,80        |
| Чистый дисконтированный доход, <i>NPV</i> , млн. руб. | 2,38         | 0,89         | 0,09         | –0,64        |
| Внутренняя норма доходности, <i>IRR</i> , %           | 21,09        | 17,44        | 15,62        | 14,03        |
| Срок окупаемости простой, <i>CO</i> , лет             | 2,37         | 3,14         | 3,63         | 4,13         |
| Срок окупаемости дисконтированный, <i>DCO</i> , лет   | 5,66         | 7,99         | 9,76         | более 14     |

Результаты анализа годовой экономии эксплуатационных затрат ГК «Армада» при применении абсорбционных холодильных машин вместо парокомпрессионных холодильных машин на годовую потребность в холоде в объеме 3,4 млн. кВт-ч приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Анализ годовой экономии при применении абсорбционной холодильной машины вместо парокомпрессионной холодильной машины

| Показатель                                                  | ПКХМ      | АБХМ      |
|-------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
| Годовые затраты на электроэнергию, тыс. руб. <sup>1</sup>   | 14 985,00 | 3 146,85  |
| Годовые затраты на тепловую энергию, тыс. руб. <sup>2</sup> | 0,00      | 3 058,50  |
| Годовая экономия от применения АБХМ, млн. руб.              |           | 8 779,65  |
| Капитальные вложения, млн. руб. <sup>3</sup>                |           | 93 448,27 |
| Простой срок окупаемости вложений за счёт экономии, лет     |           | 10,6      |

Примечание:

<sup>1</sup> При расчётном тарифе на электроэнергию 4,5 руб./кВт-ч без НДС.

<sup>2</sup> При расчётном коллекторном тарифе на тепловую энергию в горячей воде от Сакмарской ТЭЦ 941,077 руб./Гкал без НДС.

<sup>3</sup> По данным раздела 2 таблиц 2 и 3.

Выводы:

1. Наибольший эффект для ПАО «Т Плюс» достигается при подключении всей тепловой нагрузки СКВ молла «Армада» одновременно, при этом затраты по мероприятиям на тепловых сетях ложатся на ПАО «Т Плюс», а затраты по мероприятиям по приобретению, установке и вводу в эксплуатацию абсорбционных холодильных машин – на ГК «Армада».

2. Срок окупаемости абсорбционных холодильных машин для ГК «Армада» за счёт экономии на электроэнергии составляет 10 лет, и это при условии установки 1 абсорбционной холодильной машины установленной мощностью 5 МВт. При установке нескольких абсорбционных холодильных машин (и вводе холодильной нагрузки очередями) затраты увеличатся, и соответственно, увеличится срок окупаемости, что может отпугнуть потенциального клиента.

Список литературы

1. Ван Цзыбяо, Тимофеевский Л.С. Оценка возможности использования китайской абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины в качестве понижающего термотрансформатора. - В кн.: Эффективность холодильных машин и тепловых насосов. - СПб, СПбГУНПТ, 1987. - с. 117 - 122.
2. Вербя О.И. и др. р - Таблицы водных растворов хлористого кальция. - В кн.: Теплофизические свойства растворов. - Новосибирск: ИТФ СО АН СССР, 1983. - с. 5 - 18,
3. Гросман Э.Р., Шаврин В.С. Экспериментальное исследование процессов абсорбционной холодильной установки со ступенчатой регенерацией раствора. - Холодильная техника, 1979, № 5, с. 12 - 16.
4. Желудь А.А., Волкова О.В., Тимофеевский Л.С. Принципы формирования математической модели для определения путей совершенствования абсорбционных бромистолитиевых преобразователей теплоты. - Вестник МАХ, 2005, № 2

# **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ ЭНЕРГЕТИКОВ В ВУЗе**

**Соколов В.Ю., канд.техн.наук, доцент,  
Соколова Т.Ю., канд.экон.наук, доцент  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии – одна из важнейших целей в области устойчивого развития энергетической отрасли на период до 2030 года. Надежное энергообеспечение необходимо для решения вопросов безопасности, изменения климата, производства продуктов питания, сокращения масштабов бедности, развития экономики, повышения качества образования и здравоохранения.

Целью энергетической политики России является максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики, повышения качества жизни населения страны и содействия укреплению ее внешнеэкономических позиций [4].

В настоящее время энергетика постепенно охватывает все новые сферы научно-практической деятельности человека. Уровень современных энергетических систем требует высококвалифицированных специалистов в нетрадиционной энергетике и управлении энергетикой. Очень много организаций и предприятий, которые требуют высококвалифицированных специалистов по нетрадиционным энергоустановкам.

Среди важнейших проблем, поставленных наукой и практикой особое место занимает проблема энергосбережения и поиск нетрадиционных источников энергии.

В связи с этим научные направления ВУЗов России тесно связаны с программами учебных дисциплин по нетрадиционным источникам энергии и энергетическому менеджменту. На базе ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» уже более 10 лет осуществляется подготовка кадров для новой отрасли энергетики. Дисциплины «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» и «Энергетический менеджмент» введены в учебные планы высших учебных заведений. Поставлена задача качественно нового уровня образования инженерного корпуса в области энергосбережения с учетом современных задач государства. Эти дисциплины обучающиеся изучают на лекционных, лабораторных и практических занятиях по кафедре Электро- и теплоэнергетики. Полученные знания и навыки они используют при подготовке квалификационной работы и в практической деятельности на производстве [2].

Обучающиеся, осваивающие эти дисциплины, должны хорошо владеть не только навыками разработки нетрадиционных энергоустановок, эксплуатации и аттестации энергосистем, но также иметь знания в области информационных технологий для создания нового бизнеса, руководящих инвестиционных программ в области энергии и использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, энергосбережения.

Одним из наиболее важных направлений работы специалистов по энергетическому менеджменту является реинжиниринг бизнес – процессов, подъем корпоративных стандартов и нормативного регулирования предпринимательской деятельности в сфере энергетики на новый уровень, совершенствование системы управления экономикой в условиях рынка.

Разработка системы энергетического менеджмента невозможна без предшествующего ему энергетического обследования предприятия. Поэтому перед изучением курса обучающимся необходимо вспомнить методы сбора и обработки информации об использовании энергетических ресурсов в целях получения достоверной информации об объеме используемых энергетических ресурсов, о показателях энергетической эффективности, выявления возможностей энергосбережения и повышения энергетической эффективности с отражением полученных результатов в энергетическом паспорте, что является основой энергетического обследования [5].

Данные мероприятия производятся с целью разработки стратегии предприятия по энергосбережению и экономии энергоресурсов. Также студенту рекомендуется самостоятельно ознакомиться с инновационными методами проведения энергетических обследований, приборами, актуальным законодательством в этой сфере.

Система энергетического менеджмента есть в каждой компании, и, несмотря на специфику, принципы стандарта настолько всеобъемлющи, что совершенствование подразумевает под собой достраивание недостающих звеньев и сверку своей практики с его требованиями.

Основными направлениями в подготовке будущих специалистов по нетрадиционной энергетике являются возобновляемые энергоресурсы, солнечные, ветровые и тепловые источники, процессы теплопереноса, аэродинамики, конструкционной и динамической прочности, компьютерное проектирование генерирующих систем, преобразование и аккумулирование энергии. Это требует хорошей фундаментальной и общинженерной подготовки специалистов, знаний основ высшей математики, физики, начертательной геометрии, теоретической механики, механики материалов и конструкций, теории машин и механизмов и т.д. К специальным дисциплинам относятся: энергосбережение в энергетике, нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, эксплуатация и монтаж теплотехнических установок и другие [3].

Бакалавр в области электро- и теплоэнергетики после окончания изучения курса должен знать и уметь использовать методы построения и расчета ветровых турбин, ветрогенераторов, тепловых и солнечных установок,

знать методы математического и физического моделирования, теорию и расчет информационно – управляемых систем и комплексов, в том числе использования тепловой энергии с низким температурным потенциалом; владеть методами проектирования и технологией производства нетрадиционных и возобновляемых энергоустановок, уметь эксплуатировать и обслуживать их.

Сегодня в сферу научно-исследовательской деятельности вовлечены сотни тысяч людей во всем мире. Результаты их исследований становятся непосредственной производительной силой, в значительной степени определяют направления и тенденции развития современного общества. Формируются новые формы организации науки, образуются крупные исследовательские коллективы, в которых ученые сталкиваются с необходимостью систематизации применяемых методов, разработки междисциплинарных и трансдисциплинарных исследовательских стратегий. Магистр должен освоить не только аспекты научного исследования по выбранному направлению подготовки, но и уметь формулировать и самостоятельно решать актуальные проблемы научных исследований, знать методы моделирования энергетических процессов и их оптимизации с использованием компьютерных технологий, владеть методами математического и физического моделирования нетрадиционных энергоустановок, иметь представление об основах теории и практики педагогики высшей школы. В этом и заключается залог успешного решения проблем альтернативной энергетики, актуальность и перспектива указанных специальностей и направлений подготовки [1].

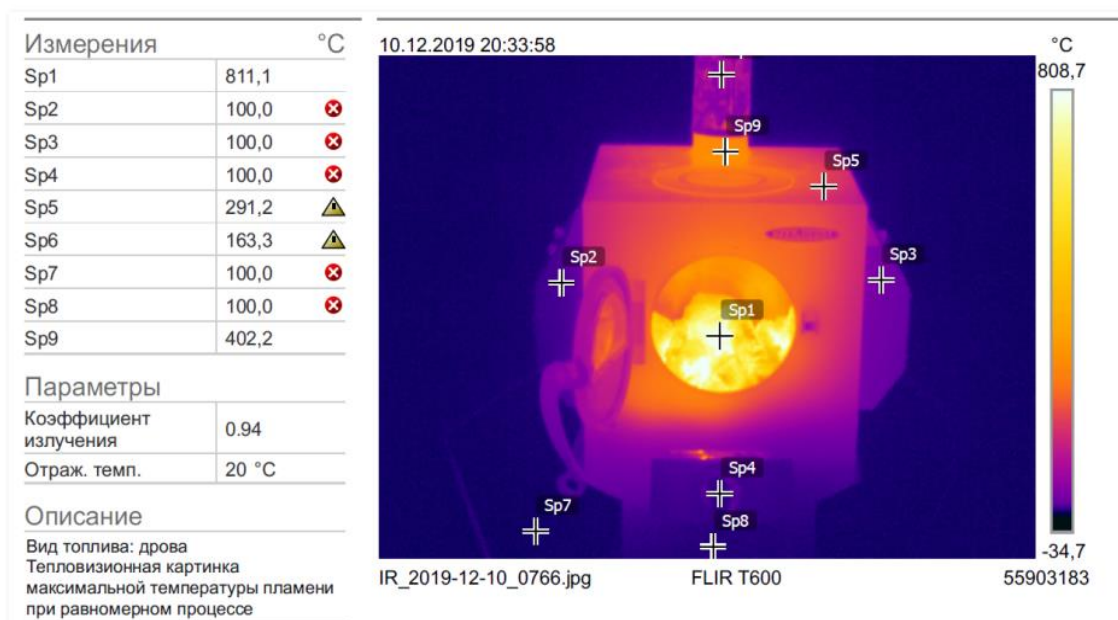


Рисунок 1 -Термограмма оборудования при проведении исследований

При прохождении процесса обучения обучающийся обязательно должен заниматься научными разработками, результаты которых необходимо апробировать на конференциях различного уровня. На рисунке 1 представлена тепловизионная картинка работающей в режиме нагрева комбинированной установки отопительной печи с возможностью получения электрической энергии компании «Термофор». В разделе дополнительных научно исследовательских работ по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» студентами направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника был проведен анализ тепловых и электрических характеристик предлагаемого оборудования [2].

Для получения данных используется современное оборудование в виде тепловизора Flir T-620. Составляется план выполнения эксперимента, задаются граничные условия и параметры его проведения. По окончании работ проводится обработка результатов с использованием современных программных продуктов. Такой подход в подготовке обучающихся позволяет при наличии первоначальной теоретической базы дать её подкрепление на практике, а это тот метод обучения специалистов который дает наиболее востребованных выпускников для работы на предприятиях в настоящее время.

#### Список литературы:

1. Степанова М.В. Энергоменеджмент в промышленности: российская специфика // Энергосовет. - № 3 (45). - 2018 г.
2. Соколов В.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Текст]: учебное пособие для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника / [В. Ю. Соколов и др.]; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Оренбург : ОГУ, 2019. - 144 с. : ил.; 9,0 печ. л. - Библиогр.: с. 123. - Глоссарий: с. 124-143. - ISBN 978-5-4417-0771-8. Издание на др. носителе [Электронный ресурс]
3. Пиляева О.В. Перспективы использования солнечной энергии // Эпоха науки №19 – Сентябрь 2019г.
4. <https://www.elec.ru/amp/news/2019/04/18/energoeffektivnost-i-razvitie-vozobnovlyaemyh-isto>
5. <https://scientifically.info/publ/5664> Цели в области устойчивого развития до 2030 года

# НАПИСАНИЕ ИСХОДНОГО КОДА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 10КВ

**Султанов Н.З., д-р техн. наук, профессор, Александров Е.Д.**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Оренбургский государственный университет»**

## 1. Общие сведения о проекте.

В нашем мире автоматизация технологических процессов играет все больше места во всех сферах человеческой жизни. Являясь передовым краем науки, с ходом прогресса она позволяет решать насущные проблемы. Как показывает практика, электроэнергетика является одной из отраслей промышленности, в которой современные научные подходы и методы используются наиболее часто.

Протяженность линий электропередач в России составляет более 3 млн.км [1]. Выработка нормативного срока распределительных сетей составляет 70% [2]. Для их обслуживания требуется специально обученный персонал, с допуском к работе на высоте и с электрооборудованием находящимся под напряжением. Для улучшения условий труда, уменьшения травматизма обслуживающего персонала и увеличения производительности разрабатывается концепция автоматизированного комплекса для обслуживания низковольтных линий электропередач, представленная на рисунке 1.

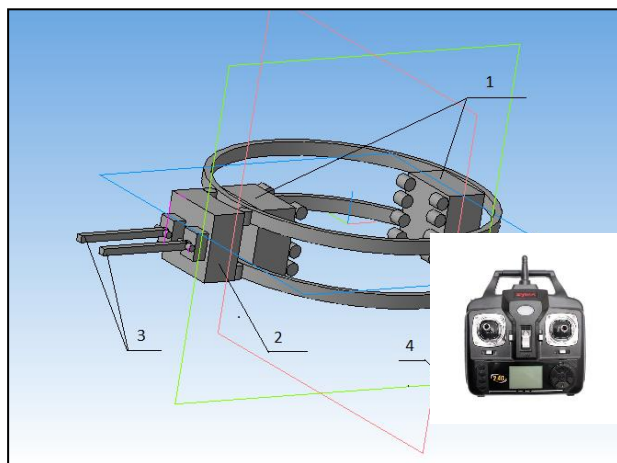


Рисунок 1 – Автоматизированный комплекс обслуживания ЛЭП

1 – блок перемещения комплекса в вертикальной плоскости,

2 – основной корпус с блоком вращения комплекса вокруг опоры ЛЭП,

3 – группа копирующих манипуляторов, 4 – пульт управления

комплексом.

Концепция: разработка автоматизированного комплекса для замера наличия напряжения и обслуживания линий электропередач 6-10 кВ, которая позволит исключить участие человека в опасных видах работ с

электрооборудованием на высоте и под напряжением и увеличить производительность.

В данном комплексе будет реализован весь функционал, который исполняет работник во время обслуживания низковольтных ЛЭП, таких как замер наличия напряжения, установка переносных заземляющих устройств, снятие и установка проводов. Управление будет осуществляться специалистом через пульт управления. Использование комплекса позволит избежать обязательного инструктажа перед работой для допуска к ней, и устранил травматизм работников, связанный с работой на высоте и с оборудованием под напряжением.

Комплекс будет устанавливаться на опору ЛЭП специалистом на уровне земли. Комплекс является разборным, соединение разборных частей будет выполняться с помощью замков с двух сторон на кольцах. Для работы оператор использует пульт управления и специальные перчатки для управления копирующими манипуляторами. Для его подъема по опоре используется колесная база, которая перемещает комплекс в вертикальной плоскости и далее надежно фиксируется. Для перемещения в горизонтальной плоскости комплекса используется еще одна колесная база, которая двигается по кольцам. Непосредственно для обслуживания ЛЭП используются копирующие манипуляторы и комплект по обслуживанию ЛЭП. В комплект входят указатели напряжения, болгарка, клешни для установки переносного заземлителя.

Таким образом комплекс будет способен полностью заменить человека на опасных для работы участках, при этом сэкономив время обслуживания ЛЭП и исключив травматизм работников.

Предполагается написание программного алгоритма для управления комплексом на базе контроллера Arduino uno и его последующего развития [3].

2. Исходный код для перемещения комплекса в горизонтальной и вертикальной плоскости

Поскольку комплекс только создается, напомним наиболее тривиальный код программы для перемещения комплекса, в дальнейшем планируется его усложнить в зависимости от испытаний, на этапе эксплуатации и в зависимости от требований заказчика. Здесь и в дальнейшем будет приведен код для платформы Arduino. Скетч представлен на рисунке 2.

```

void motor_control()
{
    // Расчет оптимальной скорости двигателя
    int left_motor_speed = initial_motor_speed-PID_value;
    int right_motor_speed = initial_motor_speed+PID_value;

    // Скорость двигателя не должна превышать максимальное значение ШИМ
    constrain(left_motor_speed,0,255);
    constrain(right_motor_speed,0,255);
    analogWrite(pwm1,initial_motor_speed-PID_value); //Left Motor Speed
    analogWrite(pwm2,initial_motor_speed+PID_value); //Right Motor Speed

    //
    digitalWrite(MotLeftP1,HIGH);
    digitalWrite(MotLeftP2,LOW);
    digitalWrite(MotLeftP1,LOW);
    digitalWrite(MotLeftP2,HIGH);
}

```

Рисунок 2 – Исходный код для перемещения комплекса в горизонтальной и вертикальной плоскости

### 3. Исходный код для управления манипулятором комплекса.

Для выполнения непосредственных задач по измерению напряжения и срезки проводов линий электропередач используется манипулятор комплекса, который может выбирать на месте работ либо указатель напряжения, либо режущий инструмент. Скетч представлен на рисунке 3.

```

#include <Servo.h> // Подключаем
библиотеку Servo для работы с сервоприводами
Servo servo1; // Объявляем
объект servo1 для работы с сервоприводом основания
Servo servo2; // Объявляем
объект servo2 для работы с сервоприводом левого плеча
Servo servo3; // Объявляем
объект servo3 для работы с сервоприводом правого плеча
Servo servo4; // Объявляем
объект servo4 для работы с сервоприводом захвата
int valR1, valR2, valR3, valR4; // Объявляем
переменные для хранения значений потенциометров

// Назначаем

выводы:
const uint8_t pinR1 = A2; // Определяем
константу с № вывода потенциометра управл. основанием
const uint8_t pinR2 = A3; // Определяем
константу с № вывода потенциометра управл. левым плечом
const uint8_t pinR3 = A4; // Определяем
константу с № вывода потенциометра управл. правым плечом
const uint8_t pinR4 = A5; // Определяем
константу с № вывода потенциометра управл. захватом
const uint8_t pinS1 = 10; // Определяем
константу с № вывода сервопривода основания
const uint8_t pinS2 = 9; // Определяем
константу с № вывода сервопривода левого плеча
const uint8_t pinS3 = 8; // Определяем
константу с № вывода сервопривода правого плеча
const uint8_t pinS4 = 7; // Определяем
константу с № вывода сервопривода захвата
void setup() { // Код функции
  setup выполняется однократно:
  Serial.begin(9600); // Иницилируем
  передачу данных в монитор последовательного порта
  servo1.attach(pinS1); // Назначаем
  объекту servo1 управление сервоприводом 1
  servo2.attach(pinS2); // Назначаем
  объекту servo2 управление сервоприводом 2
  servo3.attach(pinS3); // Назначаем
  объекту servo3 управление сервоприводом 3
  servo4.attach(pinS4); // Назначаем
  объекту servo4 управление сервоприводом 4
}
void loop() { // Код функции
  loop выполняется постоянно:
  valR1=map(analogRead(pinR1), 0, 1024, 10, 170); servo1.write(valR1); // Вращаем
  основанием Указанные в данной строке углы: 10 и 170 возможно потребуются изменить
  (откалибровать)
  valR2=map(analogRead(pinR2), 0, 1024, 80, 170); servo2.write(valR2); // Управляем
  левым плечом Указанные в данной строке углы: 80 и 170 возможно потребуются изменить
  (откалибровать)
  valR3=map(analogRead(pinR3), 0, 1024, 60, 170); servo3.write(valR3); // Управляем
  правым плечом Указанные в данной строке углы: 60 и 170 возможно потребуются изменить
  (откалибровать)
  valR4=map(analogRead(pinR4), 0, 1024, 40, 70); servo4.write(valR4); // Управляем
  захватом Указанные в данной строке углы: 40 и 70 возможно потребуются изменить
  (откалибровать)
  Serial.println((String) "A1 = "+valR1+", \t A2 = "+valR2+", \t A3 = "+valR3+", \t A4 =
  "+valR4); // Выводим углы в монитор

```

Рисунок 3 – Исходный код для управления манипулятором комплекса

### Список литературы

1. Куро Ж. Вопросы качества при передаче и распределении электроэнергии. Франко-российский семинар «Оптимизация и повышение качества электросетей». М., 2004.
2. Дубровин И.В. Износ электросетевой инфраструктуры в России. Масштабы и перспективы // Regnum информационное агенство: сетевой журнал. 2017. URL: <http://regnum.ru/news/2348996.html> (дата обращения: 04.12.2018).
3. Александров Е.Д. Концепция автоматизированного комплекса по обслуживанию линий электропередач 6-10кВ. XX международная конференция г. Нижний Новгород. «Проблемы технических наук». М., 2019.

# **РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА, ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМАЛЬНОГО РАСХОДА РЕСУРСА АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ**

**Сыроваткин С.Е., Шлейников В.Б., канд. техн. наук,  
Маслов Е.П., Викторov В.В.**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

**Аннотация:** Понятие "источник бесперебойного питания" означает следующее. "Умный" прибор будет сам следить за наличием в сети напряжения, подзаряжать по мере необходимости аккумулятор, а в случае неожиданного исчезновения напряжения 230 В автоматически и мгновенно запустит приборы своим напряжением. При появлении сетевого напряжения 230 В питание начнет поступать от сети. Отметим, что в режиме ожидания потребление энергии практически равно нулю. Бесперебойное питание жизненно необходимо в зимний период для отопительных систем коттеджей на основе газовых котлов. Обычно для электроподжига и циркуляционного насоса достаточна мощность всего-то порядка 150-500 Вт. Но в случае длительного отсутствия электроэнергии зачастую происходит полное вымерзание дома, а это уже способно привести к плачевным последствиям. Преобразователь окажется полезным и в условиях полного отсутствия централизованного электроснабжения.

В остальное время лучше тратить электроэнергию только для самого необходимого (например, освещение, телевизор и холодильник).

**Ключевые слова:** Источник бесперебойного питания, цифровизация, качество электроэнергии, провалы и перебои электроснабжения, аккумуляторная батарея, категории потребителей, ArduinoNanov 3.0, программная среда I2C.

Электроэнергетика нашей страны находится на этапе цифровизации, постепенно в электрически сети внедряют более совершенные и современные устройства, но даже с учетом этого в наше время существует вероятность того, что пропадет напряжение на неопределенный срок и потребитель останется без электрической энергии. Во многих регионах России существуют проблемы с качеством электроэнергии, связанные с плановыми отключениями, перебоями в электроснабжении (аварии, провал напряжения из-за включения мощных потребителей в сеть). Именно поэтому ведутся разработки, которые позволят питать электроприборы в доме на постоянной основе. И уже достигнут не малый успех в этом. Как, например, проект с использованием бесперебойного питания (далее БП) в доме. Так что же такое БП и как продлить питание важных приборов в доме?

Из-за проблем с электроснабжением страдает потребитель, поэтому данная проблема является актуальной до сих пор. К примеру, отопление с помощью электрического котла. В мире существует множество различных схем БП, но все они имеют общий принцип работы.

Приходящее напряжение из сети питает электрические приборы, параллельно заряжая аккумуляторные батареи. Поскольку аккумулятор использует постоянное напряжение, то для зарядки оно и нужно. Чтобы обеспечить зарядку, используется выпрямитель, который преобразует переменное напряжение сети в постоянное. Как только пропадает напряжение сети, батареи становятся источником питания электрических приборов, посредством преобразования постоянного напряжения аккумулятора в переменный через инвертор.

Исходя из выше сказанного у системы существует ряд недостатков: дороговизна и ограниченное время использования батарей в качестве питания всех электрических приборов. И решение второй проблемы заключается в следующем: чтобы не допустить полное разряжение аккумулятора, при потере напряжения в сети, предлагается последовательно отключение приборов по важности, в качестве примера возьмем: отопительный котел (либо обогреватель), телевизор, компьютер, домашнее освещение. Распределим их по степени важности: I-отопительный котел, II-освещение дома, III- телевизор, компьютер. Теперь, когда мы уже знаем значимость потребителей, можно осуществить последовательное отключение III-II-I.

Таблица 1 – Отключение электроприемников с целью оптимального расхода ресурсов АКБ

| Прибор                    | Потребление, кВт | Категория |
|---------------------------|------------------|-----------|
| Тостер                    | 0,8              | III       |
| Кофеварка                 | 0,8              | III       |
| Посудомоечная машина      | 2                | III       |
| Чайник                    | 2                | II        |
| Духовой шкаф              | 2                | II        |
| Микроволновая печь        | 0,85             | II        |
| Холодильник               | 0,2              | I         |
| Проточный водонагреватель | 2                | I         |
| Стиральная машина         | 3                | II        |
| Сушилка для белья         | 3                | III       |
| Кухонный комбайн          | 0,4              | III       |
| Вытяжка (вентиляция)      | 0,3              | II        |
| Лампа энергосберегающая   | 7Вт              | I         |

Отключение приборов будет осуществляться путем самых обычных реле и микроконтроллера (таблица 1), который будет ими управлять. Питание на реле и микроконтроллер осуществляется так же, как и зарядка аккумулятора при помощи 12-ти вольтового выпрямителя, который будет преобразовывать переменное напряжения 220 вольт (с использованием инвертора для обратного

преобразования), в постоянное для питания системы управления и реле. В качестве микроконтроллера берется плата ArduinoNano v 3.0. В дальнейшем она будет запрограммирована через компьютер при помощи программной среды I2C (также называемая – Inter-IntegratedCircuits), которая использует стандартную библиотеку Wire, чтобы облегчить обмен данными с устройством (реле). Сама библиотека имеет функции: begin(address) – инициализация библиотеки и подключение к шине I2C; если не указан адрес, то присоединённое устройство считается ведущим; используется 7-битная адресация, requestFrom() – используется ведущим устройством для запроса определённого количества байтов от ведомого, beginTransmission(address) – начало передачи данных к ведомому устройству по определённому адресу, endTransmission() – прекращение передачи данных ведомому и др.

Программирование микроконтроллера позволит нам считывать показания напряжения на аккумуляторе, чтобы не допускать полное разряжение, и отключать приборы по их важности.

Помимо ArduinoNano, в схеме будет играть важную роль реле, которые будут выполнять команды, подаваемые микроконтроллером, и отключать маловажных потребителей.

#### Список литературы

1. Современные источники бесперебойного питания, соответствующие требованиям группы международных стандартов мЭК 62040 [электронный ресурс].: «энергобезопасность и энергосбережение научный журнал», 2019 – режим доступа <http://endf.ru/> - 1.12.2019.
2. Источники бесперебойного питания [электронный ресурс].: «электро 2020. 29-я международная выставка электрооборудования. светотехника и автоматизация», 2019 – режим доступа <https://www.elektro-expo.ru/ru/articles/istochniki-bespereboynogo-pitaniya/> - 1.12.2019.
3. Как правильно выбрать источник бесперебойного питания [электронный ресурс].: «сайт производителя», 2019 – режим доступа <https://powerquality.ru/> - 1.12.2019
4. Краткий обзор и перспективы применения микропроцессорной платформы arduino [электронный ресурс].: «научный журнал электротехнические системы и комплексы», 2019 – режим доступа [https://elibrary.ru/title\\_about\\_new.asp?id=28997](https://elibrary.ru/title_about_new.asp?id=28997) - 1.12.2019
5. Arduino [электронный ресурс].: «блог об arduino, электронике и ит», 2019 – режим доступа <https://soltau.ru/index.php/arduino/item/371-interfejs-i2c-i-arduino> - 1.12.2019
6. Управление несколькими периферийными устройствами по линиям шин i2c [электронный ресурс].: «научный журнал компоненты и технологии» 2019 – режим доступа <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-neskolkimiperiferiynymi-ustroystvami-po-liniyam-shin-spi-i2c> - 1.12.2019
7. Резервное питание для загородного дома [электронный ресурс].: ,

2019 – режим доступа <https://home-matic.ru/2017/04/rezervnoe-pitaniya-dlya-dachi/> - 15.10.2019

# **ВЫБОР СИМУЛЯТОРА ЭЛЕКТРОЦЕПИ ДЛЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ**

**Ушакова Н.Ю., канд. техн. наук, доцент  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

Изучение дисциплин «Теоретические основы электротехники» и «Общая электротехника» предполагает обязательное проведение лабораторных работ по всем разделам дисциплины.

Основные задачи лабораторных занятий:

- показать неразрывную связь теории с практикой, продемонстрировав работу тех или иных законов и процессов в реальных цепях и устройствах;
- ознакомить студентов с современным электроизмерительным оборудованием, электротехническими и электронными устройствами, привить навыки проведения электротехнических экспериментов;
- научить анализировать и обобщать полученные в ходе экспериментов результаты.

Рабочая программа и ФГОС предполагает проведение лабораторных занятий в специализированных аудиториях. Однако возникают ситуации (особенно на заочной форме обучения), когда студент по объективным причинам не может присутствовать на занятиях или обучается дистанционно по индивидуальному учебному плану. В этом случае натурные эксперименты в лабораториях электротехники целесообразно заменить их виртуальными аналогами. Такую замену допускает и ФГОС ВО.

В ОГУ разработаны и активно используются в учебном процессе виртуальные лабораторные работы, разработанные сначала на основе Electronics Workbench, а затем на основе ПО Multisim [1]. Но поскольку это программы лицензионные, данные лабораторные работы официально доступны только в компьютерных классах университета. Бесплатно их установить на свой домашний компьютер студент не имеет возможности. А иногда у студента и компьютера нет, но есть планшет или смартфон с Интернетом.

Поэтому для виртуальных лабораторных работ возникла задача подобрать симулятор электроцепи, отвечающий следующим требованиям:

- он должен быть бесплатным или условно бесплатным, при этом иметь низкую стоимость;
- занимать малый объем оперативной памяти;
- иметь понятный и по возможности русифицированный интерфейс;
- иметь визуализацию, приближенную к реальным приборам;
- помимо стационарной, иметь онлайн и (или) мобильную версию.

В последние годы симуляторов работы электроцепей появилось очень много. Правда, справедливости ради, нужно сказать, что все они больше ориентированы на электронные, а не на электрические цепи. Конечной целью

большинства симуляторов является не проверка выполнения какого-нибудь закона электротехники, а проверка работоспособности электронной цепи перед изготовлением печатной платы. Во многих симуляторах заложена возможность проектирования этой платы. Первичная цель, которую преследуют лабораторные работы в электротехнике гораздо скромнее: собрать электрическую цепь и снять показания приборов в нескольких режимах, например, при изменении параметров или конфигурации цепи.

Наиболее распространенные в настоящее время симуляторы можно разделить на две большие группы:

- 1) симуляторы, в которых интерфейс, элементы и приборы, процесс сборки цепи и снятия показаний приборов приближен к работе на реальном оборудовании;
- 2) симуляторы, в которых собирается именно электрическая схема цепи, когда все элементы заменены их условными изображениями, а токи и напряжения показываются в виде их числовых значений.

К первой группе можно отнести симуляторы DcAcLab и «Начала электроники». Эти симуляторы ограничиваются только моделированием цепи.

Оба симулятора:

- имеют реалистичный интерфейс, компоненты выглядят, как настоящие, а не изображаются в виде символов;

- позволяют собирать цепи постоянного и переменного тока, а затем проводить измерения с помощью мультиметра и осциллографа.

DcAcLab [2] имеет более широкий набор элементов, позволяет проводить динамический анализ, показывать анимированные токи. Но, к сожалению, это программа – условно бесплатная. Ее свободная онлайн-версия на официальном сайте имеет очень ограниченные возможности: позволяет собрать схему, но в ней нельзя редактировать параметры элементов, возможности мультиметра и осциллографа – тоже ограниченные.

Программный комплекс «Начала электроники» [3], разработанный сотрудниками Казахского Государственного Национального Университета на первый взгляд кажется полным аналогом DcAcLab и очень привлекательным.

Алгоритм сборки схемы очень понятный, в комплекте есть все основные элементы, которые мы используем в цепях постоянного и переменного тока. Но параметры некоторых элементов мы не можем менять произвольно, только выбрать из предложенного списка. Если мощность выделяемая в элементе превысит допустимое значение, он сгорит. Поэтому не только схема, но и параметры элементов, перед экспериментом должны быть детально проработаны и заданы преподавателем. Работа с мультиметром и осциллографом аналогична работе с реальными приборами.

К неудобствам работы с данным комплексом можно отнести:

- невозможность измерить силу переменного тока, мультиметр меряет только постоянный ток;

- «наличие» всего двух мультиметров. Если в схеме уже три ветви, то приходится переставлять мультиметр, чтобы измерить ток в третьей ветви.

- отсутствие анимации и показаний токов ветвей. Программа не показывает на схеме величину токов ветвей, как это делает DcAcLab;
- отсутствие хоть каких-то нелинейных элементов и трансформатора;
- невозможность выбора формы периодического переменного напряжения, кроме синусоидальной. DcAcLab такой выбор предоставляет.

Учитывая вышесказанное, можно рекомендовать использовать «Начала электроники» в виртуальных лабораторных работах по разделу «Электрические цепи постоянного тока». В цепях переменного тока в этом симуляторе можно наглядно исследовать с помощью осциллографа влияние параметров реактивных элементов на сдвиг фаз между напряжением и током, но провести полноценные измерения для расчета каких-то характеристик цепи не получится.

Вторая группа симуляторов представлена в Интернете гораздо шире, большая часть из них достаточно высокого уровня и имеет значительный спектр функциональных возможностей. Из всего многообразия наиболее подходящими для виртуальных электротехнических экспериментов показали три симулятора: EasyEDA, EveryCircuit и Circuit Sims.

EasyEDA – бесплатный и мощный онлайн симулятор электроцепи, который сегодня возглавляет топ-10 лучших симуляторов. Имеет массивную библиотеку элементов, позиционируется разработчиками как «простой и мощный онлайн инструмент для проектирования печатных плат» [4]. Имеет также настольную версию. Позволяет импортировать файлы в другие симуляторы и программы, создавать после проверки работоспособности цепи печатные платы с тем же программным обеспечением. На сегодняшний день это наиболее достойный «заменитель» в учебном процессе Multisim.

Его основной недостаток – сложность, новичку без изучения руководства, видеоуроков выполнить симуляцию непросто. Поэтому целесообразно использовать его, например, для магистров, уже имеющих навыки работы с другим подобным программным обеспечением.

EveryCircuit – очень привлекательный и красивый электронный онлайн симулятор с хорошо сделанной графикой [5]. Имеет интуитивно понятные интерфейс и методику сборки схемы, но очень простым его назвать нельзя. Эффектно в виде анимации показывает протекание токов по ветвям, показывает величины токов ветвей и напряжений на элементах, форму волны на осциллографе. Предлагает на сайте множество примеров и предварительно разработанных схем.

Помимо онлайн версии EveryCircuit имеет мобильные версии для Android и iOS, что является удобным для студентов при отсутствии компьютера. Но, к сожалению, программа это не бесплатная, хотя и не слишком дорогая.

Следующий симулятор Circuit Sims (Circuit Simulator Applet) называют одним из первых онлайн симуляторов-визуализаторов с открытым кодом. Он позволяет строить электрические схемы онлайн, в том числе и на русском языке [6]. Схемы рисуются достаточно просто, параметры всех пассивных элементов и источников (в том числе и форму сигнала) можно

корректировать. При этом в Circuit Sims есть уже очень много готовых схем, которые демонстрируют процессы в электрических цепях, соответствующих почти всем основным разделам электротехники, включая переходные процессы, трансформаторы, цепи с распределенными параметрами.

При запуске симуляции схемы токи показываются бегущими желтыми точками, скорость тока, как и скорость симуляции можно изменять слайдером. Цветовые динамически изменяющиеся решения элементов и проводов в работающей схеме – это своеобразная подсказка либо знака напряжения, либо величины выделяемой мощности. В этом симуляторе нет амперметров и вольтметров. Значения тока, напряжения, мощности и параметра элемента цепи показываются при наведении на этот элемент курсора. В нижней части есть три графика, на которых показываются осциллограммы напряжения и тока на конкретных элементах. На сайте можно скачать и автономную версию симулятора.

В целом Circuit Sims очень достойный и достаточно простой симулятор для использования в образовательных целях для изучения работы электрических цепей и их элементов. Он совершенно бесплатный, не требует регистрации и аккаунта.

Таким образом, из всего многообразия бесплатных симуляторов электроцепей для выполнения виртуальных лабораторных работ по электротехнике студентами в домашних условиях наиболее приемлемыми являются:

- «Начала электроники» как наиболее простой и приближенный к работе с реальными приборами;
- Circuit Sims как достаточно простой и наглядный визуализатор процессов в различных электрических цепях в установившихся и переходных режимах.

#### Список литературы

- 1 Быковский, В.В. Электрические цепи: практикум / Л.В. Быковская, В.В. Быковский, Н.Ю. Ушакова; Оренбургский гос. ун-т – Оренбург: ОГУ, 2019. – 134 с.
- 2 <https://dcacclab.com/en/home> – сайт разработчиков приложения DcAcLab.
- 3 <http://zeus.malishich.com> – сайт разработчиков программы «Начала электроники».
- 4 <https://easyeda.com> – сайт разработчиков онлайн приложения EasyEDA.
- 5 <http://everycircuit.com/app> – сайт разработчиков онлайн приложения EveryCircuit.
- 6 <http://falstad.com/circuit> – сайт разработчиков онлайн приложения Circuit Sims.

# **ДИСЦИПЛИНА «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ» В ПОДГОТОВКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКОВ**

**Шлейников В.Б., канд .техн. наук, доцент,  
Мусина Р.Р., Клычева М.Д.**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

Дисциплина Электроснабжение промышленных предприятий является специальной дисциплиной, завершающей и подводящей итог всему длительному процессу обучения студентов – электроэнергетиков. Однако, представлять данную дисциплину как имеющую в пререквезитах все остальные дисциплины специальной и общей подготовки не следует.

Реализуемый на кафедре электро- и теплоэнергетики подход к преподаванию электроснабжения «обучение в процессе проектирования» предусматривает разработку студентами проекта внутриводской распределительной сети среднего или мелкого промышленного предприятия. Данным проектом предусмотрен выбор оборудования для организации электроснабжения отдельных цехов, оптимизация его совместной работы, а также проверка работы выбранного оборудования в аварийном режиме. Таким образом, обеспечивается формирование навыка «выбор и проверка» оборудования.

На этапе выбора оборудования выбираются трансформаторы для цеховых подстанций и кабели для присоединения этих трансформаторов к источнику питания предприятия. Для решения этих задач необходимо знание расчетных электрических нагрузок. Изучение методов расчета электрической нагрузки запланировано на начало курса.

В свою очередь расчеты электрических нагрузок на низших уровнях системы электроснабжения (первый и частично второй) [1, 2] подвержены очень сильному влиянию режима работы электроприемника. В этой части дисциплины «Электроснабжение промышленных предприятий» очень важны предшествующие курсы, связанные с изучением электродвигателей, например, «Электрические машины». Также, в курсе дисциплины «Электротехнологические установки» изучаются электроприемники, не относящиеся к электродвигателям, например, электропечи или электросварка.

Дальнейшая разработка проекта предполагает выбор цеховых трансформаторных подстанций и непосредственно трансформаторов. Так как предшествующих дисциплин, изучающих состав оборудования низковольтных распределительных устройств нет - данная тема выносится на рассмотрение в первой части дисциплины «Электроснабжение промышленных предприятий».

Выбор кабельно-проводникового оборудования требует длительной работы с каталогами заводов производителей, поэтому изучение данной темы

рационально начать гораздо раньше, чем студенты приступят к изучению дисциплины «Электроснабжение промышленных предприятий».

Работа над курсовым проектом в части определения режимов работы сети базируется на курсах «Теоретические основы электротехники» и «Переходные процессы».

Продолжением курсового проекта предусмотрено проектирование системы электроснабжения, в том числе проектирование главной понизительной подстанции или питания распределительного пункта предприятия от имеющейся районной (узловой) понизительной подстанции. Это позволяет использовать уже имеющийся опыт проектирования электрической подстанции или выполнять проект ГПП на основе данных, полученных в проекте распределительной сети предприятия.

Выполнение релейной защиты электроустановок, а также определение и оценка экономических показателей сети электроснабжения возможно выполнить только располагая спроектированной системой электроснабжения предприятия.

Такой подход к организации взаимодействия дисциплины «Электроснабжение промышленных предприятий» с другими дисциплинами позволяет составить тематику лекционных, практических и лабораторных занятий с учетом опыта преподавания аналогичной дисциплины в других отечественных вузах.

Для этого были проанализированы рабочие программы ведущих Российских вузов, представленных ниже в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ разделов рабочей программы ОГУ и других ВУЗов

| Другие ВУЗы<br>Оренбургский<br>государственный<br>университет,<br>разделы (темы) | 1                          | 2                           | 3                          | 4                           | 5 | 6                             | 7                          | 8            | 9                    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|---|-------------------------------|----------------------------|--------------|----------------------|
| 1. Потребление<br>электроэнергии<br>(14Л, 6ПЗ, 4ЛР, 48СР)                        | 4Л,<br>4ПЗ,<br>0ЛР,<br>6СР | 1Л,<br>4ПЗ,<br>0ЛР,<br>25СР | 2Л,<br>6ПЗ,<br>4ЛР,<br>4СР | 4Л,<br>10ПЗ,<br>6ЛР,<br>2СР | - | 10Л,<br>4ПЗ,<br>14ЛР,<br>26СР | 2Л,<br>2ПЗ,<br>4ЛР,<br>8СР |              | 5Л,<br>2ПЗ,<br>29СР  |
| 2. Источники<br>питания<br>(4Л, 4ПЗ, 2ЛР, 10СР)                                  |                            |                             |                            |                             |   |                               |                            | 4Л,<br>4СР   |                      |
| 3. Распределение<br>электрической<br>энергии<br>(4Л, 2ПЗ, 2ЛР, 14СР)             |                            |                             | 2Л,<br>0ПЗ,<br>0ЛР,<br>2СР |                             | - |                               | 2Л,<br>2ПЗ,<br>4ЛР,<br>8СР |              | 7Л,<br>10ПЗ,<br>19СР |
| 4. Режимы<br>работы системы                                                      |                            |                             |                            |                             |   |                               |                            | 12Л,<br>6ПЗ, |                      |

|                                                                                             |                            |                             |                              |                              |   |  |                             |              |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|---|--|-----------------------------|--------------|--|
| электроснабжения<br>(12Л, 4ПЗ, 8ЛР, 42СР)                                                   |                            |                             |                              |                              |   |  |                             | 6ЛР,<br>16СР |  |
| 5. Потребление<br>ЭЭ пром.<br>предприятием<br>(8Л, 4ПЗ, 4ЛР, 38СР)                          |                            |                             |                              | 12Л,<br>8ПЗ,<br>12ЛР,<br>4СР |   |  |                             |              |  |
| 6. Источники<br>питания пром.<br>предприятий<br>(8Л, 4ПЗ, 4ЛР, 38СР)                        |                            |                             |                              |                              |   |  |                             |              |  |
| 7. Распределение<br>ЭЭ на пром.<br>предприятии<br>(8Л, 4ПЗ, 4ЛР, 38СР)                      | 4Л,<br>4ПЗ,<br>0ЛР,<br>6СР |                             | 2Л,<br>0ПЗ,<br>0ЛР,<br>2СР   |                              |   |  |                             |              |  |
| 8. Режим работы<br>системы<br>электроснабжения<br>пром. предприятий<br>(8Л, 4ПЗ, 4ЛР, 38СР) |                            | 3Л,<br>0ПЗ,<br>0ЛР,<br>67СР | 1Л,<br>0ПЗ,<br>9ЛР,<br>0.5СР |                              | - |  | 2Л,<br>2ПЗ,<br>4ЛР,<br>44СР | 3Л,<br>4СР   |  |

Таблица 2 – Темы, выделенные в самостоятельные разделы в других ВУЗах

| Условный<br>номер<br>программы | Дополнительные разделы                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                              | Кабельные линии. Воздушные линии. Силовые трансформаторы, автотрансформаторы и преобразователи. Разъединители, отделители и короткозамыкатели. Изоляторы. Контактторы и магнитные пускатели. Нагревание проводов и кабелей.                                                                                                          |
| 2                              | Параметры и схемы замещения элементов электрических сетей. Особенности расчёта распределительных сетей напряжением до 35 кВ. Требования к уровням напряжения. Регулирование напряжения в местных распределительных сетях.                                                                                                            |
| 3                              | Электрическое хозяйство потребителей ЭЭ. Выбор схем, напряжений и схем присоединения промышленных предприятий к субъектам электроэнергетики. Расчёт токов короткого замыкания. Выбор аппаратов и токоведущих устройств в сетях электроснабжения. Защитные методы электробезопасности. Энергосбережение на промышленных предприятиях. |
| 4                              | Внутрицеховые электрические сети. Внутризаводское электроснабжение промышленных предприятий.                                                                                                                                                                                                                                         |
| 5                              | Потери в системе электроснабжения. Реактивная мощность и снижение ее потребления. Балансы мощности и электроэнергии. Короткие замыкания. Качество электрической энергии. Устройство защиты системы электроснабжения. Компенсация реактивной мощности. Выбор силовых трансформаторов напряжения                                       |
| 6                              | Основные элементы СЭС. Потребительские подстанции 10/0,4 кВ. Отличительные особенности СЭС промышленных предприятий, городов и сельских хозяйств. Режим реактивной мощности в электрических сетях СЭС                                                                                                                                |

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7 | История развития электроэнергетики в России. Релейная защита и автоматика. Электробезопасность в электроустановках. Электромагнитная совместимость электроприемников и электрической сети. Заземление и заземляющие устройства. Молниезащитные устройства. Защита от статического электричества и электромагнитного излучения. Защита подземных сооружений от блуждающих токов. |
| 8 | Электрическое хозяйство потребителей электроэнергии. Защитные методы электробезопасности. Режим нейтрали источников и приемников электроэнергии, заземляющие устройства. Пуск и самозапуск электрических двигателей. Инвестиционное проектирование объектов электрики. Рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов.                                            |
| 9 | Электрическое хозяйство потребителей электроэнергии. Расчет и выбор аппаратов защиты и линий электроснабжения.                                                                                                                                                                                                                                                                  |

### Список литературы

1. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для студентов высших учебных заведений/Б.И.Кудрин. – М.:Интермет Инжиниринг, 2005. – 672с.: ил.

2. Кабышев А.В. Электроснабжение объектов. Ч.1. Расчет электрических нагрузок, нагрев проводников и электрооборудования: учебное пособие/А.В. Кабышев. –Томск: Изд-воТомскогополитехническогоуниверситета, 2007. – 185с.

3. Рабочая программа дисциплины «Б.1.В.ОД.9 Электроснабжение промышленных предприятий. Разработчик: В.Б. Шлейников доцент кафедры ЭТЭ.: от 2016. [Электронный ресурс]: Официальный сайт / Оренбургский государственный университет.URL: <http://www.osu.ru/doc/4577/prof/2464/lvl/3/year/2016/> (дата обращения: 21.10.2019)

4. Рабочая программа дисциплины электроснабжение: от 14.10.2014. [Электронный ресурс]: Официальный сайт / Пермский национальный исследовательский политехнический университета. — URL: [http://pstu.ru/files/file/annotacii\\_rpd\\_uop/etf/msa/es\\_bacalavry/140400\\_62energogna\\_bzhenie.pdf](http://pstu.ru/files/file/annotacii_rpd_uop/etf/msa/es_bacalavry/140400_62energogna_bzhenie.pdf) (дата обращения: 21.10.2019)

5. Рабочая программа дисциплины электроснабжение QD-6.2.2/ППД 40.(45.05): от 28.12.2017 версия V3. [Электронный ресурс]: Официальный сайт / Калининградского государственного технического университета. — URL: <http://www.klgtu.ru/upload/education/opb/opvo/bak/ee/doc/Электроснабжение.pdf> (дата обращения: 21.10.2019)

6. Рабочая программа дисциплины электроснабжение: [Электронный ресурс]: Официальный сайт / ФГБОУ ВО «КГТА им. Дегтярева».URL: [http://dksta.ru/d/1340028/d/sistemy\\_elektrosnabzheniya\\_gorodov\\_i\\_promyshlennykh\\_predpriyatiy\\_0.pdf](http://dksta.ru/d/1340028/d/sistemy_elektrosnabzheniya_gorodov_i_promyshlennykh_predpriyatiy_0.pdf) (дата обращения: 21.10.2019)

7. Рабочая программа дисциплины электроснабжение: от 13.09.2018. Разработчик: В.Я. Кучер к.т.н., доцент. [Электронный ресурс]: Официальный сайт / Северо-Западный открытый технический университет. — URL:

[http://nwotu.ru/images/docs/2018/13.03.02.03/B1.V.OD.12\\_RP\\_Elektrosnabzheniye\\_13.03.02.pdf](http://nwotu.ru/images/docs/2018/13.03.02.03/B1.V.OD.12_RP_Elektrosnabzheniye_13.03.02.pdf) (дата обращения: 21.10.2019)

8. Рабочая программа дисциплины электроснабжение: от 12.10.2015. [Электронный ресурс]: Официальный сайт / филиал ФГБОУ ВО «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ» в г. Смоленске. —URL:

[http://www.sbmpei.ru/rpd/130302\\_EE\\_EES/b1/Annot\\_elektrosnabzhenie\\_EE\\_EES\\_12102015.pdf](http://www.sbmpei.ru/rpd/130302_EE_EES/b1/Annot_elektrosnabzhenie_EE_EES_12102015.pdf) (дата обращения: 21.10.2019)

9. Рабочая программа дисциплины электроснабжение: от 10.12.2008. [Электронный ресурс]: Официальный сайт /ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» в г. Красноярск. — [http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/176/u\\_kurs.pdf](http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/176/u_kurs.pdf) (дата обращения 18.11.2019)

10. Рабочая программа дисциплины электроснабжение предприятий: от 2011 г. [Электронный ресурс]: Официальный сайт / Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева в г. Саранск. — <http://www.mrsu.ru> (дата обращения 18.11.2019)

11. Рабочая программа дисциплины электроснабжение отрасли: от 05.05.2017 г. [Электронный ресурс]: Официальный сайт / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Керченский государственный морской технологический университет» в г. Керчь. —

[http://www.kgmtu.ru/wpcontent/uploads/2015/10/B1.V.DV.12.02\\_YElektrosnabzhenie-otrasli.pdf](http://www.kgmtu.ru/wpcontent/uploads/2015/10/B1.V.DV.12.02_YElektrosnabzhenie-otrasli.pdf) (дата обращения 18.11.2019)

12. Рабочая программа дисциплины организация электроснабжения электрооборудования по отраслям: от 28.06.2019 г. [Электронный ресурс]: Официальный сайт / Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» в г. Петровске. — [http://sstu.ru/upload/iblock/403/pm.01\\_esn\\_28\\_06\\_19\\_pf.pdf](http://sstu.ru/upload/iblock/403/pm.01_esn_28_06_19_pf.pdf) (дата обращения 18.11.2019)

13. Рабочая программа дисциплины электроснабжение: от 28.01.2016 г. [Электронный ресурс]: Официальный сайт / Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина в п. Майский. — [http://www.bsaa.edu.ru/upload/sveden/education/napr/350306el/rp/Metod\\_ElektSnab\\_350306el\\_28.01.2016.pdf](http://www.bsaa.edu.ru/upload/sveden/education/napr/350306el/rp/Metod_ElektSnab_350306el_28.01.2016.pdf) (дата обращения 18.11.2019)

14. Рабочая программа дисциплины электроснабжение: от 2011 г. [Электронный ресурс]: Официальный сайт / Ставропольский государственный аграрный университет в г. Ставрополь — <https://gigabaza.ru/doc/547-pall.html> (дата обращения 18.11.2019)

15. Рабочая программа дисциплины Электроснабжение с основами электротехники: от 04.09.2017 г. [Электронный ресурс]: Официальный сайт / Тувинский государственный университет в г. Кызыл [http://www.old.tuvsu.ru/upload/itf/rpd\\_2017gorhoz/B1.V.07.03.%20Elektrosnabjenie%20s%20osnovami%20elektrotehniki.pdf](http://www.old.tuvsu.ru/upload/itf/rpd_2017gorhoz/B1.V.07.03.%20Elektrosnabjenie%20s%20osnovami%20elektrotehniki.pdf) (дата обращения 18.11.2019)



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕГРЕВА ПРОВОДНИКА В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ТЕПЛООТВЕДЕНИЯ

Шлейников В.Б., канд. техн. наук, Япаров Д.А.  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

Нагрев и охлаждение проводников под действием электрического тока достаточно хорошо изучены. Например в [1] рассматривается нагрев и охлаждение одножильного проводника. Для стационарного режима, при котором нагрев проводника полностью компенсируется его теплоотдачей составлено уравнение,

$$\frac{d}{dr} \left( r \cdot \lambda_{\Pi} \frac{dT}{dr} \right) + rQ = 0 \quad (1)$$

где  $r$  – радиус проводника;

$\lambda_{\Pi}$  – коэффициент теплопроводности материала проводника, Вт/м К

$Q$  – мощность нагрева, Вт.

Решение уравнения (1) дает температуру в проводнике,

$$r \leq R_w: T(r) = T_w + \frac{Q_1}{4\pi\lambda_{\Pi}} \left( 1 - \left( \frac{r}{R_w} \right)^2 \right). \quad (2)$$

где  $R_w$  – радиус жилы, м;

$T_w$  – температура жилы.

В [2] рассмотрен нагрев двухжильного проводника.

С точки зрения пожарной безопасности выполнено исследование нагрева и охлаждения проводника [3].

Для определения теплообмена между поверхностью проводника и окружающей средой используется закон Ньютона,

$$q_c = \alpha_c (T_s - T_c) = \alpha_c \Delta T. \quad (3)$$

где  $\alpha_c$  – конвективный коэффициент теплоотдачи, Вт/м<sup>2</sup>·К;

$T_s$  – температура проводника, К.

$T_c$  – температура окружающей среды, К.

Здесь  $\alpha_c$  зависит от множества факторов, в т.ч. физических свойств окружающей среды.

Коэффициент теплоотдачи  $Nu$  (число Нуссельта) характеризует теплообмен в пограничном слое между поверхностью проводника и окружающей средой и может быть рассчитан по формуле,

$$Nu = \frac{\alpha_c d}{\lambda} = \alpha_c \Delta T. \quad (4)$$

где  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности воздуха Вт/м·К;

$d$  – диаметр проводника по внешнему слою изоляции, м.

Все эти исследования направлены на изучения равномерно охлаждаемого проводника, в основном для охлаждающей среды – воздух. В случае скрытой прокладки проводников, характер их охлаждения изменяется. Отдельные участки проводника окажутся в условиях худшего охлаждения. Очевидно, что замедленное теплоотведение вызовет местный перегрев этих участков. Ток, протекающий по проводнику не достигнет значений, при которых возникает перегрузка и срабатывание автоматических устройств отключения. Как следствие, в определенных местах возникает ускоренный износ изоляции и сокращение срока службы участков электропроводки. Определение состояния электропроводки в местах худшего охлаждения как правило не представляется возможным в связи с архитектурными особенностями помещения.

Была поставлена задача – теоретическим и экспериментальным путем определить условия ухудшения охлаждения проводника и связать их с ускорением старения изоляции.

Решая данную задачу использовалась модель, вытекающая из условия баланса трехжильного кабеля проложенного внутри помещения, аналогичная полученной в [4].

$$\frac{C}{A} \cdot \frac{d\vartheta}{dt} + \left(1 - 3I^2 \cdot \frac{\alpha R_0}{A}\right) \vartheta = 3I^2(t) \cdot \frac{R_0}{A} \quad (5)$$

где  $R_0$  – активное сопротивление жилы проводника при температуре 20°C, Ом;

$\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления, 1/°C;

$C$  – теплоемкость проводника или кабеля, Дж/°C;

$A$  – коэффициент теплоотдачи, учитывающий суммарную отдачу тепла в окружающую среду за счет теплопроводности, конвекции и излучения, Вт/°C.

Используя результаты моделирования, а также сведения о старении изоляции проводников решалась задача определения износа изоляции при протекании тока, не являющегося аварийным.

Дальнейшая проверка результатов моделирования предполагается с использованием лабораторного оборудования, разработанного в [5].

Вывод: прокладка скрытой электропроводки в неоднородной охлаждающей среде вызывает появление мест перегрева участков проводников током не являющимся аварийным и ускорение старения изоляции этих участков.

#### Список литературы

1. Моделирование стационарного нагрева одиночного изолированного проводника электрическим током. Аушев И.Ю., Станкевич Ю.А., Степанов К.Л. Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь, № 2 (16), 2012. С.77-86.

2. Динамика нагрева много жильного изолированного проводника электрическим током. Аушев И.Ю., Станкевич Ю.А., Степанов К.Л., Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь, № 2 (16), 2012. С.87-96.

3. Температура нагревания проводников в контактных соединениях электроустановок. Зинченко Е.О., Научный вестник НИИГД «Респиратор» № 3(54), 2017. С. 36-47.

4. Компьютерное моделирование процесса нагрева и определение расчетной нагрузки проводника при стохастическом характере изменения тока. Байбагысова Д.Ж., Кадиева А.К., Кадыров Ч.А., Узагалиев З.А. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018. Т. 20. № 3-4. С. 72-81.

5. Лабораторный комплекс по нагреву и охлаждению проводников [Электронный ресурс] / Шлейников В. Б., Базлов Д. А., Байкасенов Д. К., Сулеев М. А. // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием), 1-3 февр. 2017 г., Оренбург / М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Электрон. дан. - Оренбург: ОГУ, 2017. - . - С. 569-572.

## **ВОПРОСЫ, РАЗВИВАЮЩИЕ ОБРАЗНОСТЬ МЫШЛЕНИЯ У СТУДЕНТОВ – ЭЛЕКТРОТЕХНИКОВ**

**Ямансарин И.И. канд. техн. наук, Саликов М.П., канд. техн. наук, доцент  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»**

Одной из основных дисциплин у студентов, обучающихся на электроэнергетическом факультете является дисциплина «Электрические машины». Об электрических машинах известно практически все, написано много книг, учебников и т.д. Причем некоторые авторы [1] уделяют много внимания именно физическим процессам, происходящим в электрических машинах. И для описания этих процессов используют минимум формул и максимум рисунков, диаграмм, словесное описание. Учебник получается очень объемным, но зато материал легко усваивается. Но особенно последние учебники по курсу электрических машин изобилуют большим количеством математических формул, систем уравнений. Причем формулы очень сложные и недоступны для понимания без тщательного изучения курса высшей математики. Эти формулы, системы уравнений описывают работу электрических машин, процессы, происходящие в них, но порою они совершенно не дают представление о физических процессах, происходящих в электрических машинах. А студент, окончив ВУЗ на практике столкнется с реальными, а не виртуальными электрическими машинами. И ему будет не реально при помощи формул решать производственные задачи.

На вопрос преподавателя «Почему при изменении тока возбуждения двигателя постоянного тока изменяется частота вращения его ротора?» студенты обычно отвечают: «Это следует из уравнения». Но ведь преподаватель, задавая вопрос, надеялся на ответ, в котором будут перечислена последовательность физических процессов: изменение тока возбуждения изменяет магнитное поле, создаваемое обмоткой возбуждения - в магнитном поле находится магнитопровод из ферромагнитного материала, который значительно усиливает плотность магнитного поля, т.е. магнитную индукцию в магнитной цепи - изменённое магнитное поле приведёт к изменению электродвижущей силы в обмотке ротора, которая будет взаимодействовать с неизменным по величине электрическим напряжением, подведённым к обмотке ротора и т.д. Ведь не математические формулы, а физические процессы заставляют двигатель вращаться.

Представьте такой случай из практики. Поставили новый двигатель постоянного тока в место вышедшего из строя, а он не работает. Вызвали инженера – электромеханика. В чём дело? А инженер написал уравнение и глубокомысленно изрёк: напряжение есть, должен работать! А производственный процесс остановлен. Вывод. Такой знаток математики производству не нужен.

Чтобы правильно изложить последовательность физических процессов в каком-либо устройстве необходимо не только назвать этот процесс, но и иметь способность представить механизм его действия и почувствовать его проявление. Не зря в учебниках двадцатого века авторы этому уделяли большое внимание. А сейчас всё формулы да формулы.

Излишняя математизация стала бедой технического образования и является следствием положения, возникшего в теоретической физике в XX веке. Под объяснением физического процесса стало пониматься его математическое описание, причём усложнение математического аппарата вводится даже в некоторую заслугу авторов теорий [2]. Стало считаться, что настоящее открытие рождается «на кончике пера», а не при обобщении результатов экспериментов. Так что Менделеев не открыватель, а вот Эйнштейн – это настоящий учёный! Между тем теория Эйнштейна не объясняет его т.н. открытия, а именно, механизм искажения пространства, природу гравитации, не вскрывает причину, по которой пространство связано со временем через скорость света.

Пример излишней математизации. В [3] приводится математическое обоснование необходимости повышения электрического напряжения для снижения потерь мощности в линии электропередачи. Обоснование громоздко и вряд ли кто из студентов может его повторить. К тому же при выводе конечного уравнения теряется физика явлений. Но тот же результат можно получить в нескольких строках, рассуждая следующим образом: потери мощности в проводах линии электропередачи при протекании по ним тока равны произведению тока на напряжение, приложенное к проводу и, одновременно, произведению квадрата тока на величину активного сопротивления провода. При неизменной передаваемой в нагрузку линии мощности увеличение напряжения приводит к снижению тока, квадрата тока и потерь мощности в проводах линии.

Студенты слышали о великих достижениях физиков – теоретиках XX века, ставящих математику впереди физики, и часто пытаются подражать им, хотя бы в ответах на вопросы. Уравнения, разумеется, писать необходимо. Но столь же необходимо уметь вскрыть физическую суть составляющих уравнения частей и их диалектическую взаимосвязь. Развитию такого умения служат нижеприведённые вопросы, которые можно преподавателю задавать при приёме зачёта, на экзамене, государственном экзамене и во время защиты дипломного проекта.

- Почему пусковой ток электродвигателя как постоянного тока так асинхронного короткозамкнутого больше номинального?

- Почему асинхронный электродвигатель не может работать при скольжении равным нулю?

- Почему асинхронный однофазный двигатель не имеет пускового момента?

- Почему в электротехнике переменного тока используется питающее напряжение синусоидальной формы?

- С какой целью в магнитной цепи индуктивного сопротивления (реактора) выполняют немагнитный (воздушный) зазор?
- Перечислите не менее четырёх преимуществ трёхфазной системы напряжений перед однофазной.
- По какой причине токосъём в лабораторном автотрансформаторе (ролик или щетку) делают из графита?
- По какой причине токосъёмные щетки в машинах постоянного тока выполняют из графита?
- Почему в конденсаторе включённым в цепь переменного тока ток наибольший, когда напряжение на конденсаторе равно нулю?
- В чём заключается выгода от придания поперечного сечения стержням трансформатора ступенчатой формы вписанной в окружность?
- Почему магнитопровод трёхфазного трансформатора легче трёх магнитопроводов однофазных трансформаторов одной суммарной мощности?
- Каков обычный характер тока синхронных электродвигателей и как его изменить? Ответ пояснить векторной диаграммой.
- На рисунке покажите направления потоков охлаждающего воздуха в закрытом асинхронном двигателе и в двигателе постоянного тока.
- Что есть  $\cos\varphi$ ? Ответ сопроводите векторной диаграммой. Объясните его физический смысл.
- С помощью векторной диаграммы покажите напряжения и токи на кабеле и электродвигателе к клемнику которого подключен трёхфазный конденсатор.
- Поясните внешнюю (нагрузочную) характеристику трансформатора при активной, индуктивной и ёмкостной нагрузке?
- Поясните внешнюю (нагрузочную) характеристику синхронного генератора при активной, индуктивной и ёмкостной нагрузке?
- Почему для пуска синхронного двигателя необходимы дополнительные пусковые устройства? Расскажите о асинхронном пуске синхронного двигателя.
- Зачем для силовых трансформаторов проводят опыт короткого замыкания, и какие данные получают при этом опыте?
- Какие части магнитопровода асинхронного двигателя выполняют шихтованными из листовой электротехнической стали и по какой причине?
- С какой целью заземляют нейтраль трансформатора. Поясните с помощью векторной диаграммы.
- С помощью векторной диаграммы поясните, в чём заключаются преимущества и недостатки сетей с изолированной нейтралью?
- Что даёт применение в электромашиностроении ферромагнитных материалов с большой магнитной индукцией насыщения?
- От чего зависят потери в магнитопроводах электрических машин?

#### Список литературы

1. Костенко, М. П. Электрические машины: учеб. для втузов / М. П. Костенко, Л. М. Пиотровский. - 2-е изд. - М. ; Л. : Энергия, 1964

2. Ацюковский В.А. Материализм и релятивизм. Критика методологии современной теоретической физики. - М.: Инженер, 1993. - 192 с.

3. Сивухин Д.В. Общий курс физики, том 3, Электричество: учебное пособие /Д.В.Сивухин. - 4-е издание, стереотипное. - Москва, Физматлит МФТИ, 2002.-654 с.