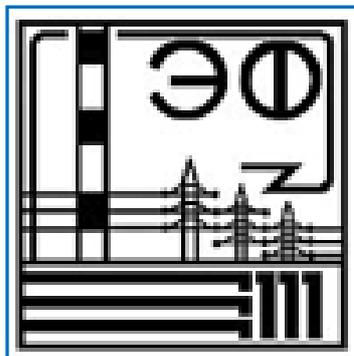


Министерство образования Республики Беларусь

Белорусский национальный технический университет

Энергетический факультет

## **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ**



**Материалы 69 – й  
научно – технической конференции  
студентов и аспирантов**

*Электронное издание*

**Минск 2014**

УДК 621.311  
ББК 31 я 43  
А 43

### **Р е ц е н з е н т**

Доцент кафедры автоматизированных систем управления  
УО БГАТУ, к.т.н. *И.П. Матвеевко*

В сборник включены тезисы докладов 65–й научно-технической конференции студентов и аспирантов БНТУ по секциям: «Электрические станции»; «Электрические системы»; «Электроснабжение»; «Тепловые электрические станции»; «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника»; «Электротехника и электроника»; «Экономика и организация энергетики».

Белорусский национальный технический университет.

Энергетический факультет.

пр - т Независимости, 65/2, г. Минск, Республика Беларусь

Тел.: (017) 292-42-32 Факс: 292-71-73

E-mail: ef@bntu.by

<http://www.bntu.by/ef.html>

Регистрационный № ЭИ БНТУ/ЭФ39-18.2014

© Жуковская Т.Е., компьютерный дизайн, 2014

© БНТУ, 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

- [Секция 1 «Электрические станции»](#)
- [Секция 2 «Электрические системы»](#)
- [Секция 3 «Электроснабжение»](#)
- [Секция 4 «Тепловые электрические станции»](#)
- [Секция 5 «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника»](#)
- [Секция 6 «Электротехника и электроника»](#)
- [Секция 7 «Экономика и организация энергетики»](#)

# **СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ**

## **ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ**

### **СОВРЕМЕННЫЕ ЭЛЕГАЗОВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ И ИХ СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА**

КАРАБАНЬ Н.Г., ПАЦ К.Г.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ДЕРЮГИНА Е.А., к.т.н., доцент

### **ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В СИСТЕМАХ АСКУЭ**

МИНЮК А.Г., ГАВРИЕЛОК Ю.В.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – БУЛОЙЧИК Е.В.

### **ПРИБЛИЖЁННЫЕ ОЦЕНКИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ**

ПЕРЛИН А.М., СОКОЛОВ В.В.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ДЕРЮГИНА Е.А., к.т.н., доцент

### **РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ И ПРИМЕНЕНИЮ ОПН И ИХ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

ПЕТРОВА Ю.В.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ПОНОМАРЕНКО Е.Г., к.т.н., доцент

### **ГЛУБИННЫЕ ЗАЗЕМЛИТЕЛИ**

МИСЮЛЯ Д.А., ДУНЧЕНКО Д.А.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ДЕРЮГИНА Е.А., к.т.н., доцент

### **ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГАЗОВ**

МОСТЫКО Д.В.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ДЕРЮГИНА Е.А., к.т.н., доцент

### **АНОДНЫЕ ЗАЗЕМЛИТЕЛИ**

ПЕТЮК С.В., ДУНЧЕНКО Д.А., СОКОЛОВ В.В.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ДЕРЮГИНА Е.А., к.т.н., доцент

### **КЛАССИФИКАЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПО УСТРОЙСТВУ МОЛНИЕЗАЩИТЫ**

СМАЖЕВСКИЙ Д.Л., РАМАНОВИЧ А.А.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ДЕРЮГИНА Е.А., к.т.н., доцент

### **МИКРОПРОЦЕССОРЫ В АВТОМОБИЛЕ**

РАМАНОВИЧ А.А.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ПОТАЧИЦ Я.В.

### **ЭЛЕГАЗОВЫЕ КОММУТАЦИОННЫЕ АППАРАТЫ**

РАГУНОВИЧ А.Н.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – МАЗУРКЕВИЧ В.Н., к.т.н., доцент

### **КОМПЬЮТЕР КАК ИСТОЧНИК ПОМЕХ**

СЕГЕНЬ Р.Р.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – БУЛОЙЧИК Е.В.

### **СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ**

СОЛОМОНОВ Н.А.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ПОНОМАРЕНКО Е.Г., к.т.н., доцент

### **РАСЧЕТ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6КВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

НОВАК А. В., ЕРОХОВ Е. Л., ФЕОКТИСТОВ А. А.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ГЛИНСКИЙ Е. В.

**ЗАЩИТА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ 0,4 КВ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ**

Станюш Д.А.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

**СПОСОБЫ ОГРАНИЧЕНИЯ ТОКОВ КЗ**

Будников М.В.

Научный руководитель – Гурьянчик О.А., ассистент

**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ ЛИНИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ**

Баран А. А., Козел А. С., Беседа А. С.

Научный руководитель – Булойчик Е. В.

**НАКЛОННЫЕ ЗАЗЕМЛИТЕЛИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК 380/220 В**

Спургияш А.Г., Дунченко Д.А.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

**РАСЧЕТЫ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ**

Бочков А.С., Соколов В.В.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

**КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ УСИЛИЙ ПРИ РАСПОЛОЖЕНИИ ЖЕСТКИХ ШИН В ВЕРШИНАХ ПРОИЗВОЛЬНОГО ТРЕУГОЛЬНИКА**

Шпаковский А.А., Баран А.Г.

Научный руководитель – Климкович П.И.

**ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРЯДНИКОВ ДЛЯ ГРОЗОЗАЩИТЫ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 6 – 30 КВ**

Чертович А.С.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

**ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ И УСТРОЙСТВАХ**

Шалесный В.А., Раманович А.А.

Научный руководитель – Красько А.С., к.т.н., доцент

**РАСЧЕТ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6 КВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ НА ПРИМЕРЕ МИНСКОЙ ТЭЦ-4**

Демешкевич Е. В., Чигорский Е. В., Новак А. В., Ерохов Е. Л.

Научный руководитель – Глинский Е. В.

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА И ПРОГРАММЫ ВЫБОРА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ**

Алешкевич Р.К., Шляпик А.А., Климентионюк А.К.

Научный руководитель – Булат В.А., к.т.н., доцент

**УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ**

Шарафанович Р.Г.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

**НАВЕДЕННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ**

Шмыгун О.Я.

Научный руководитель – Мазуркевич В.Н., к.т.н., доцент

**ХИМИЧЕСКИЕ ЗАЗЕМЛИТЕЛИ**

Глушко И.И., Соколов В.В.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

**КОММУТАЦИОННЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ**

Грек Н.О., Раманович А.А.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

**ЗАЩИТА СООРУЖЕНИЙ ОТ АТМОСФЕРНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ**

КАТРИЧ А.Е., РАМАНОВИЧ А.А.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – КЛИМКОВИЧ П.И.

**МЕТАЛЛОКСИДНЫЕ ОГРАНИЧИТЕЛИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ**

АФАНАСЬЕВА Ю.С.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ПОНОМАРЕНКО Е.Г., к.т.н., доцент

**ВИДЫ ПОМЕХ И СПОСОБЫ БОРЬБЫ С НИМИ В ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**

КОРЖЕНКО А.В., ЛУКЬЯНЮК М.С.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – БОБКО Н.Н., доцент

**ПРАКТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОСКОГО СЕЧЕНИЯ В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

КОВАЛЬ А.А., БАРАН А.Г.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – КЛИМКОВИЧ П.И.

**АНАЛИЗ ТЕОРИЙ ОЦЕНКИ УРОВНЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ДУГОВЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ**

КАТРИЧ А.Е., РАМАНОВИЧ А.А.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – БУЛОЙЧИК Е.В.

**ЗАЗЕМЛЯЮЩИЕ ЭЛЕКТРОДЫ**

ДАВШКО Д.В., ДУНЧЕНКО Д.А., СОКОЛОВ В.В.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ДЕРЮГИНА Е.А., к.т.н., доцент

**ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТОВ РЕЖИМОВ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ МЕХАНИЗМОВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЭС**

ГУЗОВСКАЯ В.Н., БАРАН А.Г., НОВАК А.В.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – НОВАШ И.В., к.т.н., доцент

**ОГРАНИЧИТЕЛИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В СЕТЯХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ**

МАРЧУК В.Ю., РАМАНОВИЧ А.А.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ПОНОМАРЕНКО Е.Г., к.т.н., доцент

**ИЗМЕРЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

КУЗУРА В.К.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – РУМЯНЦЕВ В.Ю., к.т.н., доцент

**ГРОЗОВОЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЕ**

КОСИК Е.Н.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ДЕРЮГИНА Е.А., к.т.н., доцент

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОМЕСТИМОСТЬ ВТОРИЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

КОРОЛЁВ Е.Л., ГАВРИЕЛОК Ю.В.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – БУЛОЙЧИК Е.В.

**ПРИМЕНЕНИЕ ДЛИННО-ИСКРОВЫХ РАЗРЯДНИКОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6–10 КВ**

ЕРОФЕЕНКО Т.С., ШПАК Ю.С., ПАШКО Ю.Р., КАТРИЧ А.Е.  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – КРАСЬКО А.С., к.т.н. доцент

УДК 621.316.3

## СОВРЕМЕННЫЕ ЭЛЕГАЗОВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ И ИХ СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА

Карабань Н.Г., Пац К.Г.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

На сегодняшний день элегазовый выключатель представляет собой один из наиболее прогрессивных видов высоковольтных выключателей. Он используется с целью защиты и контроля энергосистем, соединения электрических цепей. В данном устройстве изоляционной средой для гашения дуги служит элегаз, известный превосходными дугогасящими свойствами и электрической прочностью. Элегазовые выключатели отличаются надежностью и долговечностью (гарантированный срок эксплуатации достигает 25 лет). В зависимости от модели элегазовый выключатель может устанавливаться в закрытых или открытых распределительных устройствах.

В элегазовых дугогасительных устройствах (ДУ) при гашении дуги истечение газа через сопло происходит в замкнутый объем камеры, заполненный элегазом при небольшом избыточном давлении. По способу гашения дуги в элегазе различают следующие ДУ:

с системой продольного дутья, в которую предварительно сжатый газ поступает из резервуара с относительно высоким давлением элегаза (ДУ с двумя степенями давления);

автокомпрессионные с дутьем в элегазе, создаваемым посредством встроенного компрессионного устройства (ДУ с одной степенью давления);

с электромагнитным дутьем, в котором гашение дуги обеспечивается в результате ее перемещения с высокой скоростью в неподвижном элегазе по кольцевым электродам под воздействием радиального магнитного поля, создаваемого отключаемым током (ДУ с электромагнитным дутьем);

с системой продольного дутья, в котором повышение давления в элегазе происходит при разогреве дугой, вращающейся в специальной камере под воздействием магнитного поля.

В элегазовых выключателях гашение дуги происходит так же, как и в воздушных выключателях, при интенсивном охлаждении дуги потоком газа. Дугогасительная способность элегаза в 4 – 4,5 раза выше, чем воздуха при сопоставимых условиях. Это преимущество объясняется различиями теплофизических свойств элегаза и воздуха. Канал столба дуги в элегазе обладает меньшим теплосодержанием по сравнению с воздухом и высокой способностью элегаза захватывать свободные электроны. В результате количество носителей тока – свободных электронов – в столбе дуги вследствие этого уменьшается, баланс их может стать отрицательным и дуга гаснет. Явление захвата электронов особенно благоприятно сказывается после перехода тока через нуль, вследствие чего элегазовые выключатели мало чувствительны к частоте восстанавливающегося напряжения. Как показали исследования, в элегазе практически до естественного перехода тока через нуль не происходит разрушения канала столба дуги, обладающего высокой проводимостью. Это исключает возможность появления перенапряжений при отключении ненагруженных трансформаторов и линий электропередач. В противоположность этому в воздушных выключателях интенсивными турбулентными процессами столб дуги может разрушаться раньше естественного перехода тока через нуль, что приводит к появлению перенапряжений, для ограничения которых воздушные выключатели снабжаются шунтирующими сопротивлениями.

В настоящее время в зарубежных энергосистемах большинство применяемых выключателей высокого напряжения – элегазовые. К сожалению, в отечественной энергетике выключатели этого типа пока не нашли широкого применения.

Не так давно считалось, что применение элегаз – для напряжения 110 кВ и выше неэффективно. За рубежом думали иначе и разработали элегазовые выключатели нагрузки для распределительных сетей. При этом там руководствовались тем принципом, что на первом месте должна стоять безопасность оборудования, на втором надежность, а уж потом технические характеристики. И элегазовые выключатели этим принципам отвечали. Элегаз на высоком напряжении находится под большим давлением, в больших объемах. На среднем напряжении выключатель находится в небольшой капсуле. Причем избыточное давление в этой капсуле максимум на 0,2 атмосферы превышает нормальное атмосферное давление. Вопреки расхожему мнению, элегаз неопасен для окружающей среды и здоровья человека. Вредны продукты, выделяемые во время горения дуги в элегазе. Сегодня их улавливают специальные ловушки в аппаратах. Потом эти продукты утилизируются на заводах изготовителях элегазового оборудования. Элегазовые выключатели нагрузки, помимо своей безопасности, имеют возможность дистанционного управления, что также очень важно в эксплуатации. В элегазе большее, чем в вакууме, расстояние между контактами и происходит более мягкое отключение, почти такое же, как на маломасляных выключателях.

Таким образом элегазовые выключатели имеют следующие достоинства: пожаро- и взрывобезопасность, быстрота действия, высокая отключающая способность, малый износ дугогасительных контактов, возможность создания серий с унифицированными узлами, пригодность для наружной и внутренней установки. Кроме этого к достоинствам следует отнести:

- использование в соединениях двойных уплотнений, а также применения жидкостного затвора в узле уплотнения подвижного вала. Естественный уровень утечек - не более 0,5% в течение года - подтверждается испытаниями каждого выключателя на заводе-изготовителе по методике, применяемой в космической технике;

- современные технологические и конструкторские решения и применение надежных комплектующих, в том числе высокопрочных изоляторов зарубежных фирм;

- высокая заводская готовность, позволяющая осуществлять простой и быстрый монтаж выключателей и ввод их в работу;

- высокая коррозионная стойкость покрытий, применяемых для стальных конструкций выключателя;

- высокий коммутационный ресурс, заданный для каждого полюса, в 2-3 раза превосходящий коммутационный ресурс лучших зарубежных аналогов (в расчете на каждый полюс), в сочетании с высоким механическим ресурсом, повышенными сроками службы уплотнений и комплектующих обеспечивают при нормальных условиях эксплуатации не менее чем 25-летний срок службы выключателя до первого ремонта;

- возможность отключения токов нагрузки при потере избыточного давления газа в выключателе;

- отключение емкостных токов без повторных пробоев, низкие перенапряжения;

- низкий уровень шума при срабатывании выключателя, соответствующий высоким природоохранным требованиям.

Недостатками являются: необходимость устройств для получения и очистки продуктов сгорания элегаза; высокая стоимость элегаза и выключателя в целом; переход элегаза в жидкое состояние при сравнительно высоких температурах, что определяет дополнительные требования к температурному режиму элегазового оборудования в эксплуатации.

Для работы элегазового оборудования при отрицательной температуре минус 40°С необходимо, чтобы давление элегаза в аппаратах не превышало 0,4 МПа при плотности не более 0,03 г/см<sup>3</sup>. При повышении давления элегаз будет сжижаться при более высокой температуре. Поэтому для повышения надежности работы электрооборудования при температурах примерно минус 40°С его следует подогревать (например, бак элегазового выключателя во избежание перехода элегаза в жидкое состояние нагревают до плюс 12°С). Дугогасительная способность элегаза при прочих равных условиях в несколько раз больше, чем воздуха.

Проводя сравнение технических и коммутационных характеристик элегазовых выключателей среднего класса напряжения выпускаемых различными фирмами можно сделать следующий вывод: выключатели, выпускаемые фирмой «Мицубиси» (Япония) имеют наиболее предпочтительные характеристики, как по номинальному току, так и по отключающей способности для класса напряжения от 72 кВ до 300 кВ. Номинальные токи этих выключателей достигают величины 4000 А, а ток отключения - 48,1 кА, что выше соответствующих параметров выключателей выпускаемых фирмами «Вестенгауз» (США), «Сименс» (Германия) и др. Кроме этого, элегазовые выключатели, несмотря на свою высокую стоимость (в 1,5 раза дороже), по своим техническим характеристикам равноценны вакуумным и в настоящее время составляют им основную конкуренцию.

#### Литература

1. Элегазовые выключатели распределительных устройств высокого напряжения. <http://www.google.com/Современные элегазовые выключатели>.

УДК 620.9.002.56

## **ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В СИСТЕМАХ АСКУЭ**

Минюк А.Г., Гавриелок Ю.В.

Научный руководитель – Булойчик Е.В.

Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях разработаны в рамках научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы «Разработка нормативных и методических документов для проектирования и эксплуатации объектов электроэнергетики на основе обеспечения электромагнитной совместимости», выполненной Московским энергетическим институтом (МЭИ ТУ) совместно с научно-производственной фирмой ЭЛНАП в период с 2001 по 2002 г. по техническому заданию РАО «ЕЭС России».

Методические указания предназначены для решения актуальной комплексной задачи: определения наиболее неблагоприятной ЭМО, характеризуемой наибольшими, но реально возможными электромагнитными воздействиями в местах расположения аппаратуры АСТУ; проверки электромагнитной совместимости (ЭМС) АСТУ на действующих объектах и в случае необходимости разработки предложений по улучшению ЭМО; разработки требований по классам жесткости испытаний на помехоустойчивость аппаратуры АСТУ, устанавливаемой на объектах.

Методические указания определяют порядок проведения измерений и расчетов, необходимых для получения количественных данных о наибольших значениях электромагнитных воздействий.

Методика определения ЭМО на энергообъекте включает в себя следующие основные этапы: получение исходных данных об энергообъекте для проведения работ; экспериментально-расчетное определение ЭМО на объекте; определение соответствия между уровнями помехоустойчивости устройств АСТУ, установленных на объекте, и ЭМО в местах размещения этих устройств или степени жесткости испытаний на помехоустойчивость устройств, которые будут установлены на объекте.

Для проведения экспериментальных работ создают рабочую программу. По результатам работ составляют технический отчет и оформляют протоколы результатов измерений и расчетов по всем указанным видам электромагнитных воздействий. В протоколах дается сопоставление возможных уровней воздействий на АСТУ с их помехоустойчивостью и заключение об уровне электромагнитной совместимости, а также дополнительные рекомендации по ее обеспечению в случае необходимости.

При имитации электромагнитных воздействий и измерениях на действующих РУ с использованием вынесенных токовых и потенциальных электродов принимают меры по защите от воздействия полного напряжения на заземлителе при стекании с него тока однофазного КЗ на землю.

При подготовке измерительных схем сначала присоединяют провод к вспомогательному электроду (токовому, потенциальному), а затем к соответствующему измерительному прибору.

Определение ЭМО проводят на вновь строящихся объектах при пусконаладочных работах.

При техническом перевооружении действующих объектов определение ЭМО проводят в два этапа: на этапе предпроектных изысканий; при пусконаладочных работах.

По результатам оценки электромагнитной обстановки разрабатываются и осуществляются защитные мероприятия. В зависимости от результатов обследования, они могут включать: оптимизацию заземляющего устройства, обеспечение правильной

прокладки вторичных цепей по условиям электромагнитной совместимости, оптимизацию систем питания, установку стабилизаторов, разделительных трансформаторов и устройств резервирования питания, организация защищенной подсети для устройств связи, АСУ и т. п.

#### Литература

1. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике / А.Ф. Дьяков, Б.К. Максимов, Р.К. Борисов, И.П. Кужекин, А.В. Жуков / Под ред. А.Ф. Дьякова. – М.: Энергоатомиздат, 2003.
2. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике: Пер. с нем. И.П. Кужекина / Под ред. Б.К. Максимова. – М.: Энергоатомиздат, 1995.
3. Шваб А. Электромагнитная совместимость: Пер. с нем. В.Д. Мазина и С.А. Спектра / Под ред. И.П. Кужекина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1998.
4. Кармашев В.С. Электромагнитная совместимость технических средств: Справочник. – М.: Изд-во Норт, 2001.
5. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.
6. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Министерство энергетики РФ. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2003.
7. Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на электрических станциях и подстанциях. СИГРЭ. Рабочая группа 36.04. – 1997.

УДК 620.9.001.5

## ПРИБЛИЖЁННЫЕ ОЦЕНКИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Перлин А.М., Соколов В.В.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

Заземляющие устройства (ЗУ) современных объектов энергетики являются сложными инженерными сооружениями. Они должны обеспечивать нормальное функционирование всех систем, включая и цепи управления, измерения, а также безопасность персонала на территории. В процессе проектирования ЗУ точные расчеты производятся с помощью современных программ. Однако важную роль играют также приближенные оценки различных параметров, в первую очередь сопротивления ЗУ.

Сопротивление ЗУ является интегральным параметром системы электродов, образующих ЗУ. Реальные ЗУ имеют сложную структуру и состоят их десятков или сотен элементов. Для расчета сопротивления могут быть использованы различные алгоритмы. Наиболее простым является алгоритм расчета так называемого «эквипотенциального» ЗУ, в котором не учитывается падение напряжения на элементах при протекании тока короткого замыкания. Расчеты показывают, что для получения значения сопротивления ЗУ с погрешностью порядка 10 % необходимо знать параметры грунта на глубину около  $4\sqrt{S}$  ( $S$  – площадь ЗУ).

В случае «неэквипотенциальных» ЗУ распределение потенциала по сетке ЗУ может целиком определяться параметрами сетки, особенно в случае подстанций мощных электростанций. При оценке возможного уровня погрешности нужно знать, что при расчете токов КЗ *сопротивление заземлителя не учитывается вообще*. В настоящее время во всех программах расчета ЗУ используется метод узловых потенциалов, а каждый элемент ЗУ в схеме замещения представлен своими сопротивлением и индуктивностью. Погрешность расчета напряжений прикосновения связана с погрешностью расчета падения напряжения по сетке ЗУ и, видимо, никак не меньше последней, т. е. 10 %.

Анализ импульсных воздействий на ЗУ производится в основном в связи с решением задач электромагнитной совместимости. Один из основных вопросов – возможность пробоя с сетки ЗУ на вторичные цепи. Но достаточно надежные оценки напряжений перекрытия по поверхности грунта, а также данные об электрической прочности цепей вторичной коммутации отсутствуют. Поэтому погрешность порядка 30 % при расчете импульсных воздействий на ЗУ является вполне удовлетворительной.

Под многослойным грунтом понимается грунт с горизонтальными границами раздела, внутри которых удельное сопротивление грунта в слое постоянно. Электрическое поле в земле в разных областях (в непосредственной близости от заземлителя и на расстояниях значительно больших) изменяется по разным законам. Поэтому определение  $\rho_3$  (эквивалентное удельное сопротивление многослойной земли, которое может быть представлено как функция удельного сопротивления верхнего слоя и структуры многослойного грунта) является сложной задачей.

Процесс приведения многослойного грунта к однородному проводится в несколько этапов. Вначале следует максимально упростить структуру грунта и по возможности свести ее к трехслойной, а затем к двухслойной, как это изложено выше. Следующий этап состоит в замене двух нижних слоев с их удельными сопротивлениями на один слой с удельным приведенным сопротивлением. Погрешность приближенного метода, основанного на приведении многослойного грунта к однородному, не превышает 4 %.

Сопротивление заземления – наименее строго нормируемый параметр. Фиксированные значения сопротивлений заземления молниеотводов даны только в ПУЭ. Результаты же численных расчетов по приведённым методам помогают оценить затраты отчуждаемой площади и необходимое количество металла для устройства нормированных заземлителей на стадии проектирования, учитывая свойства как однослойных так и многослойных грунтов.

#### **Литература**

1. Колечицкий Е.С. Приближённые оценки сопротивления заземляющих устройств // Вестник Московского энергетического университета. – 2006. – № 4. – С. 58–62.
2. Колечицкий Е.С. Основы расчета заземляющих устройств. – М.: Издательство МЭИ, 2003.
3. Бургсдорф В.В., Якобс А.И. Заземляющие устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

УДК 621.316(083.13)

## **РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ И ПРИМЕНЕНИЮ ОПН И ИХ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Петрова Ю.В.

Научный руководитель – Пономаренко Е.Г., к.т.н., доцент

Данная работа позволяет ознакомиться с основными характеристиками и рекомендациями по подбору ОПН и применением их в энергосистемах переменного и постоянного тока, электрифицированных сетях железных дорог, на предприятиях химической, металлургической, нефтегазовой промышленности, что позволит более эффективно.

Ограничитель широко используется в импульсной технике для формирования и преобразования импульсов, в устройствах радиовещания и многоканальной связи для ограничения уровня сигналов и так далее.

Ограничитель перенапряжений нелинейный (ОПН) является одним из основных элементов системы защиты от перенапряжений, обеспечивающий защиту электрооборудования распределительного устройства подстанций и линий от коммутационных и грозовых перенапряжений.

К основным параметрам ограничителя относятся:

- наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение;
- номинальное напряжение, номинальный разрядный ток, класс пропускной способности;
- уровни остающихся напряжений при коммутационных и грозовых импульсах;
- величина тока срабатывания противозрывного устройства ограничителя;
- длина пути утечки внешней изоляции.

Преимущества ОПН:

- простота конструкции;
- высокая надежность;
- стойкость к внешнему загрязнению изоляционного корпуса;
- способность ограничивать внутренние перенапряжения, большая взрывобезопасность у ограничителей перенапряжения с полимерным корпусом, меньшие габариты и масса, чем у разрядников, могут использоваться в сетях постоянного тока.

Каждый ОПН в соответствии с заказом комплектуется датчиком тока, который является составной частью измерительного устройства для контроля тока проводимости типа УКТ-02.

Основные параметры ограничителя выбирают исходя из назначения, требуемого уровня ограничения перенапряжений, места установки, а также схемы сети и ее параметров (наибольшего рабочего напряжения сети, способа заземления нейтрали, величины емкостного тока замыкания на землю и степени его компенсации, длительности существования однофазного или трехфазного замыкания на землю и так далее).

С технической стороны выбор ОПН сводится к его вольтамперной характеристике – для его безопасной работы в электрической сети ВАХ поднимают (снижается тепловая стабильность и ток проводимости ОПН, при снижении классификационного напряжения), а с другой, для того чтобы обеспечить координационный интервал для защищаемой изоляции, ВАХ необходимо снижать.

По назначению ограничители применяют для защиты оборудования от грозовых и коммутационных перенапряжений.

Места установки и расстояния от ограничителей до защищаемого оборудования должны соответствовать требованиям «Правил устройства электроустановок».

**Литература**

1. Сайт [www.energfolat.ru](http://www.energfolat.ru).
2. Сайт [www.elec.ru](http://www.elec.ru).

УДК 620.9:621.314

## ГЛУБИННЫЕ ЗАЗЕМЛИТЕЛИ

Мисюля Д.А., Дунченко Д.А.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

Заземлитель представляет собой совокупность соединенных между собой проводников (электродов), находящихся в соприкосновении с землей и используемых в целях безопасности (защитное заземление), обеспечения нормальной работы электроустановок (рабочее заземление) и отвода в землю токов молнии или ограничения грозовых перенапряжений (заземление молниезащиты).

Глубинные анодные заземлители (ГАЗ) из обсадных труб нашли широкое применение в качестве глубинных заземлений благодаря прогнозируемому сроку службы 20 лет и доступности материалов для изготовления. Изначально ГАЗ разрабатывались в качестве глубинных заземлений для высокоомных грунтов Западной Сибири (типовой проект ЮЖНИИГИПРОГАЗа). Позднее ГАЗ стали использовать при проектировании систем электрохимической защиты (ЭХЗ) на линейной части магистральных трубопроводов и площадочных подземных сооружениях во всех климатических районах.

Использование обычного проката черных металлов для устройства заземления приводит к быстрому (в течение 5–7 лет) возрастанию сопротивления заземлителя из-за непрерывного процесса коррозии стали в грунте. Продукты коррозии имеют рыхлую структуру и увеличенный объем, в 3,5 раза превышающий первоначальный объем самой стали.

Для достижения минимального сопротивления протеканию электрического тока наиболее эффективны плотные и водонасыщенные слои, залегающие преимущественно ниже 10–15-метровых отметок. Поэтому более предпочтительным является применение различного рода глубинных заземлителей. Они создаются промышленным способом и позволяют достичь заданного значения сопротивления при минимальном числе точек погружения, сохраняя это сопротивление стабильным в течение всего срока эксплуатации вне зависимости от сезонных влажностных и температурных колебаний.

Применение глубинных анодных заземлений определяется в первую очередь необходимостью электрохимической защиты подземных металлических сооружений с помощью катодных станций при отсутствии возможности размещения на этом объекте более дешевого подпочвенного анодного заземления.

Основным элементом глубинного анодного заземлителя является электрод-модуль, который отливается из специального малорастворимого сплава. Электрод-модули соединяются в гирлянду, места соединения электрод-модулей герметизируются муфтами поставляющимися в комплекте. Количество модулей, количество соединительных проводов и их длина определяется заказчиком в зависимости от удельного электрического сопротивления грунта в месте монтажа глубинного заземлителя.

Для монтажа заземлителя не требуется специального оборудования, так как он собирается из отдельных модулей по мере опускания в скважину. Монтажные работы выполняются с помощью оборудования, имеющегося на мобильных буровых установках. В ходе сбора информации было выявлено, что заземление – это преднамеренное соединение нетоковедущих элементов оборудования, которые в результате пробоя изоляции могут оказаться под напряжением, с землей.

### Литература

1. Сайт <http://www.sk-avesta.ru>.

УДК 620.9:621.314

## ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГАЗОВ

Мостыко Д.В.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

Метод газовой хроматографии – первый из хроматографических методов, получивших инструментальное обеспечение. К настоящему времени разработаны теория хроматографического процесса и множество хроматографических методов анализа. Среди разнообразных методов анализа хроматография отличается самой высокой степенью информативности благодаря одновременной реализации функций разделения, идентификации и определения. Кроме того, метод используется и для концентрирования.

Разделение смеси не вызывает особых трудностей, если ее компоненты находятся в различных фазах. Оно существенно осложняется, если компоненты смеси образуют одну фазу. В этом случае приходится изменять агрегатное состояние отдельных компонентов (например, добиться их выпадения в осадок), либо применять химические или физические методы разделения. Если в качестве неподвижной фазы взять мелкоизмельченный сорбент и наполнить им трубку (стеклянную или металлическую), а движение подвижной фазы (жидкости или газа) осуществлять за счет перепада давления на концах этой трубки, то последняя будет представлять собой хроматографическую колонку. Применение хроматографического метода не ограничивается лишь разделением и анализом смеси веществ. В последнее время хроматография широко используется и как метод, научного исследования, например, для исследования свойств сложных систем, в частности растворов.

Итак, хроматографией следует называть процесс, основанный на перемещении дискретной зоны вещества вдоль слоя сорбента в потоке подвижной фазы и связанный с многократным повторением сорбционных и десорбционных актов. Хроматографический процесс осуществляется при сорбционном распределении вещества между двумя фазами, одна из которых перемещается относительно другой.

Многообразие вариантов хроматографического метода, возникшее в связи с широким его развитием, вызывает необходимость их классификации. К основным признакам классификации относятся: агрегатное состояние фаз, природа элементарного акта, способ относительного перемещения фаз, способ аппаратного оформления процесса, цель осуществления процесса.

Метод газовой хроматографии является одним из самых современных методов анализа. Его отличительные черты – экспрессность, высокая точность, чувствительность, возможность автоматизации. Степень универсальности и гибкости метода газовой хроматографии во многом определяется существующим техническим уровнем аппаратуры.

Следует отметить, что метод непрерывно развивается и совершенствуется. Расширяются и границы применимости метода в различных областях науки и техники. В химии и нефтехимии это анализ нефти и продуктов ее переработки: анализ смесей газообразных углеводородов; анализ бензина, воска и продуктов их окисления; изучение серосодержащих и азотсодержащих продуктов крекинга; анализ растворителей – спиртов, кетонов, смесей углеводородов; изучение состава природных продуктов. В сельском хозяйстве это анализ гербицидов, пестицидов, удобрений.

### Литература

1. Сайт <http://wikipedia.org>.
2. Сайт <http://xumuk.ru>.
3. Сайт <http://hromatograf.ru>.

УДК 621.316.933

## АНОДНЫЕ ЗАЗЕМЛИТЕЛИ

Петюк С.В., Дунченко Д.А., Соколов В.В.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

Эластомерные электроды анодного заземления (АЗ) представляют собой малорастворимые электроды из электропроводной эластомерной композиции, предназначенные для применения в анодных заземлениях установок катодной защиты металлических и железобетонных сооружений от коррозии, контактирующих с грунтом, речной и морской водой и другими электролитическими средами, а также в контурах защитных заземлений устройств грозозащиты и защиты от высоких напряжений и статического электричества любых промышленных объектов (за исключением пожароопасных и взрывоопасных зон).

Принципиальная конструкция эластомерных электродов АЗ представляет собой линейный цилиндрический электрод, состоящий из одной или двух оболочек из электропроводного эластомера, внутри которого коаксиально вдоль его центральной оси размещен металлический сердечник, выполняющий функцию токопровода. Электропроводный эластомер, являющийся рабочим материалом электродов, состоит из эластомерной матрицы, наполненной углеродными компонентами, обеспечивающими протекание анодного тока. Эластомерная матрица обладает высокой эластичностью, деформационной упругостью, стойкостью к озоновому, кислородному и иным видам старения и воздействию агрессивных сред.

Типы серийно выпускаемых эластомерных электродов АЗ:

- электроды протяженного типа однослойные (ЭЛЭР-2, ЭЛЭР-2.1, ЭЛЭР-5);
- электроды протяженного типа двухслойные (ЭЛЭР-2.1/2);
- электроды модульного типа (ЭЛЭР-3);
- электроды глубинного типа (ЭЛЭР-5ГАЗ).

Условия применения и принцип действия электродов АЗ протяженного типа определяются их конструкцией и характеристиками рабочего материала.

Однослойные электроды АЗ протяженного типа ЭЛЭР-2, ЭЛЭР-2.1, ЭЛЭР-5 имеют одну рабочую оболочку из электропроводного эластомера с заданным в процессе их изготовления постоянным значением удельного объемного электрического сопротивления в диапазоне 0,5–5,0 Ом·м.

Двухслойные электроды АЗ протяженного типа ЭЛЭР-2.1/2 имеют, кроме рабочей оболочки, еще одну эластомерную оболочку, значение удельного объемного электрического сопротивления которой задается в процессе изготовления в диапазоне 50–3000 Ом·м., и может быть переменным по длине и радиусу электрода.

Электроды АЗ модульного типа ЭЛЭР-3 представляют собой заводскую комплектную сборку, состоящую из  $N$  – числа заземляющих электродов типа ЭЛЭР-5, длиной  $L$  – метров каждый, расположенных на расстоянии  $(3-5)L$  друг от друга на магистральном кабеле.

Электрод АЗ глубинного типа ЭЛЭР-5ГАЗ представляет собой электрод ЭЛЭР-5 длиной  $L$ , определяемой заказчиком, оснащенный кабелем подключения, узлами изоляции и герметизации, центрирующими кольцами и защитным оголовком. Рабочая оболочка электрода ЭЛЭР-5ГАЗ выполняется из электропроводного эластомера с минимальным удельным объемным электрическим сопротивлением, не превышающим 0,5 Ом·м.

### Литература

1. Сайт <http://www.anod-er.ru>.

УДК 621.316(083.13)

## КЛАССИФИКАЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПО УСТРОЙСТВУ МОЛНИЕЗАЩИТЫ

Смажевский Д.Л., Раманович А.А.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

Данная работа позволяет ознакомиться с классификацией зданий и сооружений, некоторыми видами молниезащиты, что позволит более эффективно защищать здания и сооружения от возникнувших прямых ударов молнии.

Классификация по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций распространяется на все виды зданий, сооружений и промышленные коммуникации независимо от ведомственной принадлежности и формы собственности.

Классификация объектов определяется по опасности ударов молнии для самого объекта и его окружения. Удары молнии могут быть особо опасны для информационных систем, систем управления, контроля и электроснабжения. Для электронных устройств, установленных в объектах разного назначения, требуется специальная защита.

Параметры токов молнии необходимы для расчета механических и термических воздействий, а также для нормирования средств защиты от электромагнитных воздействий. Для каждого уровня молниезащиты должны быть определены предельно допустимые параметры тока молнии. Кроме механических и термических воздействий ток молнии создает мощные импульсы электромагнитного излучения, которые могут быть причиной повреждения систем, включающих оборудование связи, управления, автоматики, вычислительные и информационные устройства и т. п. Эти сложные и дорогостоящие системы используются во многих отраслях производства и бизнеса. Их повреждение в результате удара молнии крайне нежелательно по соображениям безопасности, а также по экономическим соображениям. Значения расчетных параметров для защищенности при соотношении 10 % к 90 % между долями положительных и отрицательных разрядов.

Комплекс средств молниезащиты зданий или сооружений включает в себя устройства защиты от прямых ударов молнии (внешняя молниезащитная система – МЗС) и устройства защиты от вторичных воздействий молнии (внутренняя МЗС).

Внешняя МЗС в общем случае состоит из молниеприемников, токоотводов и заземлителей. В случае специального изготовления их материал и сечения должны удовлетворять специальным требованиям. Молниеприемники могут быть специально установленными, в том числе на объекте, либо их функции выполняют конструктивные элементы защищаемого объекта; в последнем случае они называются естественными молниеприемниками. Во всех случаях, за исключением использования отдельно стоящего молниеотвода, заземлитель молниезащиты следует совместить с заземлителями электроустановок и средств связи. Если эти заземлители должны быть разделены по каким-либо технологическим соображениям, их следует объединить в общую систему с помощью системы уравнивания потенциалов.

Выбор типа и высоты молниеотводов производится исходя из значений требуемой надежности  $P_3$ . Объект считается защищенным, если совокупность всех его молниеотводов обеспечивает надежность защиты не менее  $P_3$ . В общем случае выбор молниеотводов должен производиться при помощи соответствующих компьютерных программ, способных вычислять зоны защиты или вероятность прорыва молнии в объект.

### Литература

1. Сайт <http://allbest.ru>.

УДК 621.314

## МИКРОПРОЦЕССОРЫ В АВТОМОБИЛЕ

Раманович А.А.

Научный руководитель – Потачиц Я.В.

Специализированные процессоры и микроконтроллеры, обеспечивающие техническую реализацию устройств обработки данных и управления, нашли широкое применение в наше время. Одна из наиболее многочисленных областей практического использования микропроцессора - управление автомобильными двигателями. Микропроцессорная система представляет собой функционально законченное изделие, состоящее из одного или нескольких устройств, главным образом микропроцессорных: микропроцессора и/или микроконтроллера [1].

Микропроцессорная система обеспечивает синхронизацию зажигания, измерение количества потребленного топлива и регулицию выхлопных газов, оптимизацию режима зажигания, существенно сокращая расход топлива и значительно уменьшая вредные экологические воздействия. Основная проблема использования микропроцессора в системах управления двигателями связана с необходимостью создания точных, высоконадежных, компактных и дешевых первичных преобразователей массового расхода воздуха, расхода топлива, состава выхлопных газов, числа оборотов двигателя, давления, положения клапана регулиции выхлопных газов и др. В то же время проблема эта настолько важна, что ведущие отечественные и зарубежные компании уже с начала 70-х годов приступили к комплексному решению практических задач. По перспективным планам США, все новые автомобили будут выпускаться с микропроцессорным управлением, а к 1990 г. планировалось установить микропроцессорную систему для управления двигателями на 90% всех автомобилей. Не менее важной практической задачей является также использование микропроцессорной системы в качестве диагностирующих систем при проведении профилактических ремонтов на станциях технического обслуживания и в гаражах пользователей автомобилей. Используя объективное микропроцессорное средство контроля, владелец автомобиля в состоянии самостоятельно провести диагностику и регулирование многих агрегатов и узлов автомобиля [2].

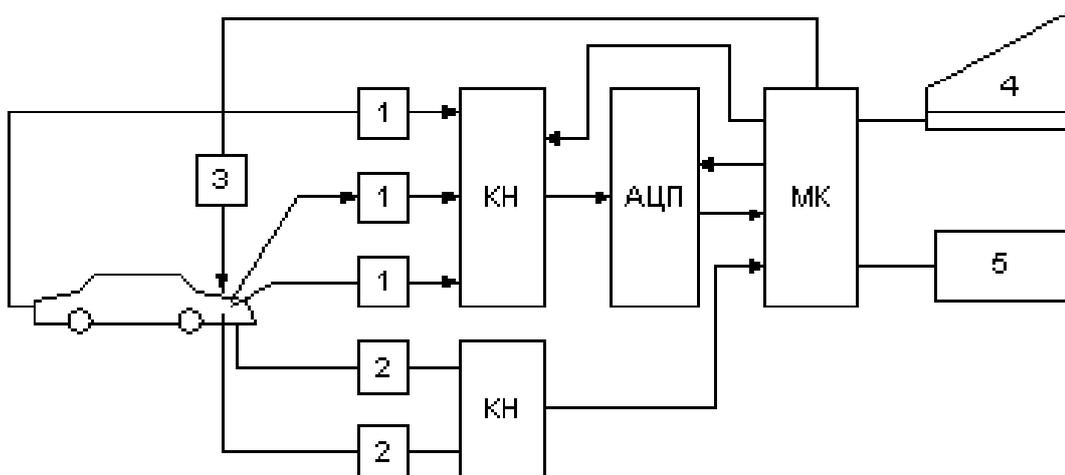


Рисунок 1 Структура микропроцессорной системы диагностики автомобиля.  
 КН-коммутатор; АЦП-микроконтроллер; МК-память; 1-преобразователи; 2-блок формирования сигналов; 3-исполнительное устройство; 4-дисплей; 5-цифropечатающее устройство

В процессе диагностики информация о работе двигателя и агрегатов автомобиля преобразуется в первичных преобразователях 1 в электрические аналоговые сигналы и после нормирования поступает на вход коммутатора КН. По инициативе микроконтроллера один из контролируемых каналов подключается ко входу АЦП и в цифровом виде вводится в память МК. Информация с дискретных датчиков информации, пройдя через блок формирования сигналов 2 и коммутатор КН, поступает в память микроконтроллера, минуя АЦП. После обработки полученной информации микроконтроллер вырабатывает управляющие сигналы и через исполнительные устройства 3 производит регулировку агрегатов автомобиля, если такая процедура предусмотрена, или выдает результаты измерений на дисплей 4 и цифropечатающее устройство 5.

Анализ контролируемой информации позволяет сравнить нормативные и измеренные значения, выявить возможные причины неисправностей, выдать на экран дисплея или печать результаты диагностики. Важной характеристикой МС-диагностики автомобилей является объективный характер полученных результатов. Используя микропроцессорные средства для диагностики, можно создать диагностические стенды, чтобы одна и та же микропроцессорная система могла использоваться на различных автомобилях. Отличие систем в основном будет определяться содержанием программ, записанных в ППЗУ, которые и формируют алгоритм диагностики и поиска неисправностей автомобиля [3].

Система впрыска с электронным управлением (EFI - Electronic Fuel Injection) при использовании датчика содержания кислорода в выхлопных газах ( $\lambda$ -зонда) позволяет обеспечить для каждого цилиндра очень стабильное ( $\pm 0,5\%$ ) соблюдение оптимального соотношения по массе подаваемого топлива и засасываемого воздуха (1:14,65 для бензина). Это необходимо как для обеспечения работоспособности каталитического нейтрализатора, так и для достижения наилучшего компромисса между мощностью и экономичностью работы двигателя. Именно поэтому обеспечить на практике длительный срок службы и работоспособность каталитических нейтрализаторов удастся только при использовании микропроцессорной техники.

Самая дешевая система - с центральным впрыском - фактически дает только два существенных преимущества - вибростойкость и отсутствие необходимости в частой регулировке. Наилучшее отношение цена/качество в настоящее время обеспечивают системы распределенного впрыска во впускные патрубки. Системы непосредственного впрыска в бензиновых двигателях пока оправданы только в двигателях с наддувом, так как они позволяют исключить вынос топливовоздушной смеси в выхлопной коллектор при широких фазах газораспределения и абсолютном давлении наддува более  $1,5 \text{ кг/см}^2$ .

Применение распределенного впрыска дает и другие преимущества перед использованием карбюраторов. Во-первых, это возможность обеспечения высокой стабильности состава горючей смеси в широких пределах температуры и нагрузок двигателя, причем практически независимо от вязкости топлива (пропускная способность жиклеров карбюратора сильно зависит от вязкости топлива). Во-вторых, использование многоточечного впрыска (особенно непосредственного) позволяет не только обеспечить равномерное распределение топлива по цилиндрам, но и исключить необходимость подогревания всасываемого воздуха и впускного коллектора. Во-вторых, использование многоточечного впрыска (особенно непосредственного) позволяет не только обеспечить равномерное распределение топлива по цилиндрам, но и исключить необходимость подогревания всасываемого воздуха и впускного коллектора.

Применение электроники обеспечивает оптимальное управление не только двигателем, но и ходовой частью автомобиля. Во-первых, это хорошо известные антиблокировочные системы, позволяющие в большинстве случаев сохранить

управляемость машины при экстренном торможении, одновременно обеспечивая минимально возможную длину тормозного пути. Во-вторых, близкую к ним функцию выполняют антипробуксовочные системы, которые стали весьма актуальны в связи с распространением переднеприводных автомобилей, у которых при пробуксовке или блокировке ведущих колес теряется управляемость. Поскольку при разгоне автомобиля передние колеса разгружаются (именно поэтому все гоночные и престижные легковые автомобили, которые должны иметь хорошую разгонную динамику, до настоящего времени проектируют с приводом либо на задние ("Daimler-Benz", "BMW"), либо на все колеса ("Audi A8"), для исключения потери управляемости и предотвращения чрезмерного износа шин весьма желательным является наличие на переднеприводном автомобиле наряду с антиблокировочной и антипробуксовочной системы.

Определенный вклад в повышение активной безопасности вносит рулевое сервоуправление с переменным коэффициентом передачи и реакцией руля - для обеспечения равного поворота колес на высокой скорости требуется больший угол поворота руля, чем на малой. Иногда дополнительно вводят устройство, предотвращающее срыв колес боковым усилием. Это практически исключает риск заноса при резком повороте на большой скорости. Все эти преимущества, правда, сохраняются лишь до тех пор, пока сервосистема исправно работает [4].

В настоящее время, как правило, используют комплексную систему управления ремнями и подушками безопасности. Датчиком в ней служит одноосный (или двухосный при использовании и боковых подушек) акселерометр, чаще всего полупроводниковый, блок управления с пороговыми устройствами и набор пиропатронов, часть из которых при срабатывании действует на крыльчатки, подтягивающие ремни, а часть - наполняет подушки безопасности. Включение пиропатронов механизма подтяжки ремней обычно устанавливают несколько более ранним, чем момент срабатывания подушек безопасности.

#### Литература

1. Микропроцессоры и цифровая обработка сигналов / В.В. Мишунин. – Белгород: БелГУ, - 2010. – 210с.
2. Электронное управление автомобильными двигателями / А.Г. Покровский [и др.] под общ. ред. А.Г. Покровский – М. : Машиностроение, 1994. - 336 с.
3. Агеев, С. Микропроцессоры в технике/ С. Агеев // М. Журнал Радио. – 2009. – № 8-9. – С. 49–53.
4. Корнеев, В. В. Современные микропроцессоры/ В.В. Корнеев, А. В. Киселев. - БХВ-Петербург. - 2003. – 448 с.

УДК

## ЭЛЕГАЗОВЫЕ КОММУТАЦИОННЫЕ АППАРАТЫ

Рагунович А.Н.

Научный руководитель – Мазуркевич В.Н., к.т.н., доцент

Аппараты предназначены для работы в составе распределительных устройств трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, номинальным напряжением (6) 10 кВ, с заземленной или изолированной нейтралью.

Все аппараты, независимо от их типа, имеют схожее общее конструктивное устройство. Различия типов аппаратов обусловлены комплектностью аппаратов.

Конструктивно аппараты типов ВНТЭ, и РТЭ представляет собой заполненный элегазом под небольшим избыточным давлением герметичный корпус (масса элегаза SF<sub>6</sub> внутри бочки ~230 гр.), внутри которого размещена все токоведущие части выключателя. Подвижные контакты выключателя нагрузки приводятся в действие пружинно-механическим приводом, расположенным вне корпуса и жестко соединенным с ним болтовыми соединениями. Механическая связь подвижных контактов с приводом осуществляется при помощи вала вращения, пропущенного через герметизирующий узел, расположенный на корпусе аппарата.

Токоведущая часть аппарата представляет собой единую контактную систему, состоящую из неподвижных контактов верхних и нижних выводов, неподвижных контактов заземления и подвижных контактов.

Оперирование аппаратом, в зависимости от его типа, может быть местным и дистанционным. Для исключения ошибочных действий оператора, приводы выключателей нагрузки оборудованы специальными шторками, закрывающими гнезда для вставки рукоятки ручного оперирования при определенных положениях контактов и положении двери (открыто или закрыто). Так же в конструкции приводов выключателей нагрузки предусмотрен встроенный блокиратор двери КСО, не позволяющий открывание двери при разомкнутых заземляющих контактах. Приводы выключателей нагрузки, при необходимости, могут быть оборудованы электромеханическими оперативными блокировками, обеспечивающими функциональную связь с другими коммутационными аппаратами КСО и всего распределительного устройства.

У аппаратов типов ЗРЭ-Н и ЗРЭ-В отсутствует заполненный элегазом корпус с контактной системой. Аппараты представляют собой линейный заземлитель и привод, соединенные между собой тягой. ЗРЭ-В отличается от ЗРЭ-Н верхней компоновкой заземлителя.

Персонал, обслуживающий аппараты, должен быть ознакомлен с устройством и принципом действия аппаратов, знать требования настоящего Руководства, а также требования ПТЭ и МПОТ, ведомственных эксплуатационных инструкций;

Оборудование должно быть обеспечено присоединение к контуру заземления в местах отмеченных знаком «заземление»;

Запрещается проникать за фасадную дверь КСО при включенных главных цепях.

Порядок эксплуатации устанавливается соответствующими инструкциями для обслуживающего персонала организации, в ведении которого находится распределительное устройство с указанными аппаратами.

В процессе эксплуатации необходимо следить, чтобы рабочее напряжение и ток нагрузки не превышали номинальных параметров, на которые рассчитано оборудование.

Перед пуском в эксплуатацию необходимо провести по 5 контрольных циклов включения-отключения для линейных и заземляющих контактов. При этом необходимо контролировать:

- отсутствие инородных тел в зоне работы аппарата, заземлителя и привода;
- исправность работы привода – привод должен работать без сбоев, заеданий, отказов;
- видимый заход подвижных контактов заземлителя в неподвижные контакты заземления;
- правильную работу указателя положения контактов;
- срабатывание блокировок, согласно требуемой логической схемы.

К эксплуатации и обслуживанию аппаратов допускается персонал, изучивший данное руководство, технические описания и руководства по эксплуатации на коммутационные аппараты и имеющий соответствующую группу допуска по электробезопасности.

Общие рекомендации. Аппараты не требуют проведения периодических (плановых) текущих, средних и капитальных ремонтов в течение всего срока службы.

Профилактический контроль технического состояния аппаратов рекомендуется производить в следующие сроки: при вводе в эксплуатацию, первую проверку – через 1 год эксплуатации, повторные – через каждые 5 лет.

Кроме указанных допускается проводить иные проверки аппарата, предусмотренные действующими Правилами технической эксплуатации или местными инструкциями по обслуживанию высоковольтной аппаратуры распределительных устройств, при условии, что они не нарушают требований настоящего Руководства по эксплуатации.

Во избежание поломок оборудование нельзя кантовать и подвергать резким толчкам и ударам; подъем и перемещение осуществлять только за места, указанные соответствующими обозначениями на упаковочной таре.

Хранение должно осуществляться в закрытом помещении, с условиями хранения, соответствующими группе 2 (С) по ГОСТ 15150-69 и исключающими возможности механических повреждений.

#### Литература

1. РЭ 2.04-2005. Руководство по эксплуатации. – СПб., 2007.
2. <http://www.elteh-yug.ru>.
3. <http://www.forca.ru>.

УДК 621.316.933

## **КОМПЬЮТЕР КАК ИСТОЧНИК ПОМЕХ**

Сегень Р.Р.

Научный руководитель – Булойчик Е.В.

Помехи, генерируемые скоростными дискретными устройствами – системной платы. По характеру, высокочастотные помехи с частотами кратными тактовым частотам перечисленных ниже узлов и их составных частей (ядро, кеш), а спектральное распределение определяется еще и алгоритмами работы ПО и процессора.

БП компьютера тоже является источником помех, как для его нагрузок, так и для питающей его сети. Источником помех является инвертор блока питания, он создает помехи в диапазоне частот от десятков килогерц до нескольких мегагерц. Влияние помех минимизируется до допустимых значений встроенными входными и выходными фильтрами. Иногда в «по name» блоки питания не имеют таких фильтров или минимизируют их с помощью блокировочных конденсаторов включенных параллельно сетевому кабелю, поэтому их применение не рекомендуется.

Гораздо опаснее гармонические составляющие потребляемого тока в сети (линии питания) возникающие из-за нелинейности нагрузки. Такая нелинейность имеет место из-за характера внутреннего сопротивления блока питания. Известно, что на входе БП стоят оксидные накопительные конденсаторы, на которых формируется напряжение, питающее импульсный инвертор. Эти конденсаторы заряжаются импульсами тока, только в момент превышения напряжения питающей сети остаточного напряжения на конденсаторе. Поэтому форма потребляемого тока не синусоидальная, а скорее это импульсы тока с частотой сети.

Особенно важно, что в отличие от сети переменного тока, где в группе компьютеров подключенных к сети отбор тока происходит синхронно всеми компьютерами и токи суммируются, то при питании от сети постоянного тока блоки питания компьютеров отбирают мощность из питающей сети асинхронно (случайно). В результате потребляемый ток усредняется, а его амплитуда снижается, поэтому снижаются и требования к исполнению сети постоянного тока.

### **Литература**

1. Сайт <http://www.com-er.ru>.

УДК 621.3.027.3(075.8)

## **СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ**

Соломонов Н.А.

Научный руководитель – Пономаренко Е.Г., к.т.н., доцент

Ежегодно люди сталкиваются с ростом производства и потребления электрической энергии. Достижение такого роста требует решения сложных научных и инженерных задач, которые концентрируются вокруг двух основных проблем: снижение стоимости электрической энергии и обеспечения высокой надежности электроснабжения.

Передача электроэнергии на дальние расстояния связана с применением высоких напряжений. Чем больше передаваемые мощности и длиннее расстояние, тем более высокие напряжения экономически выгодно применять.

Высокие напряжения и токи можно измерять различными приборами и методами.

Электростатические вольтметры – приборы, в которых электроды перемещаются под действием сил поля. С помощью электростатических вольтметров можно измерять действующие значения постоянного и переменного напряжений.

Шаровые разрядники – прибор, позволяющий определять амплитуды переменных, постоянных и импульсных напряжений, зная длину воздушного промежутка между электродами.

Электронные осциллографы – незаменимые приборы при изучении стационарных и переходных процессов в цепях высокого напряжения. Они широко используются при изучении перенапряжений, ионизационных явлений и при импульсных испытаниях.

Делители напряжений – устройства для деления напряжения какого-либо высоковольтного источника на части. Применяются делители напряжений для расширения пределов измерения различных приборов, главным образом электронных осциллографов и вольтметров.

В лабораторных условиях импульсные токи часто измеряют с помощью безындукционных шунтов. Мерой измеряемого тока служит падение напряжения на шунте, вызванное протекающим в нем током. Это падение напряжения может быть измерено с помощью электронного осциллографа или шарового разрядника.

Оптико-электронного метода измерения высоких напряжений – метод основанный на принципе модуляции света с помощью ячейки Керра.

Высоковольтные испытания и исследования невозможны без специального оборудования. Конструкции этого оборудования, режимы его работы, способы измерений при высоких и сверхвысоких напряжениях составляют особый раздел высоковольтной техники.

Таким образом, грамотное конструирование, производство и эксплуатация высоковольтных устройств требуют глубокого знания напряжений, воздействующих на изоляцию, методов снижения возможных перенапряжений, электрических свойств изоляционных конструкций, способов испытаний и контроля изоляции.

### **Литература**

1. Сайт <http://www.termo-hause.ru>.
2. Сайт <http://www.ruscable.ru>.
3. Сайт [www.interpribor.ru](http://www.interpribor.ru).

УДК 621.91.002.5

## **РАСЧЕТ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6КВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

Новак А. В., Ерохов Е. Л., Феоктистов А. А.

Научный руководитель – Глинский Е. В.

В наш век, век информации требуется все больше и больше затрат сил и времени на повседневные операции: такие как расчеты, моделирование процессов. Особенно остро эта задача стоит в энергетике, где инженеры сталкиваются с большим объемом информации. Сотрудниками БНТУ было найдено уникальное по своей сути и не имеющее аналогов, как на территории Беларуси, так и в постсоветских странах решение позволяющее рассчитать самозапуска электродвигателей напряжением 6 кВ собственных нужд (СН) ТЭЦ. Программа сочетает в себе такие качества как: простота, удобство, скорость расчетов. Также используя, эту программу вы поймете и осознаете наглядно суть самого процесса. А еще все это увидите в графическом виде. Итак, приступим к описанию самой программы.

Программный комплекс предназначен для расчета самозапуска электродвигателей напряжением 6 кВ собственных нужд (СН) ТЭЦ.

При расчете самозапуска электродвигателей автоматически выполняются расчеты: исходного установившегося режима, режима короткого замыкания, группового выбега электродвигателей в бестоковую паузу и групповой самозапуск электродвигателей после восстановления напряжения.

Особенностью программы является наличие базы данных, содержащей сведения о трансформаторах СН ТЭЦ, о секциях напряжением 6 кВ распределительных устройств (РУ) СН ТЭЦ, связях между секциями 6 кВ, об электродвигателях напряжением 6 кВ и механизмах СН. Информация в базе данных ограничена данными, необходимыми для расчета самозапуска электродвигателей. Эти данные постоянно находятся в запоминающем устройстве персональной ЭВМ (ПЭВМ) и легко могут быть изменены, удалены или внесены новые данные. Это позволяет исключить большие затраты времени и труда по сбору, предварительной обработке и заданию исходных данных в случае периодически повторяющихся расчетов.

Результаты расчета самозапуска электродвигателей представляются в виде графиков изменения напряжения и тока секции (секций), скоростей вращения электродвигателей в процессе самозапуска. Исходные данные для каждого конкретного расчета формируются в виде таблиц, содержащих условия расчета и необходимые пояснения.

В процессе расчета результаты расчета выдаются на экран монитора в графическом отображении. При этом на экран видеомонитора выводится масштабная сетка для отображения контролируемых параметров процесса самозапуска электродвигателей в функции времени.

В верхней части масштабной сетки в процессе расчета выдаются сообщения о рассчитываемом в настоящий момент виде режима (исходный режим, короткое замыкание, групповой выбег, самозапуск электродвигателей). По окончании расчета в верхней части масштабной сетки появляется сообщение, в котором указываются номера секций и дата выполнения расчета.

В процессе расчета относительные значения контролируемых параметров в темпе счета выводятся на экран видеомонитора в виде графиков. К контролируемым параметрам относятся токи и напряжения секций. В качестве базисных величин приняты: для напряжений – значение номинального напряжения электродвигателей, для токов – десятикратное значение тока первой секции в предшествующем нормальном режиме. Кроме токов и напряжений секций на экран

монитора выводятся графики изменения относительных частот вращения (скоростей вращения) контролируемых электродвигателей. В качестве базисной частоты вращения для каждого контролируемого электродвигателя принято значение его номинальной частоты вращения.

#### **Литература**

1 Методические указания по испытаниям электродвигателей собственных нужд электростанций и расчетам режимов их работы. – М.: Издательство МЭИ, 1995. – 368 с

2 Методические указания по испытаниям электродвигателей собственных нужд электростанций и расчетам режимов их работы. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 578 с.

УДК 621.315.177

## **ЗАЩИТА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ 0,4 кВ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ**

Станюш Д.А.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

Указания по определению, устройству и применению воздушных линий 0,4 кВ. Защита от перенапряжения. Назначение, принцип действия и характеристики ограничителя перенапряжений. Требование к выбору аппаратуры, защит и кабелей.

В электрических сетях часто возникают импульсные всплески напряжения, приводящие к разрушительным последствиям. Поэтому в электрических сетях целесообразно применять разрядники. Разрядник состоит из двух электродов и дугогасительного устройства. Одно из основных требований, предъявляемых к разряднику – гарантированная электрическая прочность при промышленной частоте. Разрядники бывают: трубчатые, вентильные, магнитовентильные, ограничитель перенапряжения нелинейный, стержневые искровые промежутки, длинно-искровой. На электрических схемах разрядники обозначаются согласно ГОСТ 2.727-68.

Защита ВЛ 0,4 кВ от перенапряжений с использованием ОПН позволяет выработать единую систему и концепцию линейной защиты от перенапряжений. Ограничители перенапряжения нелинейные предназначены для защиты электрооборудования от коммутационных и грозовых перенапряжений. Конструктивно ОПН представляет собой высоколинейное сопротивление, заключенное в высокопрочный герметизированный корпус. При возникновении волн перенапряжения сопротивление варисторов изменяется на несколько порядков с соответствующим возрастанием тока при воздействии волны перенапряжения. Этим объясняется защитное действие ограничителя перенапряжений. ОПН применяется для защиты электрооборудования подстанций, кабельных сетей, воздушных линий электропередач и другого электрооборудования. Основным компонентом материала резисторов ОПН это оксид цинка. Варисторы на основе оксида цинка являются системой последовательно и параллельно включённых *p-n* переходов. Эти *p-n* переходы и определяют нелинейные свойства варисторов. Варисторы для ограничителей изготавливаются как цилиндрические диски. При изготовлении ОПН то или иное количество варисторов соединяют последовательно в так называемую колонку. Ограничитель может состоять из одной колонки или из ряда колонок, соединённых между собой последовательно-параллельно.

Защитные свойства ОПН объясняются вольтамперной характеристикой варистора. Вольтамперная характеристика конкретного варистора зависит от многих факторов, в том числе от технологии изготовления, рода напряжения постоянного или переменного, частоты переменного напряжения, параметров импульсов тока, температуры и другие. На вольтамперной характеристике варистора можно выделить три характерных участка. Это область малых, средних и больших токов. С целью уточнения конструкции ограничителя и типа его исполнения при заказах ОПН, для внутрифирменного пользования в структуру условного обозначения пользуются ГОСТ Р 52725-07. Для ВЛ 0,4 кВ используют ограничитель ОПНп-0,38 УХЛ 1, 2. Он предназначен для защиты изоляции электрооборудования сетей переменного тока частотой 50 Гц с номинальным напряжением 0,38 кВ. Ограничители предназначены для работы в районах с умеренным и холодным климатом и промышленной атмосферой на открытом воздухе.

Построение первичных схем сетей 0,4 кВ определяется технологией производства, требованиями надежности электроснабжения электроприемников в соответствии с правилами, удобством обслуживания, технико-экономическими показателями, а также требованиями защиты и автоматики. Схемы могут выполняться радиальными, магистральными и смешанными.

В ответственных электроустановках с целью обеспечения надежности схему делят на две независимые части. Каждая из подсистем состоит из своего понижающего трансформатора, питающегося от независимого источника, соответствующей секции основного щита 0,4 кВ и питающихся от нее вторичных сборок. Электродвигатели также разделяют на две независимые группы, которые подключают к разным подсистемам (к разным секциям основного щита 0,4 кВ).

Построение схемы сети 0,4 кВ в большой степени определяется значениями токов коротких замыканий для выбора аппаратуры и защит, а также ограниченными возможностями применяемых защитных аппаратов. А именно автоматических выключателей и плавких предохранителей. В сетях 0,4 кВ в отличие от сетей напряжением выше 1000 В применяют только встроенные в автоматические выключатели весьма неточные максимальные токовые защиты или предохранители. Выбор кабелей также может определяться не только нагрузкой, но и условиями защиты, в сетях, требующих защиты от перегрузки, или при необходимости обеспечения достаточной чувствительности защиты, когда считается целесообразным увеличить токи короткого замыкания путем увеличения выбранного по нагрузке сечения кабеля.

#### Литература

1. Беляев А.В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ; Под ред. С.П. Левкович. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
2. Барг И.Г., Эдельман В.И. Воздушные линии электропередачи: Вопросы эксплуатации и надежности. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. Данилов О.Л. Техничко-экономические расчеты в энергетике. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. Михайлов В.В. Магнитодиэлектрики в устройствах автоматики и релейной защиты. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
5. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть станций и подстанций: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. И.П. Кужекина. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
6. Шапиро И.М. Принципы унификации элементов электрической сети. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
7. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4–35 кВ: Справочник. – М.: Изд-во Норт, 2003.
8. Пантелеев В.А. Общие принципы выбора варисторов для защиты от импульсных напряжений. – Ухта: Изд. УИИ, 1996.

УДК 621.316 (083.13)

**СПОСОБЫ ОГРАНИЧЕНИЯ ТОКОВ КЗ**

Будников М.В.

Научный руководитель – Гурьянчик О.А., ассистент

Рост уровней токов КЗ при развитии энергосистем предъявляет повышенные требования в отношении электродинамической и термической стойкости элементов электротехнических устройств энергосистем, а также коммутационной способности электрических аппаратов. В последние годы стали весьма актуальными вопросы воздействия токов КЗ не только на жесткие шины, кабели и электрические аппараты, но и на генераторы, силовые трансформаторы, а также гибкие проводники электроустановок.

С целью уменьшения воздействия токов КЗ на электрооборудование предложены и используются различные методы и средства ограничения токов КЗ. Учитывая специфику развития современных объединенных энергосистем, вопросы устойчивости и надежности их работы, а также технико-экономические характеристики, разрабатываются и исследуются принципиально новые средства токоограничения, позволяющие ограничить не только значение тока КЗ, но и продолжительность КЗ.

В общем случае решение указанной задачи возможно следующими путями:

- повышение быстродействия традиционной коммутационной аппаратуры;
- создание и использование новых сверхбыстродействующих коммутационных аппаратов, способных безынерционно, т.е. в течение первого полупериода, ограничить и отключить ток КЗ;
- использование безынерционных и инерционных токоограничивающих устройств (ТОУ).

Условия протекания, ограничения и отключения тока КЗ видны из рисунка 1.1.

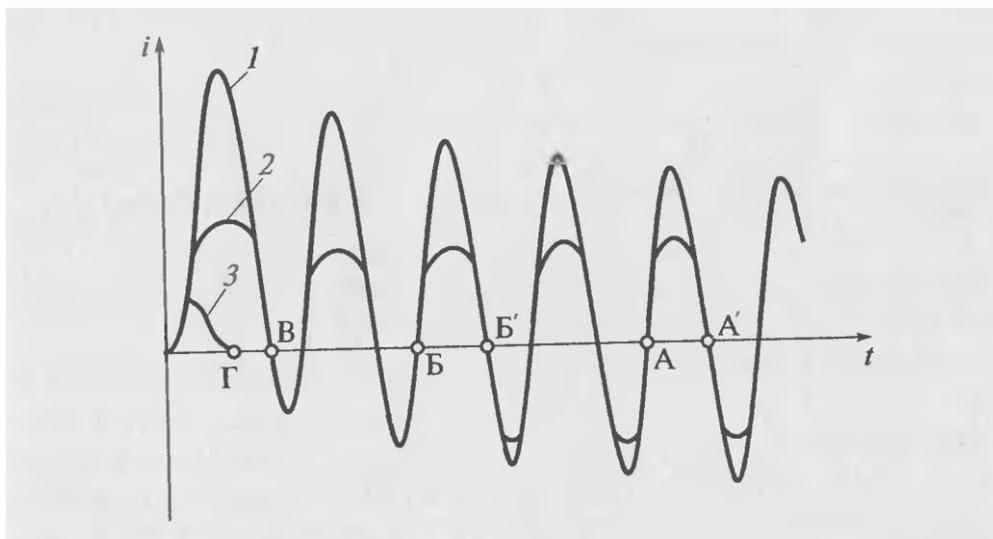


Рисунок 1.1 – Условия отключения и ограничения тока КЗ:

1 – ток КЗ в цепи; 2 – ограничение тока КЗ безынерционными ТОУ; 3 – ограничение тока КЗ токоограничивающим коммутационным аппаратом

При использовании в сети четырехпериодных выключателей отключение тока КЗ в зависимости от быстродействия релейной защиты происходит в моменты А или А'. Внедрение двухпериодных выключателей позволяет отключить ток КЗ в моменты Б или Б'.

Использование синхронизированных или тиристорных выключателей с естественной коммутацией позволяет отключить ток КЗ в момент В, т.е. при первом переходе тока через нуль. Как видно, переход от четырех- к двухпериодным, а затем и к синхронизированным выключателям позволяет снизить термическое действие тока КЗ на электрооборудование, но не ограничивает максимальное электродинамическое воздействие, определяемое ударным током; последний в указанных случаях не ограничивается.

Электродинамическое воздействие тока КЗ можно снизить путем использования токоограничивающих коммутационных аппаратов. Таковыми могут быть, например, тиристорные выключатели с принудительной коммутацией, ограничители ударного тока взрывного действия и токоограничивающие предохранители. Использование указанных аппаратов позволяет отключить ток КЗ в момент Г (кривая 3). Термическое и электродинамическое воздействия тока КЗ можно снизить путем использования безынерционных токоограничивающих устройств (БТОУ), таких как резонансные токоограничивающие устройства (кривая 2).

В ряде случаев для уменьшения термического воздействия тока КЗ и облегчения условий работы коммутационной аппаратуры могут быть использованы также инерционные токоограничивающие устройства, например устройства автоматического деления сети или устройства, состоящие из реактора, нормально зашунтированного выключателем. Очевидно, наибольшее ограничение тока КЗ достигается при использовании безынерционных токоограничивающих коммутационных устройств, однако такое решение задачи в настоящее время сдерживается либо отсутствием указанных устройств с необходимыми параметрами и эксплуатационными характеристиками, либо их высокой стоимостью.

Требуют разработки, освоения и снижения стоимостных показателей синхронизированные выключатели, ТОУ со сверхпроводниками и безынерционные токоограничивающие устройства.

Для ограничения токов КЗ на электростанциях и в сетях энергосистем используются следующие методы:

- метод оптимизации структуры и параметров сети (схемные решения);
- стационарного или автоматического деления сети;
- использования токоограничивающих устройств;
- оптимизации режима заземления нейтралей элементов электрических сетей;
- изменения схем электрических соединений обмоток трансформаторов и автотрансформаторов.

В качестве средств ограничения токов КЗ соответственно используются или могут быть использованы:

- устройства автоматического деления сети;
- токоограничивающие реакторы (неуправляемые и управляемые, с линейной или с нелинейной характеристикой);
- трансформаторы и автотрансформаторы с расщепленной обмоткой низшего напряжения;
- трансформаторы с повышенным напряжением короткого замыкания;
- безынерционные токоограничивающие устройства различного типа (резонансные, реакторно-вентильные, со сверхпроводящими элементами);
- токоограничивающие коммутационные аппараты;
- токоограничивающие резисторы;
- вставки постоянного тока;
- вставки переменного тока промышленной частоты;
- автотрансформаторы, нормально выполненные без третичной обмотки, соединенной в треугольник;
- разземление нейтралей части трансформаторов;

- заземление нейтралей части трансформаторов и автотрансформаторов через реакторы, резисторы или иные токоограничивающие устройства;
- замена на связях распределительных устройств различного напряжения автотрансформаторов на трансформаторы;
- автоматическое размыкание в аварийных режимах третичных обмоток автотрансформаторов;
- специальные схемы соединения обмоток трансформаторов блоков.

В зависимости от местных условий, требуемой степени ограничения токов при различных видах КЗ, а также от технико-экономических показателей для ограничения токов КЗ в конкретных электроустановках или в конкретных сетях энергосистемы необходимы различные средства токоограничения или их комбинации, дающие наибольший технико-экономический эффект.

В настоящее время в отечественных энергосистемах для ограничения токов КЗ наиболее часто используются: стационарное и автоматическое деления сети, токоограничивающие реакторы и аппараты, трансформаторы с расщепленной обмоткой низшего напряжения, а также разземление нейтралей части силовых трансформаторов сети, их заземление через реакторы и резисторы. Другие методы и средства ограничения токов КЗ находятся в стадии исследований, опытно-конструкторской разработки и проектной проработки.

#### Литература

- 1 Крючков И.П., Неклепаев Б.Н. "Расчёт коротких замыканий и выбор электрооборудования". – М.: Издательский центр "Академия", 2005. – 416 с.
- 2 Крючков И. П. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах: Учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во МЭИ 2000. – 168 с.
- 3 УЗО – устройство защитного отключения: Учебно-справочное пособие / Составители Н.Д.Душкин, В.К. Монаков, В.АХтаршинов. – М.: Изд-во «Энергосервис», 2003.
- 4 Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
- 5 Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002

УДК 621.316

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ ЛИНИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Баран А. А., Козел А. С., Беседа А. С.

Научный руководитель – Булойчик Е. В.

В радиальных распределительных сетях 6 – 35 кВ с одним источником питания для защиты линий от междуфазных коротких замыканий (КЗ) широко применяется микропроцессорные токовые защиты, содержащие в общем случае три ступени: токовую отсечку без выдержки времени (ТО), токовую отсечку с выдержкой времени (ТОВ) и максимальную токовую защиту (МТЗ). Токи срабатывания указанных ступеней выбираются по наиболее тяжелым условиям симметричных режимов, что определяет основные недостатки существующих токовых защит: относительно короткую зону мгновенного отключения ТО и недостаточную чувствительность третьей ступени во многих случаях несимметричных КЗ.

Одним из способов устранения указанных недостатков является определение вида повреждения и изменение соответствующим образом тока срабатывания ступеней защиты [1].

Выявление режимов двухфазных КЗ может осуществляться одним из следующих способов:

1. контроль появления в токах фаз составляющих обратной последовательности;
2. контроль относительной несимметрии токов фаз.

Реализация первого способа предполагает использование фильтров тока обратной последовательности, которые содержат частотно-зависимые элементы. Выходной сигнал этих фильтров может значительно варьироваться при эксплуатационных отклонениях частоты в энергосистеме, изменениях величин и состава высших гармоник во входных токах из-за нелинейных характеристик нагрузки, при коммутации силовых трансформаторов, вследствие насыщения трансформаторов тока и т. п. Все эти трудно учитываемые факторы отрицательно сказываются на чувствительности определения режимов двухфазных КЗ.

Второй метод предполагает определение действующих значений токов фаз линии, из которых выделяются наибольшее  $I_{\max}$  и наименьшее  $I_{\min}$  значения, по которым вычисляют относительную несимметрию  $\Delta I$

$$\Delta I = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max}}, \quad (1)$$

либо

$$\Delta I = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\min}}. \quad (2)$$

В нормальном режиме, при симметричной перегрузке, самозапуске электродвигательной нагрузки, трехфазных КЗ, а также при несимметричных КЗ на параллельной линии и ступени защиты работают с изначально заданными уставками. В случае возникновения несимметричных КЗ уставки защиты автоматически изменяются.

Ток срабатывания ТО отстраивается от максимального значения тока двухфазного КЗ  $I_{\text{кз max}}^{(2)}$  при повреждении в конце защищаемой линии

$$I_{\text{сз}}^{\text{I}} = k_{\text{отс}}^{\text{I}} \cdot I_{\text{кз max}}^{(2)}. \quad (3)$$

Ток срабатывания МТЗ отстраивается от максимальных нагрузочных токов несимметричного режима работы линии  $I_{н,нес}$  без учета самозапуска электродвигательной нагрузки

$$I_{сз}^{III} = \frac{k_{отс}^{III} \cdot I_{н,нес}}{k_B}. \quad (4)$$

Благодаря уменьшению токов срабатывания ступеней расширяется зона мгновенного отключения ТО и повышается чувствительность МТЗ при несимметричных КЗ.

Одним из способов увеличения зоны мгновенного отключения ТО является введение в алгоритм функционирования защиты функции определения места короткого замыкания (ОМКЗ) [2]. Суть метода заключается в следующем: определяется расстояние до места КЗ  $l_{кз}$  и сравнивается с длиной защищаемой линии  $l_l$ . Если КЗ находится в пределах линии  $l_{кз} \leq l_l$ , то при выполнении других условий ее отключение необходимо производить без выдержки времени. Если КЗ расположено за пределами линии  $l_{кз} > l_l$ , то ее следует отключать с выдержкой времени. Данный метод обеспечивает расширение зоны мгновенного отключения КЗ и сокращает число измерительных органов за счет оптимизации их функций.

Следует обратить внимание на то, что расстояние до места КЗ  $l_{кз}$  не может быть определено достаточно точно. Из-за погрешностей в определении указанного расстояния для обеспечения достоверного установления места КЗ сравнение  $l_{кз}$  нужно производить не с фактической длиной линии  $l_l$ , а с ее скорректированным значением  $K_l l_l$ . Корректирующий коэффициент  $K_l$  может быть больше или меньше единицы в зависимости от уровня и знака погрешности определения  $l_{кз}$ , на которую оказывают влияние ряд факторов. Такими факторами являются: погрешности измерительных трансформаторов, погрешности расчета расстояния, наличие переходных сопротивлений в месте КЗ, наличие подпиток места КЗ и т. д.

Определение места короткого замыкания в объеме функций микропроцессорных токовых защит предполагает выполнение расчетов расстояния  $l_{кз}$  на основе использования информации о токах и напряжениях в месте установки защиты. Возникающие искажения замеров на линиях с двусторонним питанием, а также в случае КЗ через переходное сопротивление могут быть уменьшены путем соответствующих алгоритмов вычислений.

Это вполне осуществимо для относительно коротких участков линий 10–35 кВ, когда распределенными параметрами линии можно пренебречь.

Для получения наиболее достоверных значений расчеты необходимо производить в зависимости от вида повреждения.

Для ОМКЗ наиболее широко используется дистанционный принцип измерения составляющих комплексного сопротивления поврежденной петли. С целью снижения влияния переходного сопротивления на расчетную удаленность до места КЗ в петле  $lij$  искомое расстояние следует вычислять по значению реактивной составляющей  $X_{ij}$  входного сопротивления

$$l_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_{уд}}. \quad (5)$$

где  $X_{уд}$  – удельное реактивное сопротивление.

Для получения реактивной составляющей входного сопротивления  $X_{ij}$  соответствующей петли предполагается использовать информацию о токах и напряжениях, на основе которой реализуется алгоритм функционирования защиты. В микропроцессорных защитах такой информацией, как правило, являются ортогональные составляющие (ОС) входных токов и напряжений, полученные в

результате их цифровой фильтрации. По этим значениям могут быть вычислены все величины, необходимые для определения соответствующей петли КЗ.

При известных ОС токов  $i_{sij}$ ,  $i_{cij}$  и напряжений  $u_{sij}$ ,  $u_{cij}$  петли КЗ реактивная составляющая входного сопротивления вычисляется как

$$X_{ij} = \frac{u_{sij} \cdot i_{cij} + u_{cij} \cdot i_{sij}}{i_{sij}^2 + i_{cij}^2}. \quad (6)$$

Этот алгоритм вполне приемлем для ОМКЗ, а его несущественным недостатком является относительно большое количество вычислительных операций и чувствительность к отклонениям частоты сигналов от номинального значения.

В основу определения  $X_{ij}$  может быть положено дифференциальное уравнение линии. Если известны отсчеты мгновенных значений тока  $i_{ij}$  и напряжения  $u_{ij}$  в петле КЗ для трех последовательных моментов времени  $t_{(n-2)}$ ,  $t_{(n-1)}$ ,  $t_{(n)}$ , то выражение для  $X_{ij}$  имеет вид

$$X_{ij} = \frac{(u_{ij(n-1)} + u_{ij(n)}) \cdot (i_{ij(n-2)} + i_{ij(n-1)}) - (u_{ij(n-2)} + u_{ij(n-1)}) \cdot (i_{ij(n-1)} + i_{ij(n)})}{(i_{ij(n-2)} + i_{ij(n-1)}) \cdot (i_{ij(n)} - i_{ij(n-1)}) - (i_{ij(n-1)} + i_{ij(n-2)}) \cdot (i_{ij(n-1)} - i_{ij(n)})} \frac{\Delta t}{2} \cdot \omega. \quad (7)$$

где  $\Delta t$  – шаг дискретизации входных сигналов;

$\omega$  – угловая частота.

Этот алгоритм малочувствителен к искажениям форм тока и напряжения, отклонениям частоты от номинального значения. Его основным недостатком является большая погрешность измерения при наличии дуги в месте КЗ, чем погрешность измерения при металлических КЗ.

Вместе с тем, каждый из рассмотренных алгоритмов является работоспособным и обеспечивает получение необходимой информации для эффективной реализации функций ОМКЗ.

### Литература

1. Романюк, Ф. А. Определение вида повреждения на линиях распределительных сетей в объеме функций микропроцессорных токовых защит / Ф. А. Романюк, А. А. Тишечкин, Е. В. Булойчик // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). –2011. – № 4.– С. 5–10.
2. Романюк, Ф. А. Определение места короткого замыкания на линиях распределительных сетей в объеме функций микропроцессорных токовых защит / Ф. А. Романюк, А. А. Тишечкин, О. А. Гурьянчик // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). –2010. – № 6.– С. 5–13.

УДК 621.316.99

## **НАКЛОННЫЕ ЗАЗЕМЛИТЕЛИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК 380/220 В**

Спургияш А.Г., Дунченко Д.А.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

Для защиты человека от поражения электрическим током ПУЭ предусматривает следующие основные меры: защитное отключение, защитное заземление, зануление, контроль состояния изоляции, двойная изоляция.

В практике проектирования и строительства линий электропередачи и других электроустановок с напряжением 380/220 В заземляющие устройства рекомендуется выполнять в соответствии с типовыми решениями.

Правилами в электрических сетях с напряжением 380/220 В, определены нормативные требования к заземляющим устройствам: сопротивление – не более 30 Ом; диаметр заземлителей из круглой стали – вертикальных не менее 0,016 м и горизонтальных – не менее 0,01 м.

Длина единичного заземлителя в заземляющем устройстве из двух заземлителей линейно зависит от удельного сопротивления земли. На основе этого выражения построена номограмма. Номограмма позволяет существенно упростить технологию проектирования заземляющего устройства с сопротивлением 30 Ом. По номограмме выбирают конструкцию заземляющего устройства (число заземлителей) с учетом физических характеристик земли (песок, глина и т. п.) и наличия технических средств для заглубления заземлителей.

Заземление обеспечивает безопасность человека и защиту от помех электронных приборов. В настоящее время все более широкое распространение получают вертикальные заземлители и стержни могут быть забиты в грунт на глубину до 20 м.

Защитное действие заземления основано на том, что части электроустановок, соединяют с заземлителями, расположенными в грунте. Поэтому человек, прикоснувшийся к заземленной части, попадает под пониженное напряжение. Чем лучше заземление, т. е. чем меньше его сопротивление, тем меньше появляющееся при нарушении изоляции напряжение на машинах, станках, корпусах электроаппаратов и двигателей, конструкциях зданий, опорах воздушных линий и на поверхности земли.

Заземление выполняется: при напряжении 380 В и переменного тока и 440 В и выше постоянного тока – во всех электроустановках; при номинальных напряжениях переменного тока выше 42 В и постоянного тока выше 110 В только в электроустановках, размещенных в помещениях с повышенной опасностью и в особо опасных, а также в наружных установках, во взрывоопасных помещениях – при любом напряжении постоянного и переменного токов.

При выполнении заземляющего устройства, когда производственное помещение находится вне зоны растекания электрического тока в земле, величина поражающего напряжения будет зависеть от сопротивления растеканию тока заземляющего устройства и величины тока замыкания на землю. Напряжение шага – напряжение между двумя точками цепи тока, на которых одновременно стоит человек. В качестве заземляющих проводников в электроустановках напряжением 380/220 В, кроме стальной проволоки, шины или нулевого провода, могут быть использованы металлические конструкции производственного назначения (например, подкрановые пути и каркасы распределительных устройств), стальные трубы электропроводки, свинцовые оболочки кабелей, металлические трубы водопроводной, канализационной или теплофикационной сетей, проложенные открыто (за исключением трубопроводов для горючих жидкостей и взрывоопасных смесей). Применение чугунных труб в качестве заземляющих проводников не допускается ввиду плохого контакта в стыках

между ними. Использовать трубы системы автопоения и вакуум провода на животноводческих фермах в качестве заземляющих проводников недопустимо. Запрещается также использовать в этих целях голые алюминиевые провода. Нельзя применять в качестве заземляющих проводников металлические оболочки трубчатых проводов (провода типа ТПРФ – трубка Куло) и металлические оболочки изоляционных трубок (трубки Бергмана), а также свинцовые оболочки проводов групповой распределительной осветительной сети.

Длина деталей заземлителя, число стержней или труб и глубина их заложения зависят от свойств грунта в месте сооружения и уровня грунтовых вод.

Электроустановки напряжением 380/220 В не являются электробезопасными. Для этих целей разработаны заземляющие устройства, которые предназначены для предотвращения поражения электрическим током человека, животных и т. д.

#### **Литература**

1. Типовые конструкции и зданий и сооружений. Серия-3.407 83. Заземляющие устройства опор ВЛ 0,4; 6–10; 20 и 35 кВ. – М.: Сельэнергопроект, 1985.
2. Ирха П.Д. Монтаж заземляющих устройств из наклонных электродов // Электрические станции. – 1970. – № 11. – С. 19–20.
3. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2003.
4. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок: Справочное пособие / К.Е. Белявин, Б.В. Кузнецов. – Минск: УП «Технопринт», 2002.

УДК 621.316.3

## РАСЧЕТЫ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Бочков А.С., Соколов В.В.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

Заземлители или заземляющие устройства (ЗУ) являются обязательным элементом каждой электроустановки. Без ЗУ нормальное функционирование установки невозможно. При этом в понятие нормального функционирования включают целый комплекс вопросов.

С течением времени и развитием техники изменяются и требования к ЗУ. Основное изменение состоит в том, что кроме обязательных функций обеспечения безопасности персонала появилось требование к электромагнитной совместимости. Оно, по существу, означает обеспечение нормальной работы измерительных, информационных и других устройств, работающих с использованием микропроцессоров, ЭВМ и т.п.

В настоящей работе изложены основные требования к заземляющим устройствам, содержащиеся в нормативных документах [1-4], однако основное внимание уделено основам расчета ЗУ. Изложен общий метод расчета. Приведены примеры расчета простейших заземлителей.

Также приведен подход к расчету режимов работы ЗУ при воздействии импульсов тока (тока молнии или тока короткого замыкания на территории подстанции в первые моменты времени и т.д.). Показано, что при воздействии импульсов тока сопротивление заземлителя может значительно возрастать. Обсуждаются другие эффекты, возникающие при воздействии импульсов тока.

Заземляющие устройства являются обязательной частью практически любой электроустановки. Обычные электроустановки не могут нормально функционировать без ЗУ.

Что же такое заземляющее устройство? Правила устройства электроустановок ПУЭ [1] дает на этот вопрос следующий ответ: ЗУ называется совокупность заземлителя и заземляющих проводников. Собственно заземлитель представляет собой проводник (электрод) или совокупность металлических соединенных между собой проводников (электродов), находящихся в соприкосновении с землей.

Характеристики заземляющего устройства должны отвечать требованиям электробезопасности обслуживающего персонала [4] и обеспечивать в нормальных и аварийных условиях следующие эксплуатационные функции электроустановки:

- действие релейных защит от замыкания на землю;
- действие защит от перенапряжений;
- отвод в грунт токов молнии;
- отвод рабочих токов (токов несимметрии и т.д.);
- защиту изоляции низковольтных цепей и оборудования;
- снижение электромагнитных влияний на вторичные цепи;
- защиту подземного оборудования и коммуникаций от токовых перегрузок;
- стабилизацию потенциалов относительно земли и защиту от статического электричества;
- обеспечения взрыво- и пожаробезопасности.

Основными параметрами, характеризующими состояние заземляющего устройства, являются:

- сопротивление (для электроустановок подстанций, электростанций и опор воздушных линий);
- напряжение на заземляющем устройстве при стекании с него тока замыкания на землю;

– напряжение прикосновения (для электроустановок выше 1 кВ с эффективно заземленной нейтралью, кроме опор воздушных линий).

*Защитным заземлением* называется заземление частей электроустановки с целью обеспечения электробезопасности. Защитное заземление следует выполнять преднамеренным электрическим соединением металлических частей электроустановок с «землей» или ее эквивалентом.

*Рабочим заземлением* называется заземление какой-либо точки токоведущих частей электроустановки, необходимое для обеспечения работы электроустановки.

Для обеспечения безопасной работы персонала в электроустановках значение стационарного сопротивления заземления нормируется. В электроустановках выше 1000 В, работающих с заземленной нейтралью, где ток однофазного короткого замыкания превышает 0,5 кА, сопротивление защитного заземления должно быть не более 0,5 Ом.

В электроустановках напряжением до 1000 В, работающих с заземленной нейтралью, сопротивление заземления, к которому присоединены нейтрали генераторов и трансформаторов мощностью более 100 кВА, должно быть не более 4 Ом. При мощности генераторов и трансформаторов 100 кВА и менее – не более 10 Ом.

В электроустановках до 1000 В, работающих с заземленной нейтралью, сопротивление заземления подсчитывается по формуле:

$$R \leq 125 / I, \quad (1)$$

В электроустановках выше 1000 В с незаземленной нейтралью – по формуле:

$$R \leq 250 / I. \quad (2)$$

где  $R$  – наибольшее при учете сезонных колебаний сопротивление заземления, Ом;  
 $I$  – полный ток замыкания на землю в установках без аппаратов, компенсирующих емкостный ток замыкания на землю, А.

#### *Расчет простейших заземлителей*

Цель расчета: определить число и длину вертикальных заземлителей (стержней), длину горизонтальных элементов и разместить заземлитель на плане электроустановки.

#### *Общий алгоритм расчета сложных заземляющих устройств*

При близком расположении электродов друг от друга сопротивление каждого из них повышается, что объясняется взаимным экранированием электродов. Дело в том, что при стекании тока с одиночного электрода вокруг него образуются равномерно расположенные линии тока.

В сложном заземлителе эта равномерность нарушается, потому что линии тока одного электрода вытесняют линии тока соседнего электрода.

В результате сопротивление каждого электрода возрастает с уменьшением расстояния между электродами.

Коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления электрода в сложном заземлителе вследствие их взаимного экранирования, называется коэффициентом использования заземлителя. Он зависит от конструктивного выполнения заземлителя и, как правило, меньше единицы.

#### *Расчет сопротивления заземлителей при импульсных токах*

Процессы в земле при протекании импульсных токов по заземлителю отличаются большой сложностью из-за затухания поля в земле, вызванного скин-эффектом. Кроме того, при кратковременных воздействиях магнитное поле не успевает проникнуть внутрь проводников заземлителя, следствием чего является

некоторое снижение их индуктивности по сравнению с воздействиями токов промышленной частоты. По этим причинам строгий расчет процесса стекания импульсного тока в землю проводится методами электродинамики и является весьма сложным. Однако для инженерной практики разработаны достаточно простые приближенные методы.

В случае прохождения через заземлитель импульсных токов, возникающих при грозе, в формулы для расчета сопротивления заземлителя следует ввести дополнительно импульсный коэффициент.

#### **Заключение**

В данной работе были рассмотрены заземлители или заземляющие устройства. Были изложены основные требования к заземлителям, однако основное внимание было уделено основам расчета ЗУ. В работе изложен общий алгоритм расчета простейших и сложных заземляющих устройств.

Также был приведен подход к расчету режимов работы ЗУ при воздействии импульсов тока (тока молнии или тока короткого замыкания на территории подстанции в первые моменты времени и т.д.). Рассмотрены другие эффекты, возникающие при воздействии импульсов тока.

#### **Литература**

1 Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / Минэнерго СССР. - 6-е изд. перераб. и доп. с изменениями - М.: ЗАО Энергосервис, 1998.

2 ГОСТ Р 50571.10-96. Государственный стандарт Российской Федерации Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования Глава 54. Заземляющие устройства и защитные проводники.

3 ГОСТ 12.1.038 - 82. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов. Госстандарт СССР.

4 Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок. РД 153-34.0-20.525-00. СПО ОРГРЭС, Москва, 2000.

5 Бургсдорф В.В. и Якобе А.И. Заземляющие устройства электроустановок. М.: Энергоатомиздат, 1987.

6 Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М. Энергоатомиздат, 1984.

7 Колечицкий Е.С. Расчет электрических полей устройств высокого на пряжения. М.: Энергоатомиздат, 1983.

УДК 621.316.35

## КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ УСИЛИЙ ПРИ РАСПОЛОЖЕНИИ ЖЕСТКИХ ШИН В ВЕРШИНАХ ПРОИЗВОЛЬНОГО ТРЕУГОЛЬНИКА

Шпаковский А.А., Баран А.Г.

Научный руководитель – Климкович П.И.

На основании разработанного явного метода расчета электродинамических усилий шинных конструкций, расположенных в вершинах произвольного треугольника [1], составлена компьютерная программа (КП). Блок-схема КП представлена на рисунке 1. Программа позволяет рассчитать электродинамические усилия при трехфазном КЗ между жесткими токоведущими частями.

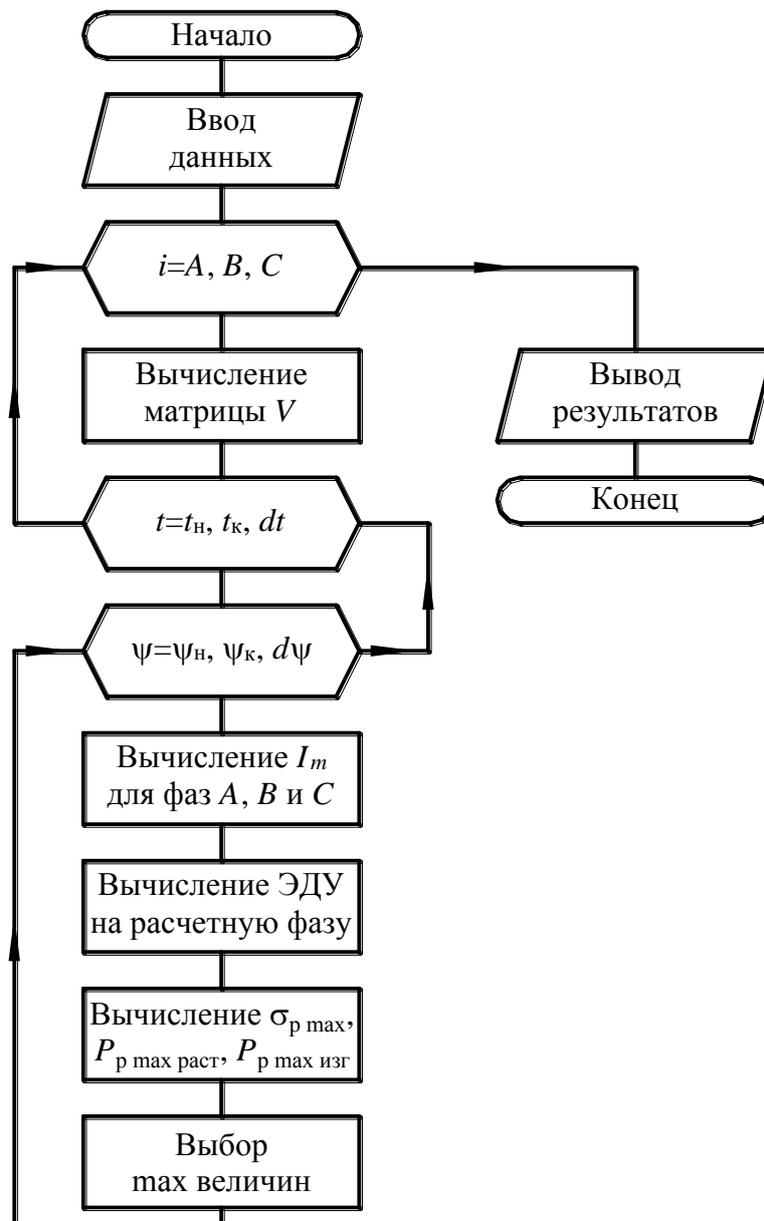


Рисунок. 1

Для написания программы был выбран инструмент быстрой разработки приложений C++ Builder. При разработке интерфейса программы основной задачей было создание эргономичного и понятного интерфейса. Использование графического

интерфейса позволило создать программу с высоким уровнем абстракции, что помогает пользователю в кратчайшие сроки понять и освоить программу. Применение объекта TChart дало возможность отображать графики изменения усилий в шинах, а также построить годограф с совместным расположением трех шин. Все эти средства облегчают анализ представляемой информации. Для облегчения поиска и устранения ошибок, а так же для упрощения последующей модификации код программы представляет собой совокупность подпрограмм, представляющих собой логические модули, которые понимаются и модифицируются как единый блок. Это, а также использование поясняющих комментариев позволило создать простой для понимания код, что, несомненно, в будущем поможет поднять уровень программы еще выше.

**Графическая оболочка.** После запуска исполняемого файла на экране появляется основное окно программы – окно ввода исходных данных (рисунок 2).

Основное окно для удобства условно разделено на две части:

- координаты шин;
- параметры.

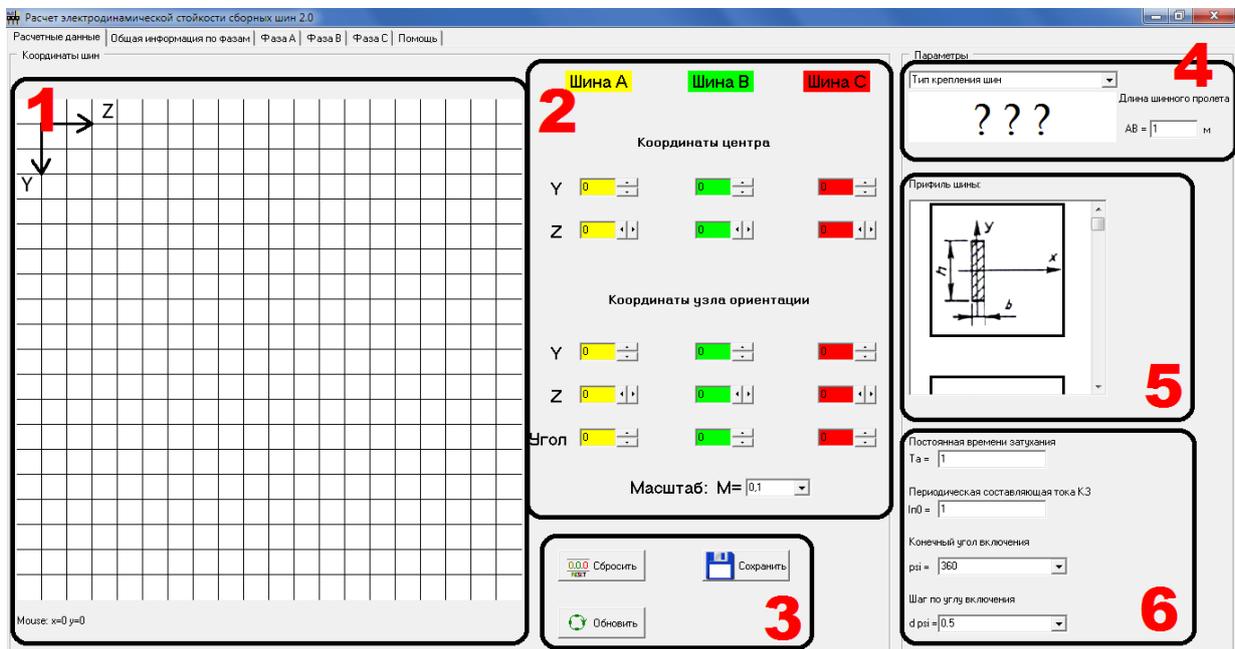


Рисунок 2. Элементы основного окна: 1 – графического ввода координат шин; 2 – коррекции координат шин; 3 – кнопок управления; 4 – выбора типа крепления шины; 5 – выбора сечения шин; 6 – ввода параметров КЗ

Ввод координат шин можно осуществить несколькими методами:

– **Графический.** Этот метод удобен в том случае, если известно примерное взаиморасположение шин. Указать координаты шины можно за два клика компьютерной мыши. Первый клик указывает положение центра шины, второй – ее ориентацию. Также если при вводе координат зажать левую клавишу и переместить мышь, то программа автоматически будет перерисовывать условное изображение вслед за мышью, что позволит указать положение шины более точно.

– **Цифровой.** Если точные координаты заранее известны, то пользователю предлагается внести их в соответствующие поля, причем имеется альтернатива между вводом координаты центра ориентации и углом наклона шины. По окончании или во время ввода можно нажать кнопку «Обновить», после чего на графическом поле будет отображено положение шин, что позволит удостовериться в правильности введенных значений.

– Комбинированный. Представляет собой графический метод с последующей коррекцией полученных значений, что позволяет максимально быстро и точно ввести данные.

При необходимости поле с изображенными на нем координатами может быть сохранено во внешнем файле как изображение.

**Вводу параметров распределительного устройства.** Тип крепления шины к изолятору выбирается в меню соответствующего выпадающего списка, снизу появляется поясняющая схема. Наиболее часто используемые профили шин были взяты из ГОСТ 30323-95 [2] и на его основании составлена база данных. После ввода всех необходимых данных для перехода к результатам расчета необходимо выбрать интересующую вкладку.

Вкладка «Общая информация по фазам» содержит обобщенную информацию, полученную при расчете, а также огибающий годограф векторов электродинамических усилий. Вкладки «Фаза А», «Фаза В», «Фаза С» содержат более детальную информацию по каждой шине фазы, представленную в виде графиков: при постоянном угле включения и изменяющемся времени процесса; при постоянном времени и изменяющемся времени процесса:

- изменение напряжения в материале шины;
- изменение усилия изгиба в вершине изолятора;
- изменение усилия растяжения в вершине изолятора.

**Работа программы.** Пошагово работа с программой выглядит следующим образом:

- задаются координаты шин;
- корректируются координаты, выставляется масштаб;
- Выбирается тип крепления шины;
- Выбирается профиль шины;
- вводятся параметры КЗ;
- выполняется расчет и проводится анализ полученных результатов (рис. 3, 4).

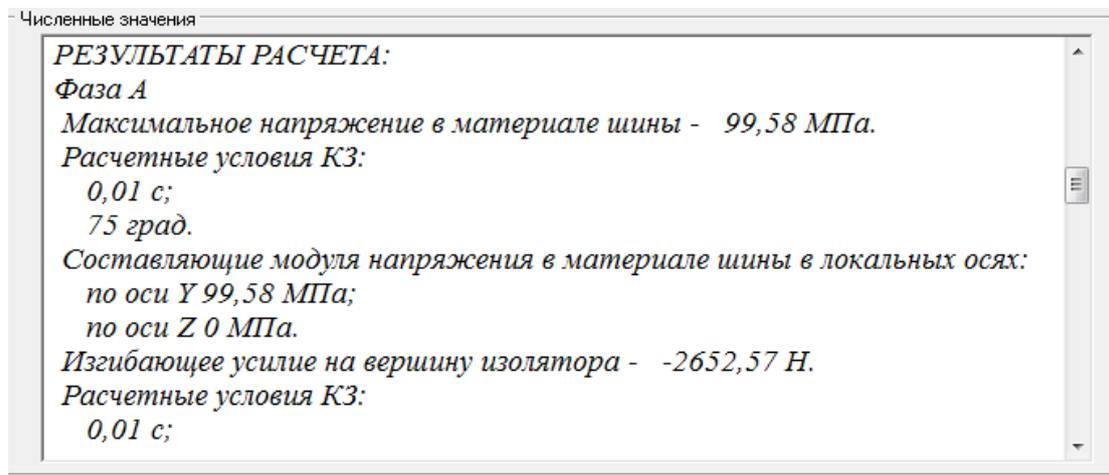


Рисунок 3. Обобщенная информация по шинам

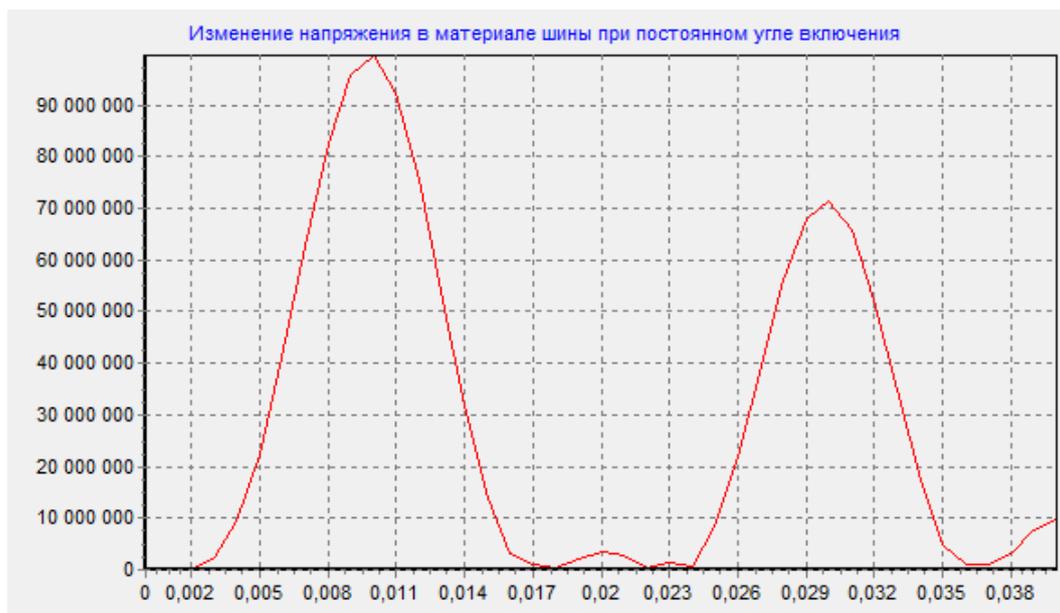


Рисунок 4. Изменение напряжения в материале шины фазы С при постоянном угле включения

**Дальнейшее развитие компьютерной программы.** В программе необходимо предусмотреть возможность создания комплексного отчета в нужном формате, а также добавление работы с базами данных. Так же планируется создание анимированного раздела «Помощь».

Разработанная КП расчета электродинамических усилий проста в использовании и может быть использована в практике конструкторских работ по разработке шинных конструкций с произвольной ориентацией шин и изоляторов.

#### Литература

1. Климкович П.И., Потачиц Я.В. Электродинамическая стойкость шинных конструкций комплектных распределительных устройств при коротком замыкании // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: сборник материалов IX Международной межвузовской научн.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов / УО ГГТУ им. П.О. Сухого. – Гомель, 2009. – С. 104–107.

2. ГОСТ 30323-95 «Короткие замыкания в электроустановках: Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания». Введен в действие с 01.03.1999. – 57 с.

УДК 621.316.933

## **ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРЯДНИКОВ ДЛЯ ГРОЗОЗАЩИТЫ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 6 – 30 КВ**

Чертович А.С.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

Защита ВЛ среднего класса напряжения 6 – 10 кВ от грозовых перенапряжений и пережога защищенных проводов является весьма актуальной задачей. В некоторых странах для этих целей пытаются применять ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН). Основным недостатком, определяющим техническую и экономическую нецелесообразность применения ОПН для грозозащиты воздушных линий (ВЛ), является то, что они выходят из строя при прямых ударах молнии (ПУМ). Эта крайне отрицательная их характеристика неоспорима и признается самими разработчиками ОПН.

Длинно-искровые разрядники (РДИ) принципиально отличаются от всех известных аппаратов и устройств грозозащиты, прежде всего, тем, что не подвержены повреждениям от токов грозовых воздействий, т. к. токи протекают по каналу разряда вне аппарата в воздухе. Это обусловлено их уникальным принципом действия и конструктивными параметрами, которые и предопределили успешную возможность их массового повсеместного применения для грозозащиты распределительных электрических сетей с необходимо высокой степенью надежности.

Принцип работы разрядников основан на использовании эффекта скользящего разряда, который обеспечивает большую длину импульсного перекрытия по поверхности разрядника. За счет этого, а также благодаря разбиению канала разряда на части промежуточными электродами, исключается переход импульсного перекрытия в силовую дугу тока промышленной частоты.

Существует три основных типа РДИ 10 кВ:

- РДИ шлейфового типа (РДИШ-10);
- РДИ модульного типа с длиной перекрытия по поверхности 1,5 м (РДИМ-10-1,5);
- РДИ модульного типа для компактных ВЛ (РДИМ-10-К).

РДИШ-10 рекомендуется применять в тех случаях, когда необходимо осуществлять двойное крепление проводов.

РДИМ-10-1,5 применяют для защиты участков линии, подверженных прямым ударам молнии, а также для защиты подходов к подстанциям ВЛ на деревянных опорах или на железобетонных опорах с изоляторами ШФ20Г или аналогичных им по классу напряжения.

РДИМ-10-К используют для защиты ВЛ компактного исполнения с расстоянием между соседними проводами около 0,5 м и с изоляторами класса 20 кВ в районах со степенью загрязнения не выше II.

### **Литература**

1. Журнал «Кабель-news». – № 11. – 2007.
2. Гайворонский А.С., Клепиков А.В. Разрядники подвесного исполнения для защиты изоляции ВЛ 110–500 кВ от грозовых перенапряжений // Сборник докладов VII симпозиума «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА 2010». – М., 2003.

УДК 621.311

## **ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ И УСТРОЙСТВАХ**

Шалесный В.А., Раманович А.А.

Научный руководитель – Красько А.С., к.т.н., доцент

Методические указания направлены на снижение числа и амплитуд высокочастотных коммутационных перенапряжений (ВЧ перенапряжений) в схемах высоковольтных подстанций 110 кВ и выше, на повышение безопасности и надежности работы высоковольтного оборудования.

Высокочастотные перенапряжения на элементах высоковольтных подстанций являются результатом высокоскоростной перезарядки емкостей шин распределительных устройств при электрических пробоях изоляционных промежутков во время аварий, аварийных и эксплуатационных коммутаций.

Высокочастотные перенапряжения возникают: в начальные моменты коротких замыканий на шинах подстанций и при неудаленных коротких замыканиях на присоединениях; при работе короткозамыкателей; при электрических пробоях межконтактных промежутков высоковольтных выключателей; при срабатывании искровых промежутков; при коммутациях разъединителями холостых участков шин и маломощных электрических аппаратов: шин ячеек выключателей, обходных систем шин, ячеек с трансформаторами напряжения, разрядниками и т. д.

Все мероприятия по защите от перенапряжений делятся на две группы: превентивные меры снижения перенапряжений; защита оборудования с помощью коммутационных защитных средств.

Превентивные меры – это предотвращение возникновения перенапряжений или ограничение их величины в месте их возникновения.

Коммутационные средства защиты от перенапряжений срабатывают и соединяют защищаемую цепь с заземлением в случае, когда перенапряжение в точке их установки превышает некоторую критическую величину.

Для прогноза атмосферных перенапряжений и выбора средств защиты необходимо иметь информацию: о возможном количестве разрядов молнии в защищаемое оборудование или вблизи него; о токах в разряде молнии.

Основные меры борьбы с ВЧ перенапряжениями обусловлены механизмом их генерации.

Для распределительных устройств с числом ячеек 10 и более или имеющих длинные (более 50 м) воздушные переходы к блочным трансформаторам, к трансформаторам и автотрансформаторам распределительных устройств смежных классов напряжения необходимо выполнить анализ ожидаемых уровней ВЧ перенапряжений при коммутациях разъединителями холостых участков шин. На подстанциях 220 кВ и выше целесообразно исключить подачу напряжения на протяженные холостые шины (например, обходные) и снятие напряжения с них с помощью разъединителей. В распределительных устройствах 330–1150 кВ, где нижняя граница частот ВЧ перенапряжений менее 200 кГц, целесообразна замена разрядников на ОПН. Если такая замена невозможна, необходимо предусмотреть меры, предотвращающие срабатывания разрядников при воздействии ВЧ перенапряжений. В первую очередь целесообразно использовать возможности принудительного и высокочастотного делений шин.

Для проектируемых распределительных устройств 110 кВ и выше должна проводиться научно-исследовательская экспертиза на ожидаемые уровни ВЧ перенапряжений при коммутациях разъединителями холостых участков шин в целях определения возможных опасных воздействий на высоковольтное оборудование и в

целях получения информации о ВЧ перенапряжениях как источнике мешающих и опасных влияний на вторичные цепи подстанций.

При расчетах ВЧ перенапряжений в схемах распределительных устройств 110 кВ и выше погонные параметры шин определяются при условиях: шины рассматриваются как провод над идеально проводящей землей; расчетный радиус провода должен соответствовать расчетному радиусу чехла короны, соответствующему напряжению на шинах в момент пробоя межконтактного промежутка разъединителя; в качестве расчетного напряжения на шинах принимается положительная амплитуда фазного напряжения; продольным активным сопротивлением шин на частотах ВЧ перенапряжений можно пренебречь; учет поперечной активной проводимости шин необходим для правильного отображения затухания высокочастотного процесса.

Основной причиной нарушения нормальной работы заградителей в процессе эксплуатации является воздействие волн перенапряжений, возникающих в электрических сетях. В качестве защитных устройств заградителей необходимо использовать ОПН, которые должны быть адаптированы для работы в условиях магнитных полей реактора. Перенапряжения в последовательном контуре блока настройки заградителя могут в несколько раз превышать напряжение защитного уровня защитного уровня ОПН. В качестве элементной базы блока настройки должны применяться резисторы и высокочастотные конденсаторы, обеспечивающие стабильность заграждающего сопротивления заградителя в течении всего срока эксплуатации.

#### Литература

1. Внутренние перенапряжения на электрооборудование высокого и сверхвысокого напряжения / Половой И.О., Михайлов Ю.А., Халилов Ф.Х. / Под ред. А.Ф. Дьякова. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Методические указания по ограничению высокочастотных коммутационных перенапряжений и защите от них электротехнического оборудования в распределительных устройствах 110 кВ и выше / Михайлов Ю.А. / Под ред. И.П. Кужекина. – М.: служба передового опыта ОРГРЭС, 1998.
3. Микуцкий Г.В. Высокочастотные заградители и устройства присоединения для каналов высокочастотной связи: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
4. Сайт <http://5ka.ru>.

УДК 621-52.001.24

## **РАСЧЕТ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6 КВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ НА ПРИМЕРЕ МИНСКОЙ ТЭЦ-4**

Демешкевич Е. В., Чигорский Е. В., Новак А. В., Ерохов Е. Л.  
Научный руководитель – Глинский Е. В.

Большую роль в работе электрических станций играет надёжность электродвигателей собственных нужд (СН). Так как возможны аварийные отключения или отключения по другим причинам, то необходима проверка их самозапуска при включении резервных источников питания. Проверка может выполняться несколькими способами: способом практического опыта - когда на электростанции отключаются основные источники питания и включается резервный. Такой способ сопряжен с опасностью потери питания СН и возникновению аварийных ситуаций на электростанции. Вторым способом определения успешности самозапуска является расчет самозапуска при отключении основного источника питания. Выполнение таких расчётов персоналом электростанции не всегда возможно и целесообразно, так как требует значительного объёма расчётных работ и отвлекает персонал от производственных функций.

Для выполнения расчёта самозапуска электродвигателей на кафедре электрических станций БНТУ была разработана соответствующая программа, позволяющая персоналу в режиме реального времени выполнять расчёт по проверке успешности самозапуска СН ТЭЦ. Это позволяет в короткие сроки получить необходимую информацию о самозапуске и избежать значительных материальных затрат.

Программный комплекс предназначен для расчета самозапуска электродвигателей напряжением 6 кВ СН ТЭЦ. При расчете самозапуска электродвигателей автоматически выполняются расчеты: исходного установившегося режима, режима короткого замыкания, группового выбега электродвигателей в бестоковую паузу и групповой самозапуск электродвигателей после восстановления напряжения.

Особенностью программы является наличие базы данных, содержащей сведения о трансформаторах СН ТЭЦ, о секциях напряжением 6 кВ распределительных устройств (РУ) СН ТЭЦ, связях между секциями 6 кВ, об электродвигателях напряжением 6 кВ и механизмах СН.

Результаты расчета самозапуска электродвигателей представляются в виде графиков изменения напряжения и тока секции (секций), скоростей вращения электродвигателей в процессе самозапуска. Исходные данные для каждого конкретного расчета формируются в виде таблиц, содержащих условия расчета и необходимые пояснения. Программа представляет собой комплекс, включающий в себя программу - диспетчер и отдельные программные блоки, позволяющие выполнять операции с базой данных, расчет самозапуска электродвигателей и отображение результатов расчета.

Выполнение расчетов самозапуска электродвигателей возможно только при наличии базы данных. Для работы программного комплекса в оперативную память ПЭВМ должен быть загружен головной файл «SAMOSAPU.EXE». Исполняемые файлы программы «VFILE2.EXE» и «DD.EXE» загружаются в оперативную память ПЭВМ по мере необходимости головным исполняемым файлом. При выполнении расчетов самозапуска электродвигателей программа создает вспомогательные файлы с расширениями, отличными от «.EXE» и «.DAT».

Программа разработана на базе алгоритмических языков Паскаль и Фортран применительно к ПЭВМ IBM или совместимым с ними ПЭВМ.

База данных, необходимых для выполнения расчетов самозапуска электродвигателей, содержит информацию об элементах схемы СН, каталог двигателей 6 кВ и каталог механизмов СН.

Расчет самозапуска электродвигателей выполняется в три этапа. На первом этапе формируется расчетная схема, в которой содержатся все сведения о присоединениях секции, о самой секции, о связях между секцией и основным и резервным источниками питания, об основном и резервном источниках питания и т.д., необходимые для расчета самозапуска электродвигателей выбранной секции.

На втором этапе задается информация, определяющая условия расчета самозапуска электродвигателей секции.

После этого на экране видеомонитора появляется сообщение «Подготовка данных к расчету окончена» и выполняется третий этап – расчет самозапуска электродвигателей выбранной секции.

В процессе расчета результаты выдаются на экран монитора в графическом отображении, относительные значения контролируемых параметров в темпе счета выводятся в виде графиков, так же на экран монитора выдаются пояснения, в которых приводится соответствие между контролируемыми параметрами и цветами графиков, отображающими их изменение в процессе самозапуска электродвигателей. Так же можно выполнить печатать на принтере информации, определяющей условия выполненного расчета. Необходимо отметить, что сохраняется только информация, определяющая условия выполненного расчета. Информация, определяющая условия всех выполненных ранее расчетов, не сохраняется.

#### **Литература**

1 Георгиади В.Х., Логвенчева Н.В. Методические указания по испытаниям электродвигателей собственных нужд электростанций и расчетам режимов их работы. Ч. 2: Расчет режимов работы электродвигателей собственных нужд при перерывах питания. – М.: Союзэнерго, 1983.

2 Георгиади В.Х., Логвенчева Н.В. Методические указания по испытаниям электродвигателей собственных нужд электростанций и расчетам режимов их работы. Ч. 3: Технические данные и характеристики агрегатов собственных нужд. – М.: Союзэнерго, 1983.

УДК 621.316

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА И ПРОГРАММЫ ВЫБОРА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ

Алешкевич Р.К., Шляпик А.А., Климентионок А.К.

Научный руководитель – Булат В.А., к.т.н., доцент

Вся коммутационная аппаратура РУ электрической станции и подстанции должна надежно работать в условиях длительных, нормальных режимах, так же обладать достаточной динамической и термической стойкостью при возникновении самых тяжелых КЗ. Поэтому при выборе коммутационных аппаратов РУ очень важна проверка соответствия их параметров длительным рабочим и кратковременным, аварийным режимам, которые могут возникать в процессе эксплуатации.

Кроме того, следует учитывать внешние условия работы РУ (влажность, высоту над уровнем моря, окружающую температуру), так как эти условия могут потребовать коммутационную аппаратуру специального исполнения, обладающую большей надежностью.

Разъединитель – это коммутационный аппарат, предназначенный для коммутации цепи без тока.

Назначение – создание надежного видимого разрыва цепи для обеспечения безопасного проведения ремонтных работ на оборудовании и токоведущих частях электроустановки.

Разъединитель не имеет дугогасительный устройств, поэтому прежде чем оперировать разъединителем, цепь должна быть отключена выключателем.

Допускается использовать разъединители для отключения и включения незначительных токов: ёмкостных токов шин коротких кабельных линий, токов утечки, токов намагничивания трансформаторов. Допустимость таких операций определяется ПТЭ и местными инструкциями по эксплуатации электроустановки.

Выбор разъединителей значительно проще, чем выбор выключателей, так как разъединители не предназначены для отключения ненормальных, тем более аварийных токов. В связи с этим при выборе их ограничиваются определением необходимых рабочих параметров: номинального напряжения и длительного номинального тока, а также проверкой на термическую и динамическую стойкость при сквозных токах КЗ.

На кафедре «Электрические станции» была создана программа VR.EXE для выбора высоковольтных разъединителей. По существующей программе одновременно может быть выполнен выбор четырех разъединителей для различных цепей главной схемы электрических соединений станции или подстанции. Программа составлена на алгоритмическом языке ФОРТРАН в операционной системе MS DOS.

Исходной информацией для выбора разъединителей являются: напряжение установки, номинальный ток, ударный ток, импульс квадратического тока КЗ. Кроме этого в отдельном файле (банке) VR.DAT содержатся каталожные данные разъединителей.

При работе программы выбора разъединителей определяется блок параметров разъединителей в банке данных, соответствующий заданным условиям, затем производится выбор разъединителей по условиям, приведенным выше. Результаты выбора коммутационной аппаратуры – тип разъединителя и его параметры выводятся в табличной форме. Если не найден разъединитель, удовлетворяющий заданным условиям, то на печать выводятся нулевые значения.

Для работы программы требуется подключение банка каталожных данных разъединителей, находящихся в файле VR.DAT и файла VR1.DAT, содержащего расчетные параметры цепей, где выбираются разъединители.

Все указанные исходные данные должны быть записаны в виде целых констант. Исходная информация заносится в файл VR1.DAT по бесформатной форме записи.

Данная программа нуждалась в усовершенствовании, в связи с появлением современных типов разъединителей. Нами были внесены изменения в алгоритм программы и добавлены новые типы разъединителей в банк каталожных данных, такие как: РПД, РГ, РВО, РВФ и РЛВОМ.

Модернизированная программа позволяет осуществлять выбор разъединителей имеющих широкий спектр конструктивных особенностей.

#### **Литература**

1. Электрическая часть электростанций и подстанций. Учебное пособие / И.П. Крючков, Н.Н. Кувшанский, Б.Н. Неклепаев. – 3-е изд. – М.: Энергия, 1978.
2. Электрическая часть станций и подстанций / Под ред. А.А. Васильева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
3. Разъединители серии РГ. Каталог ЗАО «Завод электротехнического оборудования». – Великие Луки, 2001.

УДК 621.316(086.14)

## **УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ**

Шарафанович Р.Г.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

Данная работа позволяет ознакомиться с основными принципами защиты зданий и сооружений любого назначения от перенапряжений, позволяющие правильно подойти к вопросам проектирования строительных конструкций и системы молниезащиты объекта, рациональному размещению оборудования и прокладке коммуникаций.

Устройства защиты от импульсных перенапряжений широко используют для защиты объектов, которые находятся на открытой местности и имеют в своем составе высоко расположенные элементы конструкции. К таким объектам можно отнести коттеджи в сельской местности, промышленные объекты с высокими трубами, объекты связи с антенно-мачтовыми сооружениями (АМС) и т. п., в которые с большой степенью вероятности может ударить молния, а также объекты, имеющие воздушные вводы электропитания.

Международной Электротехнической Комиссией (МЭК) разработаны стандарты, в которых изложены принципы защиты зданий и сооружений любого назначения от перенапряжений. К ним относятся стандарт IEC-62305 «Защита от удара молнии», включающий в себя пять отдельных частей, которые заменили действовавшие ранее стандарты.

К основным параметрам относятся:

- номинальное рабочее напряжение;
- классификационное напряжение;
- импульсный ток;
- номинальный импульсный разрядный ток;
- максимальный импульсный разрядный ток;
- сопровождающий ток;
- уровень защиты.

Основные параметры защитного устройства выбирают исходя из назначения, требуемого уровня защиты от перенапряжений, места установки, а также схемы сети и ее параметров (наибольшего рабочего напряжения сети, способа заземления нейтрали, величины емкостного тока замыкания на землю и степени его компенсации, длительности существования однофазного или трехфазного замыкания на землю и т. д.).

Также необходимо оценить уязвимость самой электроустановки. Например, подземные системы электропитания по вполне понятным причинам считаются менее уязвимыми, чем воздушные. Высокая стоимость оборудования, подключенного к защищаемой электроустановке, может стать важным критерием для усложнения схемы защиты и наоборот.

При измерениях, производимых на электроустановке, когда методикой измерений предусматриваются испытания высокими напряжениями (например, проверка сопротивления изоляции проводов), необходимо отключать защитные устройства от электроустановки. Несоблюдение этого правила приведет к искажению результатов измерения или в худшем случае к выходу из строя устройств защиты от импульсных перенапряжений.

### Литература

1. IEC 62305. Защита от удара молнии. Части 1–5.
2. IEC 61643-12 (2002). Устройства защиты от перенапряжений для низковольтных систем распределения электроэнергии. Часть 12. Выбор и принципы применения.
3. ГОСТ Р 50571.19-2000. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 44. Защита от перенапряжений. Раздел 443. Защита электроустановок от грозовых и коммутационных перенапряжений.
4. ГОСТ Р 50571.20-2000. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 44. Защита от перенапряжений. Раздел 444. Защита электроустановок от перенапряжений, вызванных электромагнитными воздействиями.
5. ГОСТ Р 50571.21-2000. Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж оборудования. Раздел 548. Заземляющие устройства и системы уравнивания электрических потенциалов в электроустановках, содержащих оборудование обработки информации.
6. ГОСТ Р 50571.22-2000. Электроустановки зданий. Часть 7. Требования к специальным электроустановкам. Раздел 707. Заземление оборудования обработки информации.
7. ГОСТ Р 50571.26-2002. Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Раздел 534. Устройства для защиты от импульсных перенапряжений.
8. ГОСТ Р 51732-2001. Устройства вводнораспределительные для жилых и общественных зданий. Общие технические условия.
9. ГОСТ Р 51992-2002 (МЭК 61643-1-98). Устройства для защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. Часть 1. Требования к работоспособности и методы испытаний.
10. ГОСТ Р 50339.0 (МЭК 60269-1-86). Низковольтные плавкие предохранители. Общие требования.
11. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.
12. СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций.
13. СП 31-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий.
14. ETSI EN 300253 V2.1.0 (2001-12). Инжиниринг оборудования. Заземление и выравнивание потенциалов оборудования на объектах связи.
15. Рекомендации Международного Союза Электросвязи ITU-T К.27 (с учетом изменений, 1991). Защита от помех. Потенциаловыравнивающие соединения и заземление в здании объекта электросвязи.
16. РД 45.155-2000. Заземление и выравнивание потенциалов аппаратуры ВОЛП на объектах проводной связи.

УДК 621.311.17

## НАВЕДЕННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Шмыгун О.Я.

Научный руководитель – Мазуркевич В.Н., к.т.н., доцент

Электрический ток, проходящий в проводах действующей линии электропередачи, создает переменное электромагнитное поле. Это поле наводит в них электродвижущую силу. Наведенное напряжение и безопасность работ зависят от силы тока в проводах действующей линии, расстояния между проводами действующей и отключенной для ремонта линий, их длины и взаимного расположения. При работах на отключенной воздушной линии необходимо соблюдать специальные меры безопасности.

На проводах и тросах выведенной в ремонт воздушной линии электропередачи (ВЛ), находящейся в зоне влияния другой или других ВЛ высокого напряжения, наводится напряжение относительно земли. Это напряжение может представлять существенную опасность для ремонтного персонала. Если наибольшая величина наведенного напряжения по всей длине ВЛ не превышает 42 В, то линия относится к категории безопасного действия наведенного напряжения, и работы на ней можно проводить с использованием обычных средств защиты. Линии, на которых наибольший уровень наведенного напряжения превышает 42 В, относят к категории линий с сильным или опасным действием наведенного напряжения.

Оценку условий электробезопасности при работах на ВЛ под наведенным напряжением выполняют на основании результатов расчета и измерений уровня наведенного напряжения при максимальной рабочей нагрузке влияющих ВЛ. В случае обнаружения напряжения на проводах линии электропередачи, отключенной и подлежащей заземлению, необходимо определить наличие на них только наведенного напряжения. Перед выполнением работ на отключенных воздушных линиях электропередачи (ВЛЭП) необходимо проведение проверки отсутствия напряжения на токоведущих частях, которая осуществляется с помощью основного средства защиты – указателя напряжения (УН) контактного типа. Для предварительного выявления отсутствия или наличия напряжения возможно применение УН бесконтактного типа, а также некоторых видов сигнализаторов напряжения (СН), достоинством которых является то, что они позволяют провести проверку без подъема на опору, с земли.

### Литература

1. Сайт <http://rayax.ru>.
2. Сайт <http://rayax.ru>.
3. Сайт [info@energoform.ru](mailto:info@energoform.ru).
4. Сайт <http://help.abiturcenter.ru>.

УДК 620.9:621.314

## ХИМИЧЕСКИЕ ЗАЗЕМЛИТЕЛИ

Глушко И.И., Соколов В.В.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

Фундаментный заземлитель представляет собой заземлитель, который устанавливается в бетонном фундаменте сооружения. Он действует в качестве заземлителя системы молниезащиты в том случае, если требуемые внешние выводы для соединения токоотводов выведены из фундамента.

Электрическое заземление в условиях вечномерзлых грунтов всегда вызывает большие сомнения у разработчиков проектов электрических систем. Большинство проектных норм и справочной информации разработаны для районов с умеренным климатом, где вечномерзлые грунты не встречаются. Для районов с вечномерзлыми грунтами норм и методов решения – единицы.

Известны два способа достижения низкого сопротивления грунта в условиях вечномерзлых грунтов. Каждая технология эффективна по-своему, однако совместное использование этих методов удваивает их эффективность. Первый способ заключается в добавлении в грунт рядом с электродом электролитных минеральных солей. Второй способ заключается в замене грунта вокруг электрода материалом с высокой электрической проводимостью.

Самый простой путь совместного применения этих двух приемов – это использовать электрод, заправленный минеральной солью, установив его в замененный грунт. Электрод с минеральной солью представляет собой медную трубу диаметром примерно 64 мм (2,5 дюйма) такой же длины, что и обычный заземлитель (3 метра). В трубе имеются отверстия по всей длине. Труба заполнена смесью минеральных электролитных солей, которые медленно проникают в окружающий грунт сквозь отверстия в стенках. Соли, проникая в окружающий грунт, повышают его электропроводность и предотвращают его промерзание. При этом они не вызывают ускорения коррозии материалов электрода.

Используется совместно с электропроводным материалом, изготовленным из смеси графита и глины. В условиях вечной мерзлоты значительно уменьшает электрическое сопротивление грунта и повышает работоспособность всей системы.

В ходе сбора информации было выявлено, что заземление – это преднамеренное соединение нетоковедущих элементов оборудования, которые в результате пробоя изоляции могут оказаться под напряжением, с землёй.

### Литература

1. Сайт [www.erico.com](http://www.erico.com).

УДК 621.311.17

## КОММУТАЦИОННЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

Грек Н.О., Раманович А.А.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

В последнее время стал очень актуальным вопрос об отрицательном влиянии на электрооборудование кратковременных перенапряжений, возникающих в электропитающих сетях 220/380 В. Источниками этих перенапряжений обычно являются грозовые разряды и промышленные (коммутационные) помехи.

При эксплуатации на изоляцию электрооборудования, наряду с длительным воздействием рабочего напряжения воздействуют кратковременные перенапряжения.

Коммутационные перенапряжения возникают при включении ненагруженной линии, при котором на квазистационарное перенапряжение за счет емкостного эффекта накладываются затухающие колебания на емкости и индуктивности линии, частота которых зависит от длины линии. Амплитуда колебательной составляющей максимальна при угле включения  $90^\circ$  или  $270^\circ$  и величина ее составляет порядка двух амплитуд установившегося режима. При совпадении частоты собственных колебаний линии с частотой сети амплитуда колебательной составляющей может достигнуть десятикратной величины вынужденной составляющей.

Грозовой разряд является наиболее мощным источником импульсных перенапряжений. Во время разряда молнии в ее стволе возникают огромные токи, при протекании которых возникают опасные потенциалы напряжений.

Вне зависимости от источника возникновения импульсного перенапряжения, пути проникновения импульсных перенапряжений сходны. Главным условием проникновения, кроме источника перенапряжений, является наличие длинной линии, в которой и происходят наводки.

Для того чтобы защитить объект от воздействия любого вида перенапряжений, в первую очередь необходимо создать эффективную систему заземления и уравнивания потенциалов. При этом желателен переход на системы питания TN-S TN-C с разделенными нулевыми и защитными проводниками.

Эффективным способом защиты является зонное разделение объекта. В объекте, разделенном на зоны, при переходе из одной зоны в другую происходит ограничение пиковых величин перенапряжений до уровней допустимых в данной зоне. Чем выше номер зоны, тем ниже значения допустимых уровней импульсных помех.

Существует три основных типа устройств защиты от импульсного перенапряжения: разрядник, варистор и разделительный трансформатор.

Одной из серьезных проблем в процессе организации защиты оборудования от грозового и коммутационного перенапряжения является то, что нормативная база в этой области до настоящего времени разработана недостаточно.

### Литература

1. Техника высоких напряжений / Под ред. Д.В. Разевига. – М., 1963.
2. Сайт <http://matlab.exponenta.ru>.
3. Сайт <http://rayax.ru>.
4. Сайт <http://www.electrolibrary.info>

УДК 621.313.333.2

**ЗАЩИТА СООРУЖЕНИЙ ОТ АТМОСФЕРНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ**

Катрич А.Е., Раманович А.А.

Научный руководитель – Климкович П.И.

Перенапряжение является одним из наиболее опасных аварийных режимов работы электрооборудования, вызывающим условия, в большинстве случаев достаточные для возникновения пожара.

Перенапряжением, называется кратковременное повышение напряжения до значения, опасного для изоляции электрооборудования. Перенапряжения возникают вследствие электромагнитных колебательных процессов, вызванных изменением режима работы электрических цепей и при разрядах молнии. Главную опасность в электрических установках напряжением 1–220 кВ представляют возникающие при грозовых разрядах атмосферные перенапряжения.

Процесс атмосферного перенапряжения упрощенно можно представить следующим образом. Нижняя часть грозового облака (обычно заряженная отрицательно) и земля образуют своего рода конденсатор с обкладками облако – земля. По мере накопления отрицательных зарядов облака и положительных зарядов земли растет напряженность электрического поля между ними. Когда напряженность в каком-нибудь месте достигает критического значения (25–30 кВ/см), воздух ионизируется и начинается развитие разряда с облака на землю.

Перед моментом разряда в проводах линии электропередачи возникает электрический ток, обусловленный притягиванием положительных зарядов с дальних участков линии к месту расположения облака. После разряда молнии электрическое поле исчезает вследствие нейтрализации зарядов облака и земли, накопившиеся в линии заряды больше не удерживаются электрическим полем и начинают растекаться к обоим концам линии. Так возникают две электромагнитные волны индуктированного перенапряжения, движущиеся по линии в противоположных направлениях со скоростью света.

Прямой удар молнии в линию электропередачи при этом не обязателен. Но если он происходит, то также приводит к образованию двух волн перенапряжения, идущих вдоль линии в противоположные стороны. В данной ситуации перенапряжение особенно велико, амплитуда тока молнии достигает в среднем 25 кА, а в одном случае из ста – 200 кА.

Если это напряжение превышает электрическую прочность изоляции в какой-либо точке линии или на подстанции, то происходит перекрытие изоляции, ее пробой и короткое замыкание.

Электрические установки на подстанциях защищают от прямых ударов молнии вертикальными стержневыми молниеотводами, а линии – горизонтальными молниеотводами. Вертикальный стержневой молниеотвод представляет собой высокий столб с проложенным вдоль него стальным проводом, который соединен с заземлителем. Горизонтальный молниеотвод представляет собой провод, расположенный над фазными проводами линии на тех же опорах. Чем выше над защищаемым объектом расположен молниеотвод, тем больше его защитная зона, в которой молниеотвод как бы перехватывает молнию и отводит ее в землю.

$$r_x = h_a \frac{1,6}{1 + \frac{h_x}{h} p} \quad r_x = h_a \cdot \frac{1,6}{1 + \frac{h_x}{h} \cdot p},$$

где  $h_a$  – разность высот молниеотвода и защищаемого объекта,  $h_a = h - h_x$ ;

$p$  – коэффициент,  $p = 1$  при  $h < 30$  м.

Для защиты объектов, занимающих большую площадь (например, открытых подстанций), применяют два или четыре вертикальных молниеотвода. Площадь защитной зоны группы из двух и особенно из четырех молниеотводов значительно больше, чем сумма площадей защитных зон двух или четырех одиночных молниеотводов. Необходимое условие защищенности всей площади четырьмя молниеотводами: Защитная зона вертикального молниеотвода имеет вид конуса с радиусом  $r_x$  на высоте  $h_x$  (рисунок 1). Значение  $r_x$  определяют по формуле

$$D = 9h_a,$$

где  $D$  – расстояние между молниеотводами по диагонали.

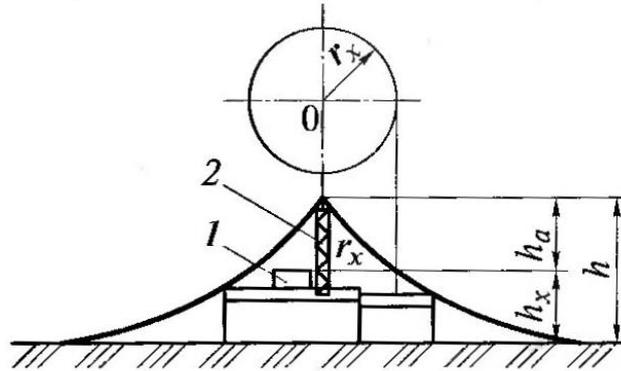


Рисунок 1. Защитная зона молниеотвода: 1 – защищаемый объект; 2 – молниеотвод

Тросовые молниеотводы защищают линию на всей протяженности тросов. Для отвода токов разряда молнии в землю молниеотводы присоединяются к заземляющему устройству (заземлителю) на подстанции и на каждой опоре линии. Заземлители выполняют из стальных труб, прутков или уголков, вбиваемых в землю. Сопротивление заземлителей опор линий электропередачи должно быть не более 30 Ом, сопротивление заземляющего устройства подстанции – не более 0,5 Ом.

Защита зданий, закрытых подстанций, распределительных устройств от прямых ударов молнии выполняется заземлением молниеприемной сетки, железобетонных несущих конструкций кровли или металлического покрытия кровли. При отсутствии металлических покрытий на крыше здания устанавливают стержневые молниеотводы. Открытые РУ и подстанции защищают стержневыми молниеотводами, устанавливаемыми на опорах РУ. Подходы воздушных линий напряжением 35 кВ защищают тросовыми молниеотводами на протяжении 1–4 км, а линии напряжением 110 кВ и выше – по всей длине. Требования к молниезащите и конструкции ее устройств приведены в ПУЭ.

Наличие молниезащиты воздушных линий и подстанций не предотвращает возникновение атмосферных перенапряжений при разрядах молнии вблизи подстанций и линий. Поэтому грозозащита воздушных линий, подстанций и РУ предусматривает установку на линиях, не защищенных тросами по всей длине, трубчатых разрядников, установку в РУ вентильных разрядников, применение на изоляторах защитных промежутков. Разрядники настраивают так, чтобы происходил пробой их разрядных промежутков при возникновении перенапряжения: в установках напряжением до 35 кВ – до  $9U_H$ , в установках напряжением 35 кВ – до  $4U_H$ , в установках напряжением 110 кВ и выше – до  $(2,4 - 2,9)U_H$ . В результате пробоя импульс напряжения отводится в землю, после чего дуга в разряднике гаснет при переходе тока через нулевое значение. В пожаро- и взрывоопасных электроустановках возникает повышенное напряжение еще одного вида, с которым необходимо считаться и принимать меры противодействия. При наполнении резервуаров и сливных операциях возможно образование зарядов статического электричества. В результате трения происходит электризация потока

сжатого воздуха, ременных передач и т. д. Заряды статического электричества резко увеличиваются при наличии примесей воды, пыли или грязи в потоке жидкости, газа. Основной мерой защиты от возникновения искр при разряде статического электричества служит заземление резервуаров, трубопроводов, сливо-наливных устройств. Кроме того, запрещается сливать жидкость свободно падающей струей и применять ременные передачи в пожароопасных помещениях.

#### Литература

1. IEC-1024-1: 1990. Защита сооружений от удара молнии. Часть 1: Общие принципы.
2. IEC 1643-1 (37A/44/CDV: 1996-03). Устройства защиты от волн перенапряжения для низковольтных систем распределения электроэнергии. Эксплуатационные требования и методы испытания.
3. Правила устройства электроустановок / МинЭнерго РБ. – 6-ое изд., перераб. и доп., с изменениями. – Минск: Технопринт, 2006. – 646 с

УДК 620.9:621.314

## МЕТАЛЛОКСИДНЫЕ ОГРАНИЧИТЕЛИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

Афанасьева Ю.С.

Научный руководитель – Пономаренко Е.Г., к.т.н., доцент

Данная работа позволяет ознакомиться с некоторыми понятиями о металлооксидных распределителях перенапряжения, что позволит более эффективно защищать электрооборудование от всех видов перенапряжений, которые могут возникнуть в электрических сетях.

Вентильные разрядники, как правило, применявшиеся ранее для защиты от перенапряжений в районных и распределительных сетях заменяют ограничители перенапряжения (ОПН).

Принцип действия ОПН на металлооксидных сопротивлениях основан на использовании нелинейной вольтамперной характеристики оксида цинка. При приложении к ОПН номинального напряжения ток через него носит емкостный характер и очень мал, при возникновении перенапряжений ток через него лавинообразно растет и может достигнуть нескольких тысяч ампер.

Преимущества ОПН: простота конструкции; высокая надежность; стойкость к внешнему загрязнению изоляционного корпуса; способность ограничивать внутренние перенапряжения, большая взрывобезопасность у ограничителей перенапряжения с полимерным корпусом, меньшие габариты и масса, чем у разрядников, могут использоваться в сетях постоянного тока.

С технической стороны выбор ОПН сводится к его вольтамперной характеристике – для его безопасной работы в электрической сети ВЛХ поднимают, а с другой необходимо снижать. Наибольшее рабочее напряжение сети – определяющая величина при выборе ОПН.

При защите силовых трансформаторов от грозового перенапряжения ОПН должен устанавливаться до коммутационного аппарата и присоединяться наикратчайшим путем от вводов трансформатора к заземляющему устройству подстанции.

Расшифровка условного обозначения типа ограничителя: О – ограничитель; П – перенапряжений; Н – нелинейный; П – в полимерном корпусе; X – номинальное напряжение ограничителя, кВ; X – наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, кВ; X – номинальный разрядный ток, кА; X – класс пропускной способности 1–400 А, 2–500 А, 3–750 А; П – степень загрязнения изоляции по ГОСТ 9920; УХЛ X – климатическое исполнение по ГОСТ 15150.

ОПН предназначены для защиты: электрооборудования подстанций; кабельных сетей; электродвигателей и генераторов; воздушных линий электропередач. ОПН применяются: в энергосистемах переменного и постоянного тока; на электрифицированных сетях железных дорог; на предприятиях химической промышленности.

Система CLX абсолютно необходима для сетей с изолированными проводами. CLX предотвращает расплавление и падение на землю изолированных проводов воздушных линий при перенапряжениях, вызванных ударами молнии.

Электрические защитные характеристики аналогичны по характеристикам ОПН типа «HDA», однако BDA был специально модифицирован для условий применения ОПН на подвижном составе: сильные удары; сильные вибрации; большие токи короткого замыкания; частота от 16 2/3 Гц до 60 Гц.

Низковольтные ОПН типа «LVA» обеспечивают защиту низковольтных воздушных линий, отводов в жилые дома и распределительных трансформаторов. ОПН, как правило, присоединяются параллельно защищаемому оборудованию по схеме «фаза-земля», причем подключение ОПН к шине заземления осуществляется

жестко с применением болта, а к фазной шине по кратчайшему пути с помощью одножильного медного проводника сечением не менее  $6 \text{ мм}^2$  или алюминиевого проводника сечением не менее  $16 \text{ мм}^2$ .

В процессе эксплуатации ОПН не подлежат ремонту и не требуют проведения профилактических испытаний повышенным напряжением в течение всего срока службы.

#### Литература

2. Сайт <http://allbest.ru>.
3. Сайт <http://forca.ru>.

УДК 620.9.001.5

## **ВИДЫ ПОМЕХ И СПОСОБЫ БОРЬБЫ С НИМИ В ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**

Корженко А.В., Лукьянюк М.С.

Научный руководитель – Бобко Н.Н., доцент

Линии связи возникли одновременно с появлением электрического телеграфа. Первые линии связи были кабельными. Однако вследствие несовершенства конструкции кабелей подземные кабельные линии связи вскоре уступили место воздушным. Первая воздушная линия большой протяженности была построена в 1854 г. между Петербургом и Варшавой. В начале 70-х годов прошлого столетия была построена воздушная телеграфная линия от Петербурга до Владивостока длиной около 10 тыс. км. В 1939 г. была пущена в эксплуатацию величайшая в мире по протяженности высокочастотная телефонная магистраль Москва – Хабаровск длиной 8300 км.

Помехой называется стороннее возмущение, действующее в системе передачи и препятствующее правильному приёму сигналов. Источники помех могут находиться как вне, так и внутри самой системы передачи. Если помеха регулярна и известна, то борьба с ней не представляет затруднений. Например, фон переменного тока может быть устранён компенсацией; помеха от определенной радиостанции с модуляционным спектром нормальной ширины устраняется соответствующим фильтром. Борьба же со случайными помехами представляет наибольшее затруднение.

Среди всех случайных процессов особое место занимает процесс с нормальным распределением (гауссов процесс). Дело в том, что большое число действительных случайных процессов является гауссовыми. Это обстоятельство находит себе объяснение в известной теореме Ляпунова, согласно которой распределение суммы независимых случайных величин (при некоторых достаточно широких условиях) сходится к нормальному, вне зависимости от характера распределения слагаемых.

Одним из наиболее очевидных, но часто упускаемых из виду путей проникновения шумов в схему являются провода. Проходя через «зашумленное» пространство, проводник получает шумовые наводки, а затем передаёт их другой схеме. Это вызывает помехи. Решение состоит в защите проводника от шумов или в обеспечении развязки, благодаря которой шумы отводятся с проводника прежде, чем попадут в чувствительную схему.

Основным примером такого вида связи являются шумы, проникающие в схему по проводам сети. В случае, если разработчик не имеет возможности контролировать сеть или если к сети подключают и другую аппаратуру, возникает необходимость в развязке проводов сети по шумам до их подсоединения к схеме.

Еще один вид связи представляет собой излучение электрического и магнитного полей. Все элементы схем, включая проводники, при движении по ним электрических зарядов излучают электромагнитные поля. Кроме такого не предусмотренного разработкой излучения, существует проблема преднамеренного излучения от таких источников, как радиовещательные и радиолокационные станции. Когда приёмник расположен вблизи источника (в ближнем поле), электрическое и магнитное поля рассматривают отдельно. Если же приемник находится далеко от источника (в дальнем поле), излучение рассматривается как комбинация электрического и магнитного полей, то есть как электромагнитное излучение.

В своей работе «Методы подавления шумов и помех в электронных системах» Г. Отт перечислил основные методы и дал практические рекомендации по борьбе с помехами: экранирование, заземление, балансировка, фильтрация, изоляция,

разнесение и ориентация, регулировка величины полного сопротивления схемы, выбор кабеля, подавление (в частотной или временной области).

Помехоустойчивость технического устройства (системы) – способность устройства (системы) выполнять свои функции при наличии помех. Её оценивают интенсивностью помех, при которых нарушение функций устройства ещё не превышает допустимых пределов. Эта общая формулировка должна быть уточнена применительно к различным условиям передачи, то есть должна быть установлена количественная мера помехоустойчивости.

### Литература

1. Бойерле Х.П., Беценар Г.Бах. Коммуникация в технике автоматизации. – Пер. с нем. – Берлин, Мюнхен: АО Siemens, 1991. – 155 с.
2. Варакин Л.Е. Теория систем сигналов. – М.: Советское радио, 1978. – 375 с.
3. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 512 с.
4. Гук М. Аппаратные средства локальных сетей: Энциклопедия. – СПб.: Питер, 2000. – 576 с.
5. Защита от радиопомех / Под ред. М.В. Максимова. – М.: Советское радио, 1976. – 496 с.
6. Зимин В.В. Промышленные сети: Учеб. пособие для студентов вузов. – Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2008. – 252 с.
7. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. – 3-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 958 с.
8. Осмоловский С.А. Стохастические методы передачи данных. – М.: Радио и связь, 1991. – 240 с.
9. Отт Г. Методы подавления шумов и помех в электронных системах / Пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 318 с.
10. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Пер. с англ. – 2-е изд, испр. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
11. Таненбаум Э. Компьютерные сети. – 4-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 992 с.
12. Трахтман А.М., Трахтман В.А. Основы теории дискретных сигналов на конечных интервалах. – М.: Советское радио, 1975. – 208 с.
13. Тузов Г.И. Статистическая теория приёма сложных сигналов. – М.: Советское радио, 1977. – 400 с.
14. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Советское радио, 1970. – 728 с.
15. Харкевич А.А. Борьба с помехами. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Наука, 1965. – 276 с.
16. Хармут Х.Ф. Передача информации ортогональными функциями. – М.: Связь, 1975. – 272 с.
17. Хелд Г. Технология передачи данных. – 7-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 720 с.

УДК 681.3.06

## ПРАКТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОСКОГО СЕЧЕНИЯ В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Коваль А.А., Баран А.Г.

Научный руководитель – Климкович П.И.

В инженерной практике часто требуется рассчитать геометрические параметры того или иного сечения, влияющие на его прочностные или жесткостные характеристики. Для этих целей можно использовать программный пакет MathCAD. В задаче требуется найти положение главных центральных осей и главные моменты инерции для произвольного сечения, ограниченного известными функциями.

Вычисление геометрических характеристик сечения производится с помощью прямого использования формул, определяющих статические моменты, осевые и центробежные моменты инерции и др. Для этого сводятся интегралы к повторным, рассчитав пределы интегрирования (область сечения ограничена двумя кривыми  $z_1(y)$  и  $z_2(y)$  и вертикальной прямой, расположенной на известном расстоянии от оси  $z$ ).

Алгоритм вычисления геометрических характеристик сечения. На первом этапе находится положение центра тяжести сечения  $O_C$ . Сначала вычисляются площадь области  $F$  и статические моменты  $S_y$  и  $S_z$ . Для этого используются функции кривых, ограничивающих сечение сверху и снизу. Определяются координаты  $y_C$  и  $z_C$  центра тяжести. По полученным координатам строятся центральные оси исследуемого сечения. Далее вычисляются осевые и центробежные моменты инерции. Определяются моменты инерции сечения относительно центральных осей. Далее вычисляются главные моменты инерции  $J_{z1}$  и  $J_{y1}$  в системе главных центральных осей. Находится угол  $\alpha_0$ , на который необходимо повернуть систему координат так, чтобы она совпала с главными центральными осями инерции. Определяется положение главных осей.

Решение представленной задачи в математической системе MathCAD. Приведенный выше алгоритм был объединен в программный модуль, позволяющий в интерактивном режиме изображать сечение и систему главных центральных осей при произвольных значениях исходных данных (рисунок 1–4).

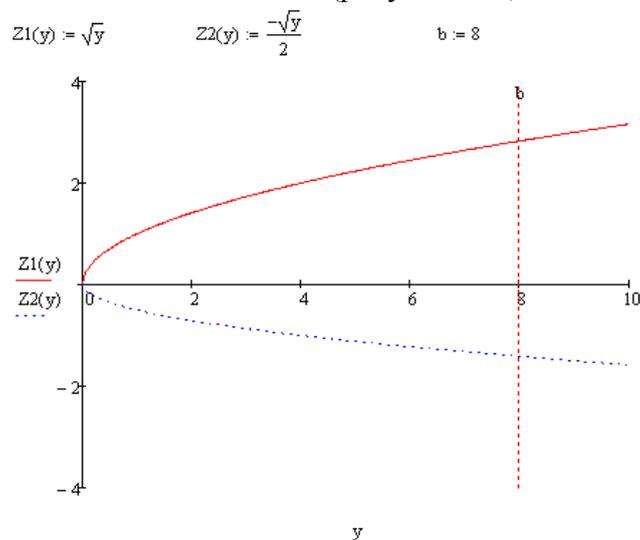


Рисунок 1

Определение площади области  $F$  и статических моментов  $S_y$  и  $S_z$

$$F := \int_0^b \int_{Z2(y)}^{Z1(y)} 1 \, dZ \, dy = 22.627$$

$$S_z := \int_0^b \int_{Z2(y)}^{Z1(y)} y \, dZ \, dy = 108.612 \quad S_y := \int_0^b \int_{Z2(y)}^{Z1(y)} Z \, dZ \, dy = 12$$

$$Y_c := \frac{S_z}{F} = 4.8 \quad Z_c := \frac{S_y}{F} = 0.53$$

Определение осевых и центробежного моментов инерции

$$J_z := \int_0^b \int_{Z2(y)}^{Z1(y)} y^2 \, dZ \, dy = 620.638 \quad J_y := \int_0^b \int_{Z2(y)}^{Z1(y)} Z^2 \, dZ \, dy = 27.153$$

$$J_{yz} := \int_0^b \int_{Z2(y)}^{Z1(y)} Z \cdot y \, dZ \, dy = 64$$

Рисунок 2

Определение моментов инерции сечения относительно центральных осей

$$J_{yC} := J_y - Z_c^2 \cdot F = 20.789 \quad J_{zC} := J_z - Y_c^2 \cdot F = 99.303 \quad J_{yzC} := J_{yz} - Z_c \cdot Y_c \cdot F = 6.4$$

Определение моментов инерции  $J_{z1}$  и  $J_{y1}$  в системе главных центральных осей

$$J_{y1} := \left[ J_{yC} + J_{zC} - \sqrt{(J_{yC} + J_{zC})^2 + 4 \cdot J_{yzC}^2} \right] \cdot 0.5 = -0.34$$

$$J_{z1} := \left[ (J_{yC} + J_{zC}) + \sqrt{(J_{yC} + J_{zC})^2 + 4 \cdot J_{yzC}^2} \right] \cdot 0.5 = 120.432$$

Определение угла  $\alpha_0$  - угла поворота осей инерции сечения

$$\alpha_0 := 0.5 \cdot \text{atan} \left( 2 \cdot \frac{J_{yzC}}{J_{yC} - J_{zC}} \right) = -0.081$$

Положение главных осей

$$Z1z(y) := \tan(\alpha_0) \cdot (y - Y_c + Z_c) \quad Z2z(y) := \frac{-(y - Y_c + Z_c)}{\tan(\alpha_0)} \quad \text{if } \alpha_0 \neq 0$$

Рисунок 3

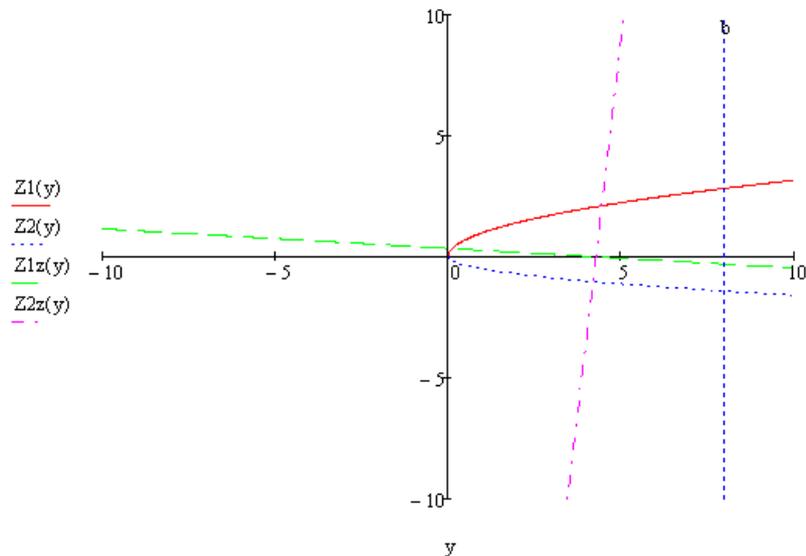


Рисунок 4

Приведенные выше элементы файла были объединены в программный модуль, позволяющий в интерактивном режиме изображать сечение и систему главных центральных осей при произвольных значениях исходных данных (рисунок 1–4).

#### Литература

1. Коваль А.А. Расчет геометрических характеристик плоского сечения при помощи MathCAD // Актуальные проблемы энергетики: материалы 64-й научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов (апрель 2008 года) / БНТУ. В 2-х т. Ч. 1. – Минск, 2010. – С. 151–154.
2. Макаров Е.Г. Сопротивление материалов на базе MathCAD. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 512 с.
3. Макаров Е.Г. Инженерные расчеты в MathCAD. – СПб.: Питер, 2003. – 448 с.

УДК 621.316.001.57

## АНАЛИЗ ТЕОРИЙ ОЦЕНКИ УРОВНЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ДУГОВЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ

Катрич А.Е., Раманович А.А.

Научный руководитель – Булойчик Е.В.

Однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) в распределительных сетях 6–10 кВ – преобладающий вид повреждений и составляют более 75 % от общего числа повреждений. ОЗЗ представляют значительную опасность для людей, установок и сетей. Токи замыкания на землю разрушают изоляцию сетей и электрооборудования. При дуговых замыканиях на землю (ОДЗ) возникают перенапряжения, которые могут быть причиной разноместных повреждений изоляции и двойных замыканий на землю.

Перенапряжениям при дуговых замыканиях на землю посвящено большое количество работ. Основоположителем теории перенапряжений был Петерсен, который в 1916 г. объяснил физическую сущность процесса возникновения перенапряжений. Петерс и Слепян в 1923 г. предложили теорию перенапряжений, отличную от теории Петерсена. В 1957 г. Беляков Н.Н. предложил теорию возникновения перенапряжений при дуговых замыканиях на землю, которая занимает промежуточное положение между теориями Петерсена и Петерса и Слепяна [1].

Сущность этих теорий и механизмы развития перенапряжений кратко состоят в следующем.

По теории Петерсена:

1. Горение дуги продолжается полпериода свободных колебаний.
2. Значения угловой частоты свободных колебаний при горении дуги  $\omega_k = 1/\sqrt{3LC}$  ( $C$  – емкость фазы относительно земли,  $L$  – индуктивность рассеивания питающих трансформаторов).
3. При первом прохождении тока колебаний через нуль дуга погасает.
4. Значение частоты при восстановлении  $\omega_b = 1/\sqrt{LC}$ .
5. Повторное зажигание дуги наступает через полпериода промышленной частоты при максимальном напряжении на поврежденной фазе.
6. Время горения дуги при каждом повторном зажигании равно полупериоду свободных колебаний.
7. После каждого гашения дуги возрастает напряжение смещения нейтрали.
8. Восстановление напряжения на поврежденной фазе имеет колебательный характер с пиком, превышающим величину фазного напряжения.
9. Диэлектрическая прочность места повреждения нарастает быстрее, чем величина восстанавливающегося напряжения.
10. С учетом ограничивающего влияния междуфазных емкостей и затухания колебаний уровни перенапряжения достигают  $U_{\max} = 3,6U_{\phi}$ .

По теории Петерса и Слепяна:

1. Горение дуги продолжается до перехода через нуль тока промышленной частоты.
2. Гашение дуги происходит без переходного процесса, т. е. отсутствуют пики восстанавливающегося напряжения.
3. После каждого гашения дуги напряжение смещения нейтрали остается постоянным и равным  $U_{\phi}$ .
4. Повторные зажигания дуги происходят регулярно через каждый период при максимальном напряжении на поврежденной фазе.

5. Длительность горения дуги при каждом повторном зажигании равна полупериоду промышленной частоты.

6. Восстановление напряжения на поврежденной фазе после гашения дуги происходит плавно с промышленной частотой.

7. Перенапряжения на здоровых фазах не превышают значений  $(3-3,1)U_{\phi}$ .

По теории Белякова:

1. Гашение дуги происходит при каждом прохождении тока через нуль.

2. Повторное зажигание дуги происходит через малую долю периода собственных колебаний при малых напряжениях восстановления ( $U_{кр} = 0,37U_{\phi}$  для сети 6 кВ и  $U_{кр} = 0,22U_{\phi}$  для сети 10 кВ).

3. Гашение дуги на длительное время имеет место в тех случаях, когда высокочастотный максимум восстанавливающегося напряжения достаточно мал и становится меньше величины диэлектрической прочности изоляции, приобретаемой местом повреждения за время восстановления.

4. Максимально возможные перенапряжения с учетом затухания и междуфазных емкостей равны  $3,2U_{\phi}$ .

При оценке перенапряжений учитывают наиболее очевидные параметры: емкости фаз относительно земли  $C$ ; емкости между фазами  $C_m$ ; индуктивности рассеивания питающих трансформаторов  $L$ ; активные сопротивления изоляции сети  $R_{и}$  и др.

В работах [2, 3, 4] исследовано влияние сопротивления цепи замыкания на землю на переходные процессы при ОЗЗ. Наибольшая вероятность возникновения ОЗЗ с переходным сопротивлением 0–200 Ом. В [5] производилось экспериментальное измерение сопротивления каналов дуги при пробое или перекрытии изоляции.

Указанный фактор определяет уровни перенапряжений при перемежающейся дуге. Сопротивление в цепи ОЗЗ обуславливает затухание амплитуд токов и напряжений поврежденной и неповрежденных фаз.

По результатам регистрации в действующих сетях [6, 7] уровни перенапряжений при ОЗЗ в отдельных случаях достигают значений, превышающих четырехкратную величину. В сетях с малыми токами замыкания, которые обладают большим количеством самоустраняющихся ОЗЗ, перенапряжения оказываются выше, чем в сетях с большими токами [8]. Наряду с этим в сетях напряжением 6–10 кВ достаточно часто наблюдаются случаи, когда заземляющая дуга горит устойчиво при токах замыкания на землю менее 5 А. Высокие уровни перенапряжений при ОДЗ вызваны повторными зажиганиями дуги.

Выводы:

1. Исходя из факта, что время перехода от токов замыкания к токам пробоя составляет микросекунды, перемежающуюся дугу можно рассматривать как коммутатор, замыкающий поврежденную фазу на землю через сопротивление, величина которого равна установившемуся значению сопротивления цепи замыкания на землю.

2. При ОЗЗ в цепи замыкания на землю величина сопротивления цепи изменяется в широких пределах.

### Литература

1. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. – М.: Энергия, 1971. – 152 с.

2. Толмачов С.Т., Барановська М.Л. Моделювання процесів дугових замикань на землю в мережах з ізольованою нейтраллю // Вісник ВПІ. – 1997. – № 4. – С. 36–40.

3. Барановская М.Л. Влияние сопротивления цепи замыкания на землю на характер и уровни перенапряжений при однофазных замыканиях // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог. – 1998. – № 63. – С. 31–37.
4. Барановська М.Л. До теорії перенапруг під час дугових замикань на землю в мережах з ізольованою нейтраллю // Вісник ВПП. – 1999. – № 1. – С. 45–49.
5. Щуцкий В.И., Жидков В.О., Ильин Ю.Н. Защитное шунтирование однофазных поврежденных электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 152 с.
6. Самойлович И.С. К оценке переходных сопротивлений при однофазных замыканиях на землю в сетях 6–10 кВ // Проблемы технической электродинамики. – 1972. – вып. 37.
7. Самойлович И.С. Защита от перенапряжений электроустановок открытых горных работ. – М.: Недра, 1992. – 128 с.
8. Зархи И.М., Мешков В.Н., Халилов Ф.Х. Внутренние перенапряжения в сетях 6–35 кВ. – Л.: Наука, 1986. – 128 с.

УДК 620.9:621.314

## ЗАЗЕМЛЯЮЩИЕ ЭЛЕКТРОДЫ

Давшко Д.В., Дунченко Д.А., Соколов В.В.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

Заземляющий электрод представляет собой критический элемент системы заземления. Они обеспечивают соединение электрического оборудования непосредственно с земным влажным токопроводящим слоем.

Используется большое количество различных электродов, некоторые из них являются «естественными», а некоторые – «искусственными». К «естественным» электродам относятся подземные металлические водопроводные трубы, металлические каркасы зданий (при условии их надежного заземления), медные провода или арматурные стержни бетонного фундамента или подземные конструкции и системы. «Искусственные» электроды устанавливаются специально для улучшения качества заземления системы. Для понижения сопротивления такие электроды заземления должны идеально проникать во влагосодержащий уровень, расположенный ниже уровня заземления. Они также должны быть снабжены металлическими проводниками, которые не будут подвержены чрезмерной коррозии за время своего ожидаемого срока службы. В качестве электродов заземления не разрешается использовать подземные газовые трубы или алюминиевые электроды.

Очень часто подбор заземляющих стержней осуществляется исходя из их стоимости и устойчивости к коррозии. Нередко под стоимостью продукта понимается его начальная цена приобретения, в то время как реальная величина стоимости стержневого заземляющего электрода определяется сроком его эксплуатации.

Оцинкованные стальные стержни являются одними из самых дешевых электродов. Однако по той причине, что срок их службы относительно невелик, они не являются наиболее эффективными с точки зрения стоимости. Цельные стержни заземления из меди или нержавеющей стали обладают более длительным сроком службы, но их цена значительно выше цены оцинкованных стальных стержней заземления. Кроме того, цельные медные стержни заземления не годятся для забивания в грунт на большую глубину или даже на небольшую глубину в скалистый грунт, т. к. они могут погнуться.

В качестве компромиссного решения были разработаны стержни заземления со стальным сердечником, заключенным в оболочку из меди или нержавеющей стали. Цена на такие стержни заземления ниже, чем у их цельных аналогов. К тому же, их можно глубоко вбивать в грунт.

Необходимо отметить, что некоторые грунты и контактные площадки могут быть несовместимыми с медью. В таких случаях лучше использовать стержни из нержавеющей стали.

Существует так же химические заземляющие электроды. Они созданы специально для грунтов, обладающих высоким удельным сопротивлением (скальный грунт, песок, вечномерзлый грунт и пр.). В таких грунтах обычно затруднено или принципиально невозможно использование классического способа заземления.

Химический электрод представляет из себя медную трубу с отверстиями, в которую засыпается электролитическая соль. Соли, приходя в окружающий грунт, повышают его электропроводность. Кроме того, электролитическая соль предотвращает промерзание вечномерзлого грунта вокруг электрода.

Электрическое заземление в условиях вечномерзлых грунтов всегда вызывает большие сомнения у разработчиков проектов электрических систем. В районах с вечномерзлыми грунтами, таких как Сибирь, Канада, Аляска и др., почва заморозена на глубину до 2-х километров. Такая почва имеет удельное электрическое

сопротивление на порядок больше, чем в обычных условиях, что вызывает большие трудности со строительством контура заземления.

Но в районах с вечномёрзлым грунтом все равно существуют сезонные изменения состояния почвы. За летний период происходит оттаивание верхнего слоя (1-10 метров – в зависимости от широты и характера климата). Грунт в таком слое имеет такие же свойства, как и грунт в районах с умеренным климатом. Соответственно в зимний период, когда почва замерзает, ее сопротивление резко повышается.

Известны два способа достижения низкого сопротивления грунта в условиях вечномёрзлых грунтов. Каждая технология эффективна по-своему, однако совместное использование этих методов удваивает их эффективность.

Первый способ заключается в добавлении в грунт рядом с электродом электролитных минеральных солей. Это предотвращает замерзание грунта вокруг заземлителя и делает почву более электропроводной.

Исследования, выполненные инженерным корпусом вооруженных сил США на Аляске, показывают, что химически обработанная таким образом почва вокруг электрода понижает сопротивление электрода до 90 %, предотвращая промерзание грунта и повышая его проводимость.

Второй способ заключается в замене грунта вокруг электрода – материалом с высокой электрической проводимостью. Это уменьшает рост сопротивления по мере промерзания грунта, т. к. сопротивление почвы возрастает пропорционально ее базовому исходному значению. Идеальной, с точки зрения проводимости является смесь материала на основе графита и материала на основе глины. Графитовый компонент обеспечивает высокую проводимость, в то время, как глина удерживает влагу рядом с электродом. Эта влага (когда она не мерзлая) способствует уменьшению сопротивления электрода к земле.

Самый простой путь совместного применения этих двух приемов - это использовать электрод, заправленный минеральной солью, установив его в замененный грунт. Электрод с минеральной солью представляет собой медную трубу диаметром примерно 64 мм (2,5 дюйма) такой же длины, что и обычный заземлитель (3 метра). В трубе имеются отверстия по всей длине. Труба заполнена смесью минеральных электролитных солей, которые медленно проникают в окружающий грунт сквозь отверстия в стенках. Соли, проникая в окружающий грунт, повышают его электропроводность и предотвращают его промерзание. При этом не вызывая ускорения коррозии электрода.

Замена грунта вокруг электрода на материал с высокой электропроводностью уменьшит начальное сопротивление электрода к земле и удержит окружающую влагу. С течением времени, минеральные соли, проникая в окружающий грунт, предохранят замененную грунтовую добавку от промерзания. Таким образом, стремительный рост сопротивления при понижении температуры замедлится или прекратится вовсе.

Данная работа позволила ознакомиться с устройством и характеристиками современных заземляющих электродов, а также методами установки оборудования в грунт и мерами повышения эффективности использования заземляющих электродов вне зависимости от места их установки.

### Литература

1. Сайт <http://www.teziz.ru/>.
2. Защитное заземление и защитное зануление электроустановок: Справочник / В.Д. Маньков, С.Ф. Заграничный. – М., 2005.
3. Заземляющие устройства промышленных электроустановок: Справочник электромонтажника / Р.Н. Карякин, В.И. Солнцев. – М., 1989.

УДК 621.315

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТОВ РЕЖИМОВ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ МЕХАНИЗМОВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЭС**

Гузовская В.Н., Баран А.Г., Новак А.В.

Научный руководитель – Новаш И.В., к.т.н., доцент

В настоящее время наиболее эффективным методом исследования переходных и аварийных режимов электроэнергетического оборудования является метод математического моделирования с проведением вычислительного эксперимента на ЭВМ. Реализация этого метода состоит из этапов математического описания исследуемого объекта, разработки алгоритма решения полученной математической модели, написания компьютерной программы на алгоритмическом языке программирования и проведения вычислительного эксперимента.

Кафедра «Электрические станции» БНТУ имеет большой опыт разработки компьютерных программ по оценке поведения устройств релейной защиты и автоматики электроэнергетических объектов. Математическая модель схемы электропитания асинхронных двигателей собственных нужд (СН) содержит модели асинхронных электродвигателей, источников питания, трансформаторов собственных нужд и измерительных трансформаторов, соединительных линий, а также смежных элементов, оказывающих заметное количественное и качественное влияние на характер протекания самозапуска и предшествующих режимов. Количественное влияние, которое следует учитывать в процессе исследования, оценивается величиной порядка 3–5 % действующих значений параметров исследуемых режимов, качественное влияние (степень искажения формы кривых исследуемых процессов) – примерно таким же содержанием высших гармоник.

Математическим аппаратом таких программ являются обыкновенные дифференциальные уравнения, не приводимые к нормальной форме Коши и нелинейные системы алгебраических уравнений, требующие совместного решения. При решении дифференциальных уравнений шаговыми методами нелинейную систему алгебраических уравнений приходится решать методом итераций на каждом шаге интегрирования, что требует достаточно сложных алгоритмов решения и приводит к увеличению длительности вычислительного процесса. Длительность исследуемых режимов при самозапуске может составлять единицы-десятки секунд. При таком достаточно большом расчетном интервале времени необходимо, чтобы программы вычислительного эксперимента имели качественные и количественные характеристики работоспособности, обеспечивающие устойчивость решения, быстродействие, точность и достоверность выдаваемых результатов на всем расчетном интервале. Свойства программ вычислительного эксперимента и их характеристики работоспособности определяются используемыми математическими моделями и алгоритмами их совместного решения.

Компьютерные *системы динамического моделирования* (СДМ), такие как MatLab, Electronics WorkBench и др., позволяют исследовать различные режимы работы электротехнических и электронных устройств, проводя вычислительный эксперимент в среде самой СДМ. При этом используются модели, имеющиеся в библиотеке моделирующей системы, а математические уравнения моделей устройств или сложных систем, формируются и решаются автоматически. Таким образом, при использовании СДМ исключаются такие этапы математического моделирования, как составление математического описания объектов, разработка алгоритмов решения математических моделей и написание компьютерных программ вычислительного

эксперимента. Эти этапы заменяются в системах динамического моделирования этапом создания модели исследуемого объекта из стандартных модулей, имеющихся в библиотеке моделирующей системы.

Основным недостатком такого способа реализации математического моделирования является либо отсутствие в библиотеке СДМ стандартных модулей, необходимых для построения модели реального устройства, либо упрощенное представление объекта библиотечным модулем, неприемлемое в условиях исследования конкретных режимов его работы. Устранение этого недостатка может решаться созданием новых модулей самим пользователем и включением их в библиотеку СДМ. Возможность пополнения библиотеки модулями пользователя придает системам динамического моделирования практически безграничные возможности по проведению вычислительного эксперимента.

Вычислительная система MatLab [1] предназначена для выполнения сложных инженерных, научно-технических расчетов практически в любой области науки и техники, и особенно подходит для математического моделирования в области электротехники, радиотехники, автоматики. В MatLab входит система динамического моделирования Simulink [2], которая содержит большое количество библиотечных модулей различных радиотехнических, электронных и электротехнических элементов и устройств. Пользователь при составлении моделей сложных систем может использовать в нужном количестве библиотечные модули источников сигналов, функциональных элементов систем автоматического регулирования, устройств электроэнергетических систем, в том числе и в трехфазном исполнении (синхронные и асинхронные электродвигатели, генераторы, трансформаторы, линии электропередачи, выключатели и др.). Важнейшей особенностью MatLab является возможность создания пользователем своих библиотечных модулей, которые включаются в состав библиотеки Simulink.

При проведении исследований в среде MatLab переходных и аварийных режимов электроэнергетических систем не всегда удается получить результаты, в точности, совпадающие с результатами математического моделирования, полученными традиционным способом. Это отличие получается вследствие различной степени точности представления реальных объектов математическими моделями, используемыми в MatLab и при реализации программ вычислительного эксперимента разными авторами.

#### Литература

1. Ануфриев И.Е. Самоучитель MatLab 5.3/6.x. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003.
2. Дьяконов В. Simulink 4. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002.

## ОГРАНИЧИТЕЛИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В СЕТЯХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Марчук В.Ю., Раманович А.А.

Научный руководитель – Пономаренко Е.Г., к.т.н., доцент

В электрических сетях перенапряжения возникают в результате воздействия мощных внешних источников электрической энергии, например разрядов молний, а также вследствие переходных процессов, вызванных изменением конфигурации сети при коммутациях. Появление перенапряжений может приводить к необратимому повреждению изоляции основного оборудования электрических сетей. Поэтому для бесперебойного снабжения потребителей электроэнергией перенапряжения необходимо ограничивать до уровня безопасного для изоляции оборудования.

Рассматриваемые характеристики разделяют на две основные группы:

Первая группа – вольтамперные характеристики ОПН при грозовых и коммутационных перенапряжениях (защитные характеристики), определяющие уровень ограничения перенапряжений на защищаемом оборудовании.

Вторая группа – эксплуатационные характеристики ОПН, обеспечивающие способность аппарата выполнять свои функции в течение нормированного срока службы.

Ограничители перенапряжений классифицируют по наибольшему длительно допустимому рабочему напряжению, току пропускной способности и номинальному разрядному току. Наибольшее длительно допустимое напряжение – это наибольшее, не приводящее к повреждению, действующее значение напряжения промышленной частоты, которое может быть приложено непрерывно к ОПН в течение всего срока его службы при нормированных воздействиях.

Ток пропускной способности – это максимальное значение прямоугольного импульса тока длительностью 2000 мкс, воздействие которого ОПН должен выдержать, по крайней мере, 18 раз без потери рабочих качеств. Номинальный разрядный ток ОПН – максимальное значение грозового импульса тока 8/20 мкс, воздействие которого ОПН должен выдержать, по крайней мере, 20 раз без потери рабочих качеств. Эксплуатационные характеристики ОПН определяются, в первую очередь, характеристиками использованных в его конструкции варисторов.

При испытаниях на старение по стандартной процедуре при выбранном в соответствии с рекомендациями изготовителя наибольшем рабочем напряжении мощность потерь в варисторах уменьшается. Это позволяет данной фирме, а также изготовителям ОПН, комплектуя выпускаемые ими ОПН этими варисторами, называть такие варисторы «нестаряющимися». Но процесс старения варисторов можно рассматривать только применительно к тем условиям, в которых они эксплуатируются (или испытываются).

В сетях 6–35 кВ места установки и характеристики ОПН допустимо определять упрощенно за исключением особых случаев, требующих проведения расчетов (аналитических или с использованием компьютерного моделирования процессов).

Диагностика ОПН, безусловно, должна осуществляться, а ее проблемы необходимо обсуждать. Согласно нормам в эксплуатации измерению подлежит действующее значение полного тока проводимости ОПН, которое сравнивается с паспортными данными, т. е. с результатами испытаний на заводе-изготовителе. Как правило, изготовитель ОПН указывает в паспорте значение тока проводимости, полученное при воздействии на ОПН его наибольшего рабочего напряжения. При диагностике ОПН 6–35 кВ в эксплуатации измерения тока проводятся при подаче напряжения от стороннего (лабораторного) источника, в качестве величины которого выставляется значение наибольшего рабочего напряжения.

### Литература

1. Дмитриев В.Л. Влияние загрязнений на поверхности внешней изоляции на достоверность оценки состояния ОПН при периодических обследованиях // *Новости Электротехники*. – 2007. – № 5 (47).
2. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования.
3. Методические указания по применению ограничителей в сетях 110–750 кВ. – М.: Изд-во НТК «Электропроект», 2000.
4. Дмитриев М.В. Особенности проектирования сетей 110–220 кВ, содержащих ОПН // *Новости Электротехники*. – 2006. – № 5.
5. Дмитриев М.В. Применение ОПН в электрических сетях 6–750 кВ. – СПб.: Изд-во «НИВА», 2007. – 60 с.
6. ГОСТ 1516.3-96. Электрооборудование переменного тока на напряжения от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции: Межгос. стандарт. – Введ. 01.01.99. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. – 50 с.
7. Тиходеев Н.Н., Шур С.С. Изоляция электрических сетей. – Л.: Энергия, Ленингр. отделение, 1979. – 304 с.
8. Техника высоких напряжений / Под научной редакцией Г.С. Кучинского. – СПб.: Энергоатомиздат, 2003. – 608 с.
9. ГОСТ 16357-83. Разрядники вентильные переменного тока на номинальное напряжение от 3,8 до 600 кВ. Общие технические условия. (С изменениями 1–3). – М.: Изд-во стандартов, 1989.
10. Техника высоких напряжений / Под общей редакцией Д.В. Разевига. – М.: Государственное энергетическое издательство, 1963. – 472 с.
11. РД 153-34.3-35.125-99. Руководство по защите электрических сетей 6–1150 кВ от грозных и внутренних перенапряжений / Под научной редакцией Н.Н. Тиходеева. – 2-е изд. – СПб.: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999. – 355 с.
12. Heinrich C., Hayeb S., Kalkner W. Degradation and restoration of metal oxide surge arresters // 10th International symposium on high voltage engineering ISH-97, Canada, 1997.

УДК 621.311.17

## ИЗМЕРЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Кузура В.К.

Научный руководитель – Румянцев В.Ю., к.т.н., доцент

Опыт эксплуатации показывает наличие суточных, недельных и более длительных циклов изменения отклонений напряжения во времени. Статистические данные подтверждают, что наиболее точно закон распределения отклонений напряжения в электрических сетях может быть описан с помощью нормального закона распределения, которым и пользуются в практике контроля электроэнергии.

**Статистическая оценка показателей качества электроэнергии.** Изменения параметров электрической сети, мощности и характера нагрузки во времени являются основной причиной изменения ПКЭ. Таким образом, ПКЭ – установившееся отклонение напряжения, коэффициенты, характеризующие несинусоидальность и несимметрию напряжений, отклонение частоты, размах изменения напряжения и другое – величины случайные и их измерения и обработка должны базироваться на вероятностно-статистических методах. Поэтому, как уже отмечалось, в стандарте устанавливаются нормы ПКЭ и оговаривается необходимость их выполнения в течение 95 процентов времени каждых суток (для нормально допустимых значений).

### **Портативные анализаторы электроэнергии.**

*Анализатор качества электроэнергии AR.5M и AR.5L.* Анализаторы электроэнергии предназначены для измерения и регистрации параметров количества и качества электроэнергии, на основании показаний которых делаются выводы об эффективности использования электроэнергии, предлагаются и обосновываются энергосберегающие проекты, разрабатываются программы энергосбережения.

*Электроанализаторы AR.5, AR.5L.* Электрозащита: электроанализаторы идеально подходят для периодических проверок электрических систем с низким и средним уровнем напряжения. Такие проверки включают в себя анализ процессов запуска двигателей, насыщения трансформаторов, оценку качества потребляемой электроэнергии и КПД системы.

*Портативный анализатор QNA-412 P.* Портативный анализатор качества и количества электроэнергии QNA-412 P спроектирован для измерения и записи параметров электроэнергии в трехфазных симметричных и несимметричных электрических сетях низкого, среднего и высокого напряжения, а также для записи событий качества электроэнергии (прерывания, падения напряжения и так далее на интервале от полупериода) с ведением журнала событий.

*Электроанализатор С-80.* Электроанализатор С-80 предназначен для регистрации параметров одно или симметричной трехфазной сети 220/380 В, а также высоковольтных сетей при наличии штатных измерительных трансформаторов. Анализатор качества электроэнергии С-80 подключается к сети с помощью датчика тока и потенциальных проводов с зажимами типа «крокодил». Сменными датчиками тока являются токовые клещи или гибкие токовые клещи номиналом от 5 до 20000 А.

*Стационарные анализаторы электроэнергии.* Многофункциональные программируемые приборы SVM предназначены для измерения, учёта и анализа электрических параметров однофазных и трехфазных электрических сетей.

*Анализатор SVM-NRG 96.* Оптимальное сочетание цена – функциональность. Благодаря своим небольшим габаритам – электроанализатор SVM-NRG 96 незаменим там, где имеется дефицит рабочего пространства.

*Анализатор SVM-Q.* Трёхфазный щитовой анализатор качества электроэнергии, работающий стандартно в сетях до 500 В (фазное напряжение) или через

трансформатор напряжения. Имеет внутреннюю энергонезависимую память для записи событий (провалов, скачков и прерываний напряжения).

*Анализатор SVM 96.* Оптимальный щитовой прибор для построения системы анализа, оптимизации и управления электроэнергией. Измерение пиковой нагрузки и наличие релейных выходов позволяют вмешиваться в процесс управления (отключение или включение потребителей электроэнергии) без участия человека.

*Электроанализатор SVM 144.* Мощный трёхфазный анализатор качества электроэнергии, использующий Использование дополнительных модулей дает возможность расширить область для передачи данных на компьютер протоколы MODBUS или PROFIBUS. применения прибора. Фронтальные размеры 144x144 миллиметров.

*Анализатор электроэнергии SVMk.* Трёхфазный щитовой анализатор электроэнергии, работающий стандартно в сетях до 500 В (фазное напряжение).

Данная работа позволила ознакомиться с порядком измерения и контроля качества электрической энергии. В качестве контролера в большинстве случаев используются электроанализаторы.

### Литература

1. Сайт <http://elics.ru>.
2. Справочная система электроника.
3. Контроль качества электроэнергии: Электронный учебник.

УДК 620.9.621.314

## ГРОЗОВОЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЕ

Косик Е.Н.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А., к.т.н., доцент

Молния представляет собой электрический разряд между облаком и землей или между облаками.

Нижняя часть грозового облака оказывается заряженной отрицательно, а вершина – положительно. Это один из основных процессов электризации грозовых облаков, и поэтому в большинстве случаев (до 90 %) молнии бывают отрицательными, т. е. переносят на землю отрицательный заряд.

По мере концентрации в нижней части облака отрицательных зарядов увеличивается напряженность электрического поля, и когда она достигает критического значения, происходит ионизация воздуха и в сторону земли начинает развиваться разряд.

Грозовые перенапряжения представляют реальную опасность для оборудования сетей практически всех классов номинального напряжения и следовательно, требуют разработки и внедрения эффективных защитных мер, одной из которых является применение специальных защитных аппаратов – вентильных разрядников (РВ) и ограничителей перенапряжений нелинейных (ОПН). Защитные свойства РВ и ОПН основаны на нелинейности вольтамперной характеристики их рабочих элементов, обеспечивающей заметное снижение сопротивления при повышенных напряжениях и возврат в исходное состояние после снижения напряжения до нормального рабочего.

Существующий опыт применения разрядников (вентильных, трубчатых) и ОПН для защиты ВЛ от грозовых перенапряжений, а также теоретические исследования показывают, что их технические возможности не могут в полной мере удовлетворить предъявляемые к ним требования в соответствии с условиями работы на ВЛ при воздействии грозовых разрядников. Так даже самые совершенные из успешно применяемых для грозозащиты подстанционного оборудования ОПН не способны без разрушения выдерживать те возможные токи разряда молнии, которые будут протекать через них в случае установки на ВЛ. Искровые воздушные промежутки приводят только к увеличению числа отключений ВЛ, поскольку не способны гасить сопровождающую грозовое перекрытие дугу. Единственным средством, которое хотя и не выступает как защита от перенапряжений непосредственно от грозовых воздействий, но сокращает степень их последствий, служит автоматическое повторное включение (АПВ), эффективность которого для распределительных сетей не более 50%.

### Литература

1. <http://allbest.ru>.

УДК 620.9.001.5

## **ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОМЕСТИМОСТЬ ВТОРИЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Королёв Е.Л., Гавриелок Ю.В.

Научный руководитель – Булойчик Е.В.

Электрические процессы в высоковольтном оборудовании на электрических станциях (ЭС) и подстанциях (ПС) являются источниками мощных электромагнитных помех. Кроме того, опасные помехи генерируются при молниевых разрядах, работе радиосредств, электростатических разрядах и т. п. Совокупность уровней помех, характерных для любой конкретной ЭС (ПС), называется электромагнитной обстановкой (ЭМО).

Внедрение на объектах электроэнергетики микропроцессорной аппаратуры привело к необходимости решения проблем ее электромагнитной совместимости (ЭМС). Подходы к решению этой задачи за последнее десятилетие существенно изменились. Раньше речь шла в основном о проведении работ на действующих объектах экспериментальными методами, что позволяло устранить явные дефекты заземляющего устройства и существенно улучшить электромагнитную обстановку. Однако выяснилось, что источником неблагоприятной ЭМО часто служат решения, заложенные еще на стадии проектирования. Многие из них практически невозможно исправить на уже введенном в эксплуатацию объекте.

Поэтому решение проблемы ЭМС должно начинаться уже на стадии проектирования энергообъектов.

Опыт, накопленный в процессе определения ЭМО на промышленных и энергетических объектах, позволяет с уверенностью утверждать, что в большинстве своем проблемы ЭМС были «заложены» еще при проектировании ЭС и ПС. Поэтому решение большей части проблем ЭМС должно, строго говоря, происходить именно при проектировании новых и реконструируемых объектов. Применение современных расчетных методов определения ЭМО (некоторые из них описаны ниже) позволяет получить достаточно полную информацию по уровням помех уже на стадии проектирования новой ЭС и ПС. Разумеется, для уже существующих ЭС и ПС, подлежащих реконструкции, определение электромагнитной обстановки происходит, в основном, методами прямого измерения и имитационного моделирования.

Несомненным достоинством расчетных методов является то, что с их помощью можно определять электромагнитную обстановку уже на стадии проектирования нового объекта. Отметим, что использование расчётных методов для оценки ЭМО на уже существующих объектах в ряде случаев также целесообразно, давая иногда даже более достоверные результаты, чем, например, имитационное моделирование. Действительно, токи и напряжения, используемые при имитационном моделировании, на несколько порядков меньше токов и напряжений, возникающих, например, при молниевом разряде. Поэтому при имитационном моделировании принципиально не учитываются нелинейные эффекты: явление электрического пробоя, насыщение ферромагнитных элементов, работа имеющихся устройств ограничения перенапряжений и т. п.

При строительстве новых и реконструкции существующих ЭС и ПС необходимо уделять внимание решению проблем ЭМС размещаемой на них аппаратуры защиты и управления.

Повысить эффективность решения проблем ЭМС можно путем рассмотрения вопросов обеспечения ЭМС в составе проектных работ, выполняемых по новым и реконструируемым объектам. Представляется, что мероприятия по обеспечению ЭМС должны закладываться еще на стадии разработки проектных решений.

Имеющиеся типовые проектные решения следует, по возможности, приводить в соответствие требованиям ЭМС.

Все мероприятия по определению и улучшению ЭМО не дадут необходимого эффекта, если применяемая на ЭС и ПС электронная аппаратура не будет удовлетворять минимальным требованиям устойчивости к помехам.

### Литература

1. Guide on EMC in Power Plants and Substations // CIGRE Publ. 124. – 1997.
2. Базуткин В.В. Техника высоких напряжений: изоляция и перенапряжения в электрических системах: учеб. – 3-е изд. – 1986.
3. РД 34.20.116-93. Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций от импульсных помех. Утверждены Департаментом науки и техники 29.06.93. – М.: РАО «ЕЭС России», 1993.
4. Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций от импульсных помех.
5. РД 153-34.0-20.525-00. Методические указания по контролю заземляющих устройств электроустановок. – М.: СПО ОРГЭС, 2000.
6. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике. – М.: Энергоатомиздат, 1995.
7. Шваб А.Й. Электромагнитная совместимость. – М.: Энергоатомиздат, 1995.
8. IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment. IEEE Std 1100-1999.
9. РД 34.35.310-97. Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем. – М.: РАО «ЕЭС России», 1997.
10. ГОСТ Р 51317.6.2-99 (МЭК 61000-6-2-99). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в промышленных зонах. Требования и методы испытаний.
11. Кадыков Н.В., Матвеев М.В. Электромагнитная совместимость локальных сетей на предприятиях электроэнергетического профиля // Электрические станции. – № 9. – 1998.
12. Гепферт С.О., Матвеев М.В. Решение проблем ЭМС при внедрении цифровых учреждений АТС // Энергетик. – № 4. – 2001.
13. Матвеев М.В. Электромагнитная обстановка на объектах определяет ЭМС цифровой аппаратуры // Новости электротехники. – № 1–2 (13–14). – 2002.
14. Костин М.К., Матвеев М.В. Проблемы и методы контроля электромагнитной обстановки на энергообъектах // Сб. научных докладов IV Международного симпозиума по электромагнитной совместимости. – СПб., 2001.
15. Kostin M.K., Matveyev M.V., Ovsyannikov A., Verbin V.S., Zhivodernikov S. Some results of EMC investigation in Russian substations // CIGRE Session 2002, 36-103.
16. РД 153-34.0-20.525-00. Методические указания по контролю заземляющих устройств электроустановок.
17. СО 34.35.311-2004. Методические указания по определению электромагнитной обстановки на электрических станциях и подстанциях.
18. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – М.: МЭИ, 2004.
19. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике / Под ред. А.Ф. Дьякова. – М.: Энергоатомиздат, 2003.
20. Обеспечение ЭМС современных систем РЗА и АСУ на электрических станциях и подстанциях // Вести в электроэнергетике. – № 4. – 2004.

УДК 621.316.3

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДЛИННО-ИСКРОВЫХ РАЗРЯДНИКОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6–10 КВ**

Ерофеев Т.С., Шпак Ю.С., Пашко Ю.Р., Катрич А.Е.  
Научный руководитель – Красько А.С., к.т.н. доцент

Перенапряжения представляют собой любые превышения напряжения относительно амплитуды наибольшего рабочего напряжения. Перенапряжения подразделяются на грозовые (атмосферные) и внутренние и являются одной из наиболее частых причин выхода из строя электрических сетей.

Анализ опыта эксплуатации распределительных электрических сетей показывает, что их надежность ниже, чем у сетей более высоких классов напряжения. Повреждения в распределительных сетях обуславливают большую часть ущерба, связанного с перерывами в электроснабжении потребителей.

Одной из основных причин аварий и нарушений являются грозовые перенапряжения на воздушных линиях (ВЛ), вызывающие импульсные перекрытия и разрушения изоляторов и приводящие к дуговым замыканиям, сопутствующим повреждениям оборудования, отключениям линий.

Современное решение проблемы грозозащиты электрических сетей – применение длинно-искровых разрядников.

РДИ являются российской разработкой и по своим конструктивным параметрам, техническим характеристикам и функциональным возможностям представляют особый класс устройств грозозащиты, не имеющих мировых аналогов.

Принцип действия всех видов РДИ заключается в ограничении грозовых перенапряжений на ВЛ за счет искрового перекрытия по поверхности изоляционного тела разрядника с длиной канала разряда, в несколько раз превосходящей строительную высоту защищаемой изоляции, и гашении сопровождающих токов промышленной частоты за счет обеспеченного таким образом снижения величины среднего градиента рабочего напряжения вдоль канала грозового перекрытия.

Главным отличительным достоинством класса длинно-искровых разрядников является их неподверженность разрушениям и повреждениям грозовыми и дуговыми токами, поскольку они протекают вне аппаратов, по воздуху вдоль их поверхности.

Применение существующих видов длинно-искровых разрядников позволяет решать задачу комплексной защиты электрических сетей от грозовых перенапряжений и их последствий.

Установка разрядников на всем протяжении воздушных линий (ВЛ) и на подходах к подстанциям позволяет исключить перекрытия изоляции на ВЛ и все негативные сопровождающие последствия как при индуктированных грозовых перенапряжениях, так и при прямом ударе молнии. При этом обеспечивается отсутствие грозовых отключений ВЛ, разрушений изоляторов, пережога проводов, экономия ресурсов и защита подстанционного оборудования.

Технология грозозащиты длинно-искровыми разрядниками применима для ВЛ с любыми видами опор – железобетонными, металлическими, деревянными, изоляторов – штыревыми, натяжными, подвесными, фарфоровыми, стеклянными, полимерными, и проводов, как защищенными, так и неизолированными.

В зависимости от установленных технических требований по грозозащите участков электрических сетей возможно применение на них различных видов разрядников и их сочетаний.

Для надежной защиты от индуктированных грозовых воздействий необходимо устанавливать на каждую одноцепную опору защищаемого участка ВЛ по одному разряднику в зависимости от типа опор, траверс, изоляторов ВЛ и других

определяющих обстоятельств применяются разрядники трех типов РДИП-10-IV-УХЛ1, РДИШ-10-IV-УХЛ1, РДИМ-10-К-II-УХЛ1.

Разрядники петлевые РДИП-10-IV-УХЛ1 можно устанавливать на любые виды опор, с чередованием фаз.

Разрядники шлейфовые РДИШ-10-IV-УХЛ1 целесообразно использовать в местах двойного крепления провода, вместо петлевых.

Разрядники модульные РДИМ-10-К-II-УХЛ1 предназначены для защиты ВЛ только с компактным размещением проводов, расстояние между которыми не превышает 50 см, и с изоляторами ШФ-20. Эти разрядники устанавливаются только на среднюю фазу.

На двухцепных ВЛ разрядники должны устанавливаться на обе цепи таким образом, чтобы на каждой из опор защищалась только одна пара одноименных фаз, с тем же принципом чередования, что и для одноцепных ВЛ. Нарушение этого требования создает возможность короткого междупазного замыкания и отключения линии при индуцированном грозовом перенапряжении.

При схеме установки разрядников с последовательным чередованием фаз тока промышленной частоты, сопровождающие многофазные замыкания, обусловленные грозовыми перенапряжениями, протекают по контурам, включающим в себя сопротивления заземления опор. Принцип действия РДИ основан на предотвращении перехода искрового перекрытия в силовую дугу промышленной частоты. При этом эффективность гашения сопровождающих токов тем выше, чем меньше они по величине, а наличие сопротивлений заземления опор в контуре замыкания благоприятным образом влияет на снижение величины сопровождающих токов.

Поэтому с точки зрения грозозащиты от индуцированных перенапряжений установка РДИ на опору ВЛ не налагает никаких специальных требований к заземлению опоры, связанных со снижением его величины.

Длинно-искровые разрядники в соответствии со своими конструктивными параметрами, техническими характеристиками и принципу действия не относятся к устройствам, установка которых на ВЛ приводит к дополнительному риску возникновения аварийных режимов, требующему принятия специальных мер технической безопасности. Более того, наличие РДИ на ВЛ должно устранить все случаи однофазных замыканий, вызванных грозовыми перенапряжениями.

Рассмотрим более подробно петлевой разрядник РДИП-10-IV-УХЛ. Разрядник предназначен для защиты воздушных линий электропередачи напряжением 6, 10 кВ трехфазного переменного тока с защищенными и неизолированными проводами от индуцированных грозовых перенапряжений и их последствий и рассчитан для работы на открытом воздухе при температуре окружающего воздуха от минус 60 °С до плюс 50°С в течение 30-и лет.

Разрядник состоит из согнутого в виде петли металлического стержня, покрытого слоем изоляции из полиэтилена высокого давления. Концы изолированной петли закреплены в зажиме крепления, с помощью которого разрядник присоединяется к штырю изолятора на опоре ВЛ. В средней части петли поверх изоляции расположена металлическая трубка. На проводе ВЛ, напротив металлической трубки разрядника, закрепляется универсальный зажим для создания необходимого воздушного искрового промежутка.

Закрепление изолированной петли разрядника на ВЛ производится с помощью зажима крепления. Зажим крепления изготовлен из стали, покрытой защитным слоем цинка, и имеет конструкцию, обеспечивающую надежное крепление разрядника к элементам арматуры ВЛ. Конструкция зажима крепления разрядника может быть изменена и иметь форму, адаптированную под конкретные условия крепления разрядника на опоре ВЛ. Универсальный зажим для провода изготовлен из стали, покрытой защитным слоем цинка. Конструкция зажима позволяет устанавливать его

как на неизолированные, так и на защищенные провода, зажим для которых имеет прокусывающие шипы.

Принцип работы разрядника основан на использовании эффекта скользящего разряда, который обеспечивает большую длину импульсного перекрытия по поверхности разрядника, и предотвращении за счет этого перехода импульсного перекрытия в силовую дугу тока промышленной частоты.

При возникновении на проводе ВЛ индуктированного грозового импульса искровой воздушный промежуток между проводом ВЛ и металлической трубкой разрядника пробивается, и напряжение прикладывается к изоляции между металлической трубкой и металлическим стержнем петли, имеющим потенциал опоры.

Под воздействием приложенного импульсного напряжения вдоль поверхности изоляции петли от металлической трубки к зажиму крепления разрядника по плечу петли, на котором установлены промежуточные электроды, развивается скользящий разряд.

Вследствие эффекта скользящего разряда вольт-секундная характеристика разрядника расположена ниже, чем вольт-секундная характеристика изолятора, т. е. при воздействии грозового перенапряжения разрядник перекрывается, а изолятор нет.

После прохождения импульсного тока молнии разряд гаснет, не переходя в силовую дугу, что предотвращает возникновение короткого замыкания, повреждение провода и отключение ВЛ.

РДИ являются эффективными, надежными и экономичными грозозащитными устройствами благодаря оригинальности реализуемого принципа действия, конструктивной простоте и неподверженности повреждениям грозовыми и дугowymi токами.

Конструктивно-технические параметры разрядников РДИ обеспечивают возможность и удобство их монтажа на любых типах опор ВЛ и ВЛЗ, отсутствие необходимости их обслуживания и эксплуатационную долговечность.

РДИ не только устраняют пережог проводов, но и предотвращают отключение ВЛ вследствие грозовых индуктированных перенапряжений.

РДИ устраняют последствия грозовых перекрытий, не причиняя ущерба оборудованию линий и подстанций в отличие от дугозащитных рогов, которые искусственно переводят однофазное замыкание в двухфазное, создавая тем самым мощный электродинамический удар по оборудованию.

РДИ экономят ресурс срабатывания высоковольтных выключателей.

Защищают электрические сети от дугowych перенапряжений, сопутствующих однофазным замыканиям на землю, вызванным грозовыми перенапряжениями.

РДИ не подвержены разрушающему воздействию токов молнии и сопровождающих токов дугowych замыканий, как нелинейные ограничители перенапряжений или трубчатые и вентильные разрядники, поскольку эти токи протекают вне конструкции разрядника.

### Литература

1. Подпоркин Г.В., Пильщиков В.Е., Спиваев А.Д. Защита ВЛ 6–10 кВ от грозовых перенапряжений посредством длинно-искровых разрядников модульного типа // Энергетик. – 2003. – № 1. – С. 27–29.
2. Техника высоких напряжений: Учебник для техникумов / Ларионов В.П. и др. – М.: Энергоиздат, 1982. – 296 с.
3. <http://www.streamer.ru/>.
4. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Разрядник\\_длинно-искровой](http://ru.wikipedia.org/wiki/Разрядник_длинно-искровой).

# **СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

## **ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ**

### **ПЛАНИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ**

ДЕРЕВЯГО В.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ПРОКОПЕНКО В.Г., К.Т.Н., ДОЦЕНТ

### **РАСЧЁТ РЕЖИМА РАЗОМКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

КОВАЛЬЧУК Д.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ГАПАНЮК С.Г., М.Т.Н., АССИСТЕНТ

### **ОБЗОР РЫНКА ВАКУУМНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ 10 КВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

САВИЦКИЙ Н.С., СКОК А.И.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ГАПАНЮК С.Г., М.Т.Н., АССИСТЕНТ

### **УПРАВЛЕНИЕ МОЩНОСТЬЮ ТУРБИН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ**

ФРАНЦЕВИЧ Р. Г.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ВОЛКОВ А.А., М.Т.Н., СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

### **ГРАДИЕНТНЫЕ ИТЕРАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ УРАВНЕНИЙ УЗЛОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**

ВАБИЩЕВИЧ Н.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ВОЛКОВ А.А., М.Т.Н., СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

### **ПОДСТАНЦИЯ С ОДНОФАЗНОЙ ОБХОДНОЙ СИСТЕМОЙ ШИН**

ЕРМАКОВА Н.О.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ФЕДИН В.Т., К.Т.Н., ПРОФЕССОР

### **ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПОДСТАНЦИЯ С ОДНОФАЗНЫМ ОБХОДНЫМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ**

ЛЕГОТИНА М.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ФЕДИН В.Т., К.Т.Н., ПРОФЕССОР

УДК 621.311

## ПЛАНИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Деревяго В.В.

Научный руководитель – Прокопенко В.Г., к.т.н., доцент

Снижение потерь активной мощности и электроэнергии в электрических сетях является одной из основных и первоочередных задач как на этапе их проектирования, так и эксплуатации. Решение этой задачи может быть осуществлено за счет уже имеющихся в электрической сети средств регулирования режимов, либо за счет дополнительно устанавливаемых устройств, таких как компенсирующие устройства, вольтодобавочные трансформаторы. При первом подходе не требуется дополнительных капитальных вложений, что делает выполнение оптимизации с помощью этих устройств первоочередным мероприятием.

В данной работе было осуществлено планирование оптимальных режимов работы участка сети Могилевские электрические сети. Для того, чтобы произвести это планирование, необходимо было выполнить ряд оптимизационных расчетов, которые выполнялись с помощью программы RastrWin. Оптимизация проводилась с помощью имеющихся средств регулирования режимов: автотрансформаторов, установленных на подстанциях Могилев – Северная и Могилев – 330; источников реактивной мощности, один из которых представляет собой генераторы, установленные на Могилевской ТЭЦ-2, а второй – компенсирующее устройство, установленное на подстанции Заднепровская. При оптимизации рассматривалось три наиболее характерных режима, которые отражают суточный график нагрузки: режим наибольших нагрузок, режим средних нагрузок и режим наименьших нагрузок.

Одновременно с выполнением оптимизации каждого режима осуществлялся жесткий контроль параметров режимов.

Оптимизация режимов работы электрической сети с помощью коэффициентов трансформации автотрансформаторов проводилась с помощью четырех различных методов [1]:

- 1) Пошаговый метод с анализом предыстории;
- 2) Многошаговый метод с анализом предыстории;
- 3) Ускоренный многошаговый метод с анализом предыстории;
- 4) Метод покоординатного спуска.

Оптимизация режима наибольших нагрузок была проведена каждым методом поочередно. Для режима средних нагрузок и наименьших нагрузок были применены методы, которые были наиболее эффективны для режима наибольших нагрузок: ускоренный многошаговый метод и метод покоординатного спуска.

Для режима наибольших нагрузок применение пошагового метода с анализом предыстории позволило уменьшить суммарные потери активной мощности в сети с 5,6734 МВт до 5,1165 МВт или на 9,82%, и было это осуществлено за семь оптимизационных шагов. Применение многошагового метода с анализом предыстории привело к такому же результату, однако достигнуто это было за четыре оптимизационных шага. Ускоренный многошаговый метод с анализом предыстории привел к таким же результатам, как и предыдущие методы, но за три оптимизационных шага. Применение метода покоординатного спуска совместно с оптимизацией имеющимися источниками реактивной мощности позволило снизить суммарные потери активной мощности в сети с 5,6734 МВт до 4,4616 МВт или на 21,36%. Графики зависимости снижения суммарных потерь активной мощности в сети от оптимизационного шага в режиме наибольших нагрузок изобразим на рисунке 1.

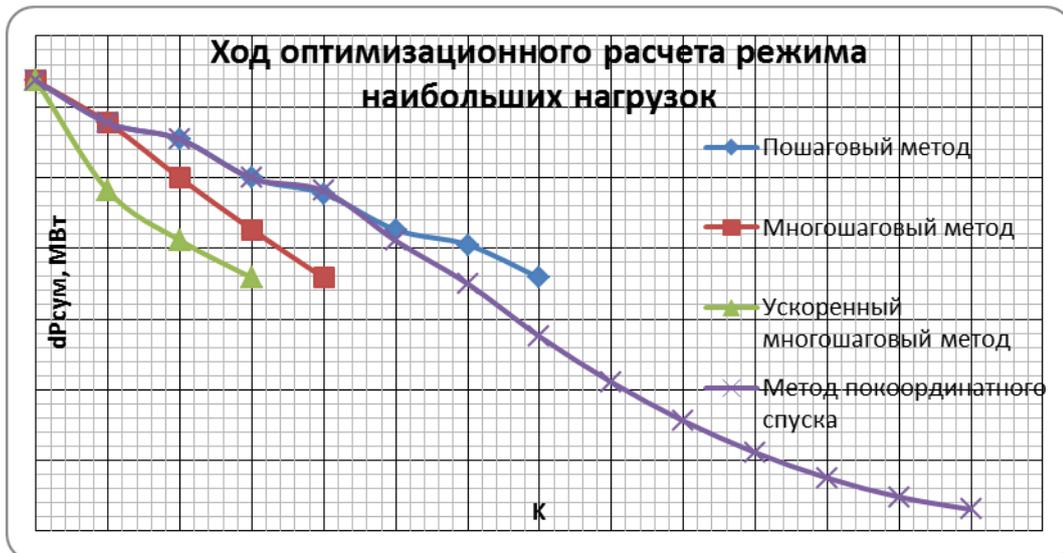


Рисунок 1 – Снижение суммарных потерь активной мощности в сети в режиме наибольших нагрузок.

Для режима средних нагрузок применение ускоренного многошагового метода с анализом предыстории совместно с оптимизацией имеющимися источниками реактивной мощности позволило снизить суммарные потери активной мощности в сети с 2,3370 МВт до 2,1753 МВт или на 6,92% за три оптимизационных шага. С помощью метода покоординатного спуска совместно с оптимизацией имеющихся источников реактивной мощности удалось достичь аналогичного результата, но за четыре оптимизационных шага. Графики зависимости снижения суммарных потерь активной мощности в сети от оптимизационного шага в режиме средних нагрузок изобразим на рисунке 2.

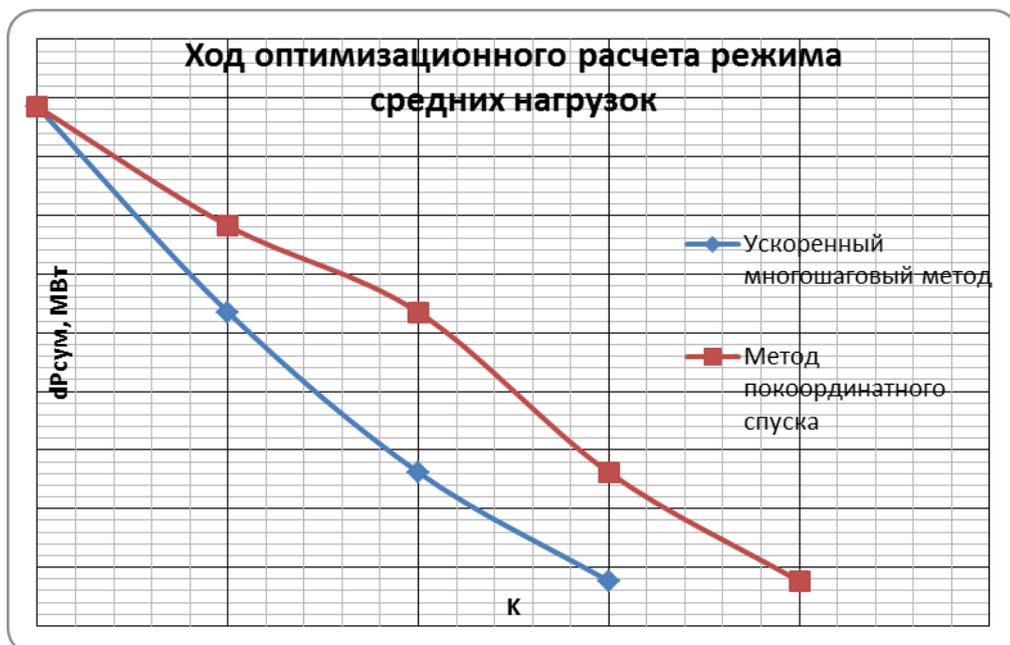


Рисунок 2 – Снижение суммарных потерь активной мощности в сети в режиме средних нагрузок.

Для режима наименьших нагрузок применение ускоренного многошагового метода с анализом предыстории совместно с оптимизацией имеющимися источниками реактивной мощности позволило снизить суммарные потери активной мощности в сети с 1,8279 МВт до 1,6834 МВт или на 7,91% за два оптимизационных шага. С помощью

метода покоординатного спуска совместно с оптимизацией имеющихся источников реактивной мощности удалось достичь снижения суммарных потерь активной мощности в сети с 1,8279 МВт до 1,6782 МВт или на 8,19%, за шесть оптимизационных шагов. Графики зависимости снижения суммарных потерь активной мощности в сети от оптимизационного шага в режиме наименьших нагрузок изобразим на рисунке 3.

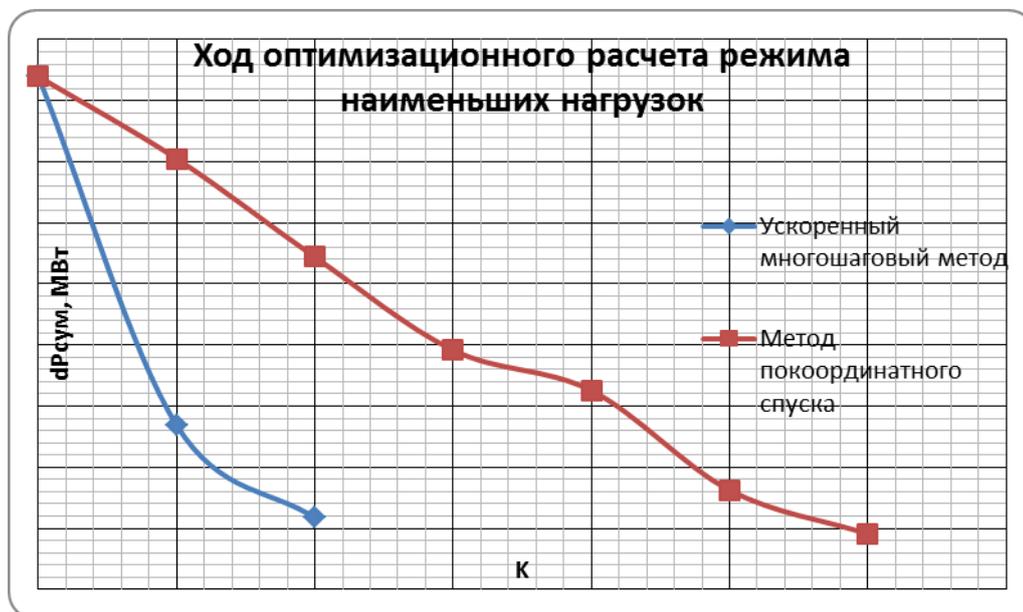


Рисунок 3 – Снижение суммарных потерь активной мощности в сети в режиме наименьших нагрузок.

Исходя из полученных результатов, можно говорить о том, что наиболее эффективными методами при оптимизации режимов являются ускоренный многошаговый метод и метод покоординатного спуска. С помощью ускоренного многошагового метода удастся наиболее быстро оптимизировать режим и добиться снижения суммарных потерь активной мощности в сети. Однако при его применении также быстро за допустимые пределы выходят параметры режима, что не позволяет в данном случае применить оптимизацию имеющихся источников реактивной мощности. В свою очередь метод покоординатного спуска позволяет добиться более глубокого снижения суммарных потерь активной мощности как за счет изменения коэффициентов трансформации, так и за счет оптимизации имеющихся источников реактивной мощности, однако при этом необходимо проведение большего числа оптимизационных расчетов режимов.

Таким образом, в результате проделанной работы удалось в каждом режиме добиться заметного снижения суммарных потерь активной мощности в сети за счет имеющихся средств регулирования режимов. Данные мероприятия не привели к дополнительным вложениям денежных средств. Все это позволяет осуществить планирование оптимальных режимов работы электрической сети. Для этого необходимо непрерывно в течение суток, в зависимости от величины нагрузки, изменять режим работы автотрансформаторов и источников реактивной мощности, с помощью которых осуществляется регулирование режимов в соответствии с рекомендациями, которые были получены при выполнении оптимизационных расчетов. Это позволит в конечном итоге снизить потери электроэнергии в электрической сети и снизить стоимость передачи электрической энергии.

**Литература**

1. Отчет о НИР. Разработать концептуальные основы и эффективные методы и алгоритмы анализа и оптимизации режимов энергосистем по напряжению и реактивной мощности. В.Г. Прокопенко, А.А. Золотой, Шифр ГБ 98-91, № г.р. 19981125, Минск, БНТУ, 1998.

УДК 621.311

## РАСЧЁТ РЕЖИМА РАЗОМКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Ковальчук Д.В.

Научный руководитель – Гапанюк С.Г., м.т.н., ассистент

Распределительные электрические сети 6 – 10 кВ имеют достаточно сложную топологическую структуру, хотя и эксплуатируются в разомкнутом режиме. Отсюда возникает необходимость не только расчета режимов и потерь электроэнергии в таких сетях, но и их наглядное представление в виде схемы, отражающей ее узлов между собой. Разработанный программный комплекс, позволяет рассчитывать режим разомкнутых электрических сетей (определять потоки мощности на участках сети и напряжения в ее узлах) и потери электроэнергии за исследуемый расчетный период. Результаты расчетов могут быть представлены как в стандартной табличной форме, так и в графическом виде, что позволяет отразить их в более наглядной и доступной форме. Программный комплекс состоит из двух модулей: расчетного (производящего расчет параметров режима и потерь электроэнергии) и графического (решающего задачу отображения сети на дисплее).

Расчетная часть комплекса написана на языке C++. Она рассчитывает распределительную электрическую сеть по стандартным аналитическим соотношениям, с используя известного алгоритма потокораспределения, базирующего на построении массива адресных отображений [1]. Исходные данные о топологии и режиме сети, записанные в виде таблиц, хранятся в файле исходных данных. Необходимые каталожные данные о участках сети (линиях и трансформаторах) хранятся в специальных каталогах, что существенно упрощает ввод исходной информации в программу. Результатом расчета программы помимо параметров режима и величины потерь электроэнергии, является также файл, используемый в дальнейшем второй программой для графического представления схемы сети.

Графический модуль реализован на языке PascalABC. Он получает данные из файла результатов первой программы, производит расчет координат всех узлов сети и отслеживает отсутствие пересечений участков сети. По полученным данным происходит вычерчивание схемы сети в окне GraphABC. Пример результатов работы программы изображен на рисунках 1 и 2. Слева отображена схема сети, справа – исходная информация.



Рисунок 1 – Пример №1 результата работы графического модуля программного комплекса

Следует отметить, что программа в графике отражает не только топологию сети, но и режимные параметры ее отдельных элементов. Для этого необходимо щелкнуть мышью по участку сети (линии или трансформатору), информацию о котором необходимо получить, и в левом верхнем углу экрана появится информация о нем

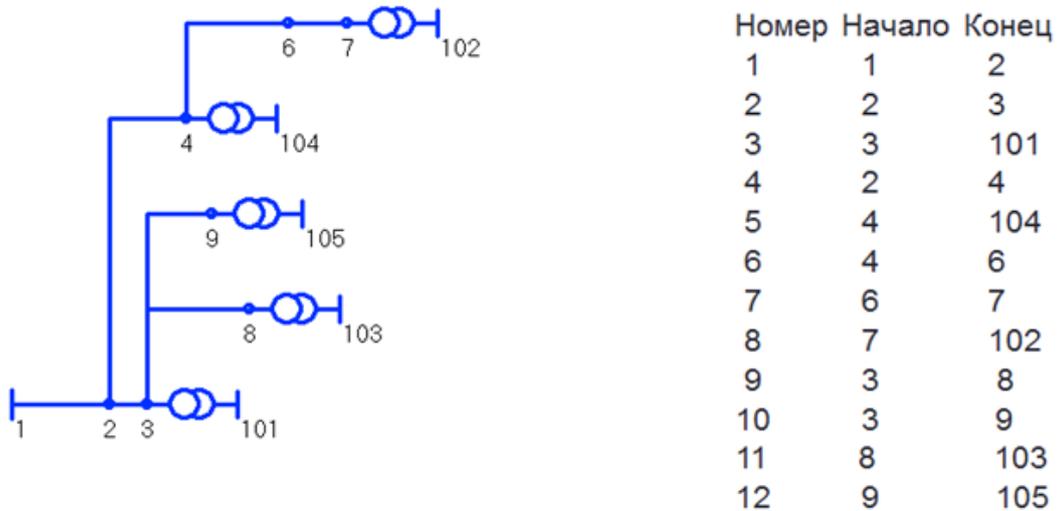


Рисунок 2 – Пример №2 результата работы графического модуля программного комплекса

Данный программный комплекс может найти широкое применение при расчетах электрических сетей в рамках учебного процесса. К основным достоинствам данного комплекса можно отнести ее простоту и доступность, а также наличие графического представления результатов расчета.

#### Литература

1. Фурсанов М.И. Разработка алгоритма, составление и отладка программы для решения электротехнической задачи. – Минск, БНТУ. 2005. – 56 с.

УДК 621.311

## ОБЗОР РЫНКА ВАКУУМНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ 10 кВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Савицкий Н.С., Скок А.И.

Научный руководитель – Гапанюк С.Г., м.т.н., ассистент

Проведен анализ рынка вакуумных выключателей в РБ, выделены основные фирмы-производители используемых в Беларуси вакуумных выключателей, а также проведено сравнение производимых различными фирмами выключателей по нескольким основным критериям.

Вакуумные выключатели предназначены для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах работы в сетях трехфазного переменного тока частоты 50/60 Гц с номинальным напряжением до 20 кВ.

Выключатели предназначены для использования в комплектных распределительных устройствах высокого напряжения.

Выключатель предназначен для дистанционного оперативного включения и отключения напряжения и защиты элементов электрической сети.

Поскольку вакуум обладает электрической прочностью, в десятки раз превышающей прочность воздуха при атмосферном давлении, это свойство широко используется в высоковольтных выключателях.

Принцип действия выключателя основан на гашении дуги переменного тока в глубоком вакууме в момент перехода тока через естественный ноль. В момент отключения выключателя, происходит расхождение контактов вакуумной дугогасительной камеры и в межконтактном промежутке загорается дуга. Падение напряжения на дуге чрезвычайно мало и обычно не превышает 30 В. В момент перехода тока через естественный ноль, межконтактный промежуток заполнен ионизированными парами металла, образовавшимися в течение горения дуги. Однако, в силу отсутствия среды, препятствующей разлету этих паров, их уход из промежутка осуществляется за чрезвычайно малое время, после чего вакуумный выключатель готов выдержать восстанавливающееся напряжение. В них при размыкании контактов в вакууме сразу же после первого прохождения тока в дуге через ноль изоляция восстанавливается, и дуга вновь не загорается.

Вакуумные выключатели находят широкое применение во всем мире, в том числе и в Беларуси. На рынке электрооборудования Республики Беларусь широко представлены различные производители вакуумных выключателей, такие как: АВМ-ампер (Украина), АВВ (Германия), Таврида электрик (Россия), Schneider Electric (Франция), Siemens (Германия), Areva (Франция).

Таблица 1 - Сводная таблица характеристик основных выключателей

Название выключателя	ВБ4-П	VD-4	ВВ/TEL	Evolis	SION	HVX
Производитель	АВМ-ампер	АВВ	Таврида электрик	Schneider Electric	Siemens	Areva
Номинальное напряжение, кВ	10	12-24	10	10	12	12
Номинальный ток, А	630-3150	630-2500	1250-2000	630-2500	800-1250	3150
Номинальный ток отключения, кА	20-31,5	16-40	31,5	25-40	16-31,5	50
Полное время отключения, мс	45	40-60	30	60	60	40
Ресурс по коммутационной стойкости при номинальном токе отключения	100	-	50	30-100	30-80	50

Достоинства вакуумных выключателей:

- 1) простота конструкции;
- 2) простота ремонта - при выходе из строя камеры она заменяется как единый блок;
- 3) возможность работы выключателя в любом положении в пространстве;
- 4) надежность;
- 5) высокая коммутационная износостойкость;
- 6) малые размеры;
- 7) пожаро- и взрывобезопасность;
- 8) отсутствие шума при операциях;
- 9) отсутствие загрязнения окружающей среды;
- 10) удобство эксплуатации;
- 11) малые эксплуатационные расходы.

Недостатки вакуумных выключателей:

- 1) сравнительно небольшие номинальные токи и токи отключения;
- 2) возможность коммутационных перенапряжений при отключении малых индуктивных токов;
- 3) небольшой ресурс дугогасительного устройства по отключению токов короткого замыкания.

УДК 621.311

## УПРАВЛЕНИЕ МОЩНОСТЬЮ ТУРБИН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Францевич Р. Г.

Научный руководитель – Волков А.А., м.т.н., старший преподаватель

В аварийных режимах на валу синхронного генератора возникает небаланс мощности, который может явиться причиной недопустимого разгона или торможения, результатом чего может стать выход генератора из синхронизма. Решить эту проблему можно было бы при условии, что механическая мощность на валу могла бы в точности повторять изменения электрической мощности машины. Существующие системы автоматического регулирования паровых турбин не позволяют осуществить такое регулирование, основной причиной чего является наличие инерции в нормально режиме, что не позволяет обеспечить динамическую устойчивость при наличии возмущения в системе.

Для повышения динамической устойчивости применяется импульсная разгрузка турбин [1, с.266]. Электрогидравлический преобразователь (ЭГП) служит для преобразования электрического сигнала в сигнал в виде давления жидкости, чем способен достаточно быстро воздействовать на регулирующие клапаны турбины. Это значительно снижает механическую мощность на валу. При различных авариях требуется различная глубина разгрузки, и как можно большая ее скорость. Мощность турбины снижается постепенно и ее изменение зависит от амплитуды  $U_m$ , длительности  $T_U$  и величины остаточного  $U_{oc}$  управляющего сигнала от ЭГП, что показано на рисунке 1

[2, рис.8.37].

Для оценки влияния аварийной разгрузки турбин на динамическую устойчивость при возникновении короткого замыкания на диаграмме характеристик мощности, изображенной на рисунке 2, отметим как изменяется механическая мощность турбины  $P_T$  в зависимости от угла  $\delta$  [2, с.327, рис.8.39].

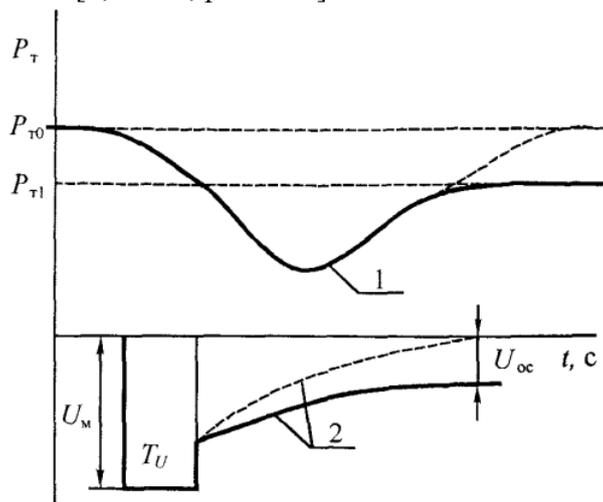


Рисунок 1 – График изменения мощности турбины при действии ЭГП:

1 – импульсная характеристика турбины; 2 – график управляющего сигнала от ЭГП

Как видно из приведенной диаграммы существенное изменение мощности наступает спустя некоторое время после устранения КЗ, для современных систем это время составляет 0,1–0,2 с [2, с.327]. Из-за этого площадка ускорения практически не уменьшается. А в конце переходного процесса мощность турбины снижается, в

результате чего увеличивается площадка ускорения и значение критического угла, которым определяется динамическая устойчивость генератора.

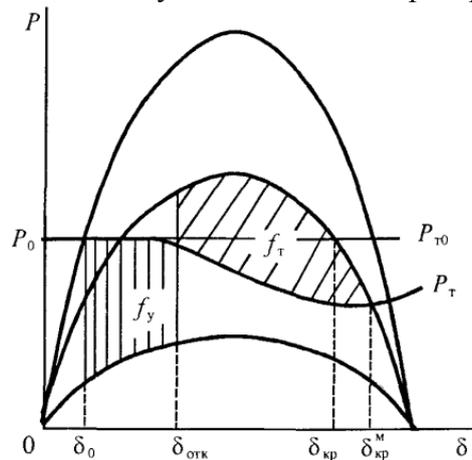


Рисунок 2 – Влияние аварийной разгрузки турбин на динамическую устойчивость

Реализуем автоматическую разгрузку турбин для оценки влияния на динамическую устойчивость станции Ст схемы, приведенной на рисунке 3, с помощью программы Мустанг-2000. В качестве больших возмущений рассматриваем короткие замыкания на линиях электропередачи.

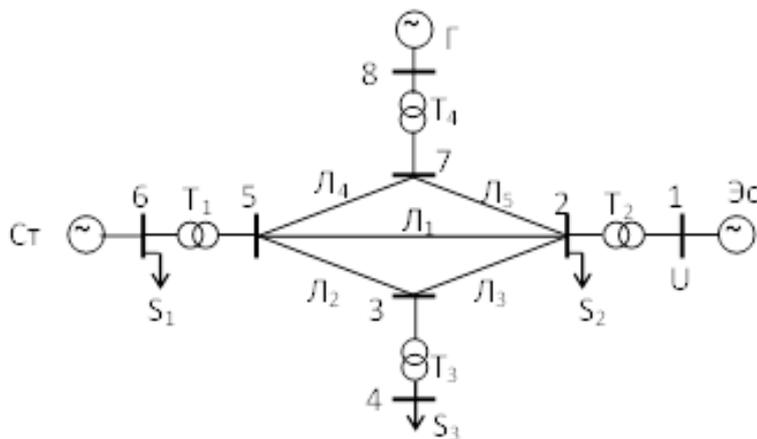


Рисунок 3 – Принципиальная схема электрической сети

Данные по ЭГП принимаем в соответствии с импульсной характеристикой турбины [3, рис.1].

Характеристика ЭГП		
N	P <sub>T</sub>	T
6	1.000	
6	0.950	0.200
6	0.400	0.500
6	0.500	1.000
6	0.900	2.000

Рисунок 4 – Характеристика ЭГП

По результатам расчета можно сделать вывод, что управление мощностью турбин эффективно для повышения динамической устойчивости – увеличивается предельное

время отключения поврежденных линий электропередачи. Диаграммы, соответствующие результатам расчета, приведены на рисунках 5 – 7.

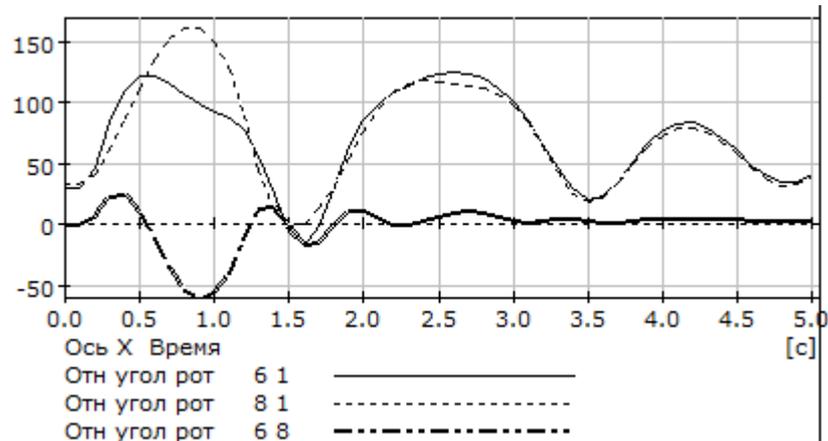


Рисунок 5 – Изменение относительных углов роторов генераторов

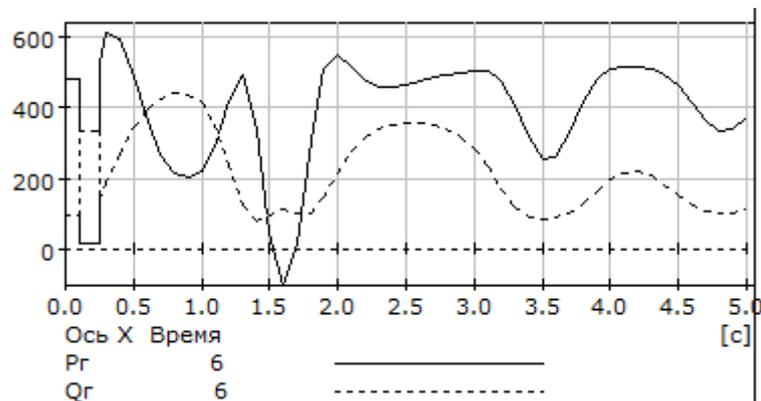


Рисунок 6 – Изменение активной и реактивной мощности генераторов станции

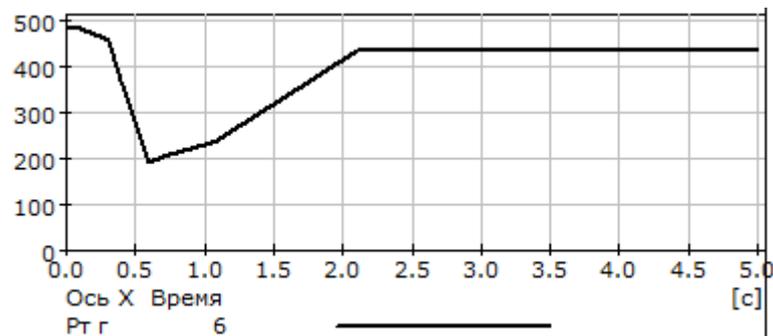


Рисунок 7 – Изменение мощности турбины

Применение автоматической разгрузки турбины позволяет повысить динамическую устойчивость и снизить время установления послеаварийного режима работы станции. Недостатком является задержка в ограничении механической мощности, что в ряде случаев снижает эффективность разгрузки, кроме того возможно нарушение устойчивости во втором и последующих циклах качаний из-за высокой скорости восстановления мощности турбины.

#### Литература

1 Гуревич Ю. Е., Либова Л. Е., Окин А. А. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 330 с.

УДК 621.311

## ГРАДИЕНТНЫЕ ИТЕРАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ УРАВНЕНИЙ УЗЛОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Вабищевич Н.А.

Научный руководитель – Волков А.А., м.т.н., старший преподаватель

Для расчета режима электрической сети необходимо составить и решить систему уравнений. Как правило, при этом используется система уравнений узловых напряжений. При задании нагрузок в токах эта система является системой линейных алгебраических уравнений, а при задании в мощностях – системой нелинейных алгебраических уравнений. Решение систем уравнений может проводиться различными методами.

Градиентные методы - методы решения задач математического программирования, основанные на поиске экстремума (максимума или минимума) функции путем последовательного перехода к нему с помощью градиента этой функции.

Градиент функции указывает направление ее наиболее быстрого возрастания в окрестности той точки, в которой он вычислен. Поэтому, если из некоторой текущей точки  $x^{(0)}$  перемещаться в направлении вектора  $\nabla f(x^{(1)})$  то функция  $f$  будет возрастать, по крайней мере, в некоторой окрестности  $x^{(1)}$ . Следовательно, для точки  $x^{(2)} = x^{(1)} + \alpha \cdot \nabla f(x^{(1)})$  лежащей в такой окрестности, справедливо неравенство  $f(x^{(1)}) \leq f(x^{(2)})$ . Продолжая этот процесс, мы постепенно будем приближаться к точке некоторого локального максимума. Однако как только определяется направление движения, сразу же встает вопрос о том, как далеко следует двигаться в этом направлении или, другими словами, возникает проблема выбора шага  $\alpha$ :

$$x^{(p+1)} = x^{(p)} - \alpha_p \nabla f(x^{(p)}) \quad (1)$$

задающего последовательность точек, стремящихся к точке максимума или минимума.

В зависимости от способа решения проблемы с выбором шага различают различные варианты градиентного метода.

Система уравнений представляется в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_1 = \sum_{j=1}^n a_{1j} x_j - b_1, \\ f_2 = \sum_{j=1}^n a_{2j} x_j - b_2, \\ \dots \\ f_n = \sum_{j=1}^n a_{nj} x_j - b_n. \end{array} \right. \quad (2)$$

В матричной форме:

$$f = A \times x - b. \quad (3)$$

Здесь приняты следующие обозначения:

$$f = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \dots \\ f_n \end{bmatrix}; \quad A = [a_{ij}]; \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_n \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Рассмотрим наиболее известные варианты градиентного метода.

### Градиентный метод наискорейшего спуска

В методе наискорейшего спуска решение ищут в виде [1]:

$$x^{(p+1)} = x^{(p)} - \alpha_p \nabla f_p, \quad (5)$$

где  $x^{(p)}$  и  $x^{(p+1)}$  - векторы неизвестных на  $p$  и  $p+1$  шагах итераций;  $r_p$  - вектор невязок на  $p$ -ом шаге;  $\alpha_p$  - длина шага вдоль направления градиента.

$$r_p = A \nabla f_p - b, \quad (6)$$

$$\alpha_p = \frac{(r_p, r_p)}{(W r_p, r_p)}, \quad (7)$$

где  $W$  - матрица Якоби, вычисленная на  $p$ -ом шаге;  $W'$  - транспонированная матрица Якоби, вычисленная на  $p$ -ом шаге. В формуле (7) используется скалярное произведение двух векторов, которое определяется следующей формулой:

$$(f(x), f(x)) = \sum_{i=1}^n f_i(x) f_i(x); \quad (8)$$

$$(f(x), f(x)) = \sum_{i=1}^n [f_i(x)]^2.$$

Матрица Якоби вектор – функции  $f(x)$  определяется как

$$W = \frac{df}{dx} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Для системы (3) матрица Якоби равна

$$W = \frac{df}{dx} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Алгоритм расчёта системы линейных уравнений (3) для метода наискорейшего спуска:

- 1) выбираем начальное приближение  $x^{(p)}$ ;
- 2) находим  $r_p$  - вектор невязок на  $p$ -ом шаге по формуле (6);
- 3) определяем  $\alpha_p$  - длину шага вдоль направления градиента по формуле (7);
- 4) подставляем  $\alpha_p$ ,  $r_p$ ,  $x^{(p)}$  в правую часть системы (5) и находим  $x^{(p+1)}$ ;
- 5) далее проводим необходимое количество итерационных операций до достижения условия  $|x^{(p+1)} - x^{(p)}| \leq \varepsilon$ .

### Градиентный метод с минимальной невязкой

За основу возьмем матричную форму системы линейных уравнений  $Ax=b$ . Принимаем за начальное приближение  $x^{(0)}$ , следующее приближение  $x^{(1)}$  ищется, так же как и в методе наискорейшего спуска, в виде  $x^{(0)} + \mu_p \mathcal{C}r_p$ , но параметр  $\mu_p$  подбирается так, чтобы минимизировалась длина вектора невязки  $|r|$  или, что то же самое,  $(r,r) = |r|^2$ . После выполнения первого шага процесс повторяется [1].

Рабочими формулами метода будут

$$x^{(p+1)} = x^{(p)} - \mu_p \mathcal{C}r_p, \quad (11)$$

$$r_p = A \mathcal{C}x^{(p)} - b,$$

$$\mu_p = \frac{(r_p, W r_p)}{(W r_p, W r_p)}, \quad (12)$$

Алгоритм расчёта системы линейных уравнений для метода с минимальной невязкой:

- 1) выбираем начальное приближение  $x^{(p)}$ ;
- 2) находим  $r_p$  - вектор невязок на  $p$ -ом шаге по формуле (6);
- 3) определяем  $\mu_p$  - длину шага вдоль направления градиента по формуле (12).
- 4) подставляем  $\alpha_p$ ,  $r_p$ ,  $x^{(p)}$  в правую часть системы (11) и находим  $x^{(p+1)}$
- 5) далее проводим необходимое количество итерационных операций до достижения условия  $|x^{(p+1)} - x^{(p)}| \leq \varepsilon$ .

### Градиентный метод сопряжённых элементов

Алгоритм сопряженных градиентов аналогичен алгоритму наискорейшего спуска, отличие только в выборе направления. Идея этого метода в том, чтобы на каждом шаге в качестве направления спуска использовать не антиградиент, а его линейную комбинацию с прежним направлением спуска. Обозначим через  $\gamma_p$  направление спуска на  $p$ -ом шаге.

Рабочими формулами метода будут:

$$x^{(p+1)} = x^{(p)} - \alpha_p \mathcal{C}\gamma_p, \quad (13)$$

$$\gamma_{(p+1)} = r_p - \beta_p \nabla \gamma_p, \quad (14)$$

$$\beta_p = \frac{r_{(p+1)}}{r_p}, \quad (15)$$

$$\alpha_p = \frac{(r_p, \gamma_p)}{(W\gamma_p, \gamma_p)}, \quad (16)$$

В методе сопряженных градиентов новое и старое направления не ортогональны. В случае минимизации положительно определенной квадратичной формы с матрицей  $W$  все направления спуска  $\gamma_i$  оказываются – ортогональными, т.е. удовлетворяют условию  $(\gamma_i, W\gamma_j) = 0$  при любом  $i \neq j$ . Такие векторы называются сопряженными, из чего и происходит название метода.

Алгоритм расчёта системы линейных уравнений для метода с сопряженными элементами:

- 1) выбираем начальное приближение  $x^{(p)}$ ;
- 2) находим  $r_p$  - вектор невязок на  $p$ -ом шаге по формуле (6);
- 3)  $\gamma_p = r_p$ , т.е. первый шаг делаем по антиградиенту;
- 4) определяем  $\alpha_p$  - длину шага вдоль направления градиента по (16);
- 5) подставляем  $\alpha_p$ ,  $\gamma_p$ ,  $x^{(p)}$  в правую часть системы (13) и находим  $x^{(p+1)}$ ;
- 6) находим  $r_{(p+1)}$  - вектор невязок на  $(p+1)$ -ом шаге по формуле (6);
- 7) находим  $\beta_p$  по формуле (15);
- 8) находим  $\gamma_{(p+1)}$  по формуле (16);
- 9) определяем  $\alpha_{(p+1)}$  - длину шага вдоль направления градиента по (16);
- 10) проводим вычисления по примеру системы (13);
- 11) далее проводим необходимое количество итерационных операций до достижения условия  $|x^{(p+1)} - x^{(p)}| \leq \varepsilon$ .

По приведенным алгоритмам проведены расчеты режима тестовой электрической сети, состоящей из 6 узлов, один из которых балансирующий, 8 ветвей и 3 контуров.

Установлено, что задание начальных приближений влияет на количество итераций, поэтому для всех узлов и всех расчетов начальное приближение падений напряжения в узлах относительно балансирующего принято одинаковым.

Таблица 1 – Сравнительные результаты расчета

Метод	Количество итераций
Метод простой итерации	4
Метод ускоренной итерации	3
Метод наискорейшего спуска	5
Метод с минимальной невязкой	10
Метод сопряженных элементов	5

Главное достоинство градиентных методов – глобальная сходимость. Процесс градиентного спуска приводит к какой-либо точке минимума функции из любой

начальной точки. При определенных условиях найденная точка минимума будет искомым решением исходной системы.

Главный недостаток – медленная сходимость. Сходимость этих методов – лишь линейная, причем, если для многих методов, таких как метод Ньютона, характерно ускорение сходимости при приближении к решению, то здесь имеет место скорее обратное. Поэтому есть смысл в построении гибридных алгоритмов, которые начинали бы поиск искомой точки – решения данной нелинейной системы, - глобально сходящимся градиентным методом, а затем производили уточнение каким-то быстроходящимся методом, например, тем же методом Ньютона.

### Литература

- 1 Вычислительные методы линейной алгебры. Д.К. Фаддеев, В.Н. Фаддеева. - М.:Физматгиз, 1960.- 655 с.
- 2 Численные методы на базе MathCAD. С.В. Поршнева, И.В. Беленкова. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 464 с.
- 3 Линейная алгебра. А.Н. Канатиков, А.П. Крищенко. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002.- 336 с.

УДК 621.316.35

## ПОДСТАНЦИЯ С ОДНОФАЗНОЙ ОБХОДНОЙ СИСТЕМОЙ ШИН

Ермакова Н.О.

Научный руководитель – Федин В.Т., к.т.н., профессор

Схемы электрических сетей должны с наименьшими затратами обеспечивать необходимую надежность электроснабжения, требуемое качество электроэнергии у приемников, удобство и безопасность эксплуатации сети, возможность ее дальнейшего развития и подключения новых потребителей. Эти требования могут быть достигнуты за счет унификации конструктивных решений подстанции, которая наилучшим образом реализуется в случае применения типовых схем электрических соединений распределительных устройств. Кроме того электрическая сеть должна обладать необходимой гибкостью и экономичностью.

При числе линий три и более рекомендуется ряд типовых схем распределительных устройств со сборными системами шин. При числе линий до 13 применяют схему с двумя несекционированными системами шин и обходной системой шин (рисунок 1).

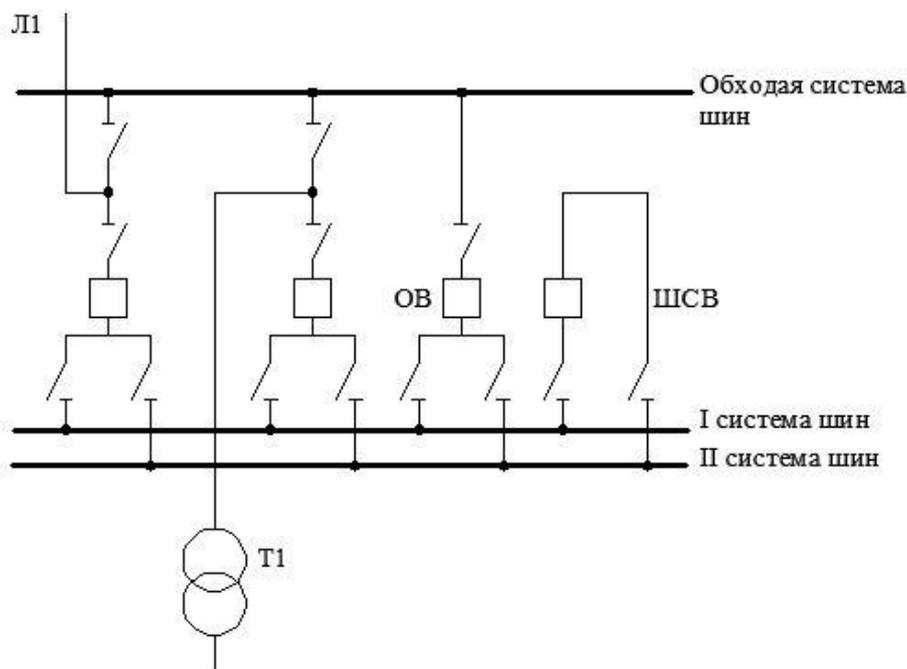


Рисунок 1 - Традиционная схема подстанции с двумя несекционированными системами шин и обходной системой шин: Л1, Т1 – присоединения в виде линии и трансформатора; ОВ – обходной выключатель; ШСВ – шиносоединительный выключатель

Для оценки экономичности той или иной схемы необходимо знать, прежде всего, стоимость подстанции, значительную часть которой составляет стоимость выключателей, являющихся важнейшими коммутационными аппаратами.

Капитальные затраты на строительство подстанции определяются по эмпирическим выражениям из [1].

Согласно патенту №5339 [2] предложена схема, отличающаяся от традиционной тем, что обходная система шин и обходной выключатель выполнены однофазными (рисунок 2). Оценка стоимости такой подстанции усложняется. Ввиду отсутствия информации стоимость однофазного выключателя принята равной от 50 до 90% стоимости однофазной ячейки, которая в свою очередь составляет 1/3 стоимости

трехфазной. При расчетах стоимости ячеек присоединений и ячейки с шиносоединительным выключателем можно принять равными стоимости трехфазных ячеек традиционной схемы.

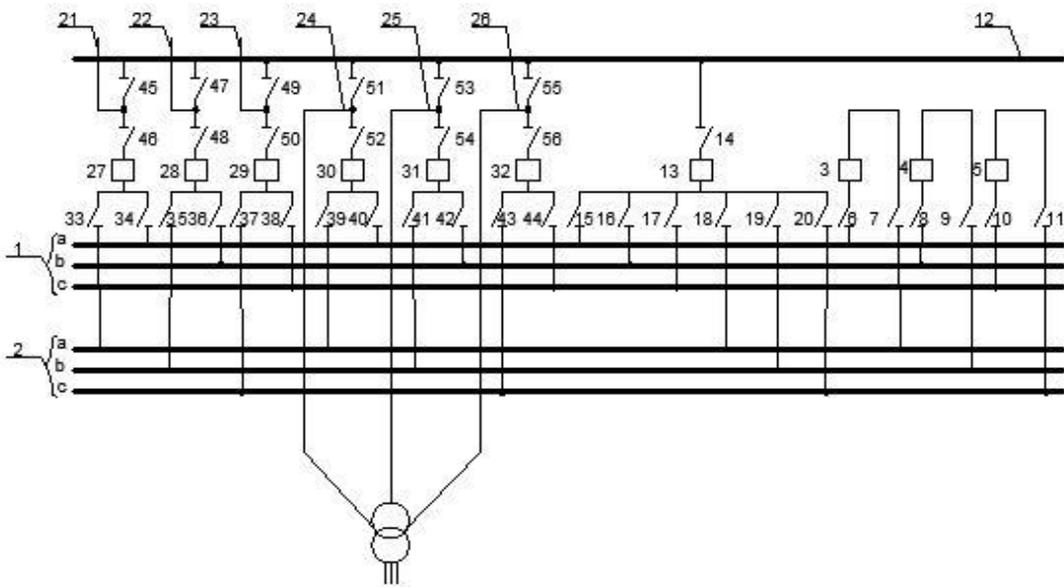


Рисунок 2 - Нетрадиционная схема подстанции по патенту №5339:

1,2-рабочие системы шин; 3,4,5 – шиносоединительный выключатель; 6-11,14-20 – разьединители; 12 – обходная система шин; 13- обходной выключатель; 21,22,23 – трехфазные присоединения в виде линии; 24,25,26 - трехфазные присоединения в виде трансформатора; 27,28,29 – выключатели для линии; 30,31,32 – выключатели для трансформатора; 33-34- развилки разьединителей для соединения выключателей с одной стороны; 45-46,47-48,49-50,51-52,53-54,55-56 – два последовательно соединенных разьединителя

Зависимости стоимости подстанции для традиционной схемы и схемы по патенту (при доле стоимости выключателя 70% от стоимости ячейки) от числа присоединений представлены на рисунке 3.

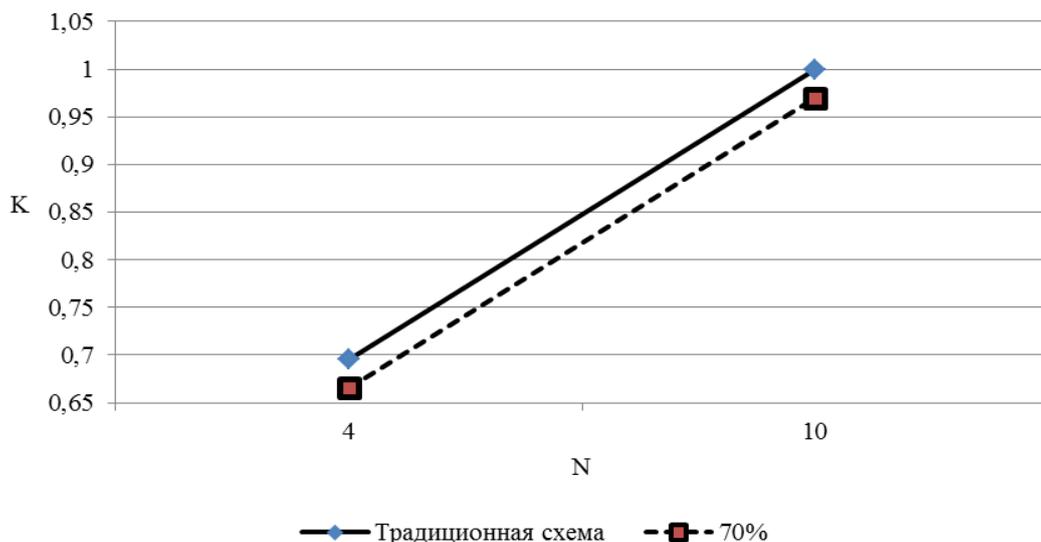


Рисунок 3 – Зависимости стоимости подстанций от числа присоединений:  
К – стоимость подстанции; N – число присоединений

Преимущество данной схемы подстанции над существующими заключается в повышенной эффективности использования оборудования, улучшенных экологических характеристиках и облегченных условиях эксплуатации. Кроме того используемая схема дает значительный экономический эффект, так как стоимость ячейки с обходным выключателем в схеме по патенту №5339 [2] дешевле аналогичной трехфазной ячейки традиционной схемы на 54%.

#### **Литература**

1. Герасименко А. А., Федин В. Т. Передача и распределение электрической энергии: Учебное пособие. – Ростов-н/Д.:Феникс, Красноярск, Издательские проекты, 2006. – С. 510-511, рис. 11.10, в.
2. Патент на изобретение №14102. Электрическая подстанция. Федин В. Т. , Угорич С. В., Козлова О. В.

УДК 621.316.35

## ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПОДСТАНЦИЯ С ОДНОФАЗНЫМ ОБХОДНЫМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ

Леготина М.А.

Научный руководитель – Федин В.Т., к.т.н., профессор

По патенту [1] предложена схема электрической подстанции напряжением 110 кВ, содержащей трехфазную секционированную рабочую систему шин, секционный выключатель в трех фазах, соединяющий одноименные фазы каждой секции рабочей секционированной системы шин посредством разъединителей, обходную систему шин, обходной выключатель, присоединенный с одной стороны к обходной системе шин посредством разъединителя, а с другой стороны – с помощью разъединителей к каждой секции рабочей системы шин, трехфазные присоединения, фазы которых содержат выключатели, соединенные с одной стороны посредством шинного разъединителя с одной из секций рабочей системы шин, а с другой стороны – с двумя последовательно соединенными разъединителями, между которыми подключено присоединение. Она отличается от традиционной схемы тем, что обходная система шин и обходной выключатель выполнены однофазными, выключатели каждого присоединения подключены посредством двух последовательных разъединителей к фазе обходной системы шин (рисунок 1).

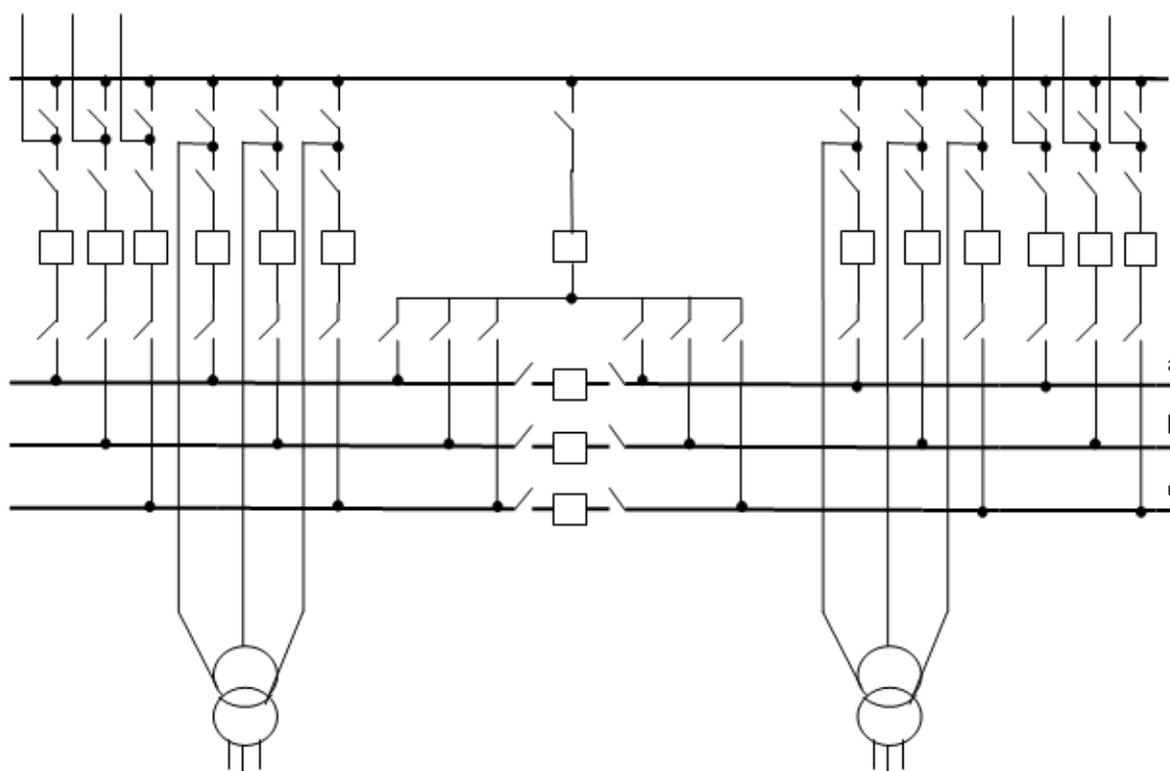


Рисунок 1 - Схема электрической подстанции по патенту [1] (далее схема 1)

Традиционная схема электрической подстанции представлена на рисунке 2.

Сравнение двух вариантов схем электрической подстанции выполнено по капитальным затратам на подстанцию с 4 и 10 присоединениями. Под присоединениями понимаются линии и трансформаторы. Обычно на подстанции сооружают 2 трансформатора, отсюда следует: 4 присоединения – это 2 линии и 2

трансформатора; 10 присоединений – это 8 линий и 2 трансформатора. Расчёт произведен для трансформатора ТДН-10000/110.

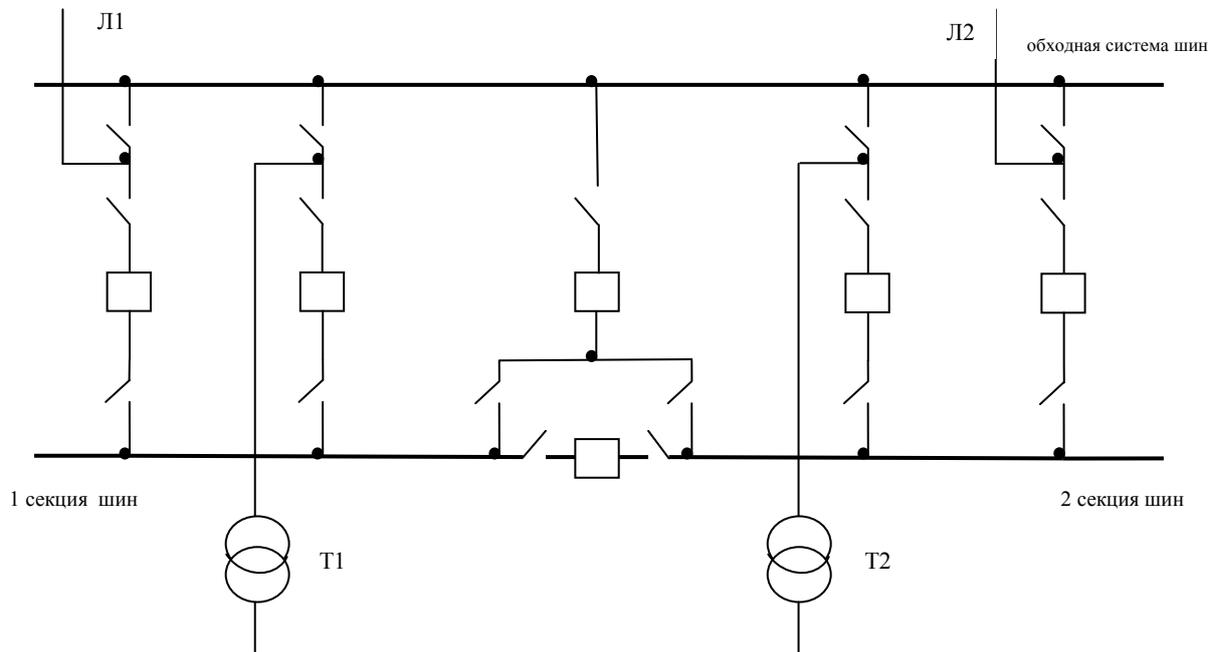


Рисунок 2 – Традиционная схема электрической подстанции по [2] (далее схема 2)

Капитальные затраты на подстанцию рассчитаны по формуле [2]:

$$K_{ПС} = K_{ТΣ} + K_{ячΣ} + K_{П},$$

где  $K_{ПС}$  – капитальные затраты на подстанцию,  $K_{ТΣ}$  – суммарные капитальные затраты на трансформаторы,  $K_{ячΣ}$  – суммарные капитальные затраты на ячейки,  $K_{П}$  – постоянная часть затрат.

Капитальные затраты на ячейки рассчитаны по формуле [2]:

$$K_{яч} = (A_{яч} + B_{яч} \cdot U_{ном}^2) \cdot K_{2005} \cdot K_{бел},$$

где  $A_{яч} = 15 \text{ тыс. руб.}$ ;  $B_{яч} = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ тыс. руб./кВ}^2$ ;  $K_{2005} = 82$  – повышающий коэффициент;  $K_{бел} = 289$  – курс рубля.

Постоянная часть капитальных затрат определена по формуле [2]:

$$K_{П} = (A_{П} + B_{П} \cdot U_{ном}^2) \cdot K_{2005} \cdot K_{бел},$$

где  $A_{П} = 50 \text{ тыс. руб.}$ ;  $B_{П} = 13 \cdot 10^{-3} \text{ тыс. руб./кВ}^2$ .

Капитальные затраты на трансформаторы рассчитаны по формуле [2]:

$$K_{Т} = (A_{Т} + B_{Т} \cdot U_{ном}^2 + C_{Т} \cdot S_{Тном}) \cdot K_{2005} \cdot K_{бел},$$

где  $A_{Т} = 20 \text{ тыс. руб.}$ ;  $B_{Т} = 1,43 \cdot 10^{-3} \text{ тыс. руб./кВ}^2$ ;  $C_{Т} = 0,886 \text{ тыс. руб.}/(МВ \cdot А)$ .

Капитальные затраты на подстанцию по схеме 2:

а) для 4 присоединений:

$$K_{нс4} = 12836,9 \text{ млн. бел. руб.};$$

б) для 10 присоединений:

$$K_{нс10} = 18582,74 \text{ млн. бел. руб.}.$$

Схема 1 отличается от схемы 2 лишь тем, что обходной выключатель и обходная система шин выполнены однофазными. Стоимость однофазных разъединителей и выключателей примем равной 1/3 стоимости трёхфазных. Ввиду отсутствия данных по

стоимости одного выключателя или стоимости одного разъединителя, капитальные затраты для схемы 1 можно рассчитать приближенно, исходя из значений, полученных при расчёте схемы 2.

Пусть стоимость ячейки  $x = 100\%$ ; стоимость выключателей  $y = 70\%$ ; стоимость одного разъединителя  $z = 30/3\%$ .

Капитальные затраты на подстанцию по схеме 1:

а) для 4 присоединений:

$$K_{nc4} = 12437,884 \text{ млн. бел. руб.};$$

б) для 10 присоединений:

$$K_{nc10} = 18183,724 \text{ млн. бел. руб.}$$

На рисунке 3 приведены зависимости капитальных затрат от числа присоединений для схемы 1 и схемы 2 (за базисную единицу приняты капитальные затраты при 10 присоединениях для схемы 2).

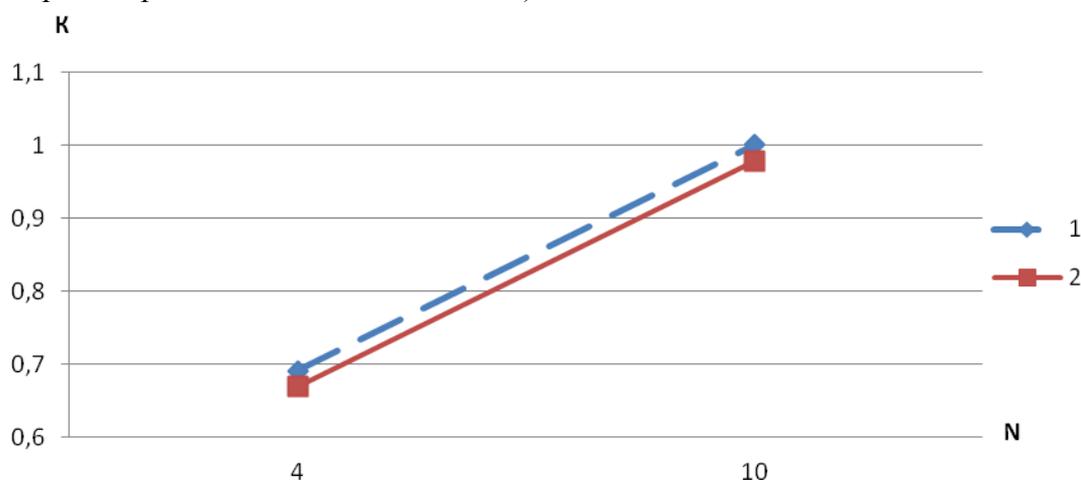


Рисунок 3 — 1 – зависимость капитальных затрат от числа присоединений для схемы 2;  
2 – зависимость капитальных затрат от числа присоединений для схемы 1

Вывод: в результате исследования графика установлено, что с увеличением числа присоединений капитальные затраты на подстанцию возрастают; схема 1 является экономически более выгодной, чем схема 2. Однако, если принять, что стоимость выключателя равна 50% от общей стоимости ячейки, а стоимость разъединителя 50/3% от общей стоимости ячейки, то отличие между капитальными затратами на подстанцию по схеме 1 и по схеме 2 незначительно. С увеличением разницы между стоимостью однофазного выключателя и однофазного разъединителя возрастает отличие между капитальными затратами на подстанцию по схеме 1 и по схеме 2, что показывает насколько становится выгоднее схема 1. Ввиду множества и других плюсов замены трёхфазной обходной системы шин и трёхфазного обходного выключателя на однофазные, кроме экономической выгоды, можно считать такое решение удачным и перспективным.

#### Литература

1. Патент на изобретение №14124. Электрическая подстанция. Федин В.Т., Угорич С.В., Козлова О.В.
2. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии: Учебное пособие.–Ростов-н/Д.: Феникс; Красноярск: Издательские проекты, 2006.-720с.

# **СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ**

## **ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ**

### **О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ШИНОПРОВОДОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

БАРАБАШ В. М.  
Научный руководитель - Радкевич В.Н., к. т. н., доцент

### **НОВЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

ВЛАСЕНКО Е. О.  
Научный руководитель – Олешкевич М. М., к. т. н., доцент

### **ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ НАРУЖНОГО ИСПОЛНЕНИЯ**

ПОЛЫН А. Н.  
Научный руководитель – Колосова И.В.

### **КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ, ХАРАКТЕРИСТИКИ, ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ С СЕРДЕЧНИКАМИ ИЗ АМОΡФНЫХ СПЛАВОВ**

ГУРИНОВИЧ Е. А.  
Научный руководитель – Колосова И.В.

### **КОНТРОЛЬ И АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

ЛЯЛЮГО А. Ю.  
Научный руководитель – Колосова И.В.

### **ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДУКЦИОННЫХ И СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

МЕТЕЛИЦА Д.В., АЛЕКСЕВИЧ С.Т.  
Научный руководитель – Колосова И.В.

### **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СОВРЕМЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

ЛЕЩЁВ С. А.  
Научный руководитель – Колосова И.В.

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

ГОРНОВСКИЙ И.Ю., КУЛЬЧИНСКИЙ Н.Н.  
Научный руководитель – Колосова И.В.

### **АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ВНУТРЕННИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ОСВЕЩЕНИЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ**

МАРХЕЛЬ О.Л., ПИСАРУК Т.В.  
Научный руководитель – Козловская В.Б., к.т.н., доцент

### **ВЫБОР ЧИСЛА ВКЛЮЧЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОДСТАНЦИЙ С УЧЕТОМ НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ**

КАРЧЕВСКАЯ В.Р.  
Научный руководитель – Прокопенко Л.В.

### **ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ЗАМЕНЫ МАЛОНАГРУЖЕННЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

ВОРОБЕЙ В. В.  
Научный руководитель - Радкевич В.Н., к. т. н., доцент

УДК 621.31(075.8)

## О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ШИНОПРОВОДОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Барабаш В. М.

Научный руководитель - Радкевич В.Н., к. т. н., доцент

В цехах промышленных предприятий при благоприятных условиях окружающей среды и упорядоченном расположении цеховых распределительных устройств (РУ) питающие сети могут быть выполнены магистральными шинопроводами (МШ) или кабельными линиями (КЛ). По сравнению с КЛ магистральные шинопроводы обладают рядом преимуществ, к основным относятся: компактная конструкция; гибкость и мобильность; более низкая стоимость (по сравнению с кабелями той же пропускной способности); возможность монтажа на любые несущие конструкции; низкий уровень электромагнитного излучения; несложное техническое обслуживание; эстетичный внешний вид. Недостатками МШ являются меньшее удобство эксплуатации и возможность нарушения электроснабжения большого числа электроприёмников при повреждении шинопровода.

В работе выполнена сравнительная оценка применения в питающих сетях напряжением до 1 кВ МШ и КЛ по потерям мощности и напряжения. Для этого рассмотрены два варианта конструктивного исполнения питающей сети цеха промышленного предприятия, предназначенной для электроснабжения четырех групп потребителей электроэнергии:

- 1) магистральным шинопроводом;
- 2) четырьмя кабельными линиями по радиальной схеме.

Для упрощения принято линейное расположение потребителей с одинаковыми расстояниями между соседними группами – 50 м. Расстояние от шин РУ напряжением до 1 кВ трансформаторной подстанции до первой нагрузки также равно 50 м. Таким образом, МШ состоит из четырех участков длиной 50 м каждый. Во втором варианте исполнения питающей сети (при кабельной канализации электроэнергии) необходимо использовать четыре линии длиной 50, 100, 150 и 200 м. Нагрузки групп электроприемников  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  и  $I_4$  приняты одинаковыми и равными 240 А с коэффициентом мощности  $\cos\varphi = 0,9$ .

Магистральный шинопровод выбирается по номинальному току силового трансформатора. Расчеты произведены для трансформатора с номинальной мощностью 1250 кВ·А. В результате выбран МШ типа ШМА5, имеющий номинальный ток 1600 А. В альтернативном варианте сети для питания потребителей необходимо применить пятижильные кабели с сечением фазных жил 185 мм<sup>2</sup>, выбранных по допустимому нагреву расчетным током.

Потери мощности (кВт) на  $i$ -м участке МШ и в  $i$ -й КЛ определялись по формуле [1]

$$\Delta P_i = 3I_i^2 r_0 l_i 10^{-3},$$

$I_i$  - ток, протекающий по  $i$ -му участку МШ (по  $i$ -й КЛ), А;

$r_0$  - погонное активное сопротивление шинопровода (КЛ), Ом/км;

$l_i$  - длина  $i$ -го участка МШ ( $i$ -й КЛ), км.

Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1- Потери активной мощности в КЛ и МШ

Линия (участок МШ)	Потери мощности, кВт	
	КЛ	МШ
1	1,46	4,15
2	2,92	2,33
3	4,38	1,04
4	5,84	0,26
Итого:	14,6	7,78

Проведенный расчет показывает, что по сравнению со схемой питания по кабельным линиям при применении магистрального шинпровода суммарные потери мощности уменьшаются на 46,8 %.

Потери напряжения (%) на  $i$ -м участке МШ и в  $i$ -й КЛ определяются по выражению [1]

$$\Delta U_i = \frac{\sqrt{3} I_i l_i (r_0 \cos \varphi_i + x_0 \sin \varphi_i)}{U_{ном}} 100$$

где  $\cos \varphi_i$  - значение коэффициента мощности на  $i$ -м участке МШ ( $i$ -й КЛ);  $x_0$  - погонное реактивное сопротивление шинпровода (КЛ), Ом/км;  $U_{ном}$  - номинальное напряжение сети, В.

Значение напряжения (%) в конце  $j$ -й линии, т.е. подведенного к потребителю, рассчитывается по формуле

$$U_j = U_{шт} - \Delta U_i$$

где  $U_{шт}$  - напряжение на шинах РУ трансформаторной подстанции,  $U_{шт} = 105\%$ .

Расчет величины напряжения в конце  $j$ -го участка МШ выполняется по выражению

$$U_j = U_{шт} - \sum_{i=1}^m \Delta U_i$$

где  $m$  - количество участков МШ на пути от точки  $j$  до шин источника питания.

Результаты расчёта уровней напряжения в рассматриваемой электрической сети приведены в таблице 2.

Таблица 2- Результаты расчёта уровней напряжения при применении МШ и КЛ

Линия (участок МШ)	Напряжение в конце	
	КЛ	участка МШ
	%	%
1	104,03	104,31
2	103,07	103,79
3	102,1	103,45
4	101,13	103,28

Анализ уровней напряжения на шинах цеховых РУ при применении магистрального шинпровода и кабельных линий до 1 кВ при одинаковой нагрузке показывает, что при использовании магистрального шинпровода у потребителей электроэнергии поддерживается более высокий уровень напряжения (примерно на 2 %), чем при применении кабельных линий.

**Вывод**

В рассмотренном случае применение магистрального шинпровода для электроснабжения потребителей является более целесообразным, так как по сравнению с кабельными линиями суммарные потери мощности в сети уменьшаются на 46,8 % и примерно на 2 % выше поддерживаются уровни напряжения, подведенные к РУ потребителей электроэнергии.

**Литература**

1.Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. - М.: Интермет-Инжиниринг, 2005.-671с.

## НОВЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Власенко Е. О.

Научный руководитель – Олешкевич М. М., к. т. н., доцент

Прежде всего, нужно отметить, что суммарная установленная мощность действующих фотоэлектрических станций в 2012 году увеличилась на 30 тыс. МВт и к началу 2013 года достигла 101 тыс. МВт. Эти значения говорят о том, что для фотоэлектрической отрасли существует сильный глобальный рынок и можно сделать прогноз, согласно которому к 2015 г. стоимость производства 1 кВт электроэнергии фотоэлектрическими станциями будет составлять 0,07-0,1 евро за кВт-ч.

Сегодня мировая солнечная энергетика развивается высокими темпами, солнечные электростанции становятся частью энергетической инфраструктуры, стремительный рост количества и общей мощности электростанций, работающих на гелиосырье, предполагает также рост влияния солнечных технологий на экономику, что может стать стимулом для экономического развития экваториальных стран, обладающих максимальным «солнечным» ресурсом.

Однако лидерами по развитию отрасли всё же являются в Европе - Германия (прирост на 7,6 тыс. МВт), Италия (3,3 тыс. МВт) и Франция (1,2 тыс. МВт), за пределами Европы - Китай (3,5-4,5 тыс. МВт), на втором месте – США (3,2 тыс. МВт), на третьем – Япония (2,5 тыс. МВт). Стоит отметить тот факт, что благодаря спонсорской поддержке австрийской компании Active Solar в Украине за последние 2 года были построены и введены эксплуатацию фотоэлектрические станции суммарной мощностью порядка 350 МВт, причём завершённый в начале этого года солнечный парк "Перово", стал крупнейшим действующим фотоэлектрическим парком в мире по показателю установленной мощности.

При этом следует учитывать, что бурному росту солнечной энергетике в этих странах способствует такая политика государства, которая предоставляет владельцам солнечных электростанций льготные зеленые тарифы на подключение, стимулирующие развитие энергетики, не загрязняющей атмосферу выбросами CO<sub>2</sub>.

Новому этапу развития солнечной энергетике способствовало также то, что за прошедший год цены на солнечные панели упали на 25%, (частично, это вызвано протекционистской политикой стран-производителей в отношении импорта фотоэлектрических панелей из других стран, вызванной желанием поддержать собственного производителя), поэтому в странах была проведена активная маркетинговая проработка сфер использования и рынков сбыта солнечноэнергетических модулей и созданы и воплощены в жизнь образовательные и информационные программы по проблемам экономного энергопотребления и энергосбережения.

В заключении стоит отметить, что работа солнечных модулей позволяет избежать попадания в атмосферу 53 млн. тонн углекислого газа в год, проводя последовательную энергосберегающую политику, в одной только Германии можно создать как минимум 500 тысяч новых рабочих мест, а объем сэкономленных средств за счет энергосберегающих технологий до 2020 года может достичь 50 миллиардов евро.

УДК 621.311.6.03

## ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ НАРУЖНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

Полын А. Н.

Научный руководитель – Колосова И.В.

Комплектные трансформаторные подстанции наружной (КТПН) установки предназначены для приема, преобразования и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, номинального напряжения 6(10)/0,4 кВ в сетях электроснабжения промышленных предприятий, сельских и городских населенных пунктах. Подстанции изготавливаются согласно опросному листу, составленного для каждого заказчика индивидуально, с детальной проработкой основного, и дополнительного оборудования, учитывая все пожелания заказчика. КТПН не предназначены для работы в среде, содержащей токопроводящую пыль, едкие пары и газы, разрушающие металл и изоляцию; в местах, подверженных сильной тряске, вибрации и ударам; на передвижных установках.

Рассмотрим следующие типы КТПН:

1. КТПН киоскового типа;
2. КТПН с воздушным вводом.

Корпус подстанции киоскового выполняется в зависимости от района эксплуатации. Каркас собирается из металлического профиля, при этом основой служит труба и швеллер, сэндвич-панелями из пенополиуретана. Для разделения отсеков КТПН используется листовая металл. Вся конструкция надежно проваривается, после чего изделие отправляется в покрасочную камеру. Затем каркас обшивается профилированным листом, тип которого соответствует климатическому исполнению У1. Для производства утепленных блок - модулей используются сэндвич – панели, благодаря которым, при помощи обогревателей внутри помещения, поддерживается необходимая для эксплуатации электрооборудования температура. Подстанция комплектуется:

1) устройством ввода высокого напряжения (ВН), собирающегося из камер КСО со следующими коммутационными аппаратами: - разъединителями типа РВЗ, РВФЗ; автогазовыми выключателями нагрузки типа ВНА, элегазовыми выключателями нагрузки типа SL-12; предохранителями типа ПКТ; вакуумными выключателями типа ВВ/TEL, ВБСК и ВБП, VF-12, а также, по заказу, другими типами высоковольтных коммутационных аппаратов;

2) масляными трансформаторами, трансформаторами масляными герметичными, сухими, или заполненными жидким негорючим диэлектриком;

3) щитом низкого напряжения (НН) на базе панелей ЩО-70 с выключателями-разъединителями, рубильниками, предохранителями, стационарными автоматическими выключателями серии ВА, Электрон, Протон и др.

По заказу в КТПН предусматриваются дополнительные электрические и механические блокировки, а также возможность подключения наружного освещения с режимами ручного, или автоматического включения и отключения.

КТПН с воздушным вводом подключается к воздушной линии посредством разъединителя РЛНД 1-10/400У1, который поставляется по заказу и устанавливается на ближайшей опоре. Количество отходящих линий и их токи указываются заказчиком. С заказчиком согласуются не только технические требования и решения, но и многоцветное, адаптивное к месту установки цветовое решение оболочки, нанесение индивидуальных логотипов и т.д.

Уровень защищенности подстанций от воздействия окружающей среды соответствует классу IP23. Все внутренние и внешние металлические поверхности устанавливаемого оборудования имеют покрытие, нанесенное методом порошковой полимеризации, независимо от цвета. Жесткий каркас подстанции позволяет транспортировать её в сборе с силовым трансформатором мощностью до 160 кВ·А к

месту установки. Свыше 160 кВ·А трансформатор транспортируется отдельно. Комплектация подстанции:

При наличии воздушного ввода в подстанции на вводах устанавливаются разрядники типа РВО или (по специальному заказу) ограничители перенапряжений ОПН. Кроме того, по заказу, разрядники или ограничители перенапряжений устанавливаются на сборных шинах распределительных устройств ВН и НН.

Подстанция оборудуется схемой питания собственных нужд со щитом бесперебойного питания. Возможно оснащение различными видами механических и электрических блокировок.

Распределительные устройства НН на подстанции могут быть оснащены тамбуром для внутреннего обслуживания, который функционально обеспечивает более комфортные условия для работающего персонала.

По заказу КТПН оснащается охрано-пожарной сигнализацией, а также комплектуется средствами индивидуальной защиты и огнетушителями.

Основные преимущества комплектных трансформаторных подстанций наружной установки:

- поставляются на объект отдельными блок-модулями с установленной аппаратурой;
- возможность исполнения коммерческого учета электроэнергии на стороне высокого напряжения;
- возможность применения в комплексе АСУ ТП;
- применение собственных схем АВР на стороне высокого напряжения;
- полная заводская готовность;
- покрытие металлоконструкции методом холодного оцинкования;
- возможность применения в комплексе автоматизированной системы управления технологическими процессами.

УДК 621.311.6.03

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ, ХАРАКТЕРИСТИКИ, ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ С СЕРДЕЧНИКАМИ ИЗ АМОРФНЫХ СПЛАВОВ**

Гуринович Е. А.

Научный руководитель – Колосова И.В.

Конструкция силовых трансформаторов, как масляных, так и сухих, уже более столетия является практически неизменной: магнитопровод, обмотки, бак (для масляных трансформаторов); однако постоянно происходит процесс совершенствования отдельных конструктивных элементов. Наиболее перспективный путь снижения затрат на производство и эксплуатацию силовых распределительных трансформаторов — это применение магнитопроводов из аморфных сплавов.

Аморфный сплав - это определенный вид прецизионного сплава. Путем химического подбора и метода охлаждения, которое проводится со скоростью, превышающую скорость кристаллизации достигается аморфное состояние металла. Одним из основных отличий аморфного сплава от электротехнической стали - отсутствие периодичности в расположении атомов. А так же эти сплавы отличаются от кристаллических сплавов большей устойчивостью к коррозии, они прочнее в несколько раз и с лучшей электромагнитной характеристикой. Благодаря современной технологии стало возможно получение сердечников различных диаметров, начиная от нескольких миллиметров заканчивая полуметровым диаметром.

Магнитопровод из аморфных сплавов состоит из трёх колец – двух внутренних и одного наружного, навитых из лент аморфной стали. Толщина ленты 0,025 мм. Наружная поверхность каждого кольца – лента из обычной электротехнической стали, выполняющая роль замковой пластины. Кольца магнитопровода покрыты защитным слоем из эпоксидной смолы (кроме областей стыка). Стыки располагаются в нижней части магнитопровода.

Трансформаторы с сердечниками из аморфных сплавов заметно проигрывают традиционным в массе и по габаритным размерам. Благодаря аморфным сплавам обеспечивается более чем пятикратное снижение потерь холостого хода трансформаторов по сравнению с магнитопроводами из холоднокатаной электротехнической стали. Трансформатор с сердечником из аморфных сплавов имеет больший КПД. Перегрузочная способность и срок службы у трансформаторов с сердечником из аморфных сплавов аналогичны таковым у традиционных трансформаторов. Недостатком сердечников из аморфных материалов является их более высокая стоимость по сравнению с традиционными материалами — у японской фирмы Hitachi эта разница достигает 15 — 20%. Однако в настоящее время зарубежные производители реализуют аморфную сталь уже по цене порядка 3 долл. США за килограмм, что делает применение этого материала в силовых трансформаторах экономически оправданным. Срок окупаемости такого трансформатора составляет 4 - 6 лет. Недостатки по габаритам и массе данного трансформатора связаны в основном с несовершенством технологического процесса при производстве аморфной стали и изготовления сердечников из нее в частности. И, хотя, такие трансформаторы имеют большую стоимость, за счет своей экономичности, в долгосрочной перспективе оказываются более выгодным вложением.

УДК 621.311.6.03

## **КОНТРОЛЬ И АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Лялюго А. Ю.

Научный руководитель – Колосова И.В.

Оплата электроэнергии (ЭЭ) ухудшенного качества – это траты впустую, а следовательно, прямой ущерб. Качество электроэнергии (КЭ) в Республике Беларусь регламентируется документом ГОСТ 13109-97 «...Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» [1]. В этом документе обозначено 11 показателей качества электроэнергии (ПКЭ), некоторые ненормируемые ПКЭ учитывают случайные, или стохастические, ухудшения качества электроэнергии, остальные же (нормируемые) учитывают непосредственно качество электроэнергии по основным её параметрам: напряжению, частоте – и производным от них – дозе фликера и различным временным показателям. Эти первостепенные показатели качества отвечают за потери электроэнергии в сетях и электроустановках.

Величина удельных потерь в сетях электропередачи должна быть минимально возможной, иначе ущерб будет велик, ведь общая протяжённость сетей очень большая. Без их модернизации потери электроэнергии могут оказаться очень большими, вместе с тем может быть ухудшено и качество электроэнергии, а следствием этого обычно является выход из строя электрооборудования потребителя или его некорректная работа, приводящая к ущербу. Промышленные предприятия обычно расширяются быстрее, чем модернизируется сеть электроснабжения (СЭС), поэтому на уже существующую сеть, рассчитанную для определённых потребителей, «навешивают» новых. В результате в сети появляются критические падения напряжения на конечных участках, и ухудшается качество электроэнергии питаемых этой сетью потребителей. Таким образом, из старой, но надёжной и хоть как-то работающей сети, мы получаем сеть с большими потерями электроэнергии, большим количеством отказов и выходов из строя дорогостоящего оборудования.

С 1 января 2012 г. в Республике Беларусь начали действовать новые «Правила электроснабжения». Этот закон действует аналогично «Гражданскому Кодексу», согласно которому ущерб, причинённый стороне потерпевшего, возмещается виновной стороной. Таким образом, если в Вашей сети оборудование вышло из строя или Вы понесли убытки в результате нарушения технологического процесса по причине некачественной электроэнергии, энергоснабжающая компания обязана оплатить Вам ущерб полностью или частично в зависимости от решения Суда. Стоит заметить, что данные Правила содержат обратимые условия в отношении качества электроэнергии, так как его может ухудшить как энергоснабжающая организация, так и сам потребитель. Тогда ущерб, разделяется между сторонами и возмещается пропорционально их вкладам в искажение того или иного ПКЭ.

Часто все ПКЭ удовлетворяют требованиям ГОСТ, однако электроустановка всё равно работает ненормально. Такая ситуация возможна ввиду недостаточности учёта случайностей, отражённых в различии нормально и предельно допустимых ПКЭ. Как известно, нормально допустимые показатели учитывают случайные события, например, перерыв в питании прибора либо удар молнии и другие. Если бы мы исключали эти случайности ввиду невозможности их положительного исхода или же повышали требования к качеству ЭЭ, то нормально допустимых ПКЭ мы не использовали бы вовсе.

Если некоторые ПКЭ выйдут за определённые пределы, достаточные для выполнения условий ГОСТ и Договора электроснабжения, в совокупности суммарное искажение может оказаться достаточным для того, чтобы вывести из строя установленное оборудование или нарушить технологический процесс производства. В таком случае возникает противоречивая ситуация, когда виновник есть, но закон

защищает его, и ущерб потребителя «некачественной» электроэнергии никто возмещать не обязан.

Эксперты по КЭ считают [2], что величина интервала времени для нормально допустимых значений ПКЭ, принятая равной 95 %, завышена, и поэтому вполне достаточно было бы для некоторых ПКЭ ограничить её на уровне 97-99 %. В течение этого интервала времени испорченные внезапным отключением прибора данные, или случайные измерения, вызванные коммутационными или атмосферными перенапряжениями, отсеются, и массив будет заполнен только достоверными данными. Пока это изменение не будет принято, ситуация, возможно, так и останется неразрешённой, а права потребителей будут нарушаться.

Чтобы оценить ущерб от ухудшения качества электроэнергии нужно классифицировать его в зависимости от причин ухудшения КЭ. Для классификации разделим все потери из-за снижения качества ЭЭ на технические (потери в токоведущих частях электроустановок, потери холостого хода), технологические (снижение производительности оборудования, выход некачественной продукции) и коммерческие (выход из строя оборудования). Каждая группа потерь отличается величиной ущерба, и вероятностью его появления, а общие убытки будут определяться произведением этих величин. Далее нужно рассчитать риски и определить надёжность оборудования, что является трудоёмкой задачей и в общем случае никогда не выполняется.

Финансовый ущерб складывается из следующих составляющих:

- 1) убытки из-за выхода из строя технологического оборудования, который произошёл вследствие превышения:
  - а) коэффициента перенапряжения (импульсного напряжения);
  - б) коэффициента несинусоидальности напряжения (коэффициента  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения) [3, 5];
  - в) коэффициента несимметрии напряжения по нулевой последовательности [4];
  - г) коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности;
- 2) убытки из-за кратковременного останова (замедления) технологического процесса, который произошёл вследствие:
  - а) провала напряжения;
  - б) превышения по нижней границе установившегося отклонения напряжения;
  - в) превышения по нижней границе установившегося отклонения частоты;
- 3) убытки из-за потерь электроэнергии при длительном воздействии на электроустановки электроэнергии сниженного качества:
  - а) потери ЭЭ из-за протекания токов нулевой последовательности;
  - б) потери ЭЭ из-за протекания токов обратной последовательности;
  - в) потери ЭЭ из-за несинусоидальности кривой напряжения;
  - г) потери ЭЭ из-за установившегося изменения частоты.

Отметим, что потери электрической энергии из-за её ухудшения в некоторых случаях составляют большую часть общих потерь ЭЭ. Несмотря на некоторые подвижки в решении проблемы качества электроэнергии со стороны специалистов и чиновников, проблема все ещё не решена. Необходимо постепенно уменьшать этот ущерб, пока проблема не носит критический характер.

#### Литература

1. ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения»

2. Надёжность и качество электроснабжения предприятий: учебное пособие / Александров Д. С., Щербаков Е. Ф. – Ульяновск: УлГТУ, 2010 – 155 с.
3. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат. 2000 – 331 с., ил.
4. А.В. Сапрыка. Повышение энергоэффективности осветительных комплексов с учётом качества электрической энергии. Монография. – Харьков: ХНАМГ, 2009 – 126 с.
5. Жежеленко И.В., Саенко Ю. Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 252 с., 74 ил.

УДК 621.311.6.03

## ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДУКЦИОННЫХ И СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Метелица Д.В., Алексевич С.Т.

Научный руководитель – Колосова И.В.

В ходе производственного процесса всегда возникали вопросы качественного и экономичного освещения рабочих зон и поверхностей. С момента изобретения лампы накаливания прошло более 120 лет и на смену им приходят всё более надёжные и экономичные источники света, такие как индукционные лампы, лампы ДРЛ и светодиодные светильники. Рассмотрим строение, принцип действия, достоинства и недостатки данных ламп.

Лампа ДРЛ состоит из колбы, цоколя, горелки, основного электрода, поджигающего электрода, токоограничительного резистора.

Принцип действия лампы ДРЛ. При подаче на лампу питающего напряжения, между близко расположенными основным и зажигающим электродом, возникает тлеющий разряд. Возникновение в полости горелки достаточно большого числа носителей заряда (свободных электронов и положительных ионов) способствует пробое промежутка между основными электродами и зажиганию между ними тлеющего разряда, который практически мгновенно переходит в дуговой. Стабилизация электрических и световых параметров лампы наступает через 10 — 15 минут после включения.

Достоинством ламп ДРЛ является: высокая световая отдача (до 55 лм/Вт); большой срок службы (10000 ч); компактность; не критичность к условиям окружающей среды. К недостаткам ламп ДРЛ можно отнести: возможность работы только на переменном токе; наличие балластного дросселя; длительность разгорания (7 - 10 мин.); пульсации светового потока; уменьшение светового потока к концу службы.

Светодиодный источник света состоит из: светодиода, электронной платы, радиатора охлаждения; рассеивателя; цоколя.

В устройстве светодиодов значение имеет процесс, происходящий после того, как через диод прошёл ток. В тот момент осуществляется рекомбинация носителей электрического заряда. Отрицательно заряженные электроны занимают место в положительно заряженных ионах кристаллической решётки полупроводника. И когда электрон и дырка встречаются, происходит выделение энергии, излучается фотон, квант света. Если излучение не происходит, высвобожденная энергия переходит в тепловую, нагревая вещество.

Достоинством светодиодных ламп является: экономичность, виброустойчивость, богатая цветовая гамма, большой срок службы, механическая надёжность, отсутствие инерционности. К недостаткам ламп можно отнести: высокая стоимость светодиодов, высокие требования к качеству теплоотвода, влияние перепадов напряжения на срок службы, преимущественно направленное свечение.

Индукционная лампа состоит из трёх основных частей: газоразрядной трубки, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором, магнитного кольца или стержня (феррита) с индукционной катушкой, электронного балласта (генератора высокочастотного тока). Электронный балласт вырабатывает высокочастотный ток, протекающий по индукционной катушке на магнитном кольце или стержне. Электромагнит и индукционная катушка создают газовый разряд в высокочастотном электромагнитном поле, и под воздействием ультрафиолетового излучения разряда происходит свечение люминофора.

Достоинством ламп ДРЛ является: срок службы 60-150 тыс.час. т.е. >5 лет, светоотдача 80-160 лм/Вт, низкая температура нагрева лампы, КПД ~90%, индекс цветопередачи Ra>80, температура нагрева лампы 40°-60°, изменения яркости от 30 до 100%, экологичность. К недостаткам: высокая стоимость.

В ходе экономического сравнения определили, что стоимость ламп ДРЛ – 3 у.е., светодиодной – 633 у.е., индукционной – 216 у.е. Среднее время работы лампы ДРЛ – 10 часов; светодиодной – 100 часов, индукционная – 150 часов. Эксплуатационные расходы ламп ДРЛ – 189 у.е. в год, светодиодной – 152 у.е. в год, индукционной – 133 у.е. в год.

Как видим - минимальные эксплуатационные расходы у индукционной лампы, немного больше у светодиодной лампы. По общим затратам за 10 лет использование индукционного светильника наиболее выгодно, общие затраты минимальны из всех рассматриваемых светильников. Ключевым моментом при выборе является также то, что начальная стоимость индукционного светильника намного ниже, чем светодиодного. Единственным достоинством светильников с лампами ДРЛ является их относительно низкая стоимость, однако общие затраты при использовании индукционных ламп становятся ниже, чем при использовании ламп ДРЛ всего через 2,5 года, а при использовании светодиодных светильников – через 6,5 лет.

Таким образом, применение индукционных и светодиодных светильников в промышленности целесообразно, а наиболее приемлемым вариантом, по техническим и экономическим параметрам является индукционный светильник.

УДК 621.311.6.03

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СОВРЕМЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Лещёв С. А.

Научный руководитель – Колосова И.В.

Если верить Правилам приборного учета электрической энергии в Республике Беларусь, АСКУЭ (автоматизированная система контроля и учета электроэнергии) - система технических и программных средств для автоматизированного дистанционного измерения, сбора, передачи, хранения, накопления, обработки, анализа, отображения и документирования результатов потребления электроэнергии в территориально распределенных точках учета, расположенных на объектах энергоснабжающей организации и (или) потребителей.

Попытки создания АСКУЭ связаны с появлением микропроцессорных устройств, однако дороговизна последних делала системы учета доступными только крупным промышленным предприятиям. Разработку АСКУЭ вели целые НИИ.

Решение задачи предполагало оснащение индукционных счетчиков электрической энергии датчиками оборотов; создание устройств, способных вести подсчет поступающих импульсов и передавать полученный результат в ЭВМ; накопление в ЭВМ результатов подсчета и формирование отчетных документов.

Первые системы учета были крайне дорогими, ненадежными и малоинформативными комплексами, но они позволили сформировать базу для создания автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии следующих поколений.

Переломным этапом в развитии АСКУЭ стало появление персональных компьютеров и создание электронных электросчетчиков. Ещё больший импульс развитию систем автоматизированного учёта придало повсеместное внедрение сотовой связи, что позволило создать беспроводные системы, так как вопрос организации каналов связи являлся одним из основных в данном направлении.

Для организации современной системы АСКУЭ необходимо в точках учёта энергии установить высокоточные средства учёта - электронные счётчики, цифровые сигналы передать в так называемые «сумматоры», снабженные памятью, создать систему связи (как правило, последнее время для этого используют GSM – связь), обеспечивающую дальнейшую передачу информации в местные (на предприятии) и на верхние уровни, затем организовать и оснастить центры обработки информации современными компьютерами и программным обеспечением.

Много линий связи к устройствам сбора и передачи данных (УСПД) не нужно. Достаточно поставить разветвитель приблизительно к месту установки счетчиков и подключить их к УСПД. Устройство сбора и передачи данных в свою очередь можно подсоединить к GSM модему для передачи данных через спутниковую связь на такой же GSM модем расположенный в центре обработки данных. Это облегчит передачу и обслуживание передающей сети. Далее информация обрабатывается и передается в вышестоящие инстанции. Для того чтобы избежать отказов модема, можно резервно использовать GPS приемник либо модем.

Эффект от внедрения АСКУЭ составляет до 30% экономии энергоресурсов и финансовых расходов. Система позволяет контролировать энергопотребление по всем объектам учёта и видам электроэнергии. Она сигнализирует о выходе контролируемой величины за допустимые пределы и оценивает величину отклонения.

АСКУЭ может автоматически отключать потребителей от сети или, наоборот, подключать. Она поддерживает во всей системе единое время. По запросу оператора система выведет на печать любые параметры. В настоящее время практически на всех крупных предприятиях страны наблюдаются значительные административные, структурные и технические изменения, связанные с прогрессом в области

информационно-сетевых и энергоресурсосберегающих технологий с вложением значительных средств в техническое перевооружение предприятий. При этом АСКУЭ предусматривает:

- переход предприятий на многотарифное обслуживание, что, как правило, сопровождается, значительным снижением объемов платежей за электроэнергию (на 10-25%),
- возможностью организации оптовых закупок электрической энергии по более низким тарифам.

Эффективная эксплуатация АСКУЭ позволяет уменьшить очень важный для любого промышленного предприятия показатель - удельную энергоёмкость. Снижение этого показателя за счет установки такой системы связано с решением задач покупки энергии по более низкой цене с одной стороны и совершенствования управления электропотреблением внутри предприятия с другой.

Подобная система окажется немного дороже, но последующая выгода будет очевидна. Система поможет организовать централизованный учет расхода электроэнергии на множестве объектов с передачей данных в Центр сбора информации, нормализовать отношения поставщиков и потребителей электроэнергии, продлить срок службы технологического оборудования за счет оптимизации режимов, повысить дисциплину и эффективность работы аварийных служб, обеспечить реализацию энергосберегающих технологий.

В последнее время с увеличением стоимости энергоресурсов и развитием оптового рынка электроэнергии у руководителей промышленных предприятий резко возрос интерес к внедрению Автоматизированных Информационно-Измерительных Систем Коммерческого Учета Энергии (АИИС КУЭ), обеспечивающих проведение расчётов за электроэнергию. И это оправдано. Ведь такая система позволит непосредственно использовать результаты замеров для финансовых расчётов и исключить все ручные операции в АСКУЭ. Именно за такой системой автоматизированного контроля и учета электроэнергии будущее любого современного промышленного предприятия.

УДК 621.311.6.03

## АВТОМАТИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Горновский И.Ю., Кульчинский Н.Н.  
Научный руководитель – Колосова И.В.

Целью данной работы было создание программы по автоматическому расчету систем внешнего электроснабжения промышленного предприятия. Энергетика характеризуется работой с большими объемами информации. Ее основной особенностью является постоянное обновление во времени. К таким данным можно отнести параметры, а также режимы работы энергетического оборудования, технологических процессов, электрических и т.д. Информация об электропотреблении позволяет оценить качество и оптимальность проекта систем электроснабжения и точность применяемой методики определения расчетных нагрузок, осуществить прогноз максимальной мощности на заданный период.

Программа может выполнять расчет электрических нагрузок предприятия, строить и исследовать графики нагрузок. В ближайшем будущем планируется расширить функциональные возможности программы путем программных дополнений: прогнозирования нагрузок методом Байеса, расчета потерь мощности и энергии, параметров качества напряжения и т.д.

Электрические нагрузки определяются приближенным методом коэффициента спроса ( $k_c$ ), коэффициента реактивной мощности ( $tg\varphi$ ) и установленной мощности  $P_n$  [1]. При расчетах электроснабжения используются характерные суточные (рабочего и выходного дня) и годовые графики нагрузок. Эти графики показывают характер изменения нагрузок во времени, свойственный предприятию данной отрасли промышленности, т.е. типовой суточный график нагрузки. Типовой график, как правило, представляется в процентах по отношению к максимальной нагрузке. С помощью программы пересчитывается типовой график в именованных единицах (МВт), принимая  $P_p = 100\%$ . Данные расчеты являются основными для последующего выбора мощности трансформаторных подстанций и т.д.

Метод Байеса позволяет произвести прогнозирование заявляемой мощности за определённый период, с использованием в качестве исходных данных серии ежесуточных замеров максимальной получасовой мощности в течение 6-ти и более кварталов. Алгоритм прогноза мощности условно разделён на три этапа. В течение указанного времени ежесуточно вводится в базу данных максимальная получасовая мощность и при предварительном прогнозе путем расчета получаем заявляемую максимальную мощность.

Расчет параметров качества напряжения планируется реализовывать при помощи статистических методов оценки качества напряжения, таких как закон нормального распределения случайной величины [2].

На начальном этапе проектирования было решено реализовывать данный проект при помощи web языков программирования и верстки, а именно:

- HTML;
- CSS;
- JavaScript;
- Библиотека JQuery;
- Библиотека JQuery UI;
- Библиотека HighCharts.js.

Мы выбрали HTML5 по нескольким причинам: доступность из любой точки мира благодаря интернету; кроссплатформенность (любое устройство с поддержкой HTML и JavaScript); малый объем данных (с подключением библиотек удаленно – 40

кБ); отсутствие баз данных, требований к площадке размещения; работоспособность без установки дополнительного программного обеспечения.

#### **Литература**

1. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок.- М.: Энергоатомиздат, 1989.-528с.
2. Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике.- Л.: Энергоатомиздат, 1990.-208с.
3. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоатомиздат, 1985.-640с.

УДК 621.3

## АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ВНУТРЕННИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ОСВЕЩЕНИЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ

Мархель О.Л., Писарук Т.В.

Научный руководитель – Козловская В.Б., к.т.н., доцент

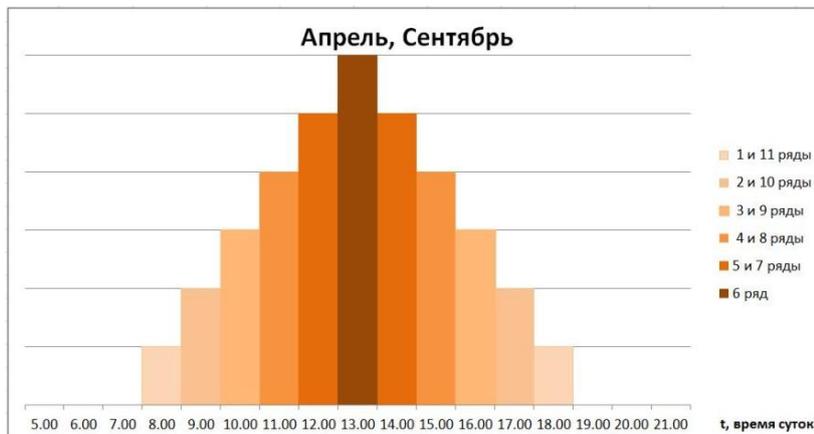
Одной из наиболее значимых проблем нашего времени является проблема экономии электрической энергии, что, по большей части, связано с истощением невозобновляемых источников энергии. На данный момент существует два способа решения этой задачи: поиск альтернативных источников энергии или путей снижения потребления. Последний способ является более простым с точки зрения практической реализации и, тем не менее, довольно эффективным.

Наиболее распространенными способами снижения расхода электроэнергии на освещение являются: использование более экономичных ламп, использование регуляторов яркости освещения, рациональная цветовая отделка помещений, увеличение количества источников естественного освещения, регулярная очистка стекол и светильников и т.п.

Рассмотрим подробнее возможность экономии электроэнергии за счет управления освещением с использованием датчиков освещенности. Принцип действия этих датчиков заключается в том, что они измеряют действующее значение освещенности и, в зависимости от этого, формируют выходное напряжение, т.е. осуществляют контроль над наружной освещенностью и регулируют работу осветительной установки.

Для оценки возможной экономии электроэнергии при использовании датчиков можно рассмотреть различные варианты работы осветительной установки цеха промышленного предприятия с размерами  $200 \times 80 \times 6$  м. Светотехнический расчет выполняется в соответствии с [1]. В результате проведенных расчетов получим, что для освещения заданного промышленного помещения необходимо 11 рядов светильников по 125 в каждом. Тип светильников примем ЛСП10-2 $\times$ 58-ЛБ58-Д-IP65  $\eta = 84\%$ . В каждом светильнике находится по 2 лампы со световым потоком 5200 лм.

Освещение цеха также происходит за счет естественного света. Принимая во внимание динамику уровня естественного освещения в период рабочего дня в зависимости от месяца и времени суток, а также опираясь на данные календаря восходов и заходов солнца, можем приблизительно разделить весь календарный год на пары по два месяца со схожей продолжительностью светового дня. Исходя из этого,



составим гистограммы зависимости количества работающих рядов светильников от времени суток, а также зависимости времени работы рядов светильников от их расположения. На рис. 1 и 2 представлены такие зависимости на примере месяцев апрель, сентябрь.

Рисунок 1. Зависимость количества работающих рядов светильников от времени суток для месяцев: апрель, сентябрь



Рисунок 2. Зависимость времени работы рядов светильников от времени суток для месяцев: апрель, сентябрь

Используя данный метод последовательного отключения рядов светильников определим годовой расход электрической энергии на освещение помещения промышленного предприятия:

$$W_{\text{год}} = 1,2 \cdot T_{\text{год}} \cdot n_{\text{св}} \cdot P_{\text{св}} \cdot N_R,$$

где  $T_{\text{год}}$  - годовое число часов работы всех светильников, ч;

$P_{\text{св}}$  - номинальная мощность одной лампы, Вт.

Чтобы наглядно показать эффективность использования предложенного выше метода, можем, для сравнения, определить годовой расход электроэнергии на освещение по общему выражению [1]:

$$W_{\text{го}} = P_{\text{ро}} \cdot T_{\text{max o}},$$

где  $P_{\text{ро}}$  - расчетная активная нагрузка освещения, кВт;

$T_{\text{max o}}$  - годовое число часов использования максимума осветительной нагрузки, ч.

С иной точки зрения, годовой расход электроэнергии можем также определить, принимая во внимание тот факт, что включение и выключение светильников осуществляется персоналом в зависимости от субъективного восприятия наружной освещенности:

$$W_{\text{год1}} = 1,2 \cdot T_{\text{год1}} \cdot n_{\text{св}} \cdot P_{\text{св}} \cdot N_R,$$

где  $T_{\text{год1}}$  - годовое число часов работы всех светильников при включении/выключении их персоналом, ч.

Если использовать предложенный метод последовательного отключения рядов светильников в соответствии с продолжительностью светового дня, то приходим к результату, что для освещения условного помещения на протяжении года было затрачено 513,0912МВт·ч, во втором же случае расход составляет 561,600МВт·ч. Для сравнения также было посчитано количество потребляемой энергии при бесконтрольном отключении рядов светильников. Полученные энергозатраты составили 575,2266МВт·ч.

Таким образом, сэкономленная энергия составляет 62,1354МВт·ч, что при тарифе на электроэнергию для предприятий в 14 центов за киловатт, или 1194,62 белорусских рублей, составляет 74 228 192 бел. руб.

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод о том, что предложенная методика расчета расхода электроэнергии, учитывающая время работы рядов светильников в каждом периоде года, является эффективной и актуальной, а применение датчиков освещенности, лежащее в основе данного метода, позволяет значительно снизить расход электрической энергии на освещение.

Техническое исполнение данной системы светорегулирования предлагается реализовать двумя способами: используя систему регулирования автоматическим освещением в виде шкафа управления и 6 датчиков освещенности, либо систему фотореле освещенности ФРО-03, которую производит компания «Максима Электроникс». Данная система предназначена для автоматического включения электрических источников освещения (лампы, прожекторы и тому подобное) при наступлении условий недостаточной видимости. Работает по радиоканалу, не требует прокладки проводов.

Датчик освещенности крепится в место, где он будет освещаться солнечным светом, и при достижении определенного порога – посылать сигнал на включение/выключение исполнительному устройству. Применяется для поддержки постоянного освещения в помещениях (например, в цехах, офисах и т.п. с целью экономии электроэнергии). Датчик реагирует на достижение достаточного освещения (утром освещение искусственное, далее солнце достаточно освещает помещение) и дает команду на выключение искусственных источников света. При наступлении условий недостаточной видимости (тучи, сумерки и т.п.) - включает лампы либо другие источники света. Эталон освещенности заложен программно. При желании его можно изменить несложным программированием. Предлагается также брелок - пульт радиоуправления исполнительным устройством. Имеет приоритет перед датчиком освещения, т.е. фонарь, выключенный брелоком, датчик уже не включит и наоборот.

К одному датчику либо брелоку можно подключить несколько исполнительных устройств. Одно исполнительное устройство может коммутировать нагрузку на реле до 3 Ампер, и запоминать до 14 датчиков освещенности и брелоков.

Стоимостные показатели системы:

Название	Цена, рос.руб	Цена, бел.руб.	Количество оборудования	Суммарная стоимость, бел.руб.
Датчик беспроводной	750	205 500	6	1 233 000
Исполнительное устройство	1250	342 500	1	342 500
Брелок	750	205 500	1	205 500
Итого:				1 781 000

Таким образом, можно сделать вывод, что использование данной системы управления освещением позволяет экономить значительные средства.

### Литература

1. Электрическое освещение : учебник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. – Техноперспектива, 2011. – 543 с., [12] л. цв. ил.

УДК 621.311

## ВЫБОР ЧИСЛА ВКЛЮЧЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОДСТАНЦИЙ С УЧЕТОМ НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ

Карчевская В.Р.

Научный руководитель – Прокопенко Л.В.

Известно, что изменение числа включенных трансформаторов на подстанциях является одним из мероприятий по снижению потерь мощности и энергии в электрических сетях. Это мероприятие достаточно широко применяется, поскольку при его реализации не требуется дополнительных капитальных вложений.

Величина граничной мощности, при которой целесообразно переходить от  $n$  работающих трансформаторов к  $n-1$ , определяется по известному выражению

$$S_{Г} = S_{Н} \sqrt{\frac{n(n-1)\Delta P_{С}}{\Delta P_{М}}} \quad (1)$$

где  $S_{Н}$  – номинальная мощность трансформаторов подстанции;

$\Delta P_{С}$  – потери активной мощности в стали трансформатора (потери холостого хода);

$\Delta P_{М}$  – потери активной мощности в меди (нагрузочные потери).

Выражение (1) применяется для случая, когда на подстанции установлены одинаковые по всем паспортным параметрам трансформаторы.

Вывод выражения (1) сделан в предположении, что рабочее напряжение сети совпадает с номинальным напряжением трансформаторов.

В реальных условиях эксплуатации электрических сетей промышленных предприятий рабочее напряжение может существенно отличаться от номинальных напряжений трансформаторов.

Например, при отклонении рабочего напряжения по отношению к номинальному напряжению трансформаторов на  $a\%$ , потери в стали трансформатора рассчитываются по выражению

$$\Delta P_{С} = \Delta P_{СНОМ} \left(1 \pm \frac{a}{100}\right)^2$$

а потери в меди

$$\Delta P_{М} = \frac{\Delta P_{МНОМ}}{\left(1 \pm \frac{a}{100}\right)^2}$$

С учетом этого выражение для расчета граничной мощности будет иметь вид:

$$S_{Г} = S_{Н} \left(1 \pm \frac{a}{100}\right)^2 \sqrt{\frac{n(n-1)\Delta P_{С}}{\Delta P_{М}}} \quad (2)$$

Если рабочее напряжение на трансформаторах превышает их номинальное, то величина  $a$  имеет знак «плюс», в противном случае – «минус».

Например, на подстанции установлены два трансформатора ТМГ11-1000/10-У1 с одинаковыми параметрами. Величина граничной мощности будет равна:

а) при неучете отклонения рабочего напряжения  $S_{Г} = 509$  кВ;

б) при отклонении  $a=+5\%$   $S_{Г} = 561$  кВ;

в) при отклонении  $a=-5\%$   $S_{Г} = 460$  кВ.

Результаты расчетов показывают, что при отклонении рабочего напряжения на трансформаторах на +5% и при нулевом регулировочном ответвлении значение граничной мощности подстанции, при которой целесообразно перейти от двух работающих трансформаторов к одному будет примерно на 10% больше, чем рассчитанное без учета отклонения напряжения сети, т.е. с учетом действительного напряжения сети в ряде случаев задача по расчету граничной мощности будет существенно уточнена, на 10% и более.

УДК 621.3.072.8

## ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ЗАМЕНЫ МАЛОНАГРУЖЕННЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Воробей В. В.

Научный руководитель - Радкевич В.Н., к. т. н., доцент

Уменьшения расхода электроэнергии на нерегулируемый электропривод производственных механизмов можно достичь заменой малонагруженных электродвигателей.

Известно, что КПД электродвигателя

$$\eta = 1 - \frac{\Delta P_{\Sigma}}{P_1},$$

где  $P_1$  – активная мощность, потребляемая двигателем из сети;  $\Delta P_{\Sigma}$  – суммарные потери мощности в двигателе,

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{пост} + \Delta P_{пер},$$

где  $\Delta P_{пост}$  и  $\Delta P_{пер}$  – соответственно постоянные и переменные потери мощности в двигателе.

К постоянным потерям мощности относятся магнитные потери в стали электродвигателя, а также механические потери на трение в подшипниках и вентиляцию. Потери в стали зависят от магнитной индукции, частоты перемагничивания и не зависят от нагрузки [1]:

$$\Delta P_{ст} = \Delta P_{ст(ном)} \cdot B_*^2 \cdot f_*^{1,3},$$

где  $\Delta P_{ст(ном)}$  – потери в стали при номинальной индукции и частоте;  $B_*$  и  $f_*$  – соответственно магнитная индукция и частота тока в относительных единицах по отношению к номинальным.

Переменные потери мощности пропорциональны квадрату тока нагрузки двигателя и включают в себя электрические потери в обмотках статора и ротора.

С учетом сказанного можно записать выражение для КПД электродвигателя в следующем виде:

$$\eta = \frac{P_{полезн}}{P_{потреб}} = \frac{P_{ном} \cdot k_{нг}}{P_1} = \frac{P_{ном} \cdot k_{нг}}{P_{ном} \cdot k_{нг} + \Delta P_{пост} + \Delta P_{пер} \cdot k_{нг}^2},$$

где  $P_{ном}$  – номинальная мощность электродвигателя;  $k_{нг}$  – коэффициент нагрузки двигателя,

$$k_{нг} = P_{раб} / P_{ном},$$

где  $P_{раб}$  – средняя мощность, развиваемая двигателем в соответствии с потребностями механизма.

Таким образом, КПД электродвигателя существенно зависит от нагрузки на валу. Очевидно, что при работе с неполной нагрузкой КПД двигателя снижается. Типовые кривые зависимости КПД и коэффициента мощности асинхронного электродвигателя от нагрузки, выраженной в относительных единицах, представлены на рисунке 1.

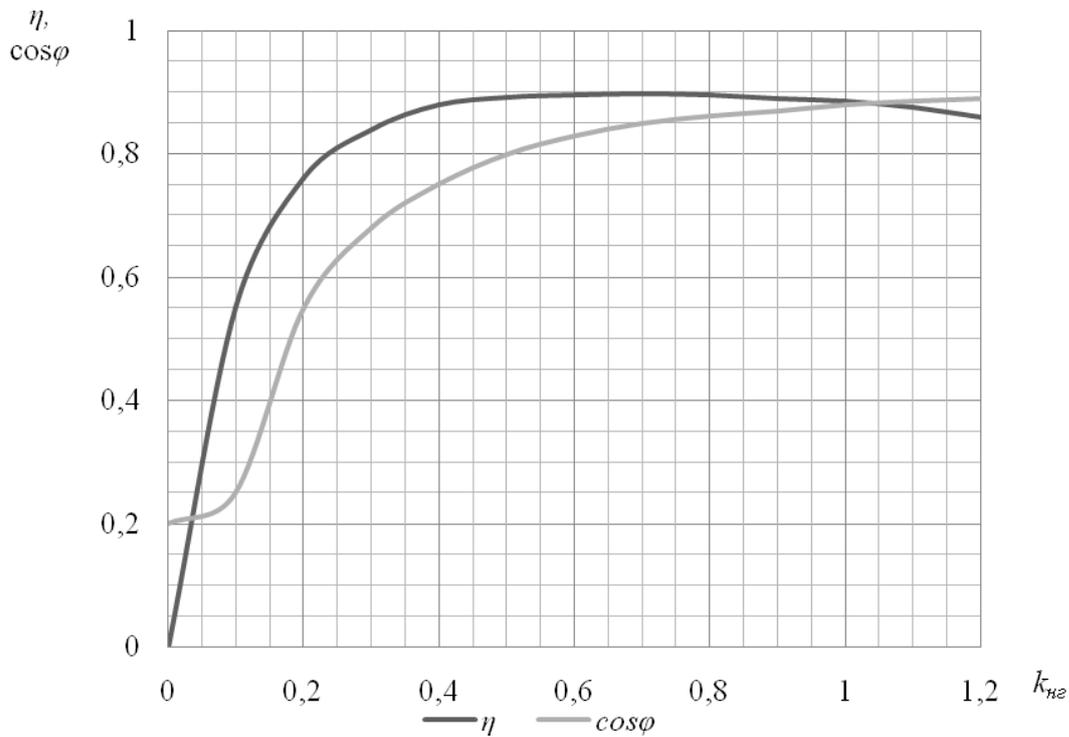


Рисунок 1 – Типовые зависимости КПД и  $\cos\varphi$  асинхронного двигателя от нагрузки

Из рисунка 1 видно, что максимальный КПД у асинхронных электродвигателей достигается при относительных нагрузках 0,6–0,85 и при дальнейшем их увеличении до номинальных значений остается практически неизменным. Использование же электродвигателей завышенной номинальной мощности приводит к снижению технико-экономических показателей их работы, росту капитальных вложений и эксплуатационных расходов. Однако многочисленные обследования промышленных предприятий показывают, что большинство установленных электродвигателей работает при относительных нагрузках, не превышающих 0,4–0,6. Часто коэффициенты нагрузки имеют значения 0,2–0,3. При этом КПД электродвигателя снижается на 2–6%, а  $\cos\varphi$  – на 20–25%, что приводит к увеличению потерь и расхода электроэнергии. Следовательно, для обеспечения рационального электропотребления необходимо, чтобы асинхронные электродвигатели были загружены в соответствии с их номинальной мощностью.

В то же время, замена всех недогруженных электродвигателей нерациональна с экономической точки зрения. Такая замена однозначно целесообразна, когда средняя нагрузка двигателя составляет менее 40% номинальной мощности. В остальных случаях целесообразность замены электродвигателей должна подтверждаться технико-экономическими расчетами. При этом следует учитывать, что чем ниже номинальная мощность электродвигателя, тем меньше номинальные значения КПД и коэффициента мощности. Кроме того, необходимо помнить, что значительного экономического эффекта можно достичь за счет перестановки малонагруженных электродвигателей при относительно небольших затратах.

Для решения этой трудоемкой задачи разработана компьютерная программа, которая позволяет оценить возможный эффект (снижение потерь мощности и расхода электроэнергии) от замены малонагруженного асинхронного электродвигателя электродвигателем меньшей мощности. В качестве исходных данных программа требует ввода каталожных параметров заменяемого электродвигателя, коэффициента нагрузки и каталожных параметров нового электродвигателя.

Основные возможности программы рассмотрим на примере асинхронного двигателя типа 4A180S4Y3 номинальной мощностью 22 кВт.

Программа позволяет выделить постоянные и переменные потери мощности из состава суммарных потерь, что дает возможность построить зависимости потерь мощности в электродвигателе от коэффициента его нагрузки. На рисунке 2 представлены эти зависимости для рассматриваемого асинхронного двигателя типа 4А180S4У3.

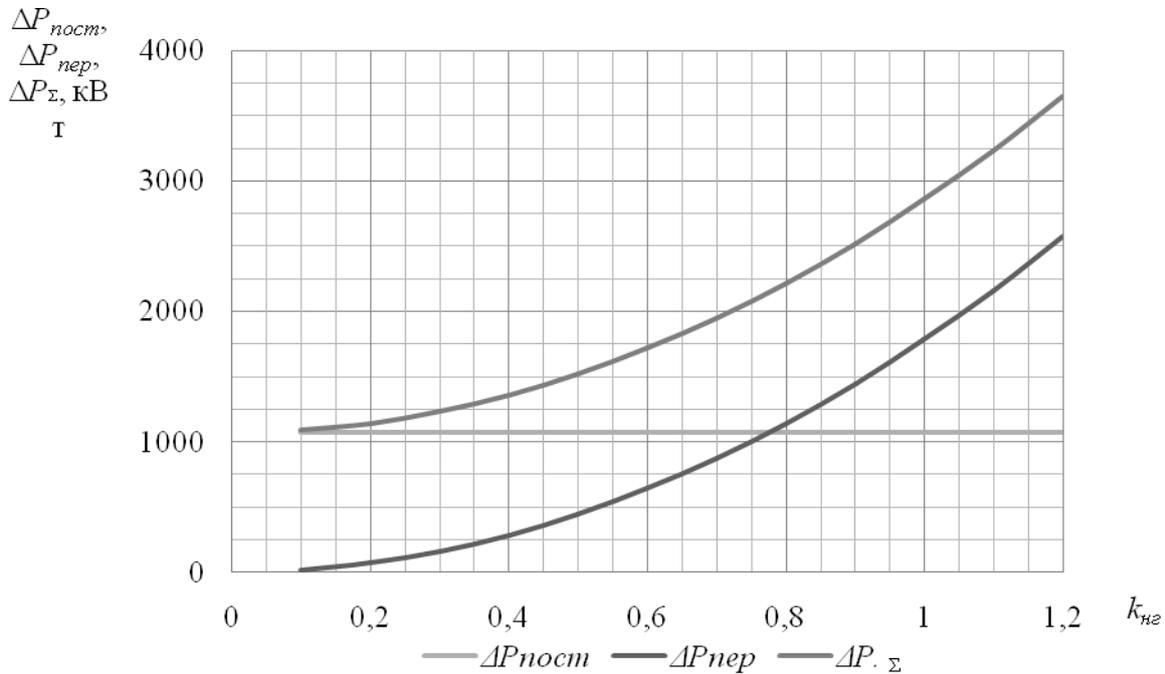


Рисунок 2 – Зависимости постоянных, переменных и суммарных потерь мощности от коэффициента нагрузки для асинхронного электродвигателя типа 4А180S4У3

Значения потерь мощности в электродвигателе, как отмечалось ранее, зависят не только от коэффициента нагрузки, но и от параметров питающей сети. При определении постоянных и переменных потерь мощности программой учитываются фактические значения напряжения и частоты тока питающей сети. Таким образом, разработанная программа может быть использована также и для оценки влияния отклонений напряжения и частоты от номинальных значений на величину потерь мощности в электродвигателе.

Асинхронные двигатели серии 4А рассчитаны на напряжение 380 В. В соответствии ГОСТом 13109-97, нормально допустимые значения установившегося отклонения напряжения на зажимах электроприемников находятся в пределах  $\pm 5\%$  номинального напряжения сети. Следовательно, при номинальном напряжении сети 400 В напряжение на зажимах электро-двигателя в нормальном режиме должно находиться в пределах от 380 В до 420 В. Зависимости суммарных потерь мощности от коэффициента нагрузки при данных напряжения для асинхронного двигателя типа 4А180S4У3 отражены на рисунке 3.

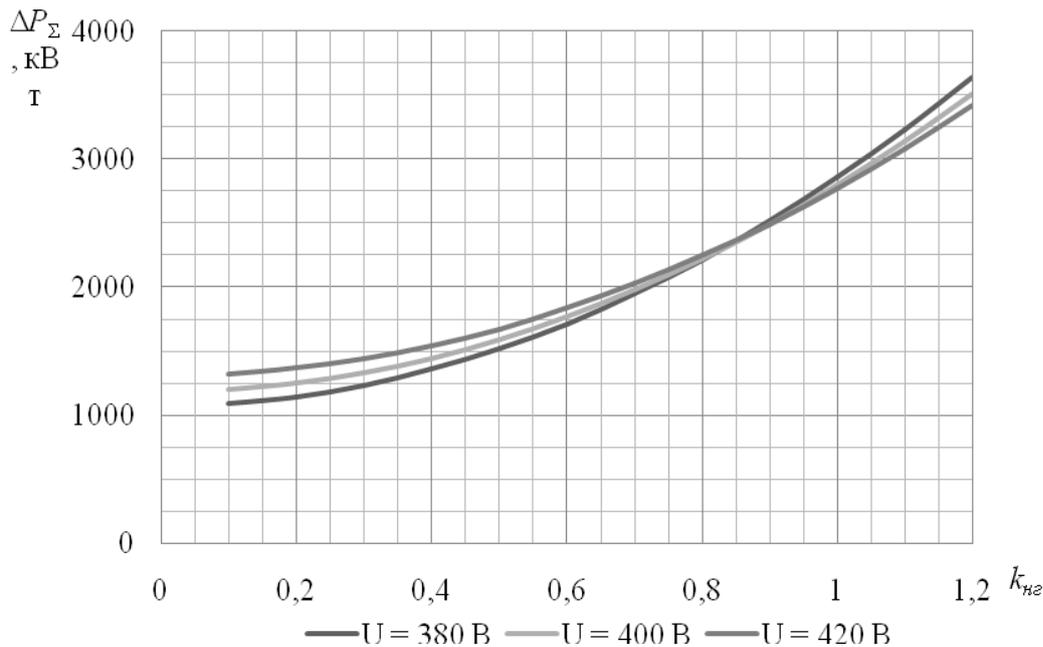


Рисунок 3 – Зависимости суммарных потерь мощности от коэффициента нагрузки для асинхронного электродвигателя типа 4A180S4Y3 при отклонениях напряжения на его зажимах от номинального значения

Из рисунка 3 видно, что повышение напряжения на 5% приводит к существенному (до 10%) увеличению суммарных потерь мощности в малонагруженных электродвигателях. Это объясняется тем, что при малых нагрузках потери в стали во много раз превышают величину нагрузочных потерь (рисунок 2). В этом случае повышение напряжение приводит к значительно меньшему снижению нагрузочных потерь по сравнению с ростом потерь в стали.

### Заключение

Замена малонагруженных асинхронных электродвигателей способствует повышению коэффициента мощности и позволяет снизить расход электроэнергии на нерегулируемый электропривод производственных механизмов. Такая замена однозначно целесообразна, когда средняя нагрузка составляет менее 40% номинальной мощности электродвигателя. В остальных случаях целесообразность замены должна подтверждаться технико-экономическими расчетами, поскольку стоимость электродвигателей велика и зачастую не окупается за счет снижения потерь мощности и электроэнергии. Также необходимо учитывать возможность снижения расхода электроэнергии за счет перестановки малонагруженных электродвигателей, что позволяет получить значительный экономический эффект при относительно небольших затратах. Таким образом, какой бы ни была относительная нагрузка электродвигателя, необходимо проводить анализ целесообразности его замены двигателем меньшей мощности. Помочь в этом может разработанная программа.

### Литература

1. Вольдек А. И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений. – 3-е изд, перераб. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.

# **СЕКЦИЯ ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ**

## **ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ**

### **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОТОЧНЫХ ЧАСТЕЙ ТУРБОАГРЕГАТОВ**

С.А. СВЕРЧКОВ, Е.И. КУПРЕЕВ  
Научный руководитель – Карницкий Н.Б. д.т.н., профессор.

### **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПЛОТНЕНИЯ ПОВОРОТНОЙ ДИАФРАГМЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ ТУРБИНЫ Т-100-130**

ПАНТЕЛЕЙ В.Е.  
Научный руководитель – Пантелей Н.В., ст. преподаватель

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВУХПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ**

МАРКОВА А.А.  
Научный руководитель – Кравченко В.В., ст. преподаватель

### **СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ПРОМЕЖУТОЧНОЙ РЕГУЛИРУЕМОЙ ВЕЛИЧИНОЙ**

Кулик К.Ю.  
Научный руководитель – Кулаков Г.Т., д.т.н., профессор

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПЛОТНЕНИЙ ПАРОВЫХ ТУРБИН**

КАНАРСКИЙ Д.Ю., РИМАШЕВСКАЯ Е.Д.  
Научный руководитель - Качан С.А., к. т. н., доцент

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ПАРОВЫХ ТУРБИН**

КАНАРСКИЙ Д.Ю., РИМАШЕВСКАЯ Е.Д.  
Научный руководитель - Качан С.А., к. т. н., доцент

### **ПОДОГРЕВ ЦИКЛОВОГО ВОЗДУХА ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК ТЭС**

ЛЕБЕДЕВИЧ П.В.  
Научный руководитель - Качан С.А., к. т. н., доцент

### **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БЫСТРОХОДНЫХ И ТИХОХОДНЫХ ТУРБИН.**

ЗЕЛЕНИН Д.С., АСТАШОВ Д.С., БОТЬКО Е.Н.  
Научный руководитель – Карницкий Н.Б. д.т.н., профессор.

### **ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КПД КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА ПО МЕТОДИКЕ М.Б. РАВИЧА ПРИ СЖИГАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ТОПЛИВ**

ДЖЕЖОРА С.Н.  
Научный руководитель – Тарасевич Л.А., к.т.н., доцент

### **ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА**

ЯЦКО М.А.  
Научный руководитель – Тарасевич Л.А., к.т.н., доцент

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

ЯЦКО М.А.  
Научный руководитель – Тарасевич Л.А., к.т.н., доцент

### **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН ТЭС И АЭС**

БОТЬКО Е.Н., ЖУКОВСКАЯ А.А.  
Научный руководитель – Нерезько А.В., ст. преподаватель

УДК 621.165

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОТОЧНЫХ ЧАСТЕЙ ТУРБОАГРЕГАТОВ

С.А. Сверчков, Е.И. Купреев

Научный руководитель – Карницкий Н.Б. д.т.н., профессор.

Основной задачей современного проектирования проточных частей турбоагрегатов является изготовление конкурентоспособных изделий, обладающих высокой надёжностью и максимальным КПД использования потенциальной энергии рабочего тела. Решение этой задачи осуществляется в определённой степени на стадии технологической подготовки производства, где предусматривается проектирование оптимальных технологических процессов, обеспечивающих достижение поставленных задач.

Из-за сложной формы профиля сопловых и рабочих решёток турбоагрегатов ранее для проектирования лопаточного аппарата пользовались экспериментальными данными. Создавались атласы профилей, в которых предлагались различные варианты профиля лопаток. Сегодня большинство предприятий, занимающихся турбостроением, пользуются передовыми системами проектирования, позволяющими спроектировать форму будущей решётки.

Цель настоящей работы – рассмотрение способов разработки эффективных и оптимальных форм профиля решёток осевых турбоагрегатов для заданных параметров в системах компьютерного проектирования. На данный момент существует большое количество специальных программ, позволяющее за короткое время проектировать качественные и современные турбомашинные различных типов. Используя программу инженер-проектировщик получает возможность повысить эффективность собственной работы и обеспечить высокое качество конечного продукта, тестирование проектов уже на ранних этапах процесса проектирования, снижая тем самым затраты на строительство опытных образцов, улучшая качество, обеспечивая воспроизводимость проектов и ускоряя весь процесс разработки.

Основными факторами успеха в современном промышленном производстве являются: сокращение срока выхода продукции на рынок, снижение ее себестоимости и повышение качества. Сейчас общепризнанным фактом является невозможность изготовления сложной наукоемкой продукции (кораблей, самолетов, различных видов промышленного оборудования и др.) без применения современных систем автоматизации. К числу наиболее эффективных технологий, позволяющих выполнить эти требования, принадлежат так называемые CAD/CAM/CAE-системы (системы автоматизированного проектирования, технологической подготовки производства и инженерного анализа). Несмотря на широкое распространение систем CAD для проектирования и систем CAE для анализа, эти системы не так уж хорошо интегрируются. Дело в том, что модели CAD и CAE по сути используют разные типы геометрических моделей, и в настоящее время не существует общей унифицированной модели, которая бы содержала в себе как информацию для проектирования, так и для анализа. Термины CAD и CAE обозначают следующее:

CAD - системы (computer - aided design) — компьютерная поддержка проектирования, предназначенная для решения конструкторских задач и оформления конструкторской документации.

CAE - системы (computer - aided engineering) — поддержка инженерных расчетов, представляющая собой применение обширного класса систем, каждая из которых позволяет решать определенную расчетную задачу (группу задач), начиная от расчетов на прочность, анализа и моделирования тепловых процессов до расчетов

гидравлических систем и машин, расчетов процессов литья. В CAE - системах также используется трехмерная модель изделия. CAE-системы еще называют системами инженерного анализа.

Применяются такие системы широкого профиля как ANSYS и Autodesk Simulation, а так же и узкого профиля: Flowmaster, CFturbo, PumpLinx, FlowVision, AxStream и другие. Проведем анализ данных систем.

CFturbo – программный продукт для интерактивного проектирования турбомашин. Программа позволяет создать первоначальную модель или модернизировать уже существующую геометрию. Процесс работы в CFturbo является пошаговым.

Flowmaster V7 позволяет выполнять нестационарные и стационарные расчеты несжимаемой и сжимаемой среды, а так же расчёты теплового анализа. Имеется библиотека стандартных компонентов, основанная на эмпирических и расчетных данных. Программа поддерживает методику моделирования, которая позволяет отдельным расчетным компонентам взаимодействовать и обмениваться информацией между собой, например, передавать граничные условия, такие как давление, температура или массовый расход. Существует возможность проводить линейные расчеты в комплексе с детальным 3D моделированием в трехмерных CFD кодах.

FlowVision – многоцелевая программа для компьютерного моделирования трехмерных течений жидкости и газа. Она основана на численном решении трехмерных стационарных и нестационарных уравнений динамики жидкости и газа, которые включают в себя законы сохранения массы, импульса (уравнения Навье-Стокса), уравнения состояния. Для расчета сложных движений жидкости и газа, сопровождаемых дополнительными физическими явлениями, такими, как, турбулентность, горение, контактные границы раздела, пористость среды, теплоперенос и так далее, в математическую модель включаются дополнительные уравнения, описывающие эти явления. Программный комплекс FlowVision разработан научно-исследовательскими организациями Российской Федерации.

Autodesk Simulation CFD предназначен для моделирования потоков жидкостей и процессов теплопередачи: моделирование высокоскоростных турбулентных и несжимаемых потоков, теплопроводности и процессов конвективного теплообмена. В основе программы лежат принципы взаимодействия жидкостей и газов с движущимися твердыми телами. Autodesk Simulation позволяет создавать виртуальную среду для моделирования взаимодействия компонентов насосов, вентиляторов, нагнетателей, компрессоров, задвижек, поршней и других механических устройств с потоками жидкостей. Программа формирует отчеты по всем физическим эффектам движения, а также динамике изменений во времени. Возможно, создавать анимационные ролики для изучения проекта и сравнения разных проектных вариантов.

Ansys - универсальная программная конечно – элементного анализа. Она существует и развивается на протяжении последних 30 лет. Продукт предназначен для решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций (включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций), задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей. Программа позволяет также проводить оптимизацию конструкции.

Сравнительный анализ рассмотренных продуктов представлен в таблице 1.

Таблица 1 Сравнительный анализ CAD/CAE систем для проектирования турбин

Программа	CFturbo	Flowmaster	FlowVision	AxStream	Simulation	ANSYS
Производитель	CFturbo Software & Engineering	Flowmaster Limited	ТЕСИС	SoftInWay	Autodesk Inc	ANSYS Inc.
Страна	Германия	Великобритания	Россия	США	США	США
Последняя версия, год	9 (2011)	7,5 (2009)	3 (2011)	3 (2011)	2013 (2012)	14 (2011)
Оф. сайт	cfturbo.de	flowmaster.com	flowvision.ru	softinway.com	autodesk.com	ansys.com
Тип системы	CAD/CAE	CAE	CAE	CAD/CAE	CAE	CAE
<b>Назначение</b>						
Осевые турбины	-	+	+	++	+	+
Радиальные турбины	++	+	+	++	+	+
Осевые компрессоры	-	+	+	++	+	+
Радиальные компрессоры	++	+	+	++	+	+
Насосы	+	+	+	-	+	+
Вентиляторы	++	+	+	-	+	+
Потоки	-	+	+	-	+	+
Особенности	Углы установки лопаток, анализ струек тока, профиль лопаток	Системы: топливные, кондиционирования, гидравлические, смазки, охлаждения, отопления.	Стационарные и нестационарные течения, горение, кинетика, лучистый теплообмен.	Цилиндры турбин, отдельных ступеней, анализ проточных частей, профилирование решеток.	Процессы теплопередачи, сверхзвуковые потоки, переходные и двухфазные потоки, кавитация.	Динамика и прочность, теплообмен, долговечность, электромеханика, междисциплинарный анализ.

++ - отмечены специализированные программы

На сегодняшний день представить современное производство без каких-либо средств автоматизации очень сложно. Каждое мелкое или крупное предприятие, так или иначе, сталкивается с системами автоматизированного проектирования. И в частности с CAD/CAE системами. Современные программы позволяют создавать и редактировать пространственные модели объектов практически неограниченной сложности.

УДК 621.165

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПЛОТНЕНИЯ ПОВОРОТНОЙ ДИАФРАГМЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ ТУРБИНЫ Т-100-130

Пантелей В.Е.

Научный руководитель – Пантелей Н.В., ст. преподаватель

В настоящее время все большее значение приобретает проблема энергосбережения и рационального использования энергоресурсов. Значительный резерв повышения экономичности топливоиспользования имеется в совершенствовании конструкций и режимов работы теплофикационных установок.

В паровых турбинах с регулируемыми отборами пара на промышленные нужды или на теплофикацию вместо регулирующих клапанов применяют поворотные диафрагмы, управляющие перепуском пара в последующие ступени низкого давления. Конструкция поворотных диафрагм совмещает функции разделения внутренней полости цилиндра на отсеки с различными параметрами пара и парораспределения (регулирование пропуска пара). Применение поворотных диафрагм упрощает конструирование цилиндров и позволяет выполнить одноцилиндровыми турбины с одним и двумя регулируемыми отборами пара. В зависимости от конструкции поворотные диафрагмы заменяют один, два и более поочередно открывающихся клапана.

Поворотная диафрагма теплофикационной турбины Т-100-130 выполняет роль одного дроссельного клапана. Турбина имеет двухпоточный ЦНД. В каждом потоке расположены по две ступени. Две поворотные диафрагмы управляют подводом пара к обоим потокам ЦНД. Поворотная диафрагма состоит из литой чугунной диафрагмы, выполненной из двух половин, скрепленных по горизонтальному разьему болтовыми соединениями. Направляющие лопатки со стороны входа имеют плоскую поверхность. Поворотное стальное кольцо, состоящее из двух соединенных по горизонтальному разьему половин, размещено перед диафрагмой со стороны входа пара. Окна в кольце расположены соответственно проходными сечениями направляющих лопаток. Для ограничения осевого перемещения поворотного кольца по периферической окружности размещены четыре планки. Поворот кольца осуществляется усилием через рычажную передачу, соединенную с серьгой. Реализация такой конструкции позволит существенно повысить экономичность работы теплофикационной турбины на режимах теплового графика за счет снижения до предельного минимума потерь теплоты пара, поступающего в конденсатор турбины, с охлаждающей циркуляционной водой.

При уплотнении поворотной диафрагмы за счет снижения  $D_k^{\min}$  происходит уменьшение потерь в холодном источнике, однако уменьшение вентиляционного пропуска ведёт к увеличению температуры разогрева пара, что отрицательно влияет на надёжность турбины. Очевидно, что уплотнение регулирующей диафрагмы нужно сочетать с применением схемы охлаждения ЧНД турбины. Способ приготовления охлаждающего пара основан на естественном парообразовании при вскипании перегретой воды за счет ее расширения сбросом давления. Для этого используется расширитель-сепаратор – один из ключевых элементов системы охлаждения. Он предназначен для получения охлаждающего пара заданного качества. Пар должен быть близким к насыщению и не иметь крупнодисперсной влаги. Эффект сепарации влаги определяется уровнем скоростей и давлений пара в расширителе-сепараторе. Дополнительные гарантии по качеству пара, кроме того, обеспечиваются его дросселированием непосредственно у охлаждаемой ступени на щели коллектора.

Экономия энергии, для определенной тепловой нагрузки при уменьшении вентиляционного пропуска:

$$\Delta Q_k(t_n) = Q_k^{d_k^{\min}=20}(t_n) - Q_k^{d_k^{\min}=4}(t_n),$$

При этом прирост экономии энергии за отопительный сезон можно оценить

$$\Delta Q_k = \int_{-3,5}^{-25} \Delta Q_k(t_n) \cdot \tau(t_n) dt_n,$$

Количество топлива сэкономленного за отопительный сезон:

$$B = \frac{\Delta Q_k}{\eta_{ПК} \cdot Q_p^H},$$

где:  $\eta_{ПК}$  - КПД парового котла;

$Q_p^H$  - низшая теплота сгорания.

Для оценки экономической эффективности проведен расчёт экономии топлива за отопительный период для режима с двумя задействованными теплофикационными отборами, для температуры наружного воздуха  $t_{нв} = -5 \dots -25, ^\circ\text{C}$ . Результаты расчета представлены в таблице.

Таблица 1- Результаты расчёта

$t_n, ^\circ\text{C}$	$Q_k^{d_k=20 \frac{\text{Т/ч}}{\text{ата}}}$ , кДж	$Q_k^{d_k=4 \frac{\text{Т/ч}}{\text{ата}}}$ , кДж	$dQ_k$ , кДж	$dB$ , т. у. т./ч	$N_{по}^{d_k=20}$ , КВт	$N_{по}^{d_k=4}$ , КВт	$dN_{по}$ , КВт
-25	22170,31	4477,49	17692,8	2,355	2177,6	2006,37	171,2
-18	17210,17	3484,1	13726,1	1,827	3167,89	2986,2	181,6
-12	13166,1	2670,6	10495,5	1,397	3978	3803	174,9
-5	8894,1	1806,8	7087,2	0,943	4713	4569,4	143,9

### Выводы:

В данной работе была оценена экономическая эффективность уплотнения поворотной диафрагмы турбины Т-110-130. В ходе расчёта было выявлено, что данное конструктивное решение позволяет за отопительный сезон сэкономить порядка 2000 тонн условного топлива. Следует, также отметить что, данный результат может быть немного завышен, так как при расчете модернизированного варианта турбины не учитывался расход тепла на перегрев части конденсата, поступающего в расширитель-сепаратор. Так же для более точной оценки необходимо учесть снижение вырабатываемой мощности ПО отсека на  $dN_{по} \approx 160 \text{ КВт}$ . С учётом данных допущений погрешность расчёта может составлять 15-20%. Несмотря на это результат расчета, позволяет с уверенностью обосновать целесообразность модернизации путём уплотнения поворотной диафрагмы турбины.

### Литература

1. Совершенствование схем и режимов работы теплофикационных паротурбинных установок/В.К. Балабановия; Полибиг. – Минск.-2000.
2. Паротурбинные энергетические установки ТЭС/ Е.А. Бойко, К.В. Баженов, П.А. Грачев; ИПЦ КГТУ. – Красноярск.-2006.

УДК 621.18-5

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВУХПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Маркова А.А.

Научный руководитель – Кравченко В.В., ст. преподаватель

Двухпозиционные системы регулирования или  $P_n$  - регуляторы являются одними из наиболее широко используемых в практике автоматического регулирования производственных процессов.  $P_n$  - регуляторы широко применяются в различных отраслях промышленности для регулирования температуры, уровня, давления и других технологических параметров.

Двухпозиционные системы автоматического регулирования сравнительно с системами, работающими по другим законам регулирования, обладают существенными достоинствами – простотой конструкции, дешевизной, надежностью работы, простотой настройки и обслуживания.

Как известно, при проектировании системы автоматического регулирования надо выбрать простейший по алгоритму, а, следовательно, наиболее дешевый и легкий в эксплуатации промышленный регулятор, который позволит обеспечить на данном объекте необходимое качество регулирования.

Так как  $P_n$  - регуляторы являются наиболее дешевыми и простыми регуляторами, то вопросы теории двухпозиционных систем регулирования и критерии их применимости заслуживают самого пристального внимания.

Между тем, незнание свойств и возможностей систем двухпозиционного регулирования нередко приводит к тому, что проектируются и монтируются системы автоматического регулирования со сложными законами регулирования, а затем в процессе эксплуатации эти сложные системы переключаются на двухпозиционное регулирование, обеспечивающее необходимое качество регулирования этих систем.

Поэтому изучение динамики двухпозиционных систем регулирования и методов улучшения качества регулирования этих систем являются весьма актуальными.

Экспериментальный стенд для исследования двухпозиционных систем регулирования состоит из двух подсистем. Одна из них позволяет проводить исследования, связанные с измерением расходов материалов, а также измерением и регулированием давления. Вторая подсистема предназначена для изучения вопросов, связанных с измерением и регулированием температуры. Стенд позволяет проводить исследования двух типов систем автоматического регулирования: температуры и давления, а так же используемых при этом регуляторов.

Гидравлическая схема стенда приведена на рисунке 1. Рисунок 2 иллюстрирует общий вид стенда.

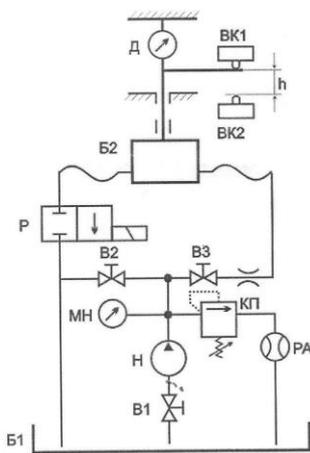


Рисунок 1 – Гидравлическая схема стенда

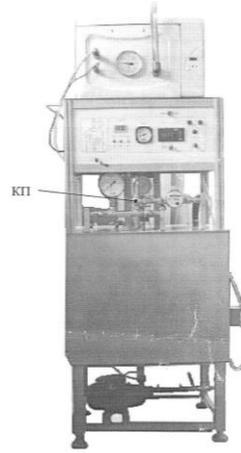


Рисунок 2 – Общий вид стенда

Для изучения вопросов, связанных с измерением и регулированием температуры, в состав схемы входят термокамеры.

Перед вводом стенда в эксплуатацию необходимо:

- заземлить стенд;
- заполнить бак стенда водой (уровень воды в баке должен быть примерно 0,25 м).

На стенде можно выполнять следующие работы:

#### 1. Измерение давления и расхода жидкостей и сыпучих материалов

Цель работы:

1) Изучение физических принципов, схем и устройств, используемых при измерении давления и расхода жидких и сыпучих материалов;

2) Экспериментальное определение давления и расхода материалов.

Экспериментальная часть:

1) Измерение давления (осуществляется с помощью манометра МН1):

- клапан КП настроить на максимальное давление срабатывания (достигается путём вворачивания регулировочного винта);

- вентиль В3 закрыть, а вентили В2 и В1 открыть (вентиль В1 на всасывании насоса должен быть открыт постоянно (тумблер SA4 в положении «Ручн.», тумблер SA1 в положение «Сеть», верхний тумблер в положении «Выкл.»));

- включить насосную установку и, прикрывая вентиль В2, установить ряд значений давления на выходе насоса (смотреть по манометру);

- оценить погрешность измерения давления;

- выключить насосную установку.

2) Измерение объёмного расхода:

- вентили В2 и В3 закрыть, клапан КП настроить на минимальное давление (вывернуть регулировочный винт);

- включить насосную установку (тумблер в положение «Сеть») и при различных настройках клапана КП измерить время  $t$  (с помощью электронного секундомера) прохождения через расходомер РА объёма воды  $W$  (10 литров). Используя результаты измерений, для каждого опыта определить объёмный расход ( $Q = W/t$ ).

3) Измерение весового расхода. Материал, расход которого необходимо измерять, подаётся перед смешиванием с другими материалами в специальный бункер или резервуар (на стенде бак Б2). В качестве материала, расход которого дозируется, на стенде используется вода, что обусловлено простотой подачи материала (по сравнению, например, с сыпучими материалами, для подачи которых потребовалось бы создавать более сложные системы (транспортёры, вакуумные насосы и т.д.)). В бак Б2 подаётся порция материала (воды), имеющая определённый вес).

Эксперимент проводится следующим образом:

- открыть вентиль В3, клапан КП настроить на максимальное давление срабатывания (ввернуть регулировочный винт);
- тумблер SA4 включить в положение «Авт»;
- включить насосную установку;
- при подаче воды в бак Б2 последний начнёт перемещаться вниз и при срабатывании концевого выключателя ВК2 насосная установка отключится. Одновременно с этим включится электроуправляемый клапан Р и вода начнёт вытекать из бака Б2 (тем самым имитируется подача дозированной порции материала в смеситель). При опорожнении бак Б2 перемещается вверх, что приводит к включению концевого выключателя ВК1, выключению клапана Р и включению насосной установки. Процесс дозирования воды будет в дальнейшем автоматически продолжаться. С помощью пружинного динамометра Д имеется возможность измерить вес порции дозируемого материала.

Приоткрывая вентиль В2, можно регулировать время заполнения водой бака Б2.

## 2. Измерение температуры, определение погрешностей измерений

Цель работы:

- 1) Изучение устройства приборов для измерения температуры;
- 2) Измерение температуры и определение погрешности измерения.

Для измерения температуры в термокамере используются:

- термометры расширения (спиртовой), манометрического типа, с биметаллическим чувствительным элементом;
- одноканальный измеритель-регулятор, в состав которого входит датчик температуры (датчик сопротивления).

Измеритель-регулятор позволяет измерять, а также регулировать (поддерживать на постоянном уровне) температуру в термокамере. Измеритель-регулятор микропроцессорный, программируемого типа с встроенным электромагнитным реле. Максимальный ток в цепи нагрузки (цепи управления ТЕНами термокамеры) – 8 А. Режим работы программируется с помощью специальных кнопок.

## 3. Изучение и исследование регуляторов температуры и давления

Цель работы:

- 1) Изучение устройства гидроклапана давления (КП) и одноканального измерителя-регулятора температуры;
- 2) Изучение методики программирования измерителя-регулятора температуры;
- 3) Экспериментальное определение характеристик гидроклапана давления (КП).

При определении характеристик гидроклапана давления (КП) эксперимент проводится следующим образом:

- 1) Вентили В2 и В3 – закрыты, а исследуемый клапан КП настроен на минимальное давление (винт вывернут);
- 2) Включается насосная установка (тумблер SA4 – в положении «Ручн», а вилка кабеля питания электродвигателя в розетку);
- 3) При различных настройках клапана КП измеряется давление на входе клапана (по манометру) и расход воды через клапан (расход измеряется с помощью расходомера РА и секундомера).

## 4. Исследование системы автоматического регулирования температуры

Цель работы:

- 1) Исследование системы автоматического регулирования температуры.

Объектом управления является термокамера. Для включения питания термокамеры тумблер (установлен сверху на панели) необходимо установить в положение «Вкл». С помощью измерителя-регулятора задаётся значение температуры, которую необходимо поддерживать в термокамере (рекомендуется задавать

температуру в пределах 60–80 °С). Далее измеряется время регулирования (время достижения заданной температуры), а затем – точность поддержания заданной температуры.

#### 5. Исследование системы автоматического регулирования давления

Цель работы:

1) Экспериментальное определение характеристик систем автоматического регулирования (стабилизации) давления.

Включается насосная установка и при различных настройках клапана давления (КП) определяется точность поддержания давления в системе. При проведении экспериментов вентиль В3 закрыт. При каждой настройке клапана КП, воздействуя на вентиль В2 и изменяя тем самым расход в сети, измеряется давление настройки клапана КП и точность поддержания этого давления.

Функциональная схема измерителя-регулятора температуры одноканального ОВЕН ТРМ1 изображена на рисунке 3 [1].

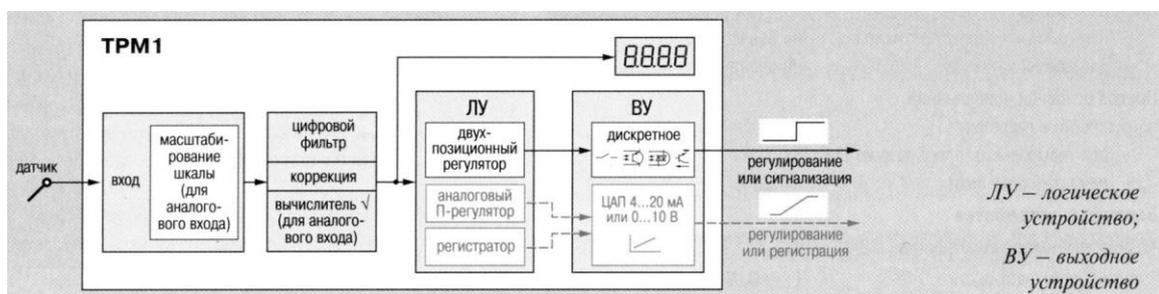


Рисунок 3 – Функциональная схема измерителя-регулятора одноканального ОВЕН ТРМ1

#### Выводы:

Экспериментальный стенд позволяет изучать основы физического эксперимента по исследованию двухпозиционных систем регулирования, методы улучшения качества регулирования двухпозиционных систем, измерения температуры, давления и расхода жидкостей и сыпучих материалов, регуляторы и системы автоматического регулирования температуры и давления, а также характеристики измерителя-регулятора.

#### Литература

1. Компоненты автоматизации ОВЕН. Разработка и производство. Каталог продукции 2008/2009.

УДК 621.18-5

## СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ПРОМЕЖУТОЧНОЙ РЕГУЛИРУЕМОЙ ВЕЛИЧИНОЙ

Кулик К.Ю.

Научный руководитель – Кулаков Г.Т., д.т.н., профессор

Системы автоматического регулирования (САР) с дифференцированием промежуточного сигнала широко используются в области автоматизации теплоэнергетических процессов [1-8]. Структурно-параметрическая оптимизация САР на базе модифицированного линейного упрядителя Смита позволяет повысить качество регулирования при основных возмущениях [9], однако данная структура системы требует реализации неполной и полной модели инерционного участка объекта регулирования с запаздыванием.

В связи с этим актуальной становится проблема структурно-параметрической оптимизации САР с использованием реальных пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов (РПИД) на базе микропроцессорных средств автоматизации [9].

Исходная структурная схема САР приведена на рис. 1.

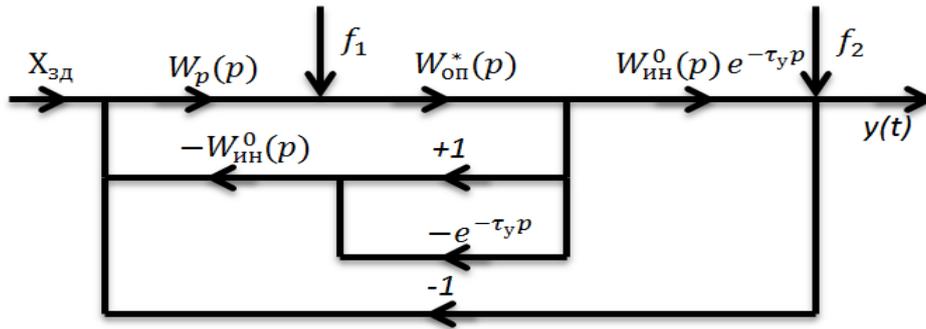


Рисунок.1. Структурная схема САР:

$W_p(p)$  – передаточная функция регулятора;

$W_{оп}^*(p) = \frac{K_{оп}}{T_{оп}p+1}$  – передаточная функция опережающего участка;

$W_{ин}^0(p) e^{-\tau_y p} = \frac{K_{ин} e^{-\tau_y p}}{T_{ин}p+1}$  – передаточная функция инерционного участка.

Передаточная функция стабилизирующего устройства:

$$W_{cy}(p) = W_{ин}^0(p)(1 - e^{-\tau_y p}) = \frac{K_{ин} \tau_y p}{(T_{ин}p+1)(\tau_y p+1)}, \quad (1)$$

где

$$(1 - e^{-\tau_y p}) = \frac{\tau_y p}{\tau_y p+1}. \quad (2)$$

Для выбора структуры основного регулятора используем передаточную функцию оптимального регулятора, которую находим по передаточной функции эквивалентного объекта регулирования:

$$W_{зкс}(p) = W_{ин}^0(p) \cdot W_{оп}^*(p) = \frac{K_{оп}}{(T_{оп}p+1)} \cdot \frac{K_{ин}}{(T_{ин}p+1)}. \quad (3)$$

Заданная передаточная функция системы при отработке задания:

$$W_{зд}(p) = \frac{1}{(T_{зд}p+1)^2}. \quad (4)$$

Оптимальная передаточная функция регулятора:

$$W_p^{opt}(p) = W_{зкс}^{-1}(p) \cdot W_{зд}^{pc}(p) = \frac{W_{зд}(p)}{W_{зкс}(p)} \cdot \frac{1}{1 - W_{зд}(p)}. \quad (5)$$

Подставив (3) и (4) в (5), получаем передаточную функцию реального ПИД-регулятора:

$$W_F^{opt}(p) = \frac{(T_{01}p+1)(T_{02}p+1)}{2K_{01}K_{02}T_{30}p(\frac{T_{30}p}{2}+1)} \sim \text{РПИД}. \quad (6)$$

Графики отработки скачка задания при различных значениях постоянной времени  $T_{30}$  заданной передаточной функции (4) приведены на рис. 2., а отработки внешнего возмущения – на рис. 3.

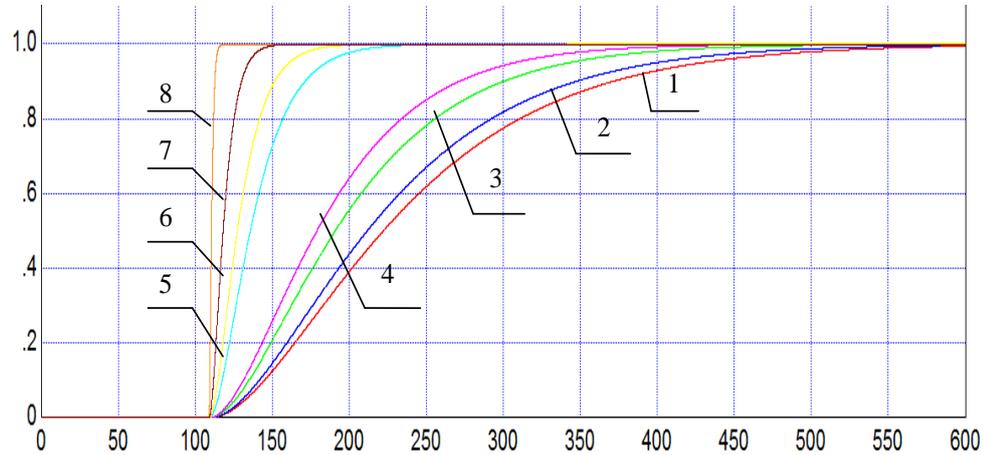


Рисунок 2. Графики отработки скачка задания  $X_{30}(t)$  при различных значениях  $T_{30}$

На рисунке обозначено:  $T_{30} = 0,618\tau_y$  – кривая 1;  $T_{30} = 0,56\tau_y$  – кривая 2;  $T_{30} = 0,44\tau_y$  – кривая 3;  $T_{30} = 0,382\tau_y$  – кривая 4;  $T_{30} = 0,146\tau_y$  – кривая 5;  $T_{30} = 0,1\tau_y$  – кривая 6;  $T_{30} = 0,05\tau_y$  – кривая 7;  $T_{30} = 0,009\tau_y$  – кривая 8.

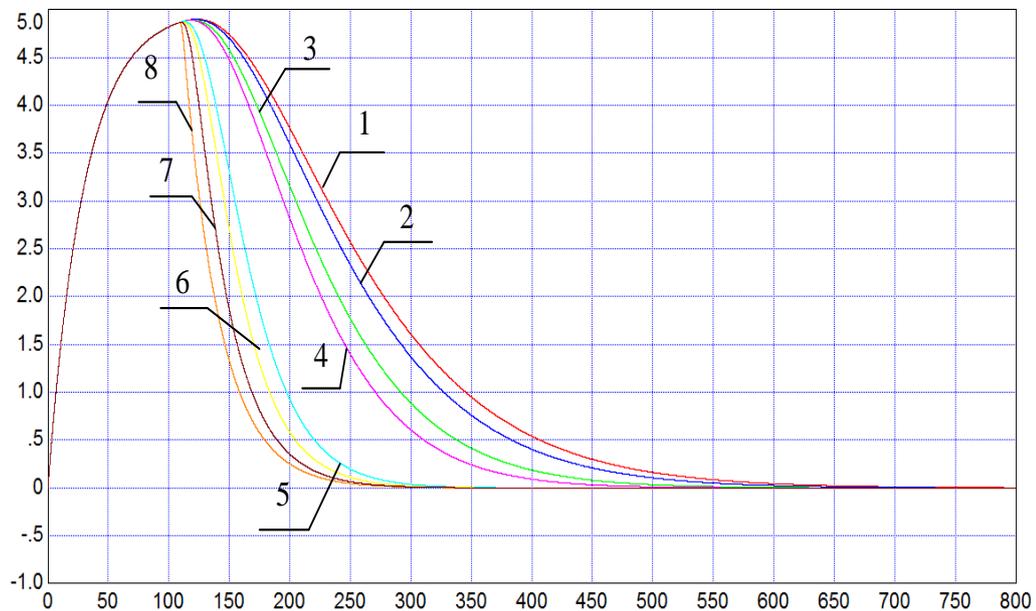


Рисунок 3. Графики отработки внешнего возмущения  $f_2(t)$  при различных значениях  $T_{30}$   
 На рисунке обозначено:  $T_{30} = 0,618\tau_y$  – кривая 1;  $T_{30} = 0,56\tau_y$  – кривая 2;  $T_{30} = 0,44\tau_y$  – кривая 3;  $T_{30} = 0,382\tau_y$  – кривая 4;  $T_{30} = 0,146\tau_y$  – кривая 5;  $T_{30} = 0,1\tau_y$  – кривая 6;  $T_{30} = 0,05\tau_y$  – кривая 7;  $T_{30} = 0,009\tau_y$  – кривая 8.

**Выводы:**

Предложен метод структурно-параметрической оптимизации САР с промежуточным сигналом, позволяющий значительно повысить качество регулирования при основных воздействиях с использованием реальных микропроцессорных ПИД-регуляторов: полное время регулирования при отработке сигнала задания стремится к  $\tau_y$ , а при отработке внешнего возмущения – к  $2\tau_y$ .

**Литература**

1. Плетнев, Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учеб. для студентов вузов / Г.П. Плетнев. – 4-е изд. – М.: Изд-во МЭИ, 2007. – 352 с.
2. Стефани, Е.П. Основы расчетов настройки регуляторов теплоэнергетических процессов / Е.П. Стефани. – 2-е изд. перераб. – М.: Энергия, 1972. – 376 с.
3. Ротач, В.Я. Теория автоматического управления / В.Я. Ротач. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 295 с.
4. Кузьмицкий, И.Ф. Теория автоматического управления: учеб. пособие для студентов специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» / И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. – Минск: БГТУ, 2006. – 486 с.
5. Кулаков, Г.Т. Комплексная методика оптимизации параметров динамической настройки регуляторов впрысков / Г.Т. Кулаков, М.Л. Горельшева // Энергетика Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2009. – № 3. – С. 59–66.
6. Кулаков, Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования: спр. пособие / Г.Т. Кулаков. – Минск: Вышейш. шк., 1984. – 192 с.
7. Смит, О.Дж. Автоматическое регулирование: пер. с англ. / О.Дж. Смит; под ред. Е.П. Попова. – М.: Физматгиз, 1962. – 848 с.
8. Кулаков, Г.Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования / Г.Т. Кулаков. – Минск: Технопринт, 2003. – 135 с.
9. Кулаков, Г.Т. Структурно-параметрическая оптимизация систем автоматического регулирования с дифференцированием промежуточного сигнала / Г.Т. Кулаков, А.Т. Кулаков [и др.] // Энергетика – Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2012. – № 3. – С. 64–71.
10. Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В.В. Денисенко. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009.

УДК 621.165

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПЛОТНЕНИЙ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Канарский Д.Ю., Римашевская Е.Д.

Научный руководитель - Качан С.А., к. т. н., доцент

Паротурбинные установки (ПТУ) тепловых электростанций, а также турбоагрегаты, входящие в состав парогазовых установок, являются базовым генерирующим оборудованием энергетики. Это обуславливает актуальность применения передовых технологий в проведении модернизации и реконструкции ПТУ для повышения их показателей. Одним из важных направлений работ по повышению надежности и экономичности паротурбинного оборудования является усовершенствование уплотнений.

В современных турбинах рабочие лопатки выполняются, как правило, с бандажами, что позволяет обеспечить эффективное уплотнение ступеней для снижения паразитных протечек пара [1 – 3].

Коэффициент расхода пара через надбандажные уплотнения радиального типа традиционной конструкции (рис. 1, а) зависит от радиального зазора в уплотнении. Выполнение малых радиальных зазоров в уплотнениях, как правило, не обеспечивает заданной эффективности их работы в течение всего срока эксплуатации, поскольку вследствие задеваний на реальных режимах (в особенности на пусках) уплотнения изнашиваются.

Разработаны и используются новые типы уплотнений, утечки через которые практически не повышаются со временем в процессе эксплуатации.

Снижение интенсивности эксплуатационного износа уплотняющих гребней возможно при внедрении осерадиальных надбандажных уплотнений, которые состоят из двух уплотняющих гребней на бандаже рабочих лопаток и двух пар гребней, закрепленных на козырьке диафрагмы (рис. 1, б).

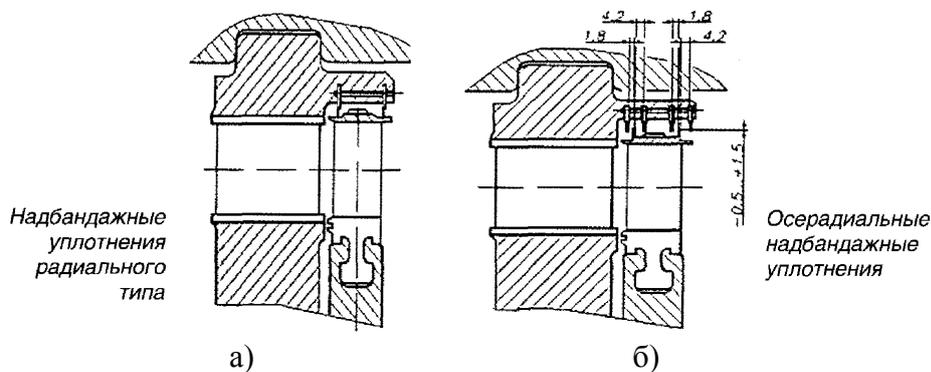


Рисунок. 1. Надбандажные уплотнения радиального (а) и осерадиального (б) типа

Отсутствие опасности задеваний, как при радиальном, так и осевом относительном смещении ротора и статора вследствие достаточной величины зазоров обеспечивает высокую степень сохранности уплотнений в условиях эксплуатации и приводит к увеличению средней экономичности турбоустановки в период между ремонтами.

Высокой эффективностью обладают многорядные (6 – 8 рядов и более) осерадиальные надбандажные уплотнения гребенчатого типа, имеющие уплотнительные усики как в статорной части, так и на бандаже с разными шагами.

Разные по величине шаги уплотнительных гребней на надбандажных козырьках и бандажных полках рабочих лопаток уменьшают в 4 – 5 раз периферийную надбандажную утечку пара, по сравнению с традиционным уплотнением, что дает существенный (до 2 – 2,5%) выигрыш в относительном внутреннем КПД ступени.

Снижение потерь от протечки обусловлено, как существенно большим числом гребней, так и возможностью выполнить примерно вдвое меньший радиальный зазор, что обусловлено наличием гарантированного зазора между гребнями ротора и статора и отсутствием опасности задевания между гребнями.

Наряду с обеспечением малых утечек новые осерадиальные уплотнения снижают опасность возникновения так называемых самовозбуждающихся (низкочастотных) колебаний ротора турбины.

Другим техническим решением является установка надлопаточных (надбандажных), концевых и диафрагменных уплотнений сотового типа взамен традиционных уплотнений (рис. 2, 3).

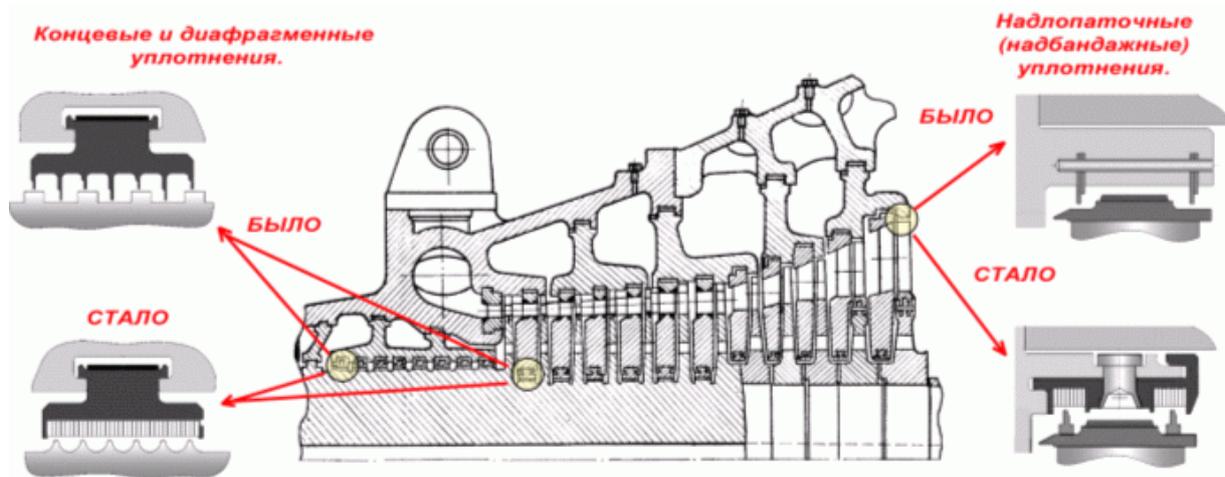


Рисунок 2. Область применения сотовых уплотнений

Сотовые уплотнения представляют собой набор вставок, состоящих из корпуса сот и закреплённых на нём посредством высокотемпературной пайки сотоблоков. Корпус сот изготавливается из жаропрочной стали. Сотоблоки формуются из жаростойкой хромоникелевой фольги толщиной 0,05 мм и имеют ячеистую структуру. При монтаже на турбину сотовые вставки набираются в кольца, которые устанавливаются в обоймы или диафрагмы.

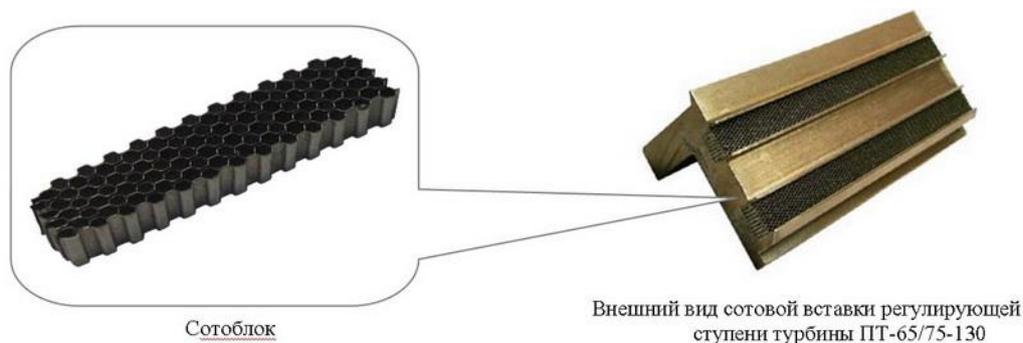


Рисунок 3. Конструкция сотовых уплотнений

Установка сотовых уплотнений позволяет уменьшить радиальные зазоры в уплотнении и достигнуть повышения внутреннего относительного КПД цилиндра на 1 – 2% сверх нормативного значения, и практически исключить вероятность повреждения деталей ротора и статора при их взаимном контакте.

В случае задеваний происходит прорезание канавки в сотах (рис. 4). Благодаря значительной теплоотводящей способности сот не происходит нагрева ротора. При дальнейшей эксплуатации сотовые уплотнения сохраняют свою работоспособность за счёт эффекта «перекрыши» без значительного снижения КПД.

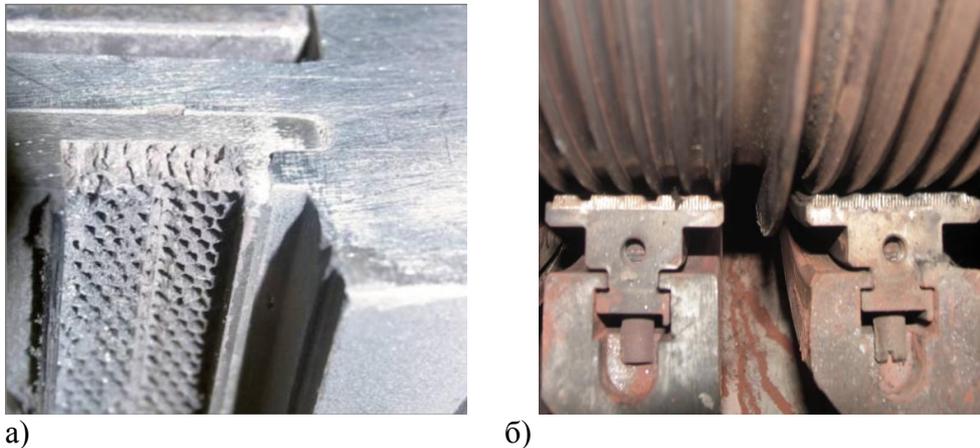


Рисунок 4. Выработка надбандажных (а) и концевых (б) сотовых уплотнений

Установка концевых сотовых уплотнений позволяет уменьшить обводнение масла, повысить маневренность турбоагрегата, снизить присосы воздуха в вакуумную систему и понизить расход пара на концевые уплотнения турбоагрегата.

В процессе оснащения турбин концевыми сотовыми уплотнениями предполагается доработка ротора, связанная со снятием поверхностного слоя материала и формированием галтелеобразных проточек. В результате этой операции убираются накопленные термоусталостные напряжения, и тем самым повышается надежность работы, увеличивается экономичность и срок службы уплотнений, снижаются затраты на последующие капитальные ремонты.

Новые уплотнения могут быть применены практически во всех турбинах в качестве надбандажных уплотнений не только для новых турбин, но и при реконструкциях и ремонтах. Сроки изготовления комплекта сотовых уплотнений около 3 месяцев, доработки (механическая, слесарная) проточной части энергоремонтным предприятием – не более 1,5 месяцев. Срок окупаемости не более 1,5 лет при сроке службы не менее 10 лет.

#### Литература

1. Трухний А.Д. Современная теплоэнергетика: электронная библиотека по энергетике. Росэнергосервис, 2004. (<http://lib.rosenergосervis.ru/sovremennaya-teploenergetika.html>).
2. Уральский турбинный завод. Модернизация паровых турбин и сервис (<http://www.utz.ru/cgibin/catalog>)
3. Научно-производственное предприятие АРМС. Комплексные технические решения (<http://www.armstech.ru/cat/opisanie>)

УДК 621.165

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Канарский Д.Ю., Римашевская Е.Д.

Научный руководитель - Качан С.А., к. т. н., доцент

Повышение экономичности, маневренности и надежности эксплуатируемого и вновь устанавливаемого на тепловых электростанциях (ТЭС) оборудования является актуальной научно-технической задачей теплоэнергетики. При этом совершенствование паротурбинных установок (ПТУ) – важный и универсальный способ повышения экономичности ТЭС.

Новейшие из паровых турбин по сравнению со спроектированными 10–15 лет назад при тех же параметрах и той же площади выхлопа обеспечивают повышение КПД ПТУ на 4,5–6,0% (относительных). Это соизмеримо с повышением экономичности за счет повышения начальных параметров паросилового цикла.

Совершенствование турбинной установки возможно за счет применения [1 – 3]:

- реактивного облопачивания в цилиндре высокого давления (ЦВД);
- саблевидных (банановидных лопаток), меридиального профилирования;
- радиально-осевого или тангенциального подвода пара;
- цельнофрезерованных бандажей и пр.

Повышение экономичности проточных частей паровых турбин основывается на современных теоретических и экспериментальных исследованиях по отработке турбинных решеток, как в лабораторных условиях заводов-изготовителей, так и в натуральных условиях действующих электростанций.

Применение комплексом прикладных программ, которые используются при проектировании и оптимизации конструктивного профиля проточных частей паровых турбин различных типоразмеров и предназначенных для различных условий эксплуатации, помогает выявлять конструкцию, обладающую высокими аэродинамическими качествами и обеспечивающую высокую экономичность, как для номинального, так и для переменных режимов работы установок.

Традиционно сопловые лопатки выполняются прямыми и устанавливаются радиально, что связано с простотой изготовления диафрагм. Саблевидные лопатки («банановые» и «трехмерные») - изогнутые и напоминают по внешнему виду саблю (рис. 1) [2].

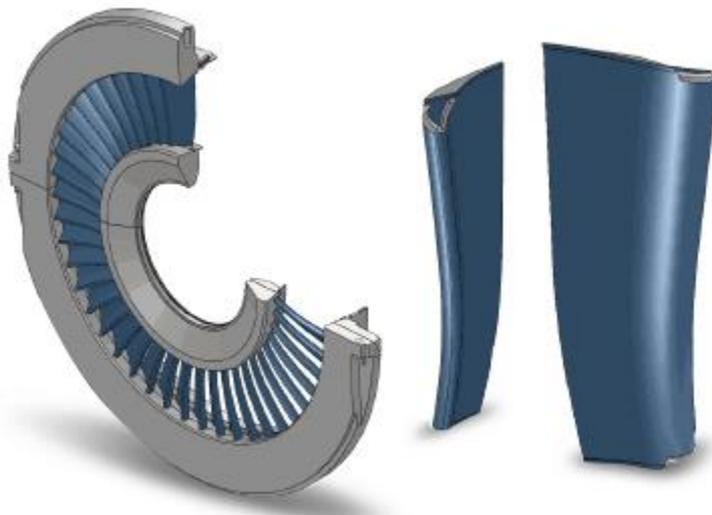


Рисунок 1. Диафрагма с саблевидными лопатками последнего отсека ЦВД

Выигрыш при использовании саблевидных лопаток возникает вследствие уменьшения доля пара, протекающего через корневую и периферийную зону ступени, где обтекание ступеней хуже. Наиболее эффективно их применение для последних ступеней цилиндров низкого давления (ЦНД) мощных паровых турбин: если все ступени ЦНД выполнить с саблевидными сопловыми лопатками, то КПД ЦНД возрастет на 1,5—2,5%, что с учетом доли выработки мощности в ЦНД даст выигрыш в экономичности всей турбины в 0,5—0,8%.

Можно использовать аналогичные «трехмерные» лопатки также для цилиндров высокого (ЦВД) и среднего (ЦСД) давления, где лопатки имеют малую длину, но зато относительно большую зону высоких потерь в корневой и периферийных зонах. Использование пространственных лопаток в ЦВД и ЦСД позволяет увеличить их КПД на 1—2%.

Для повышения КПД первых ступеней паровых турбин, которые имеют очень малую высоту сопловых и рабочих лопаток, используется меридиональное профилирование сопловых каналов, при котором верхний (меридиональный) обвод канала выполняется не цилиндрическим или коническим, а суживающимся. Такое профилирование дает относительное повышение КПД ступеней до 2-3%.

Отметим, что указанные способы аэродинамического совершенствования турбин, были предложены еще советскими учеными около 35 лет назад, но практически внедрены в реальные конструкции за рубежом [1].

Характерной особенностью ЦВД советских турбин является активный тип облопачивания ступеней с диафрагменно-дисковой конструкцией. При переходе к реактивному облопачиванию ЦВД (рис. 2) возможно повышение КПД на 5-8% на номинальном режиме в зависимости от типа турбины.

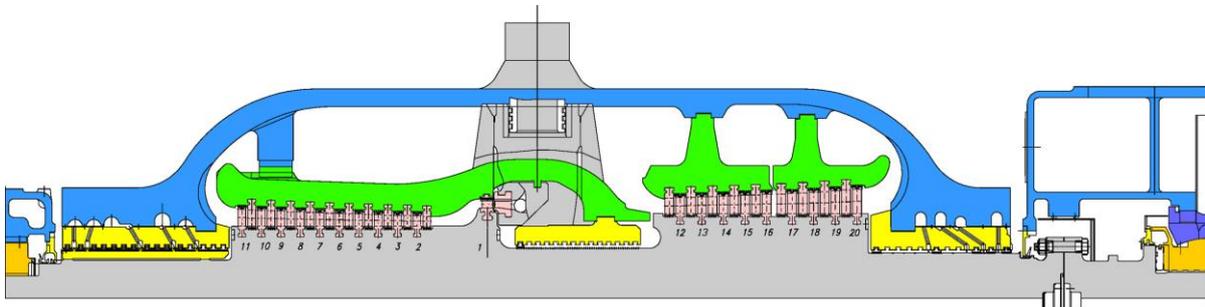


Рисунок 2. Двухпоточный ЦВД турбины К-300-240 с реактивным облопачиванием

Реактивное облопачивание позволяет улучшить обтекание рабочих решеток, снизить выходные потери, однако при этом повышаются потери от утечек и стоимость агрегата. Фирмы-производители применяют особые типы конструкции ЦВД с реактивным облопачиванием. Например «ствольная» или «горшковая» конструкция ЦВД Siemens обеспечивает почти полную осевую симметрию цилиндра, но требует при его монтаже и ремонте полного отсоединения паропроводов, сборки и разборки цилиндра и внутреннего корпуса с фальшцапфами, а также его кантовки и вертикальной сборки.

Отметим, что позиция фирм и заводов по выбору типа облопачивания (активного и реактивного) разная. Только анализ длительной эксплуатации, надежные технико-экономические сравнения того и другого типов облопачивания дадут оптимальное решение – и по надежности, и по КПД, и по стоимости изготовления.

Увеличение кольцевой площади выхода пара из турбины приводит к уменьшению потерь с выходной скоростью, пропорциональных квадрату площади выхода. Максимальную площадь выхода в 11,3 м<sup>2</sup> имела до недавнего времени турбина ЛМЗ К-

1200-240, рабочая лопатка последней ступени которой имеет длину 1,2 м при среднем диаметре 3 м и выполнена из титанового сплава. Несколько лет назад фирма Siemens создала новую лопатку с площадью выхода 12,5 м<sup>2</sup> при длине 1,143 м, выполненную из высокопрочной стали с содержанием хрома в 16%.

В настоящее время условиям работы ПТУ на переменных режимах придается большое значение, поэтому важной становится вопрос выбора оптимальной системы парораспределения. Традиционное сопловое парораспределение позволяет снизить концевую утечку, уменьшить число ступеней, облегчить условия охлаждения ЧВД в совмещенном ЦВСД. Вместе с тем очевидна большая надежность и экономичность работы энергоблока при скользящем давлении. В этом случае при дроссельном парораспределении и при всех нагрузках КПД нетто энергоблока повышается, а при сопловом – лишь при мощностях ниже примерно 70% номинальной.

Кроме перечисленных мер, направленных на улучшение экономичности турбины, можно указать на совершенствование аэродинамики пароподводящего тракта, стопорных и регулирующих клапанов, внутренних перепускных трактов, систем паровпуска и выпуска пара из цилиндров, выполнение регулирующей ступени с переменной дугой подвода пара и другое.

#### Литература

1. Трухний А.Д. Современная теплоэнергетика: электронная библиотека по энергетике. Росэнергосервис, 2004. (<http://lib.rosenergосervis.ru/sovremennaya-teploenergetika.html>).
2. КОМТЕКэнергосервис. Реконструкция паровых турбин (<http://www.comtec-energосervice.ru/products/rekonstrukcii-parovih-turbin/rekonstrukciya-turbin-s-celyu-snyatiya-ogranicheniy-po-ohlajdayushey-vode>).
3. Гаев В.Д. Основные направления модернизации паротурбинного оборудования ОАО «Силовые машины» при техническом перевооружении электростанций. // Конференция-семинар РАО ЕЭС «Инновационные технологии в энергетике». Тез. докл. конф. Москва, 2007.

УДК 621.438

## ПОДОГРЕВ ЦИКЛОВОГО ВОЗДУХА ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК ТЭС

Лебедев П.В.

Научный руководитель - Качан С.А., к. т. н., доцент

Парогазовые установки (ПГУ) находят широкое применение как при строительстве новых, так и при реконструкции действующих ТЭС, обеспечивая существенное повышение их тепловой экономичности.

Газотурбинная установка (ГТУ) является центральным элементом ПГУ, определяющим показатели работы всей комбинированной установки. Рабочим телом ГТУ является атмосферный воздух, поэтому его характеристики, в первую очередь температура  $t_{н.в.}$ , оказывают значительное влияние на работу как ГТУ, так и ПГУ.

Поскольку энергетические ГТУ большую часть жизненного цикла работают в режимах, отличных от номинального, т.е. при температуре наружного воздуха, отличной от стандартной по ISO  $t_{н.в.}^{расч} = +15^\circ\text{C}$  (рис. 1, [1]), на частичной нагрузке и т.д., требуются дополнительные мероприятия для обеспечения их надежной и эффективной работы ГТУ в нерасчетных условиях.

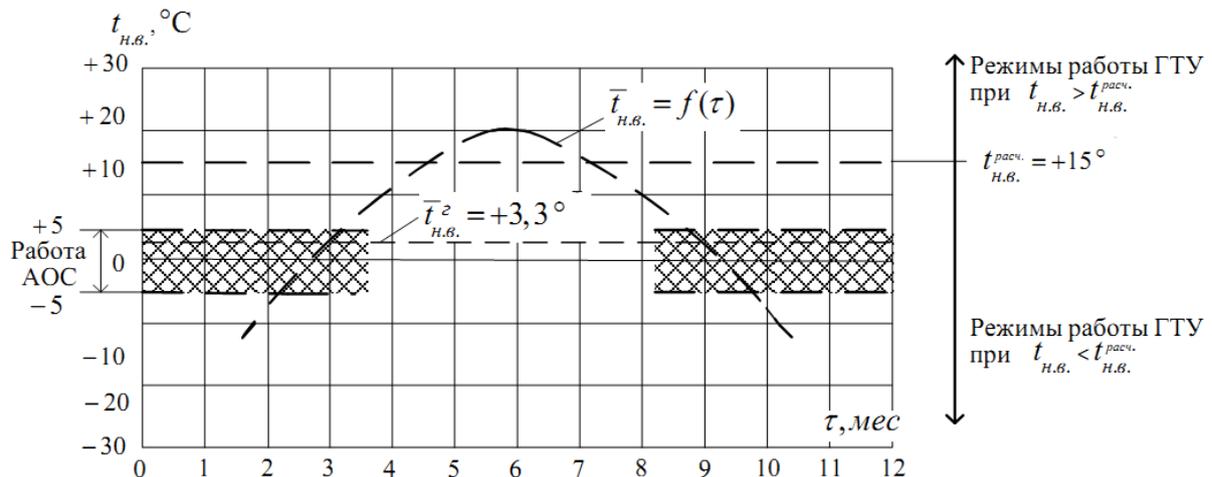


Рисунок 1. Режимы работы ГТУ в течение года в зависимости от  $t_{н.в.}$

Осевые компрессоры ГТУ оснащаются поворотными входными и направляющими лопаточными аппаратами, способными изменять проходные сечения воздушного тракта установки для изменения нагрузки ГТУ; имеются системы подогрева воздуха перед компрессором, обеспечивающие стабильную работу установки при низких температурах наружного воздуха.

При отрицательных температурах и повышенной влажности наружного воздуха возможно обледенение входного тракта комплексной воздухоочистительной установки (КВОУ) и лопаток компрессора. Опасность обледенения особенно велика, если при  $-5^\circ\text{C} < t_{н.в.} < +5^\circ\text{C}$  имеются осадки в виде морозящего дождя, тумана или мокрого снега. В этих условиях автоматически включается антиобледенительная система (АООС) для подогрева заборного, подводимого к ГТУ, воздуха до температуры, при которой не существует риска образования льда.

Часто это осуществляется за счет рециркуляции части сжатого горячего воздуха после компрессора на его вход. Этот способ подогрева существенно снижает экономичность и мощность ГТУ вследствие увеличения непроизводительной работы

компрессора. К тому же сжатый воздух при выходе из АОС принимает давление наружного воздуха, и, при расширении, снижает свою температуру.

Для повышения эффективности установки в [1] предлагается использовать для работы АОС горячий воздух укрытия ГТУ, подавая его непосредственно на вход фильтров КВОУ (рис. 2).

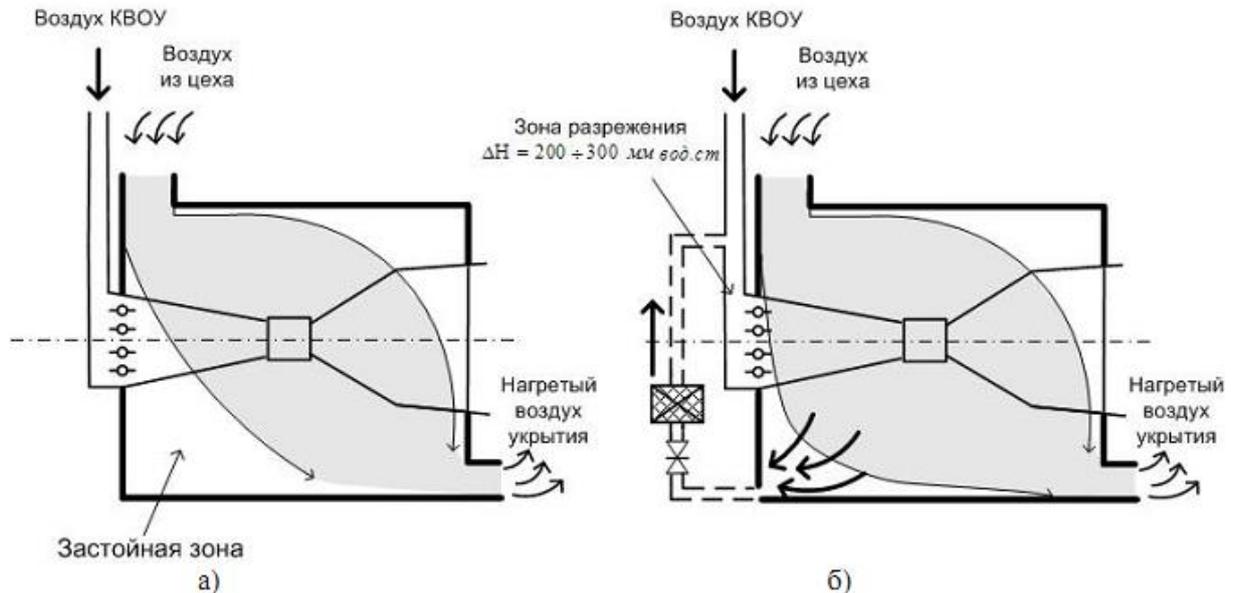


Рисунок 2. Схема подогрева воздуха перед КВОУ воздухом теплового укрытия:  
а – существующее решение; б – предлагаемое решение

Воздух, подаваемый из помещения главного корпуса (цеха) в укрытие, нагревается за счет тепловыделения газовой турбины и компрессора. Предлагается использовать разрежение перед входным направляющим аппаратом (ВНА) компрессора ( $\Delta H \approx 200 \div 300 \text{ мм вод. ст.}$ ) для направления сюда потока нагретого воздуха (рис. 2, б).

Поскольку в основном ГТУ работают на природном газе, есть возможность подогрева воздуха уходящими газами, в которых практически отсутствуют соединения серы, через теплообменник или путем смешения холодного воздуха и газов. При использовании этой схемы требуется дополнительное устройство (сепаратор) для улавливания конденсата водяных паров, содержащихся в рециркуляционных газах.

По данным [2] добавка 4-5% выходных газов в КВОУ позволяет повысить температуру воздуха перед компрессором на 15-20°C.

На ТЭС имеются и другие потоки низкопотенциальной теплоты, которые можно использовать для нагрева воздуха перед компрессором: отбор пара из паровой турбины, теплота прямой или обратной сетевой воды.

В этом случае подвод теплоты к воздуху на входе в КВОУ осуществляется через промежуточный замкнутый контур, в котором греющая среда, имеющая низкую температуру замерзания (например, водо-гликолевый раствор), подогревается низкопотенциальным паром или сетевой водой в промежуточном теплообменнике.

В [3] для подогрева воздуха перед ГТУ предлагается использовать «бросовую» теплоту, отводимую из конденсатора с охлаждающей водой, включив в схему ПГУ теплонасосную установку (ТНУ) (рис. 3).

Возможен также подогрев воздуха за счет электронагревателей.

По оценкам, каждый из перечисленных способов (кроме последнего) будет экономически оправдан в сравнении с подогревом воздуха в КВОУ воздухом, сжатым в

компрессоре. Так затраты при эксплуатации системы антиобледенения с подогревом воздуха тепловой воды ниже в несколько раз.

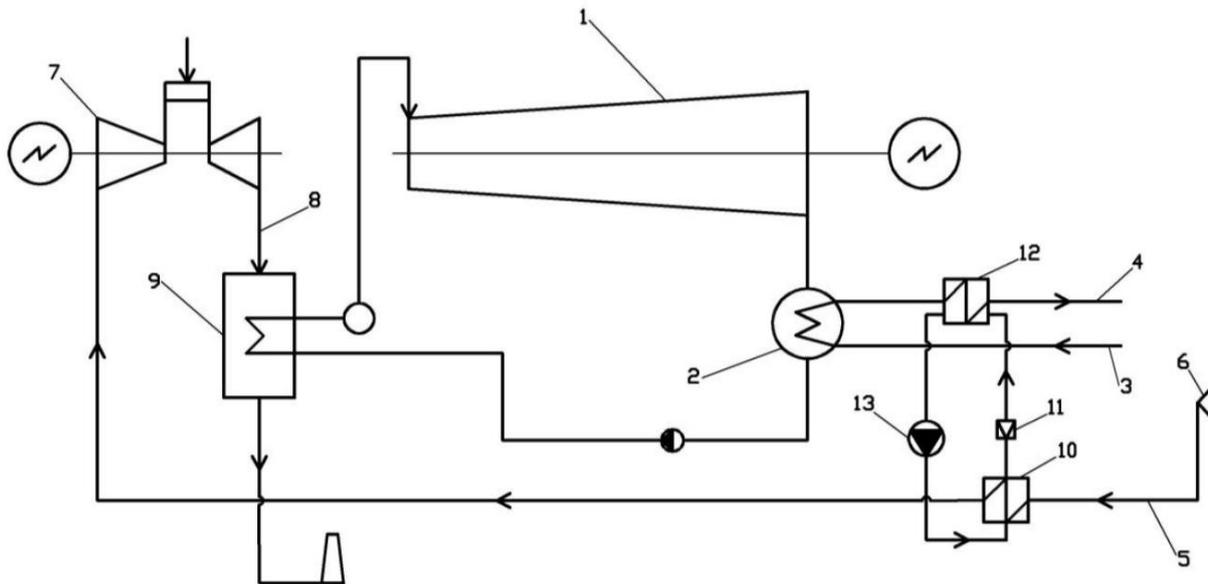


Рисунок 3. Схема ПГУ с теплонасосной установкой:

1 – паровая турбина; 2 – конденсатор; 3,4 – трубопроводы циркуляционной воды охлажденной и нагретой соответственно; 5 – воздуховод; 6 – воздухозаборное устройство; 7 – ГТУ; 8 – газоход; 9 – котел-утилизатор; 10 – конденсатор ТНУ; 11 – дросселирующее устройство; 12 – испаритель ТНУ; 13 – компрессор

### Литература

1. Рабенко В.С., Будаков И.В., Белоусов П.П. Повышение эффективности ГТД-110 при работе антиобледенительной системы // Энергетические машины и установки. - №3(7). – 2009. ([http://ispu.ru/files/8\\_19.pdf](http://ispu.ru/files/8_19.pdf))
2. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электрических станций. - М.: Изд-во МЭИ, 2002. - 584 с.
3. Замалеев М.М. Технологии повышения эффективности ТЭС с газотурбинными и парогазовыми энергетическими установками / Япаров И., Полянский И., Замалеев М.М. // Молодежный инновационный форум Приволжского федерального округа. Конкурс научно-технического творчества молодежи (НТТМ). Ульяновск, 2011 (<http://ify.ulstu.ru>)

УДК 621.165

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БЫСТРОХОДНЫХ И ТИХОХОДНЫХ ТУРБИН.

Зеленин Д.С., Асташов Д.С., Ботько Е.Н.

Научный руководитель – Карницкий Н.Б. д.т.н., профессор.

В настоящее время при создании паротурбинных установок мощностью 1000-1200 МВт для работы в составе блока АЭС с реактором ВВЭР применяются два типа паровых турбин: тихоходные и быстроходные. При этом практически все зарубежные фирмы (Альстом, Сименс, Турбоатом и др.) выпускают тихоходные турбины с частотой вращения 1500 об/мин. Опыт проектирования, изготовления и эксплуатации быстроходных турбин на такие параметры и мощность имеют только ОАО «Силовые машины» и «Шкода».

Сегодня существует мнение, что для мощных паровых турбин наиболее предпочтительным является использование тихоходных паровых турбин, имеющих большую площадь выхлопа и, соответственно, более экономичных из-за меньшей потери с выходной скоростью. В то же время при таком заключении остаются без внимания другие вопросы, связанные с особенностями конструкции и принципами работы тихоходных и быстроходных турбин.

Опыт проектирования паротурбинных установок большой мощности показывает, что при разработке тепловой схемы и выборе вспомогательного оборудования блока мощностью 1000-1200 МВт АЭС с реактором ВВЭР практически отсутствуют принципиальные трудности или отличия, связанные с использованием различного по быстроходности типа паровой турбины. В этом случае при формализованном сравнительном анализе двух типов паротурбинных установок представляется необходимым выявить основные особенности работы проточных частей быстроходных и тихоходных турбин при сравнительно близком конструктивном профиле тепловой схемы.

Выбор частоты вращения определяется сравнением турбин по надежности, по экономичности турбины и всей турбинной установки; по стоимости установки с учетом условий производства, транспортировки, монтажа и т. п.

Надежность лопаток можно сравнивать по расчетным напряжениям, вибрационным характеристикам и коэффициенту эрозии.

С уменьшением частоты вращения можно ожидать повышения экономичности и остальных ступеней ЦНД. Даже в ступенях с закрученными лопатками имеются потери «от веерности», вызванные неравномерностью по высоте скорости, перекосом меридиональных линий тока, расхождением расчета и действительного характера потока, увеличением протечки на периферии и т. д.

Поскольку из-за меньших окружных скоростей в тихоходном ЦНД каждая из ступеней и особенно последняя перерабатывают меньший теплоперепад, то разница в высотах соседних ступеней сокращается, что позволяет уменьшить неблагоприятно большой наклон периферийного меридионального обвода. Следует также учесть уменьшение потерь в решетках ЦНД из-за больших чисел  $Re$  и меньшей относительной шероховатости.

Имеются и другие причины повышения экономичности тихоходного ЦНД. К ним следует отнести улучшение сепарационной способности влагоулавливающих устройств и сокращение осевых зазоров в связи с уменьшением общей длины турбины. Последнее очень важно в ступенях большой веерности, где значительное расстояние между выходными кромками сопловых лопаток и входом в корневую зону рабочей решетки может усугубить радиальный отрыв потока. Следует добавить, что при малых

значениях коэффициента эрозии можно отказаться от больших осевых зазоров на периферии, необходимых для уменьшения эрозионного воздействия на рабочие лопатки.

Очевидно, что ряд факторов, вызывающих изменение КПД турбины при переходе на другую частоту вращения, невозможно учесть даже при конкретной проработке конструкции.

Анализируя экономичность всей турбинной установки, следует отметить, что дополнительные потери в ЧВД частично компенсируются за счет сокращения затрат тепла в системе сепаратор - перегреватель, а повышение КПД части низкого давления реализуется полностью.

Окончательное решение о выборе частоты вращения (при безусловном обеспечении надежности) определяется технико-экономическим расчетом. Переход на пониженную частоту вращения, как правило, требует больших затрат на изготовление турбоагрегата и строительную часть машинного зала. В то же время возрастает экономичность электростанции. При этом следует помнить, что несмотря на относительно низкую стоимость топливной составляющей выработанного 1 кВт·ч и различные возможности использования отработавшего ядерного горючего расчет следует производить по цене замещаемого топлива, т.е. топлива обычных ТЭС в данном районе. Поскольку определяющим параметром АЭС, от которого в первую очередь зависит ее стоимость, является тепловая мощность реактора, то снижение экономичности АЭС означает соответствующее снижение мощности нетто и выработки электроэнергии. Недостающая мощность должна либо покрываться строительством дорогих АЭС, либо компенсироваться работой обычных ТЭС на дорогом топливе.

#### Литература

1. Паровые и газовые турбины атомных электростанций: Учеб. пособие для вузов/ Б.М. Трояновский, Г.А. Филиппов, А.Е. Булкин – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 256 с., ил.
2. Турбины для атомных электростанций. – 2-е изд., перераб. и доп./ Б.М. Трояновский – М.: Энергия, 1978. – 232 с., ил.
3. Турбины тепловых и атомных электростанций. – 2-е изд., перераб. и доп./ А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 488 с., ил.

УДК 621.182

## ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КПД КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА ПО МЕТОДИКЕ М.Б. РАВИЧА ПРИ СЖИГАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ТОПЛИВ

Джежора С.Н.

Научный руководитель – Тарасевич Л.А., к.т.н., доцент

Составление теплового баланса по результатам периодически проводимых теплотехнических испытаний каждого котельного агрегата является частью общей задачи нормирования, учета и расхода топлива котельной установкой. Данные теплового баланса представляют характеристику экономичности котла. Объективность оценки определения КПД котлоагрегата является важным стимулом экономии топливно-энергетических ресурсов.

Существующие общие положения о порядке учета и контроля ТЭР не регламентируют методы анализа технического состояния и эффективности работы оборудования. Выбор методик обработки результатов теплотехнических испытаний осуществляется согласованным решением инженерно-технического персонала предприятия и специализированной наладочной организацией.

При определении КПД по различным методикам, как правило, получается неполное соответствие результатов. При использовании одних и тех же данных измерений невязка теплового баланса при подсчете КПД по различным формулам составляет обычно 0,2 - 0,3 %, а в некоторых случаях может достигать 1,0 - 1,5 %.

Таким образом, при неудовлетворительном выборе расчетного алгоритма оценка эффективности отдельных мероприятий по экономии топливно-энергетических ресурсов может оказаться искаженной.

В большинстве случаев по результатам теплотехнических испытаний котлоагрегата при определении КПД используется методика Равича М.Б.. В основе метода М.Б. Равича лежит ряд преобразований уравнений определения потерь с уходящими газами ( $q_2$ ) и потерь химической неполноты сгорания ( $q_3$ ).

Определение потерь  $q_4$ ,  $q_5$ ,  $q_6$  не отличается от нормативного метода. Определение КПД котлоагрегата вычисляется по обратному балансу.

Исходная идея преобразования уравнения определения потерь с уходящими газами заключается в формальной замене весьма малостабильной величины – теплоты сгорания топлива – значительно более постоянной для определения групп топлив характеристикой – жаропроизводительностью.

В этом случае формула М.Б. Равича определения потерь с уходящими газами имеет вид

$$q_2 = \frac{t_{yx} - l \cdot t_{вх}}{t_{макс}} \cdot [C' + (m-1) \cdot B \cdot K'] \cdot 100,$$

где  $m$  – коэффициент разбавления продуктов сгорания воздухом;  
 $l$ ,  $B$  – усредненные характеристики топлива, определяются по таблицам в зависимости от вида топлива;

$C'$ ,  $K'$  – поправочные коэффициенты, зависят от температуры продуктов сгорания;

$t_{макс}$  – индивидуальная топливная характеристика.

Таким образом, вместо громоздких вычислений удельных объемов и энтальпий продуктов сгорания в данном методе используются две обобщенные характеристики  $t_{макс}$  и  $B$  и два табличных параметра.

Однако рациональность исходной идеи скомпрометирована рядом искусственных упрощений, вводимых автором метода с целью сохранения компактности расчетной формулы для  $q_2$ . По приведенным в работе [1] оценкам сжигания газообразных топлив и мазута в сопоставлении с нормативным методом среднее отклонение  $\Delta q_2$  в сторону

преуменьшения составляет 0,17 %, в сторону преувеличения - 0,13 %. Соответственно с обратным знаком вносится методическая погрешность в оценку фактического КПД топливоиспользующего агрегата.

Ввод коэффициента  $l$  вносит уточнение в определение  $q_2$  при эксплуатационных значениях коэффициента избытка воздуха ( $\alpha$ ) в пределах 1,0-1,2. Если по каким-либо причинам топливо сжигается с более высоким  $\alpha$ , то расчетная потеря тепла оказывается заметно завышенной против фактической.

Особенно велико значение методической погрешности для забалластированных топлив. Так в случае индивидуального сжигания доменного газа при  $t_{ex}=30^\circ\text{C}$  расчетная потеря тепла с уходящими газами занижена на 0,95 %. Соответственно КПД котла или нагревательной печи оказывается искусственно завышенным примерно на 1 %.

Дополнительная погрешность определения  $q_2$  по методу М.Б.Равича возникает в результате необоснованного усреднения значений  $t_{max}$  для некоторых видов топлив. Эта составляющая общей погрешности особенно заметна при сжигании забалластированных топлив и мазута. Во всех практических расчетах для доменного газа однозначно принимается  $t_{max} = 1470^\circ\text{C}$ . Однако как показал статистический анализ состава доменных газов по 22 металлургическим заводам, действительное значение  $t_{max}$  изменяется от 1400 до  $1535^\circ\text{C}$ .

Очевидно, что при принятии к расчету среднего значения  $t_{max}$  для отдельных потребителей доменного газа систематическая относительная погрешность определения  $q_2$  может достигать 4,8 %, а дополнительная абсолютная погрешность определения КПД – 0,5 %.

Рекомендуемое [2] для мазутов значение  $t_{max} = 2100^\circ\text{C}$  относится к обезвоженному мазуту марок М40 и М100. Используя справочные данные о теплоте сгорания и о теоретических удельных объемах продуктов сгорания нетрудно убедиться, что при сжигании мазутов различных марок с механическим распыливанием значение  $t_{max}$  составляет  $2060-2140^\circ\text{C}$ , а при паровом распыливании снижается –  $1990-2030^\circ\text{C}$ . В последнем случае относительная погрешность определения  $q_2$  составляет около 4 %, а КПД оказывается завышенным в среднем на 0,4 %.

Поэтому в условиях ужесточения требований к экономии топливно-энергетических ресурсов практическое использование формулы М.Б. Равича определения потерь с уходящими газами рекомендуется применять в большей степени для предварительной оценки с дальнейшим уточнением по нормативному методу.

#### Литература

1. Равич М.Б. Эффективность использования топлива. – М.: Наука, 1977. – 344 с.
2. Янкелевич В.Я. Наладка газомазутных промышленных котельных. – М.: Энергоатомиздат, 1988 – 216 с.

УДК 658.264

## ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА

Яцко М.А.

Научный руководитель – Тарасевич Л.А., к.т.н., доцент

На предприятиях большой и малой энергетики в эксплуатации находится большое количество теплообменного оборудования, которое работает в различных температурных условиях. В качестве греющего агента применяется пар, горячая вода, нагретые продукты нефтепереработки и других производств. От состояния поверхности нагрева теплообменного оборудования зависит эффективность его работы.

Загрязнения поверхности нагрева теплообменного оборудования различными отложениями резко снижают коэффициент теплопередачи и это приводит к значительному увеличению расхода тепла. Характер отложений на теплообменной аппаратуре зависит от свойств греющего агента и нагреваемой среды.

Количество тепла  $Q$ , передаваемого от греющего агента нагреваемой среде, определяется по формуле

$$Q = k * F * \Delta t,$$

где:  $k$  - коэффициент теплопередачи,  $Вт/(м^2 * °C)$ ;

$F$  - температурный напор,  $°C$ ;  $\Delta t$  - поверхность теплообмена,  $м^2$ .

**Связь коэффициента теплоотдачи, коэффициента теплопроводности материала стенки теплообменной поверхности и слоя загрязнений с коэффициентом теплопередачи выражается уравнением**

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_n - d_{вн}}{\lambda_{ст}} * \frac{d_{вн}}{d_{ср}} + \frac{\delta}{\lambda_3} * \frac{d_n + 2 * \delta}{d_{ср.з}} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где:  $\alpha_1$  - коэффициент теплоотдачи внутри теплообменной трубы,  $Вт/(м^2 * °C)$ ;

$\alpha_2$  - коэффициент теплоотдачи снаружи теплообменной трубы,  $Вт/(м^2 * °C)$ ;

$d_{вн}$  - внутренний диаметр теплообменной трубы,  $м$ ;

$d_n$  - наружный диаметры теплообменной трубы,  $м$ ;

$d_{ср}$  - средний диаметр теплообменной трубы,  $м$ ;

$d_{ср.з}$  - средний диаметр слоя загрязнений,  $м$ ;

$\delta$  - толщина слоя загрязнений,  $м$ ;

$\lambda_{ст}$  - коэффициент теплопроводности материала теплообменных труб,  $Вт/(м * °C)$ ;

$\lambda_3$  - коэффициент теплопроводности загрязнений,  $Вт/(м * °C)$ .

Эту формулу можно представить в следующем виде

$$k = \frac{1}{R_1 + R_{ст} + R_3 + R_2},$$

где:  $R_1$  - термическое сопротивление со стороны внутренней стенки трубы;

$R_{ст}$  - термическое сопротивление материала стенки трубы;

$R_3$  - термическое сопротивление слоя загрязнений;

$R_2$  - термическое сопротивление со стороны наружной стенки трубы.

Для определения влияния отложений на коэффициент теплопередачи от стенки трубы к нагреваемой жидкости (для теплообменника-подогревателя мазута) произведены расчеты при различной толщине загрязнений. Результаты этих расчетов приведены в таблице.

$\alpha_2,$ $\frac{Вт}{м^2 * °С}$	$\delta = 0$	$\delta = 0.1мм$	$\delta = 0.3мм$	$\delta = 0.5мм$	$\delta = 1.0мм$	$\delta = 1.5мм$	$\lambda,$ $\frac{Вт}{м * °С}$
	$k,$ $\frac{Вт}{м^2 * °С}$						
290	276.1	223.9	160.1	120.6	77.5	55.7	0.12
174	170.5	148.5	118.3	94.6	65.8	49.9	
58	56.8	54.5	49.9	45.2	37.1	31.3	
290	276.1	244.6	200.1	167	121.5	92.8	0.23
174	170.5	157.5	136.9	120.6	94	76.1	
58	56.8	56.0	52.2	55.6	45.4	40.5	
290	276.1	256.4	223.9	197.2	149.6	118.3	0.35
174	170.5	162.4	148.5	136.9	112.5	94	
58	56.8	56.8	54.5	52.9	48.7	45.2	
290	276.1	261	303.9	211	168.2	139.2	0.46
174	170.5	164.7	154.3	143.8	121.8	105.6	
58	56.8	55.7	55.3	53.9	50.6	47.6	

Из таблицы видно, что значение коэффициента теплопередачи значительно снижается в зависимости от толщины загрязнений.

Например: для коэффициента теплоотдачи от поверхности трубы  $\alpha_2 = 58 \text{ Вт}/(\text{м}^2 * \text{°С})$  и коэффициента теплопроводности загрязнений  $\lambda_3 = 0.12 \text{ Вт}/(\text{м} * \text{°С})$  коэффициент теплопередачи для труб с толщиной загрязнений  $\delta = 1.5 \text{ мм}$  в сравнении с чистой поверхностью трубы снижается на 45%.

Эффективным средством очистки поверхностей теплообмена от загрязнений является применение ультразвуковой аппаратуры. Способ ультразвуковой очистки заключается в применении упругих колебаний ультразвуковой частоты, возбуждаемых импульсным генератором и передаваемых объекту очистки с помощью магнитострикционного преобразователя, который приваривается к крышке теплообменника или к трубной доске.

Ультразвуковой способ очистки был применен на подогревателях мазута. Магнитострикционные преобразователи установлены по продольной оси теплообменника в центре передней крышки, соединены с трубной доской. Нагрев мазута осуществляется паром при давлении 0.6 МПа с температурой 170<sup>0</sup>С. Подогреватели подвергались чистке отложений 1 раз в 5 - 6 месяцев. Расход пара на подогрев 1 т мазута до внедрения ультразвуковой очистки составлял 0.122 т или 0.288 ГДж/т. Расход пара на подогрев мазута после внедрения ультразвуковой очистки составил 0.0676 т/т или 0.159 ГДж/т. Снижение расхода пара составило 45%.

**Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что применение ультразвуковой очистки на теплообменном оборудовании позволяет существенно улучшить экономические показатели работы теплообменного оборудования.**

#### Литература

1. Багиров И.Т., Кардаш И.М. Снижение энергозатрат на нефтеперерабатывающих заводах. – М.: Химия, 1972.

УДК 621.184

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Яцко М.А.

Научный руководитель – Тарасевич Л.А., к.т.н., доцент

Резервы энергосбережения в системах отопления жилых зданий следует искать в управлении процессами вентиляции зданий. Полностью контролируемая приточно-вытяжная вентиляционная система делает экономически целесообразным переход к воздушному отоплению в зданиях. В этом случае пропадает необходимость в монтаже дополнительной инженерной системы водяного отопления для обогрева жилых помещений.

Для жилых зданий предыдущего поколения использование системы воздушного отопления было нецелесообразно по нескольким причинам. Объясняется это тем, что температура теплоносителя в системах воздушного отопления ограничена  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , для решения задачи достаточного обеспечения теплом уровень воздухообмена повышался до 3-5 кратного значения по сравнению с необходимым для целей проветривания помещений. Это приводило к существенному увеличению уровня теплопотерь зданий, а также к уносу влаги из помещений и снижению относительной влажности до 20-30 %. Такой уровень влажности приводил к повышенной электризации и запыленности воздуха в помещениях, что стимулировало увеличение количества заболеваний дыхательной системы, а также увеличивало количества аллергенов в атмосфере помещений.

При современных требованиях к теплозащите ограждающих конструкций после реконструкции уровень теплопотерь здания существенно уменьшится, соответственно снизится и необходимый объем воздуха в системе воздушного отопления.

Для зданий существующего жилого фонда легко рассчитать теплопотери через ограждающие конструкции в пересчете на  $1\text{ м}^2$  жилой площади. Для 9-этажного здания с высотой этажа 2.5 м и площадью горизонтального сечения  $825\text{ м}^2$  при  $R_{оп} = 1\text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$  и  $R_{ок} = 0.4\text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$  и при 20-и процентном остеклении теплопотери с воздухообменом для расчетной наружной температуры  $T_{нр} = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$  и для средней за отопительный период температуры наружного воздуха  $T_{н.ср} = -1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  в расчете на  $1\text{ м}^2$  жилой площади (50 % от общей) при номинальном воздухообмене ( $V_0 = 3\text{ м}^3/\text{ч}$ ) в схеме воздушного отопления без рекуперации воздуха в % от полных теплопотерь составляют

37% при  $T_n = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 37 % при  $T_n = -1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 

**Рассмотрим ситуацию, когда 60 % тепла, уносимого воздухообменом из помещения, возвращается обратно.**

С рекуперацией тепла уходящего воздуха система отопления имеет вид (рис. 1)

На вход системы отопления поступает воздух, подогретый до температуры  $T_2$ .

При этом, потребление тепла из теплосети уменьшится на величину возвращаемого тепла.

Таким образом, чтобы при номинальном воздухообмене ( $V_0 = 3\text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1\text{ м}^2$  жилой площади) обеспечить температуру воздуха в помещении  $T_0 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  при  $T_1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$  необходимо увеличивать термосопротивление ограждающих конструкций и окон.

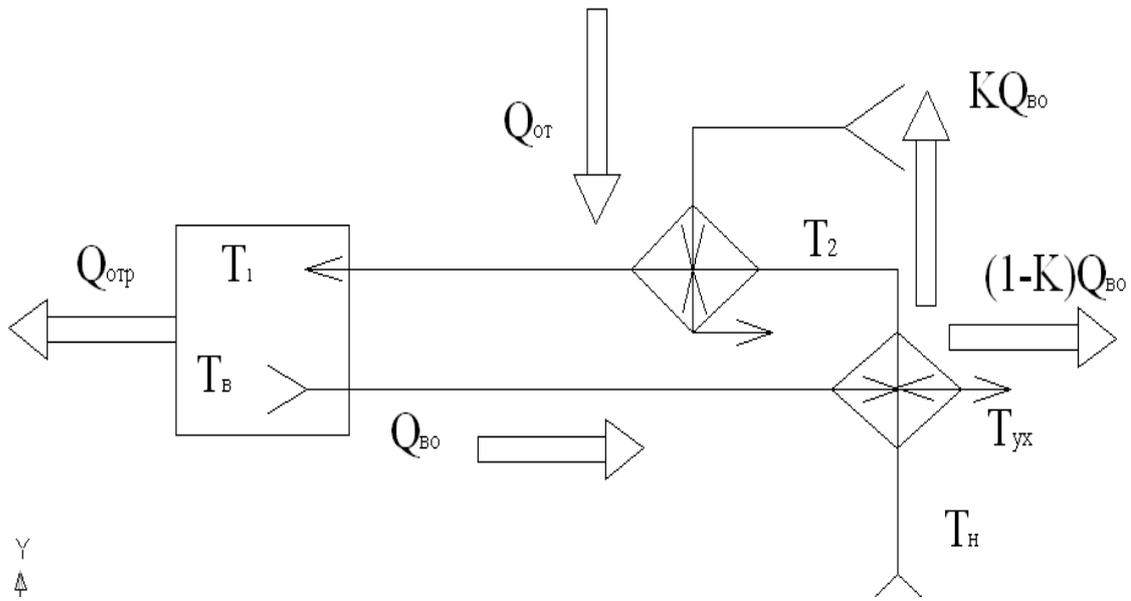


Рисунок 1 Схема воздушного отопления с рекуперацией уходящего воздуха

В таблице 1 приведены рассчитанные значения термосопротивления ограждающих конструкций для обеспечения температуры воздуха в помещении  $T_g = 20$  °С при номинальном ( $3 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $\text{м}^2$ ) воздухообмене.

Таблица 1

$T_n, ^\circ\text{C}$		-25	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10
$R_{орг}, \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	$R_{ок} = 0,4$	18,82	9,07	5,44	3,55	2,39	1,6	1,03	0,6
	$R_{ок} = 0,5$	7,47	5,23	3,78	2,76	2	1,42	0,95	0,58
	$R_{ок} = 0,6$	5,3	4,08	3,14	2,4	1,8	1,3	0,9	0,56
	$R_{ок} = 0,7$	4,42	3,53	2,8	2,2	1,69	1,25	0,88	0,55

Полученные результаты показывают, что воздушное отопление помещений для зданий с низким потреблением энергии для отопления вполне можно совместить с системой воздухообмена.

Требуемое термосопротивление ограждающих конструкций вполне согласуется с цифрами, рассчитанными для зданий, не требующих отопления часть существующего в настоящее время отопительного сезона.

### Литература

1. Л. Н. Данилевский. Необходимые условия реализации проекта "Пассивный дом" в Республике Беларусь. Белорусский строительный рынок. - № 8, 2002 г.
2. М. М. Апарцев. "Наладка водяных систем централизованного теплоснабжения". Москва. Энергоавтомиздат, 1983 г.

УДК 621.165

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН ТЭС И АЭС

Ботько Е.Н., Жуковская А.А.

Научный руководитель – Нерезько А.В., ст. преподаватель

Многолетний опыт работы ТЭС и АЭС показывает, что высокая гидравлическая плотность конденсатора, является важным фактором обеспечения надежной и экономичной работы всей турбоустановки и энергоблока в целом. В первую очередь это связано с тем, что присосы охлаждающей воды провоцируют коррозионное растрескивание элементов парогенератора, и коррозионные повреждения элементов проточной части паровой турбины. Не меньшее влияние оказывает конденсатор и на экономические показатели турбоустановки в связи с ухудшением вакуума.

В условиях возросших требований к надежности оборудования ТЭС АЭС, и большими убытками, вызываемыми разгрузками или остановками турбин, связанные с нарушением гидравлической плотности, особенное значение придается обеспечению эффективной и надежной работа конденсационных установок.

Очевидно, что наличие блочной обессоливающей установки (БОУ) не снимает задачу обеспечения высокого качества теплоносителя. Более того, применение БОУ требует значительно больших дополнительных затрат, чем использование высокоплотных конденсаторов.

Надежная и экономичная работа конденсатора достигается:

- предотвращением образования отложений и поддержанием чистоты внутренней поверхности трубок
- снижением скорости коррозионных процессов конструкционных материалов
- своевременной диагностикой состояния трубной системы;
- усовершенствованием конструкции.

Поддержание чистоты поверхности трубок конденсатора обеспечивается правильностью выбора водно-химического режима и проведением очисток поверхностей теплообмена с оптимальной периодичностью. В таблице 1 представлены известные химические и физические методы очистки теплообменных аппаратов, с учетом вида отложений.

Таблица 1 – Методы очистки теплообменных аппаратов

Методы и средства очистки	Виды отложений		
	накипные	механические	биологические
Химическая очистка	+	-	-
Механическая очистка	+	+	+
Установка высокого давления	+	+	+
Гидравлический пистолет	-	+	+
Очистка пористыми шариками	+	-	+
Водовоздушная очистка	-	+	+
Термическая и вакуумная сушка	-	-	+
Скоростная промывка	-	+	+
Электро-гидроимпульсная очистка	+	-	-

Примечание: + используется; - не используется.

Выбор метода и технологии очистки теплообменного аппарата должен производиться с учетом его конструктивных особенностей, видов и причин загрязнения поверхностей, однако ни один из приведенных в таблице методов очистки нельзя отнести к оптимальному. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки и должен выбираться с учетом всех специфических особенностей работы конденсационных установок.

Применение новых конструкционных материалов с учетом особенностей конструкции конденсатора и исследований качества охлаждающей воды позволит снизить скорость коррозионных процессов. В настоящее время применяются коррозионностойкие металлы изображенные на рисунке

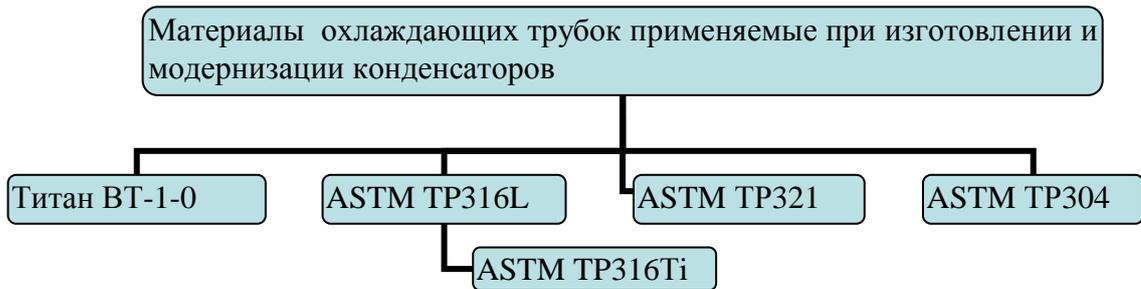


Рисунок 1 - Материалы охлаждающих трубок применяемые при изготовлении и модернизации конденсаторов

Выбор конкретно типа конструкционного материала определяется на основании показателей качества охлаждающей воды, конденсата и технико-экономического обоснования.

К мероприятиям, направленным на повышение эффективности и надежности работы установки можно отнести своевременную диагностику состояния трубной системы конденсатора. Из основных методов диагностики применяемых на ТЭС и АЭС можно выделить:

вихретоковый контроль с помощью зонда, перемещающегося внутри трубки по всей геометрической длине. Позволяет определить размеры дефекта с точностью до + 0,2 мм. Метод дорогостоящий, применим только во время ППР.

ультразвуковой микрофон ТУЗ-5М позволяет определить зону нахождения дефектных трубок (единичная трубка детектируется с трудом т.к. микрофон чувствителен к посторонним шумам). Прибор выполнен не герметичным и после нескольких поисков во влажной атмосфере один из двух приборов отказал.

контроль целостности трубок методом залива парового пространства конденсатора водой - только в ППР и только для потоков нижнего яруса;

поиск дефектных трубок под вакуумом при помощи тонкой полимерной пленки толщиной 3мкм. - по окончании ППР и периодически во время работы блоков (при ухудшении ВХР в конденсаторосборниках);

- исследование демонтированных трубок в лаборатории металлов.

Совершенствование конструкции конденсационных установок осуществляется на основе расчетно-экспериментальных разработок, конструкторско-технологических решений и опыта эксплуатации. Среди основных мероприятий можно выделить:

- обеспечение надежности и плотности закрепления труб (развальцовка и обварка охлаждающих труб в основных трубных досках)
- устранение влияния на герметичность конденсатора разности тепловых расширений охлаждающих труб и корпуса (применение линзового компенсатора);
- предотвращение стояночной коррозии (применение наклона труб);

- правильный выбор пролётов между трубными перегородками с целью уменьшения вибрации и применением эффективной компоновки трубных пучков обеспечивающих умеренные скорости пара;
- применение эффективной модульной компоновки трубных систем;
- организация приёма паро-водяных потоков вводимых в конденсатор с целью ликвидации размывов охлаждающих труб;
- поставкой трубных пучков блоками полной заводской готовности с обеспечением необходимого контроля и высокого качества.

В отличие от ранее применявшихся в конденсаторах турбин ленточных компоновок трубных пучков, для современных конструкций конденсаторов мощных турбин АЭС и ТЭС принята модульная компоновка трубных пучков, показавшая высокую тепловую эффективность и имеющую меньшие габариты и массу.

Кроме того, применение такой компоновки позволяет спроектировать конденсатор в блочном исполнении, позволяющем его транспортировку и монтаж в период капитального ремонта.

На рисунках 2 - 5 изображены компоновки трубных пучков разных производителей.

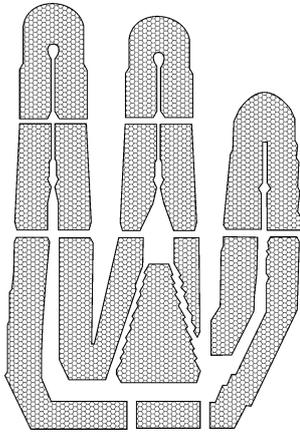


Рисунок 2 - Компоновка тр. Пучка «Турбоатом».

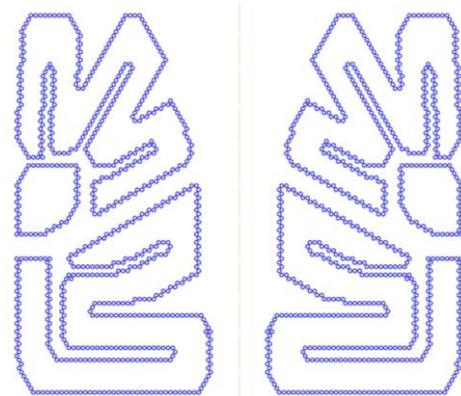


Рисунок 3 - Компоновка тр. пучка «JIMЗ» до 1975г

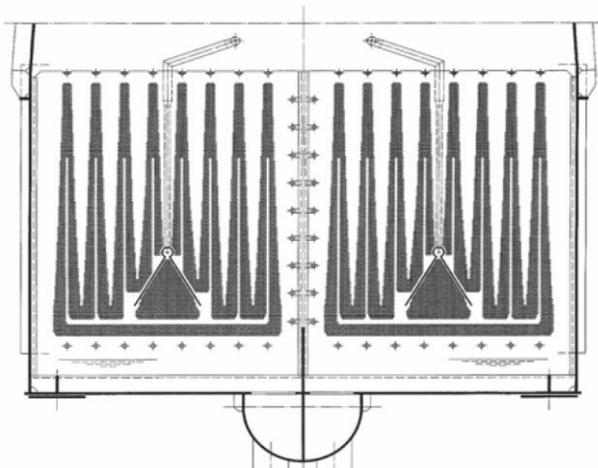


Рисунок 4 - Компоновка трубных пучков «Siemens»

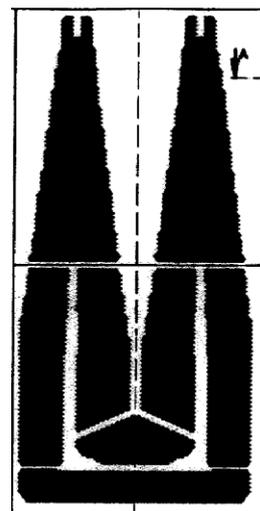


Рисунок 5 - Компоновка трубного пучка «BALCKE DÜRR»

Повышение надежности (гидравлической плотности) и теплотехнических показателей конденсаторов турбин ТЭС и АЭС в целом ряде случаев может быть достигнуто за счет поддержания чистоты внутренней поверхности труб, использования коррозионностойких металлов, своевременной диагностики состояния трубной системы и усовершенствования и конструкторско-технологических решений.

### Литература

1. Руководящие указания по тепловому расчету поверхностных конденсаторов мощных турбин тепловых и атомных электростанций. РД.34.30.104-81. М.: СПО Союзтехэнерго, 1982.
2. Бродов Ю.М., Савельев Р.З. Конденсационные установки паровых турбин//М.: Энергоатомиздат. 1994.
3. Шкловер Г.Г., Мильман О.О. Исследование и расчет конденсационных устройств паровых турбин//М.: Энергоатомиздат. 1985.
4. Бродович К., Чаплички А. Расчёты и исследования работы конденсаторов паровых турбин // Теплоэнергетика. 1989. № 2. С. 74-76.
5. Денисов Э.П., Григорьев В.Ю. Влияние конденсата на процесс конденсации пара в трубных пучках // Теплоэнергетика. 2000. № 9.
6. Мильман О.О. Принципы создания высокоэффективного конденсатора пара // Теплообмен ММФ-92: 2. Минский международный форум. Т.10. 1992.
7. Бродов Ю.М. Повышение эффективности и надежности теплообменных аппаратов паротурбинных установок // Теплоэнергетика. 1998. № 1. С. 25-29.
8. Бродов Ю.М., Савельев Р.З. Анализ методик теплового расчета конденсаторов паровых турбин //Теплоэнергетика. 1981. №12. С. 59-61.

# **СЕКЦИЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ**

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ АБСОРБЦИОННЫХ И КОМПРЕССИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

Кривицкая Е.А.  
Научный руководитель - Космачева Э.М.

## **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА РЕКТИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕГОНКИ БИНАРНОЙ СМЕСИ**

Лазук Д.А.  
Научный руководитель - Космачева Э.М.

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РУДОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА**

Бубырь Т. В.,  
Научный руководитель – аспирант Муслина Д.Б.

## **АБСОРБЦИОННЫЕ ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Бубырь Т.В.  
Научный руководитель – Романюк В.Н.

## **ИНТЕНСИВНОЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ И ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЯХ**

Д. Б. Муслина, Т. В. Бубырь,  
Научный руководитель – Романюк В.Н.

## **ВНЕДРЕНИЕ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНЫХ АГРЕГАТОВ НА ГРС**

Кузьмин Р.О., Иванчиков Е.О., Кривулец А.  
Научный руководитель – ассистент Бегляк А.В.

## **ВЫПАРНЫЕ АППАРАТЫ И КОНДЕНСАТОРЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

Жук В.Ю., Тимохова А.Ю., Орлюк К.С.  
Научный руководитель – Айдарова З.Б.

## **МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР ITER**

Гуторов М.С.  
Научный руководитель – Седнин В.А.

## **ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА НА БАЗЕ АБСОРБЦИОННОГО ТЕПЛОВОГО НАСОСА**

Лукашик О. С.  
Научный руководитель – Седнин В.А.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ТЕПЛО-ВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ЯЧЕЙСТОГО БЕТОНА**

Мясникович В. В., Левков К. Л.  
Научный руководитель – Романюк В.Н.

## **ИНТЕГРАЦИЯ ПАРОТУРБИННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С НИЗКОКИПАЩИМИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯМИ В СИСТЕМУ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОЙМАТЕРИАЛОВ**

В. В. Мясникович, К. Л. Левков  
Научный руководитель – В. Н. Романюк

### **ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ МЕТОДОМ ТЕПЛОВОЙ ВОЛНЫ**

Калинович М.С.  
Научные руководители – Седнин В.А., Петровская Т.А.

### **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕПЛОМЕТРИИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Раковская Н.С., Иванейчик С.Л.  
Научный руководитель – Петровская Т.А.

### **РОТОРНЫЙ ПЛЕНОЧНЫЙ ИСПАРИТЕЛЬ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД**

Бакунович И. С., Юрашевич О. В.  
Научный руководитель – Айдарова З. Б.

### **ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ**

Дальков А.В.  
Научный руководитель – Седнин В.А.

### **ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

Райко Д. М., Кривицкая Е. А., Гузыревич И.В., Куцко Т.С.  
Научный руководитель – Седнин В. А.

УДК 662.747

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ АБСОРБЦИОННЫХ И КОМПРЕССИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Кривицкая Е.А.

Научный руководитель - Космачева Э.М.

Проблемы энергосбережения в настоящее время чрезвычайно актуальны в первую очередь в связи с ограниченностью природных ресурсов, неравномерным их распределением, а также в связи с возрастающим техногенным загрязнением окружающей среды.

При проектировании систем хладоснабжения тип холодильной установки выбирается на основе технико-экономических расчетов. Поскольку основной статьей эксплуатационных расходов для холодильных машин всех типов являются затраты на энергию, методика сравнения энергетической эффективности различных типов холодильных установок представляет интерес.

В компрессионных и абсорбционных холодильных машинах используются различные виды энергии: в компрессионных – электрическая, абсорбционные потребляют энергию в виде теплоты, причем в последнем случае могут использоваться так называемые вторичные тепловые энергоресурсы.

Основным первичным ресурсом для выработки тепла и электрической энергии служит топливо, при сравнении вариантов используется понятие условное топливо.

Энергетическим показателем любой холодильной установки является холодильный коэффициент  $\varepsilon$ : отношение полезного эффекта (количество выработанного холода  $Q_o$ ) к затраченной энергии. Так для компрессионной холодильной установки (КХУ)

$\varepsilon_k = \frac{Q_o}{N_k}$ , где  $N_k$  - мощность привода компрессора. Для абсорбционной (АХУ)  $\varepsilon_a = \frac{Q_o}{Q_z}$ , где  $Q_z$  - расход теплоты в генераторе.

Удельный расход условного топлива (первичного энергоресурса) на выработку единицы холода в КХУ  $b_k = \frac{a b_z}{\varepsilon_k} (1 + \beta_k)$ , где  $b_z$  - удельный расход условного топлива в энергосистеме на отпуск электроэнергии, в современных энергосистемах  $b_z = 0,32 \dots 0,34 \text{ кг}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$ ;  $\beta_k$  - коэффициент расхода на собственные нужды, можно принять  $\beta_k = 0,05 \dots 0,07$ ;  $a$  - размерный коэффициент, например  $a = 278 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}/\text{ГДж}$ .

Удельный расход условного топлива на выработку единицы холода в АХУ  $b_a = \frac{b_T}{\varepsilon_a} (1 + \beta_a)$ , где  $b_T$  - удельный расход условного топлива на единицу отпускаемого тепла;  $\beta_a$  - коэффициент расхода на собственные нужды, можно принять  $\beta_a = 0,1 \dots 0,15$ .

Условие одинаковой энергетической экономичности абсорбционной и компрессионной установок  $\frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_k} = \frac{b_T (1 + \beta_a)}{a b_z (1 + \beta_k)}$ .

При  $\frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_k} > \frac{b_T (1 + \beta_a)}{a b_z (1 + \beta_k)}$  энергетически выгоднее абсорбционные установки. При обратном знаке неравенства выгоднее компрессионные установки.

Анализируя неравенство, можно сделать вывод, что энергетическая целесообразность сравниваемых типов холодильных установок в значительной мере зависит от удельных расходов топлива на выработку теплоты  $b_T$  и электроэнергии  $b_z$ . Причем  $b_z$

является сравнительно стабильной величиной, а  $b_T$  может изменяться в достаточно широком диапазоне в зависимости от источника выработки теплоты (котельная, ТЭЦ). В случае если источником теплоты является ТЭЦ, то  $b_T$  определяется параметрами свежего пара и пара в отборе турбин.

Так, если для заданных условий работы в компрессионной установке получен холодильный коэффициент  $\varepsilon_k = 4$ , то равноэкономичная ей по расходу топлива абсорбционная установка должна иметь следующие холодильные коэффициенты: при теплоснабжении от котельной  $\varepsilon_a = 1,7$ , при теплоснабжении от ТЭЦ с начальными параметрами пара 13 МПа, 555 °С и использовании пара из отбора давлением 0,1 МПа  $\varepsilon_a = 0,68$ .

При использовании в качестве источника теплоты вторичных энергетических ресурсов промышленного предприятия абсорбционная холодильная установка становится энергетически целесообразной даже при весьма малых значениях холодильного коэффициента.

УДК 662.747

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА РЕКТИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕГОНКИ БИНАРНОЙ СМЕСИ

Лазук Д.А.

Научный руководитель - Космачева Э.М.

Расход орошающей ректификационную колонну высококонцентрированной жидкости (флегмы) принимается в избытке по отношению к минимально возможной величине, т.е. рабочее (действительное) флегмовое число  $R > R_{\min}$ . Минимальное

флегмовое число  $R_{\min} = \frac{x_d - y_f^*}{y_f^* - x_f}$ , где  $x_f$  и  $x_d$  - мольные доли летучего компонента в

исходной смеси и дистилляте, соответственно,  $y_f^*$  - мольная концентрация летучего компонента в парах, находящихся в равновесии с исходной смесью.

Нагрузки ректификационной колонны по пару и жидкости определяются рабочим флегмовым числом, оптимальное значение которого можно найти путем технико-экономического расчета.

От значения  $R$  зависят капитальные затраты и эксплуатационные расходы на ректификацию. Эксплуатационные расходы прямо пропорциональны  $R$  и определяются расходом теплоносителя (греющего пара) на испарение жидкости в кубе-испарителе. Капитальные затраты в зависимости от  $R$  имеют минимум, соответствующий минимальному рабочему объему колонны. Появление экстремума рабочего объема колонны можно объяснить тем, что при увеличении флегмового числа число контактных устройств, а значит, высота колонны уменьшаются. В то же время площадь её сечения при сохранении скорости движения паров по колонне снизу вверх на оптимальном уровне (1...2 м/с) увеличивается.

Суммарные (приведенные) затраты в зависимости от значения флегмового числа также будут иметь минимум, который в общем случае не совпадает с минимумом капитальных затрат.

В качестве критерия оптимизации рационально принять минимум приведенных затрат  $\Pi = EK + \Theta$ , руб/год, где  $E$  - нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, год<sup>-1</sup>;  $K$  - капитальные затраты, руб;  $\Theta$  - эксплуатационные затраты, руб/год.

Для исследования влияния флегмового числа на геометрические размеры ректификационной колонны необходимо с помощью широко используемого в инженерной практике графоаналитического метода определить действительное число тарелок  $n$  при различных значениях флегмового числа  $R$ . А также на основании уравнения неразрывности, составленного на свободное (не занятое тарелками) сечение колонны, найти величину последнего  $S$ .

Тогда объем активной части колонны  $V = S \cdot H = S h(n-1)$ , где  $H$  - высота активной части колонны;  $h$  - расстояние между тарелками.

Геометрические размеры определяют металлоемкость колонны, а значит ее стоимость. Капитальные затраты складываются из стоимости колонны  $\Pi_K$ , стоимости трубопроводов, арматуры, КИП, фундаментов, затрат на доставку и монтаж установки, которую можно оценить в 60...80 % от стоимости колонны, и стоимости вспомогательного оборудования (испарителя, дефлегматора, подогревателя исходной смеси, холодильников дистиллята и кубового остатка, насосов)  $K = 1,7 \Pi_K + \sum \Pi_{\text{всп.об}}$ . В стоимость

вспомогательного оборудования  $\sum C_{\text{всп.об}}$  достаточно включить только стоимость испарителя и дефлегматора, т.к. при изменении флегмового числа или конструкции колонны другое оборудование остается практически неизменным. В этом случае  $K = 1,7 C_{\text{к}} + C_{\text{и}} + C_{\text{д}}$ .

Эксплуатационные затраты при оптимизационных расчетах можно представить только суммой затрат на греющий пар и воду, охлаждающую дефлегматор, т.к. они наиболее зависят от величины флегмового числа,  $\Theta = (C_{\text{п}} D + C_{\text{в}} G) \tau$ , руб/год где  $D$  и  $G$  - расход греющего пара в испаритель и охлаждающей воды в дефлегматор (находятся из уравнений теплового баланса соответствующего теплообменного аппарата), кг/ч;  $C_{\text{п}}$  и  $C_{\text{в}}$  - цена пара и охлаждающей воды, руб/кг;  $\tau$  - число часов использования установки, ч/год.

Как показали исследования, проведенные по описанной методике для различных бинарных смесей взаиморастворимых компонентов, коэффициент избытка флегмы, при котором достигается оптимальное флегмовое число, не превышает 1,3.

УДК 620.9:662.92

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РУДОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА

Бубырь Т. В.,

Научный руководитель – аспирант Муслина Д.Б.

В работе рассматривается энергообеспечение завода по добыче и переработке руды. Существующее положение следующее: на заводе имеется котельная, на которой установлены два паровых (давление пара 13 ат) и один водогрейный котел, также на заводе имеются утилизационные установки, которые получают тепловую энергию от дымовых газов от существующих печей. Летом тепловая энергия рассеивается в окружающую среду. Электропотребление завода составляет в год.

Предлагается следующее решение проблемы: возведение собственной мини-ТЭЦ на базе газопоршневых агрегатов электрической мощностью 14,1 МВт для частичного покрытия электрической нагрузки. Двигатели внутреннего сгорания имеют двухступенчатую утилизацию дымовых газов: первая – выработка пара давлением 13 ат, вторая – получение горячей воды на нужды отопление и горячего водоснабжения. Для устранения выбросов тепловой энергии в окружающую среду были найдены новые потребители этой энергии, а именно участок флотационной подготовки. Флотация – это процесс разделения мелких твердых частиц (главным образом минералов) в водной суспензии (пульпе) или растворе, основанный на избирательной концентрации (адсорбции) частиц на границах раздела фаз в соответствии с их поверхностной активностью или смачиваемостью. На данный момент рекомендации по подаче технологической воды в секции размола и аэрации в подогретом состоянии выполняются не в полном объеме (подогрев должен осуществляться до 30-50 °С). Сейчас подогрев осуществляется путем подачи пара непосредственно в общий бак до недостаточной температуры. Предлагается подогревать эту воду до необходимой температуры сетевой водой. Для этого устанавливаются тонкостенные теплообменные аппараты интенсифицированные (ТТАИ), которые имеют малые габариты и хорошие показатели работы.

На нужды технологии необходим пар с давлением 5 ат, поэтому сегодня пар от котельной с давлением 13 ат направляют в редуцирующие установки. Предлагается установить паровую винтовую машину. Это паровая турбина, которая может работать на влажном паре и не испытывать проблем.

Для надежной работы газопоршневого агрегата устанавливается приточно-вытяжной агрегат, который осуществляет очистку и подогрев или охлаждение, в зависимости от температуры окружающей среды, поступающего на процесс горения воздуха.

Для охлаждения воздуха летом устанавливается абсорбционная холодильная машина, которая, используя тепловую энергию окружающей среды и горячей сетевой воды, выдает захлажденную воду с температурой 7°С.

Была составлена математическая модель тепловой схемы мини-ТЭЦ, составлены необходимые матрицы, решена математическая задача. Расчет производился для требуемых режимов работы объекта.

Экономические показатели следующие: годовая выработка теплоты на мини-ТЭЦ составляет 0,4 млн. ГДж/год, годовой отпуск электроэнергии - 113,5 млн. кВт·ч. Годовой расход условного топлива составляет 33 тыс. т. Простой срок окупаемости 3,2 года.

С учетом полученных значений экономии топлива, интегрального объема и инвестиций в проект и других соответствующих показателей, проведена оценка экономической эффективности решения, результаты которой представлены на рисунке 1.

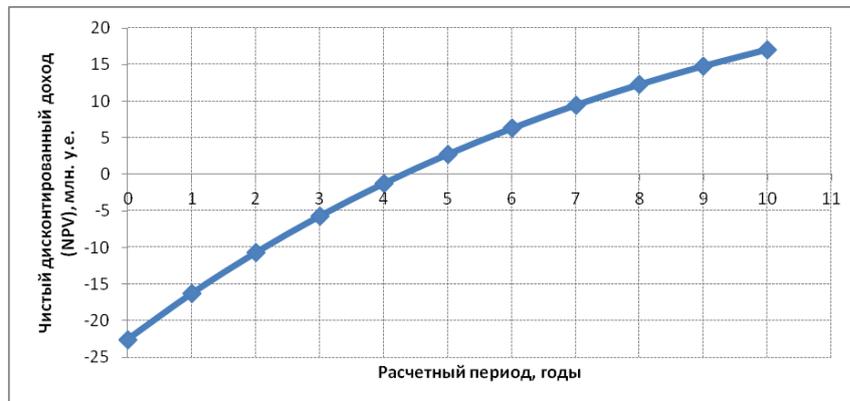


Рисунок 1 – Зависимость значения чистого приведенного дохода от времени

Динамический срок окупаемости проекта составляет 4,2 года. Индекс рентабельности - 1,8 у.е./у.е, что Анализ полученных данных указывает на высокую экономическую эффективность проекта.

УДК 620.92.002.68

## АБСОРБЦИОННЫЕ ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Бубырь Т.В.

Научный руководитель – Романюк В.Н.

На сегодняшний день задача совершенствования энергообеспечения технологических процессов весьма актуальна. Без дальнейшего, непрерывного снижения энергетической составляющей себестоимости продукции в условиях Беларуси невозможно не только расширение экспорта, но и сложно сохранить имеющееся положение. Необходимость решения многочисленных задач по совершенствованию энергообеспечения технологических процессов вызвало появление предложений различных устройств, в той или иной мере снижающих остроту проблемы. Решения большей частью известны и предложены впервые не сегодня, но до последнего времени были не востребованы. К их числу относятся и абсорбционные тепловые насосы, позволяющие повысить температуру низкотемпературных побочных тепловых потоков теплотехнологий до уровней, обеспечивающих их повторное использование. В результате снижаются потребление первичных энергоресурсов и нагрузка на окружающую среду. Решение обозначенной задачи утилизации низкопотенциальных тепловых потоков известно с помощью отопительных парокомпрессионных тепловых насосов и достаточно широко используется в межсезонье в помещениях, оборудованных неполными кондиционерами. Последние переключаются из режима холодильной машины в режим отопительного теплового насоса для поддержания температуры за счет использования электроэнергии и тепловой энергии наружного воздуха. Двойное назначение указанных установок обратного цикла повышает их востребованность.

Принципиальных отличий абсорбционных тепловых насосов от парокомпрессионных альтернативных аналогов два: абсорбционный вариант имеет более низкий отопительный коэффициент (коэффициент преобразования энергии), но, при этом, является теплоиспользующим, т.е. для привода абсорбционных установок требуется тепловая энергия. Использование тепловой энергии для обеспечения работы абсорбционных тепловых насосов, которая далее используется в тепловой форме и обеспечивает им и энергетическую, и экономическую целесообразность.

В настоящее время предлагаются абсорбционные бромистолитиевые тепловые насосы (АБТН) широкого типоразмерного ряда, обеспечивающего мощность отпускаемого полезного теплового потока с температурой до 85 °С от киловатт до десятков мегаватт. Температура утилизируемого потока, при этом, составляет величину порядка 20°С. В качестве теплоносителя, требуемого для привода АБТН, может использоваться влажный пар давлением 0,4 МПа, природный газ, сжигаемый непосредственно в установке, дымовые газы соответствующей температуры, вода с температурой выше 140 °С. Выпускаются указанные АБТН в готовой и удобной для использования конструкции, получившей название чиллера. При необходимости они допускают одновременное использование и в роли холодильных машин, обеспечивающих отпуск холодной воды по температурному графику 7/12°С. В результате, что немаловажно, практически во всех случаях может быть обеспечено непрерывное использование абсорбционной установки в течение всего года.

Проблема использования тепловых вторичных энергоресурсов. Структура потоков тепловой энергии промышленных зон, рассеиваемых в окружающей среде, такова, что не менее трети выбросов характеризуется температурами до 50 С. Относительно низкая температура тепловых вторичных энергоресурсов (ВЭР) затрудняет для них поиск потребителей. Это, прежде всего, тепловые потоки разнообразных и многочислен-

ных систем оборотного охлаждения, систем вентиляции и сточных вод, выпарные аппараты, ректификационные колонны, иные технологические установки и процессы с соответствующей температурой тепловой обработки, прежде всего, пищевой промышленности. В указанных и им подобных системах использование АБТН энергетически выгодно практически и приводит к экономии первичных энергоресурсов во всех случаях, а при существующих ценах на тепловую энергию и на сами насосы обеспечивается и экономическая целесообразность. Кроме внешнего использования тепловых потоков, температура которых обеспечивается на уровне  $\approx 85$  °С, более привлекательное внутреннее использование в выпарных аппаратах, ректификационных колоннах и пр. Возможно разделение теплового потока, поступающего с водяным теплоносителем, например, по температурному графику 90/80 °С, на два потока: один с температурами 120/110 С, второй – 37/30 °С. К числу технических систем, для которых перспективно использование АБТН, следует отнести и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), где из-за технического необходимого минимального пропуска пара в конденсатор системный годовой пережог топлива одной станцией оценивается до 6 тыс. т у. т., в валюте – более 1,5 млн USD, который можно устранить установкой АБТН на потоке циркуляционной воды и потоках воды систем охлаждения масла, генератора и пр.

В роли рабочего тела в АБТН используются растворы (в рассматриваемом случае «вода - бромистый литий»), в которых концентрация компонентов различна в жидкой и паровой фазах. Концентрация компонентов не может отличаться от величины, соответствующей уравнению равновесия раствора, что делает возможным конденсацию (абсорбцию) холодного пара более горячим жидким раствором, если того требует уравнение равновесия.

Эффективность АБТН, во многом, зависит от температурного диапазона, в котором он эксплуатируется: чем уже последний, тем выше энергетические показатели установки. При температурах нагреваемого потока до  $\approx 85$  °С, утилизированного потока осуществляется  $\approx 20$  °С, давление греющего пара для привода АБТН – 0,4 МПа, отопительный коэффициент АБТН составляет величину 1,7. Нетрудно подсчитать, что в этом случае затраты топлива на обеспечение соответствующих тепловых процессов уменьшаются на 40 %.

Размещаются АБТН в помещении или ином укрытии, где во всех случаях температура не должна опускаться ниже 5°С. Для привода АБТН могут быть использованы различные теплоносители: пар, вода, дымовые газы, топливо. Тепловые насосы и холодильные машины оказываются взаимозаменяемы, что может быть полезным во многих случаях, например, при надстройке ТЭЦ газотурбинными установками, когда потребуются стабилизировать параметры ГТУ в летний период, охлаждая всасываемый компрессором воздух. Безусловно, требуется индивидуальный подход исходя из комплекса условий конкретной площадки: компоновочных, гидравлических и пр. АБТН это практически те же, хорошо знакомые многим специалистам, абсорбционные бромистолитиевые холодильные машины, которые апробированы на практике и отлично себя зарекомендовали в условиях Республики Беларусь. Однако востребованность АБТН в условиях Республики Беларусь на порядок большая чем АБХМ.

УДК 620.91/98

## ИНТЕНСИВНОЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ И ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЯХ

Д. Б. Муслина, Т. В. Бубырь,  
Научный руководитель – Романюк В.Н.

Доля природного газа (ПГ) в мировом потреблении топлива составляет порядка 24 %, запасов ПГ хватит еще на 250 лет (данные МЭА за 2009 г.). В структуре приходной части энергобаланса Беларуси доля ПГ составляет 62 %, поэтому отказ от его использования и переход на другие виды топлива при наличии развитой газовой инфраструктуры нецелесообразно, тем более, что доля Беларуси в мировом потреблении ПГ составляет не более 0,5 %. Таким образом, для повышения конкурентоспособности белорусских предприятий, необходимо снижение себестоимости товаров, в том числе, и за счет снижения энергоемкости ВВП, которая на сегодняшний день составляет величину, порядка 31 % против 14 % в Германии, Японии и 15 % во Франции.

В работе была рассмотрена структура энергопотребления в промышленных системах преобразования вещества, которая указывает на теплотехнологическую направленность промышленного производства: до 74 % первичных энергоресурсов в стране расходуется в тепловой форме. Проведен анализ структуры теплотребления по отраслям промышленности, структуры генерации потоков электроэнергии (ЭЭ) и тепловой энергии (ТЭ) для энергообеспечения промышленных предприятий, на основании которого следует вывод о невысокой эффективности преобразования первичных энергоресурсов в электрическую и тепловую формы энергии, и указывает на наличие энергосберегающего потенциала. На сегодня лишь небольшая часть 28 % промышленного потребления ТЭ обеспечивается комбинированным способом, при этом на распределенные собственные источники приходится до 10 %, оставшиеся 56 % промышленного потребления ТЭ обеспечиваются за счет котельных, при этом на обеспечение промышленности тепловой энергией затрачивается до 62 % первичных энергоресурсов, в том числе 30,8 % в процессах непосредственного сжигания топлива. Применение существующих путей повышения эффективности использования ТЭР, как модернизация теплоизоляции, введение регулируемого электропривода, переход на эффективные оборудование, к значительному эффекту не приводит. Требуется новый системный подход, включающий рациональное построение ТЭСПП, оценку суммарного потребления энергоресурсов по видам, наличие ВЭР и их использование, эксергетический анализ совместно с традиционным термодинамическим анализом на базе баланса энергии.

Появление ДВС нового поколения имеющих высокие эксплуатационные показатели, создают достаточные условия для кардинального изменения ситуации с энергообеспечением теплотехнологий, когда большая часть ЭЭ для промышленности может производиться на распределенных источниках, которыми являются собственные когенерационные комплексы, обеспечивающие удельную выработку ЭЭ на тепловом потреблении, порядка 0,80–1,10 МВт·ч/Гкал. Переход к собственной комбинированной генерации электроэнергии при существующем тарифе на ПГ снижает расходы на используемый мегаватт-час электроэнергии до 50 долларов. С учетом соотношения электрического и теплового КПД для современных ДВС, числа часов работы в году с номинальной мощностью, которое для промышленных блочных газовых ТЭЦ, при должном инженерном обеспечении находится на уровне 7 тыс. часов, рассчитывается интегральная дополнительная мощность комбинированной выработки электроэнергии, составляющая не менее 1 ГВт. Годовое снижение импорта ПГ, связанное с реализацией только

данного энергосберегающего потенциала, составляет не менее 3 млн т у. т. или 20 % потребления первичных энергоресурсов для систем преобразования вещества.

УДК 620.9:621.314

## **ВНЕДРЕНИЕ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНЫХ АГРЕГАТОВ НА ГРС**

Кузьмин Р.О., Иванчиков Е.О., Кривулец А.

Научный руководитель – ассистент Бегляк А.В.

Одним из главнейших факторов развития тяжелой, химической, пищевой и легкой промышленности, является энергосбережение. В связи с постоянно растущими ценами на энергоносители все чаще используют нетрадиционные источники энергии. Много внимания уделяется энергии воды, солнца и ветра, при этом редко вспоминая о возможности использования потенциальной энергии газа в магистральных газопроводах.

Сегодня крупные газодобывающие компании наращивают объемы добычи и поставок природного газа, при этом давление газа в магистральном трубопроводе может достигать 100 бар и производительностью до 500 000 м<sup>3</sup>/ч. Перед любыми населенными пунктами, промышленными или химическими предприятиями, котельными или ТЭЦ, потребляющими природный газ, давление газа понижается до уровня, необходимого по условиям его безопасного потребления. Чаще всего, необходимое для использования, давление газа в несколько десятков раз меньше, чем давление газа в магистральном газопроводе. Для понижения давления служат газораспределительные станции (давление газа снижается до 6-10 бар), а затем газораспределительные пункты, которые путем дросселирования снижают давление до необходимого, при этом вся потенциальная энергия газа выбрасывается в окружающую среду (ОС).

Впервые о возможности использовать энергию природного газа для выработки электроэнергии предложили академики Миллиончиков и Капица еще в начале 40-х годов, а сегодня в мире установлено более 2000 детандер - генераторных агрегатов (ДГА) различных мощностей. Суть работы ДГА заключается в том, что потенциальная энергия газа не выбрасывается в ОС, а преобразовывается в механическую, а та в свою очередь в электрическую энергию. Таким образом, ДГА выглядит идеальным решением для выработки дополнительной электроэнергии не сжигая энергоносители. Но как и у любой технологии, при использовании ДГА есть минус: поскольку газ при расширении охлаждается, а на выходе после детандера температура газа должна быть не менее 0°С, то перед ДГА газ нужно подогревать до температуры 60 - 140°С. Температура до которой стоит нагревать природный газ зависит от многих факторов, среди которых: используемые материалы трубопроводов, диапазон изменения расхода проходящего газа в течении года, способ нагрева газа и т.д. Сегодня с целью нагрева газа можно использовать как тепловые выбросы от производства, ТЭС или ГПА, так и нагрев газа с помощью тепловых насосов.

Однако, как правило, крупные ГРС находятся на немалом расстоянии от потребителей и за счет промышленных тепловых выбросов газ нагревать проблематично, а использование тепловых насосов для нагрева таких объемов газа слишком дорогостоящее и малоэффективное в данном случае вложение денег. В свою очередь, использование ГПА может быть крайне интересно в промышленных масштабах. Дело в том, что нагрузка на газопоршневых агрегатах может дифференцированно изменяться в зависимости от необходимости количества тепловой энергии (которое в свою очередь зависит от потока природного газа и от начальной температуры этого потока). Летом температура газа в магистральном трубопроводе составляет 10 - 16°С, а зимой не более 0 - 2°С.

Таблица 1 – Параметры природного газа

Параметр	Единица измерения	Величина
Средняя температура газа зимой	°С	2
Средняя температура газа летом	°С	16
Давление в магистральном трубопроводе на входе	МПа	4,4
Давление в магистральном трубопроводе на выходе	МПа	1,2

Тепловая мощность, необходимая для подогрева газа до 85°С может быть найдена по формуле:

$$N_{\text{нагр.}} = G(i_2 - i_1) \quad (1)$$

$G$  – расход газа через детандер;

$i_2$ , кДж/кг – энтальпия природного газа при температуре 85 °С;

$i_1$ , кДж/кг – энтальпия природного газа при начальной температуре;

Таким образом, требуемая тепловая мощность летом составит 4 905 кВт, а зимой 7 959 кВт. В соответствии с этими данными, выбираем ГПА производства компании Warsila, в год вырабатывается примерно 46 826 МВт ч электрической энергии, только за счет использования ДГА.

Преимущества:

«Полезное» использование потенциальной энергии природного газа (без сброса давления).

Получение электрической энергии.

Минимальные затраты на эксплуатацию.

Недостатки: большие капитальные затраты.

УДК 66.021.4

## **ВЫПАРНЫЕ АППАРАТЫ И КОНДЕНСАТОРЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

Жук В.Ю., Тимохова А.Ю., Орлюк К.С.

Научный руководитель – Айдарова З.Б.

Выпарные установки и аппараты применяются в химической, металлургической, микробиологической промышленности, а также многих других отраслях народного хозяйства для очистки сточных вод и создания замкнутого цикла использования воды, для регенерации растворов, а также в качестве основного технологического оборудования при получении ряда химических продуктов.

AlfaVar и AlfaCond – новое поколение выпарных аппаратов и конденсаторов. Использование AlfaVar и AlfaCond эффективно, экономично и выгодно.

Преимущества AlfaCond:

- снижение затрат (на изготовление аппарата требуется меньше материала);
- снижение загрязнений (высокая турбулентность потока охлаждающей воды практически исключает образование загрязнений и отложений);
- легкое обслуживание (конструкция позволяет быстро и легко проводить осмотр и чистку поверхностей теплообменника);
- возможность менять производительность (производительность регулируется количеством пластин);
- полностью противоточные потоки (создают возможность совместного охлаждения неконденсируемых газов лучше, чем при применении кожухотрубных аппаратов).

Преимущества AlfaVar:

- высокая эффективность теплопередачи (высокая турбулентность приводит к тому, что коэффициент теплопроводности значительно выше, чем в кожухотрубных выпарных аппаратах);
- экономичность (требуется значительно меньше материала);
- простота обслуживания и эксплуатации (конструктивно установка очень удобна для очистки);
- увеличение производительности (производительность регулируется путем изменения количества кассет с использованием одной существующей рамы);
- улучшение качества продукта (исключительная низкая инерционность установки позволяет минимизировать потери продукта).

Сегодня более 1500 установок AlfaVar и AlfaCond установлены в различных отраслях промышленности по всему миру. Компания Альфа Лаваль предлагает полный модельный ряд установок для широкого спектра применений.

УДК 621.039.6

## МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР ITER

Гуторов М.С.

Научный руководитель – Седнин В.А.

Управляемый термоядерный синтез (УТС) — синтез более тяжёлых атомных ядер из более лёгких с целью получения энергии. Энергия синтеза рассматривается многими исследователями в качестве «естественного» источника энергии в долгосрочной перспективе. Для инициирования (зажигания) реакции синтеза необходимо нагреть газ из смеси дейтерия и трития до температуры выше 100 миллионов градусов Цельсия. Для решения этой задачи были придуманы «магнитные бутылки», получившие название «Токамак».

ITER (ИТЭР) — проект международного экспериментального термоядерного реактора. Намеченная проектировщиками мощность установки составляет 500 МВт (при затрате энергии на входе системы всего около 50 МВт). Как итог, проект позволяет получить десятикратный выигрыш в энергии, по сравнению с затрачиваемой на поддержание реакции. Реактор ITER создается консорциумом, в который входят Европейское Сообщество, Япония, Россия, США, Китай, Южная Корея и Индия. ITER относится к термоядерным реакторам типа «токамак». Два ядра: дейтерия и трития сливаются, с образованием ядра гелия (альфа-частица) и высокоэнергетического нейтрона.

Сооружения ITER будут располагаться на 180 га. Наиболее важная часть — сам токамак и все служебные помещения — будут располагаться на площадке в 1 километр длиной и 400 метров шириной. В целом, сооружения ITER будут представлять собой 60-метровый колосс массой 23 тыс. тонн.

Стройку, стоимость которой первоначально оценивалась в 5 миллиардов евро, первоначально планировалось закончить в 2016 году, однако затем срок начала экспериментов сдвинулся к 2020 году.

Основной целью постройки реактора ITER является демонстрация уже достигнутых успехов в управлении плазмой и возможности реального получения энергии в термоядерных устройствах на основе существующей аппаратуры.

Испытания должны подтвердить, что непрерывная работа реактора в устойчивом режиме может быть обеспечена реально (с экономической и технической точек зрения это требование представляется очень важным), а запуск установки можно будет осуществлять без огромных затрат энергии.

Создание материалов для термоядерной установки является очень сложной задачей, поскольку они должны работать в течение многих лет при непрерывной бомбардировке интенсивным потоком нейтронов. В 1990-х годах было обнаружено, что высокой стойкостью при этих условиях могут обладать также некоторые сорта стали, имеющие специфический тип кристаллической решетки. Испытания на реакторах подтвердили, что детали, изготовленные из таких типов стали, действительно могут работать в требуемых условиях в течение примерно пяти лет без замены. С учетом далекой перспективы, необходимо разрабатывать композиты из карбида кремния, способные выдерживать очень высокие температуры (возможно, выше 1000°C). Это позволит значительно повысить термодинамическую эффективность установок, что является основной целью конструкторов.

Стоимость производимой электроэнергии, по оценкам самих авторов проектов, изменялась в широких пределах: от 9 евроцентов/кВт до 5 евроцентов/кВт, но предполагается, что эта цена будет уменьшаться по мере развития технологий. Можно сделать

общий вывод, что создание термоядерных станций вполне разумно с точки зрения экономики, особенно если учесть их важность для сохранения окружающей среды.

Уже сейчас выработана вполне разумная и упорядоченная программа действий, которая должна привести к созданию прототипа термоядерной электростанции. В этом случае, примерно через 30 лет мы сумеем впервые подать электрический ток от нее в энергетические сети.

УДК 620.92.002.68

## ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА НА БАЗЕ АБСОРБЦИОННОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Лукашик О. С.

Научный руководитель – Седнин В.А.

Абсорбционный тепловой насос – устройство непрерывного действия, предназначенное для передачи тепловой энергии от источника с более низкой температурой к источнику с более высокой температурой. Для компенсации подобного неестественного перехода тепловой энергии требуется на привод АБТН затратить тепловую энергию (ТЭ). Абсорбционные установки обратного цикла уступают по энергетическим характеристикам парокомпрессионным машинам, но если последним для работы требуется энергетически и экономически более ценная механическая энергия, то первые могут использовать дешёвую тепловую энергию отборов паровых турбин, утилизационных котлов энергии выхлопных газов газовых двигателей внутреннего сгорания, вторичных энергоресурсов. Это обстоятельство и определяет для АБТН нишу, которую они в ближайшее время займут в различных технологических системах.

В роли рабочего тела в АБТН используются растворы (в рассматриваемом случае вода – бромистый литий), в которых концентрация компонентов различна для жидкой и паровой фаз. Концентрация компонентов не может отличаться от величины, соответствующей уравнению равновесия раствора, что делает возможным конденсацию (абсорбцию) холодного пара более горячим жидким раствором до выравнивания концентраций в соответствии с указанным уравнением.

В простейшем случае АБТН представляет собой сочетание четырёх теплообменников, размещённых в одном интегрированном корпусе (рисунок 1) Их эксплуатация энергетическому персоналу знакома и не создаёт проблем.

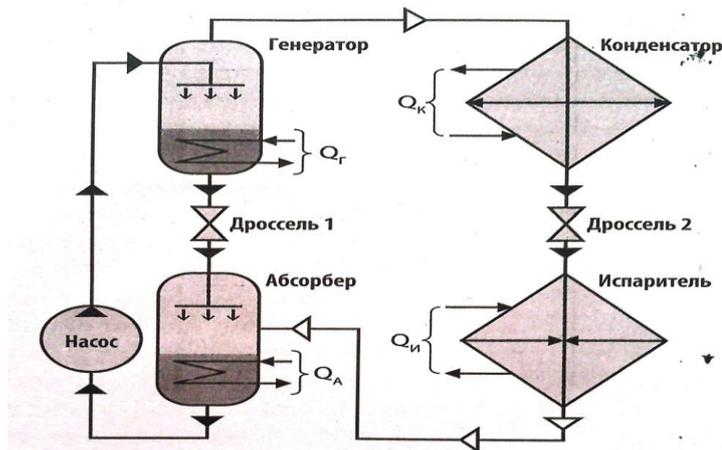


Рисунок 1 – Принципиальная схема простейшей абсорбционной установки обратного цикла ( $Q_G$ ,  $Q_I$  – соответственно подводимая теплота в генераторе от греющего теплоносителя и в испарителе от охлаждаемого теплоносителя;  $Q_K$ ,  $Q_A$  – соответственно подводимая теплота в конденсаторе и абсорбере к нагреваемому теплоносителю)

Два теплообменника (генератор и конденсатор) работают при более высоком давлении и их назначение – получить практически в чистом виде легкокипящую жидкость, в данном случае – воду. Два других теплообменника (испаритель и абсорбер) работают при пониженном давлении. Их задачей является отвод тепловой энергии от источника и превращение полученного пара в компонент жидкого раствора. В ходе описанных превращений от абсорбера и конденсатора отводится теплота соответствующих процессов сорбции и конденсации, которая передаётся нагреваемому теплоносителю,

например, сетевой воде. Требуется лишь исключить переход температур хладагента через граничные значения, не допустимые для раствора воды в бромистом литии, как при хранении, так и в процессе эксплуатации. Иначе говоря, имеются предельные значения температур потоков теплоотдающего (утилизируемого) и тепловоспринимающего, при которых возможна работа АБТН. Схема реального АБТН несколько сложнее, что связано с регенерацией, повышающей энергетическую эффективность установки, из-за чего несколько увеличивается число теплообменников и сложность схемы.

Эффективность АБТН во многом зависит от температурного диапазона, в котором он эксплуатируется: чем уже последний, тем выше энергетические показатели установки. Кроме этого, имеются предельные значения температур потоков теплоотдающего (утилизируемого) и тепловоспринимающего, при которых возможна работа АБТН.

При температуре нагреваемого потока  $55^{\circ}\text{C}$ , что соответствует температуре обратной сетевой воды в межотопительный период, подача циркуляционной воды на утилизацию осуществляется по графику  $17/22^{\circ}\text{C}$  (давление в конденсаторе – 4 кПа). Нагрев сетевой воды в этом случае обеспечивается до температуры  $64^{\circ}\text{C}$ . В отопительный период, когда температура обратной сетевой воды может достигать  $70^{\circ}\text{C}$ , температура циркуляционной воды составит  $49/45^{\circ}\text{C}$ , чему соответствует давление в конденсаторе 15 кПа. Сетевая вода нагревается до  $79^{\circ}\text{C}$ . При температурах сетевой воды, находящихся в указанном диапазоне, прочие характеристики потоков можно определить линейной интерполяцией. Для средней температуры отопительного периода –  $0,7^{\circ}\text{C}$  температура обратной сетевой воды равна  $47^{\circ}\text{C}$ , и требуемое для АБТН давление в конденсаторе составит 4 кПа. Рассматривая ситуацию с изменением параметров потоков в течение года, можно сделать вывод, что в первом приближении установка АБТН обеспечит поддержание давления в конденсаторе в течение всего периода работы на уровне 4 кПа. Давление греющего пара для привода АБТН не должно быть ниже 0,4 МПа, что может быть обеспечено отбором пара из регенеративного отбора № 4 турбины ПТ-60. Отопительный коэффициент АБТН в указанных случаях составляет величину 1,7.

Для сопряжения АБТН с турбогенератором ПТ-60 можно использовать как два чиллера меньшего, так и один большего типоразмера. Более гибким представляется вариант с двумя АБТН. Для их привода могут использоваться различные теплоносители: пар, вода, дымовые газы, топливо. В данном случае это пар давлением не менее 0,4 МПа. В варианте с двумя установками, кроме всего прочего, обеспечивается единообразие абсорбционного оборудования ТЭЦ: тепловые насосы и холодильные машины оказываются взаимозаменяемы, что может быть полезным при надстройке ТЭЦ газотурбинными установками, когда потребуются стабилизировать их параметры в летний период, охлаждая всасываемый компрессором воздух. Расположение АБТН возможно как в контейнерном варианте, так и в здании. Во всех случаях необходимо, чтобы температура в помещении не опускалась ниже  $5^{\circ}\text{C}$ . Безусловно, требуется индивидуальный подход исходя из комплекса условий конкретной площадки: компоновочных, гидравлических и пр.

С учётом стоимости строительно-монтажных работ и вспомогательного оборудования для реализации рассматриваемого в примере варианта требуется порядка 3 млн. USD. Для ТЭЦ при годовом числе часов работы турбогенератора 7,5 тыс. срок возврата инвестиций и прочие показатели определяются снижением потребления природного газа на 11,9 тыс. т.у.т при неизменной тепловой нагрузке и снижении мощности генерации электроэнергии на 4,7 МВт. Средневзвешенный тариф и себестоимость электроэнергии на ТЭЦ соответственно равны 88,5 и 51,4 USD/(МВт·ч). При стоимости природного газа 244 USD за 1 т.у.т. годовой экономический эффект обеспечивает простой срок возврата инвестиций – 2,3 года. Динамический срок окупаемости при ставке

дисконтирования 20% составляет 2,8 года, внутренняя норма рентабельности – 42%. Следует отметить, что данные приведены для варианта, когда 39% электроэнергии реализуется населению и 61% – промышленным потребителям. С уменьшением доли населения в потреблении электроэнергии экономические показатели ухудшаются, и при 100%-ной реализации электроэнергии промышленным потребителям по тарифу 113 USD/(МВт·ч) простой срок возврата инвестиций увеличивается до 4,9 лет. Динамический срок окупаемости при ставке дисконтирования 20% выходит за горизонт расчёта 10 лет и лишь при ставке дисконтирования 15% уменьшается до 9,6 лет.

Системная годовая экономия топлива в результате реализации проекта оценивается в 5,5 тыс. т.у.т. При этом неизменно потребление тепловой и электрической энергии. Экономический годовой эффект системного снижения потребления природного газа оценивается в  $\approx 1,3$  млн. USD. При приведённых ранее прочих значениях аргументов простой срок окупаемости составляет 2,7 года, динамический срок окупаемости при ставке дисконтирования 20% – 4,3 года, внутренняя норма рентабельности – 35%.

Приведённые энергетические и экономические показатели указывают на отличную инвестиционную привлекательность проекта для ОЭС страны.

УДК 620.92.002.68

## ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ТЕПЛО-ВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

Мясникович В. В., Левков К. Л.  
Научный руководитель – Романюк В.Н.

Основным стеновым материалом являются стеновые блоки из ячеистого бетона, объемы производства которого непрерывно растут. Республика Беларусь является мировым лидером по производству ячеистого бетона, на 1000 жителей ежегодно приходится 290-310 м<sup>3</sup> изделий из ячеистого бетона — первое место в Европе. По объемам производства наша страна занимает третье место в Европе после России и Польши [1]. В Республике Беларусь более десятка предприятий – производителей ячеистого бетона. Теплотехнология производства автоклавного ячеистого бетона предполагает использование в технологии молотых сырьевых материалов, при автоклавной обработке которых образуются новые соединения. Тепло-влажностная обработка (ТВО) ячеистого бетона обычно проводится при давлении пара 10-13 ата и состоит из ряда операций:

1) подъем давления (осуществляется плавное заполнение автоклава паром, длительность процесса 1,5-2,5 часа);

2) изотермическая выдержка (процесс проходит при постоянном давлении, ввиду чего в автоклав продолжает поступать пар, компенсируя потери давления из-за конденсации пара в самом автоклаве; длительность процесса ≈ 6 часов);

3) сброс давления (осуществляется за счет сброса пара, длительность процесса 1,5-2,5 часа) [1].

Так, все вышеперечисленные процессы сопровождаются образованием низкопотенциальных тепловых отходов в виде конденсата и сбросного пара. Кроме этого, цикл работы автоклава включает в себя периоды загрузки и разгрузки, что в результате делает график образования конденсата и сбросного пара автоклавом еще более неравномерным. Комплекс этих факторов делает использование вторичных энергоресурсов (ВЭР) в производстве ячеистого бетона довольно затруднительным.

В то же время, для повышения технологического КПД процесса ТВО ячеистого бетона, прежде всего, следует обратить внимание на внутренне использование тепловых отходов в технологии. Варианты использования сбросного пара: перепуск пара в другой автоклав, барботаж сбросного пара в конденсат, аккумулярование в неиспользуемом автоклаве. Однако, хотя процесс перепуска пара и дает некоторую экономию первичной энергии, он увеличивает продолжительность технологического цикла, а барботаж пара в конденсат не приносит ощутимого эффекта. Аккумулярование сбросного пара позволяет выровнять график его образования. Вариант использования конденсата после процесса ТВО – нагрев питательной воды в котельной. Выровнять график образования конденсата можно также с помощью аккумуляторов (жидкостных или основанных на фазовом переходе). Если отказаться от вышеперечисленных мероприятий ввиду их малой эффективности, то вопрос утилизационного использования тепловых отходов остается открытым.

Оптимальным вариантом использования низкопотенциальной теплоты конденсата и сбросного пара является интеграция в систему тепловых двигателей на базе паротурбинных установок для генерации эксергетически ценной электрической энергии. Использование аккумуляторов теплоты позволяет выровнять графики образования ВЭР и сделать работу паросиловой установки стабильной, зависящей лишь от параметров окружающей среды.

В мировой практике классически сложилось, что реализация данного варианта возможна при интеграции в систему паровых турбогенераторов, работающих по циклу Ренкина на органическом теплоносителе (ORC). Этот цикл достаточно прост, хорошо изучен и оптимизирован. Однако существуют и иные варианты генерации электроэнергии, в частности циклы, работающие на водоаммиачной смеси (циклы Калины, Мелони-Робертсона, Госвами) [2, 3], при том, что теоретически цикл Калины является более совершенным, чем цикл ORC. Геотермальная электроцентраль Húsavík в Исландии, единственная на данный момент в мире, работающая по циклу Калины, имеет проектную мощность 2 МВт, реальная мощность станции – 1,7 МВт [2].

#### Литература:

1. Голубева Т.Г., Сажнев Н.П., Галкин С.Л. Опыт производства и применения ячеисто-бетонных изделий автоклавного твердения в Республике Беларусь / Сажнев Н.Н. Архитектура и строительство, 2008.
2. Pall Wladimarsson. ORC and Kalina. Analysis and experience // Lecture 3 / Washington State University, 2003.
3. N. Galanis, E. Cayer, P. Roy, E.S. Denis, M. Desilets Electricity generation from low temperature sources // Journal of Applied Fluid Mechanics, Vol. 2, No. 2, pp. 55-67, 2009.

УДК 620.97

## ИНТЕГРАЦИЯ ПАРОТУРБИННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С НИЗКОКИПАЩИМИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯМИ В СИСТЕМУ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОЙМАТЕРИАЛОВ

В. В. Мясникович, К. Л. Левков  
Научный руководитель – В. Н. Романюк

В последние годы наблюдается тенденция роста удельного веса строительства и промышленности строительных материалов в структуре ВВП, таблица 1. В 2011 г. производством строительных материалов занималось 935 организаций. Численность промышленно-производственного персонала в этот период составляла 70,7 тыс. человек [2].

Таблица 1 – Удельный вес строительства и промышленности строительных материалов в структуре ВВП (в процентах) [1, 2, 3]

Рассматриваемый период	000	005	006	007	008	009	010	011
ВВП	00	00	00	00	00	00	00	00
Строительство	,4	,9	,9	,5	,3	0,7	3,4	,8
Промышленность строительных материалов	,1	,6	,7	,8	,3	,6	,4	,8
Прочие отрасли	2,5	1,5	0,4	9,7	8,4	0,7	1,2	3,4

В настоящее время предприятия промышленности строительных материалов выпускают более 100 видов продукции различного назначения. Среди них – цемент, стеновые, кровельные и нерудные материалы, асбестоцементные, керамические и санитарно-технические изделия, стекло и многое другое. Потенциал промышленности строительных материалов позволяет не только удовлетворять потребности внутреннего рынка, но и поставлять продукцию в страны ближнего и дальнего зарубежья.

Производство некоторых видов строительных материалов (цемент, стеновые материалы и сборные железобетонные изделия) в период с 2005 по 2011 год возросло приблизительно в 1,5 раза [2]. В особенности, увеличение интенсивности строительства жилья и других объектов за последние полдесяток лет выдвинуло производство стеновых материалов в ряды наиболее используемых и производимых строительных материалов в Республике Беларусь. Стеновые материалы включают в себя широкий спектр продукции различной по свойствам, назначению, происхождению, таблица 2:

Таблица 2 – Производство стеновых материалов по видам в 2005–2011 гг. (млн. усл. кирпичей) [2]

Рассматриваемый период	005	006	007	008	009	010	011
Стеновые материалы, из них:	961	646	194	389	729	087	249
- кирпич строительный	38,1	34,9	084,4	102,8	60,4	002,3	55,9

- стеновые крупные бетонные и силикатные блоки	12,6	64,2	90,4	93,4	17,2	11,2	87,4
- стеновые мелкие блоки (без блоков из ячеистых бетонов)	5,4	3,9	9,3	11,0	9,0	0,9	0,3
- стеновые блоки из ячеистых бетонов	964	478	830	982	456	772	972

Однако промышленность строительных материалов имеет также и ряд проблем. Основная из них – износ основных средств материально-технической базы на  $\approx 55\%$  [3]. Это явление ведет к увеличению удельных расходов сырья, трудовых и энергетических ресурсов, при том, что промышленность стройматериалов является крупнейшим потребителем энергоресурсов с довольно энергоемкими технологическими процессами. Сокращение потребления энергоресурсов в ходе производства немедленно повлечет за собой снижение себестоимости продукции. Этого можно добиться за счет интенсивного использования вторичных энергоресурсов (ВЭР), образующихся в больших объемах на предприятиях стройиндустрии.

В то же время, для повышения технологического КПД теплотехнических процессов, прежде всего, следует обратить внимание на внутренне использование тепловых отходов в технологии. Однако зачастую это мероприятие является либо малоэффективно, либо не целесообразно ввиду ухудшения технико-экономических показателей производства. Также зачастую потоки тепловых отходов поступают не равномерно, что еще более усугубляет их использование.

Оптимальным вариантом использования низкопотенциальной теплоты является интеграция в систему тепловых двигателей на базе паротурбинных установок для генерации эксергетически ценной электрической энергии. Использование аккумуляторов теплоты позволяет выровнять графики образования ВЭР и сделать работу паросиловой установки стабильной, зависящей лишь от параметров окружающей среды.

В мировой практике классически сложилось, что реализация данного варианта возможна при интеграции в систему паровых турбогенераторов, работающих по циклу Ренкина на органическом теплоносителе (ORC). Этот цикл достаточно прост, хорошо изучен и оптимизирован. Однако существуют и иные варианты генерации электроэнергии, в частности циклы, работающие на водоаммиачной смеси (циклы Калины, Мелони-Робертсона, Госвами) [4, 5], при том, что теоретически цикл Калины является более совершенным, чем цикл ORC. Геотермальная электроцентральный Húsavík в Исландии, единственная на данный момент в мире, работающая по циклу Калины, имеет проектную мощность 2 МВт, реальная мощность станции – 1,7 МВт [4].

Реально существующий объект, работающий по циклу Калины, имеет начальное давление перед турбиной 31 бар, КПД  $\eta = 12,5\%$  (на практике, электроцентральный работает с  $\eta = 10\%$  ввиду различных причин) [4]. Поэтому требуется дальнейшее изучение цикла Калины и свойств водоаммиачной смеси для возможности увеличения эффективности цикла и внедрения его в систему утилизации тепловых отходов на предприятиях стройиндустрии.

#### Литература:

1. Инвестиции и строительство в Республике Беларусь: стат. сб. // Нац. стат. комитет Респ. Беларусь. – Минск, 2011. – 217 с.

2. Промышленность Республики Беларусь: стат. сб. // Нац. стат. комитет Респ. Беларусь. – Минск, 2011. – 295 с.
3. Миихолап С.В., Козловская О.И. Промышленность строительных материалов Республики Беларусь: состояние и основные направления развития / Миихолап С.В. // Экономика и управление. - 2011. - №1. – с.58-62.
4. Pall Wladimarsson. ORC and Kalina. Analysis and experience // Lecture 3 / Washington State University, 2003.
5. N. Galanis, E. Cayer, P. Roy, E.S. Denis, M. Desilets Electricity generation from low temperature sources // Journal of Applied Fluid Mechanics, Vol. 2, No. 2, pp. 55-67, 2009.

УДК 621.315

## **ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ МЕТОДОМ ТЕПЛОВОЙ ВОЛНЫ**

Калинович М.С.

Научные руководители – Седнин В.А., Петровская Т.А.

Проблема определения фактических потерь теплоты является одной из важнейших в теплоснабжении. Именно большие тепловые потери – основной аргумент сторонников децентрализации теплоснабжения, количество которых увеличивается пропорционально количеству фирм, производящих или продающих небольшие котлы и котельные. Редко кто решается назвать цифры тепловых потерь, а если называются, то нормативные, т.к. в большинстве случаев фактические тепловые потери в сетях не знает никто. Но для повышения эффективности теплоснабжения необходимо производить диагностику сетей, находить и устранять их слабые места.

В работе предложено использование для прямых измерений теплопотерь метод тепловой волны с резким изменением температуры сетевой воды на теплоисточнике и измерением температуры в характерных точках регистраторами с посекундной фиксацией, что позволит добиться требуемой точности измерения расхода и, соответственно, теплопотерь. Также выполнена математическая модель теплотрассы, разработан её алгоритм и составлена программа для ПЭВМ. Которая позволят аналитически рассчитать теплопотери и сравнить их с полученными опытным путем.

Данный метод позволяет решить поставленную проблему, не прибегая к дополнительным вложениям на дорогостоящее оборудование. Он прост в исполнении и дает довольно точные результаты.

Актуальность определения транспортных потерь теплоты в сетях централизованного теплоснабжения вызвана необходимостью иметь энергетическую характеристику тепловых сетей по тепловым потерям, которая является важным экономическим показателем, предметом заинтересованности всех участников взаиморасчетов при выработке и потреблении тепловой энергии.

УДК 621.315

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕПЛОМЕТРИИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Раковская Н.С., Иванейчик С.Л.

Научный руководитель – Петровская Т.А.

Проблемы энергосбережения и экологии в Республике Беларусь встали в последние годы особенно остро не только в связи с энергетическим кризисом, резким подорожанием органического топлива и проблемами его доставки в различные регионы страны, но также в не меньшей, а, может быть, и в большей мере в связи с неудовлетворительным состоянием инженерных коммуникаций в городах и населенных пунктах. Поэтому решение проблемы повышения эффективности и надежности работы систем теплоснабжения во многом зависит от хода реконструкции инженерных внутридомовых и внутриквартальных коммуникаций, магистральных теплопроводов и источников теплоснабжения. Причем следует учесть, что реконструкция указанных объектов может быть эффективной на различных уровнях, начиная с замены регуливающей арматуры в зданиях и сооружениях и установки приборов регулирования и учета потребления энергоресурсов и кончая заменой теплопроводов и полной реконструкцией источников тепловой энергии и теплопотребляющих установок.

Отечественные датчики для измерения температуры и давления теплоносителя по своим техническим характеристикам, в том числе и по характеристикам точности, соответствуют современным требованиям и их достаточно на рынке приборостроения. Эти приборы имеют необходимую поддержку средствами поверки, и их эксплуатация не вызывает затруднений.

В настоящее время в Государственном реестре средств измерений имеется около сотни отечественных и зарубежных теплосчётчиков. Почти все они ориентированы на измерение у потребителей тепловой энергии и теплоносителя. Ниже приведены свойства теплосчётчиков, необходимые для их применения на источнике, но, как правило, отсутствующие у существующих сейчас теплосчётчиков.

Между теплосчётчиками отсутствуют сети передачи данных, что необходимо для передачи общестанционных параметров, измеряемых в одном месте (барометрическое давление, температура источников холодной воды, расходы подпитки), а используемых в алгоритмах учёта нескольких теплосчётчиков.

Отсутствует возможность применения расходомеров, отдельно измеряющих и учитывающих расход теплоносителя как в прямом, так и в обратном направлении.

Отсутствует ввод данных от датчиков и счётчиков по цифровым интерфейсам.

Отсутствует возможность автоматической синхронизации внутренних часов теплосчётчика со службой единого времени.

Отсутствует возможность опроса датчиков и передачи результатов измерений по каналам связи для целей технологического контроля с частотой не менее 1 Гц.

Отсутствует гальваническая развязка между входами УСО.

Не унифицированы интерфейсы связи теплосчётчиков с общестанционным вычислителем.

Большое многообразие технологических и организационных ситуаций существенно влияет на методологию и технические решения при создании современных автоматизированных систем учёта тепловой энергии и теплоносителей.

УДК 626/627.002.5

## РОТОРНЫЙ ПЛЕНОЧНЫЙ ИСПАРИТЕЛЬ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Бакунович И. С., Юрашевич О. В.

Научный руководитель – Айдарова З. Б.

Главными особенностями выпарных установок пленочного типа являются практическое отсутствие перепада давления по высоте установки и малый объем жидкости в установке. Первый фактор способствует отсутствию в установках этого типа гидростатической депрессии, а второй – малому времени пребывания жидкости в установке по сравнению со временем пребывания продукта в выпарных установках объемного заполнения. Эти факторы обуславливают область их применения: выпаривание или дистилляция под вакуумом термически нестойких продуктов, теряющих свои потребительские свойства в результате длительного пребывания под воздействием высоких температур.

Наиболее распространенными установками пленочного типа являются пленочные аппараты со свободно стекающей пленкой. Конструкция установки этого типа представлена на рис.1. Здесь изображен кожухотрубный пленочный испаритель с нижним расположением сепаратора (с прямоточным течением пленки жидкости и вторичных паров в греющей камере) и оборудованный внешним контуром циркуляции выпариваемого продукта. Это наиболее распространенный вариант конструкции пленочного испарителя со свободно стекающей пленкой.

В настоящее время пленочные испарители со свободно стекающей пленкой, как правило, оснащаются контуром циркуляции продукта по установке, что сразу же позволяет использовать греющие камеры с короткими (2–3 м) теплообменными трубами для обеспечения равномерности линейной плотности орошения и снижения скорости вторичных паров в теплообменных трубах. При этом внешний контур предпочтительнее внутреннего, поскольку позволяет устанавливать циркуляционный насос стандартных конструкций и использовать этот насос для перекачки отводимого из аппарата продукта, в том числе из-под вакуума в сборник под атмосферным давлением.

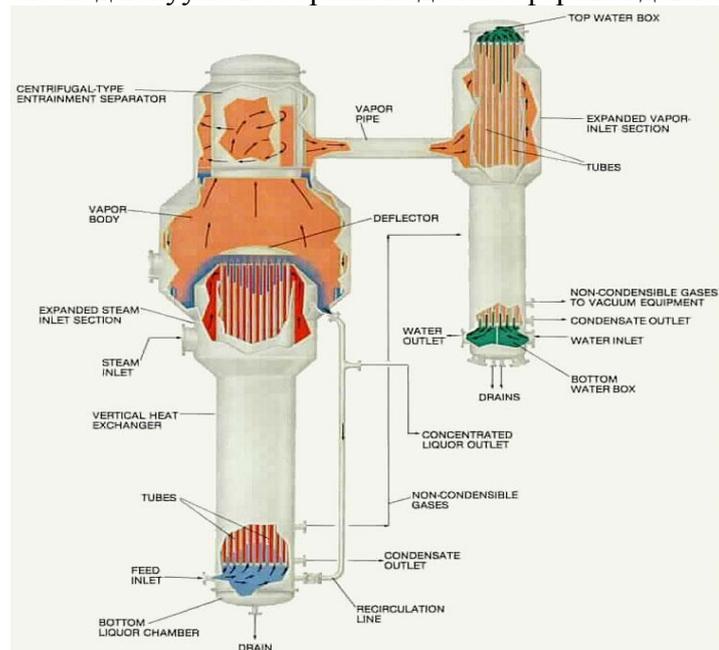


Рисунок 1. Пленочный испаритель для очистки сточных вод

Наиболее распространенными установками пленочного типа являются пленочные аппараты со свободно стекающей пленкой. Кожухотрубный пленочный испаритель с нижним расположением сепаратора и оборудованный внешним контуром циркуляции выпариваемого продукта. Это наиболее распространенный вариант конструкции пленочного испарителя со свободно стекающей пленкой.

Для устойчивой эксплуатации на очистных сооружениях для промышленной очистки воды пленочных испарителей со свободно стекающей пленкой необходима надежная работа распределительных устройств, образующих пленку жидкости в верхней части теплообменных труб, в противном случае жидкость будет стекать по трубам ручьями, и установка не будет работать.

Испарители в гальваническом производстве, как правило, применяются для выпаривания промывных вод при многоступенчатой (каскадной) промывке, а также воды из ванн улавливания. Использование роторных пленочных испарителей на очистных сооружениях позволяет вернуть в технологический процесс ценные компоненты и снизить либо полностью исключить сброс сточных вод, содержащих токсичные соединения тяжелых металлов: меди, цинка никеля, хрома, свинца и пр. При использовании данной технологии значительно сокращаются эксплуатационные затраты на очистку сточных вод.



Рисунок 2 Испаритель для промышленной очистки воды

УДК 621.039.533.6

## ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Дальков А.В.

Научный руководитель – Седнин В.А.

Топливные элементы относятся к химическим источникам тока. Они осуществляют прямое превращение энергии топлива в электричество минуя малоэффективные, идущие с большими потерями, процессы горения. Это электрохимическое устройство в результате высокоэффективного «холодного» горения топлива непосредственно вырабатывает электроэнергию.

Естественным топливным элементом является митохондрия живой клетки. Они перерабатывают органическое «горючее» – пируваты и жирные кислоты, синтезируя АТФ – универсальный источник энергии для всех биохимических процессов в живых организмах, одновременно создавая разность электрических потенциалов на своей внешней мембране. Однако, копирование этого процесса для получения электроэнергии в промышленных масштабах лишено смысла, т.к. на долю электрической разности потенциалов приходится ничтожная доля химической энергии исходных веществ: почти вся энергия передаётся молекулам АТФ.

Источником водорода в организме служит пища. В организме она в конечном счете раскладывается до мономеров, которые, после ряда химических превращений дают водород, присоединенный к молекуле-носителю. Кислород из воздуха попадает в кровь через легкие, соединяется с гемоглобином и разносится по всем тканям. Процесс соединения водорода с кислородом составляет основу биоэнергетики организма. Химическая энергия с высоким КПД преобразуется в тепловую, механическую (движение мышц), электричество (электрический скат), свет (насекомые излучающие свет).

В 1838 году английский ученый У. Гров, исследуя разложение воды на водород и кислород, обнаружил побочный эффект – электролизер вырабатывал электрический ток. Так был открыт первый водородно-кислородный топливный элемент.

*Как работает топливный элемент?*

Ископаемое топливо (уголь, газ и нефть) состоит из углерода и водорода. При сжигании атомы топлива теряют электроны, а атомы кислорода воздуха приобретают их. Так в процессе окисления атомы углерода или водорода и кислорода соединяются в продукты горения – молекулы углекислого газа или воды. Этот процесс идет энергично: атомы и молекулы веществ, участвующих в горении, приобретают большие скорости, а это приводит к повышению их температуры. Они начинают испускать свет – появляется пламя.

Химические реакция сжигания углерода и водорода имеют вид:





Рисунок 1 - Принцип действия водородного топливного элемента

В процессе горения химическая энергия переходит в тепловую энергию благодаря обмену электронами между атомами топлива и окислителя. Этот обмен происходит хаотически.

Горение – обмен электронов между атомами, а электрический ток – направленное движение электронов. Если в процессе химической реакции заставить электроны совершать работу, то температура процесса горения будет понижаться. В топливных элементах электроны отбираются у реагирующих веществ на одном электроде, отдают свою энергию в виде электрического тока и присоединяются к реагирующим веществам на другом.

Основа любого химического источника тока – два электрода соединенные электролитом. Топливные элементы состоят из анода, катода и электролита. На аноде окисляется, т.е. отдает электроны, восстановитель (топливо,  $\text{CO}$  или  $\text{H}_2$ ), свободные электроны с анода поступают во внешнюю цепь, а положительные ионы удерживаются на границе анод-электролит ( $\text{CO}^+$ ,  $\text{H}^+$ ). С другого конца цепи электроны подходят к катоду, на котором идет реакция восстановления (присоединение электронов окислителем  $\text{O}^{2-}$ ). Затем ионы окислителя переносятся электролитом к катоду.

В топливных элементах вместе сведены вместе три фазы физико-химической системы:

- а) газ (топливо, окислитель);
- б) электролит (проводник ионов);
- в) металлический электрод (проводник электронов).

В топливных элементах происходит преобразование энергии окислительно-восстановительной реакции в электрическую, причем, процессы окисления и восстановления пространственно разделены электролитом. Электроды и электролит в реакции не участвуют, но в реальных конструкциях со временем загрязняются примесями топлива. Электрохимическое горение может идти при невысоких температурах и практически без потерь.

Усложняет использование топливных элементов то, что для них топливо необходимо «готовить». Например для топливных элементов получают водород путем конверсии органического топлива или газификации угля.

Топливные элементы – это электрохимические устройства, которые теоретически могут иметь очень высокий коэффициент преобразования химической энергии в электрическую (до 80 %).

КПД, определённый по теплоте химической реакции, может быть и выше 100 % из-за того, что в работу может превращаться и теплота окружающей среды. Здесь, тем не менее, нет никакого противоречия с ограничениями на КПД тепловых машин, поскольку топливные элементы не работают по замкнутому циклу, и реагирующие вещества не возвращаются в начальное состояние. При химической реакции в топливном элементе в электрическую энергию превращается, в конечном счёте, не теплота реагентов, а их внутренняя энергия и, возможно, некоторое количество теплоты из окружающей среды.

В настоящее время известно несколько типов топливные элементы, различающихся составом используемого электролита и другими параметрами.

Топливные элементы с протонообменной мембраной (Proton Exchange Membrane Fuel Cells, PEMFC) функционируют при относительно низких рабочих температурах (60-160°C). Они отличаются высокой удельной мощностью, позволяют быстро регулировать выходную мощность, могут быть быстро включены. Недостаток элементов этого типа – высокие требования к качеству топлива, поскольку его загрязнения могут вывести из строя мембрану. Номинальная мощность топливных элементов составляет 1-100 кВт, КПД по выходу электроэнергии 30-35%, суммарный КПД (с учётом отдачи тепла) – до 70%.

Щелочной топливный элемент (Alkaline Fuel Cell, AFC), наиболее изученная технология топливных элементов, эти элементы летали с человеком на Луну. НАСА использует щелочные топливные элементы с середины 60-х годов, в серии аппаратов Аполлон и Спейс Шаттл. Также AFC-элементы использовались во время работ над советской лунной программой «Буран». На «Буране» были установлены топливные элементы мощностью 10 кВт. Щелочные топливные элементы потребляют водород и чистый кислород, и производят воду, тепло, и электричество. Они являются самыми эффективными из топливных элементов, коэффициент полезного действия их доходит до 70 %.

Топливные элементы на основе ортофосфорной кислоты (Phosphoric Acid Fuel Cells, PAFC) имеют диапазон рабочих температур 150-200°C. Основная область их применения – автономные источники тепло- и электроснабжения средней мощности (до 500 кВт). В качестве электролита используется раствор ортофосфорной кислоты  $H_3PO_4$ . Электроды выполнены из бумаги, покрытой углеродом, в котором рассеян платиновый катализатор. Электрический КПД PAFC-элементов составляет 37-42%. Однако, поскольку эти топливные элементы работают при достаточно высокой температуре, имеется возможность использовать образующийся пар для дополнительной генерации. В этом случае общий КПД может достигать 90%.

Топливные элементы на основе расплавленного карбоната (Molten Carbonate Fuel Cells, MCFC) функционируют при очень высоких температурах – 600-700°C. Это позволяет непосредственно использовать водородсодержащее сырьё – без применения отдельного риформера. Технологический процесс, получивший название «внутренний риформинг», позволяет значительно упростить конструкцию электрохимического генератора. В топливные элементы этого типа электролит состоит из солей карбоната калия и карбоната лития, нагретых примерно до 650°C. В этих условиях соли находятся в расплавленном состоянии. На аноде водород взаимодействует с ионами  $(CO_3)^{2-}$  с образованием воды и диоксида углерода, высвобождая электроны, которые направляются во внешнюю цепь, а на катоде кислород взаимодействует с диоксидом углерода и электронами из внешней цепи, вновь образуя ионы  $(CO_3)^{2-}$ . Топливные элементы на основе расплавленного карбоната требуют значительного времени на запуск и не позволяют оперативно регулировать выходную мощность, поэтому основная область их применения – крупные стационарные источники тепловой и электрической энергии. Однако

они отличаются высокой эффективностью преобразования топлива – электрический КПД доходит до 60%, а общий – до 85%.

Твёрдоокисные топливные элементы (Solid Oxide Fuel Cells, SOFC) характеризуются простотой конструкции и функционируют при очень высоких температурах: 700-1000°C. Такие температуры позволяют использовать относительно «грязное», слабо очищенное топливо. Как и у топливных элементов на основе расплавленного карбоната, их область применения – крупные стационарные источники тепловой и электрической энергии. Твёрдоокисные топливные элементы конструктивно отличаются от топливных элементов на основе технологий PAFC и MCFC. Анод, катод и электролит здесь изготовлены из специальных сортов керамики. Чаще всего в качестве электролита используется смесь оксида циркония и оксида кальция, но могут применяться и другие оксиды. Электролит образует кристаллическую решетку, покрытую с обеих сторон пористым электродным материалом. Конструктивно такие элементы выполняются в виде трубок или плоских плат, что позволяет в их производстве использовать технологии электронной промышленности. Так как твёрдоокисные топливные элементы могут работать при очень высоких температурах, их выгодно использовать для производства и электрической, и тепловой энергии.

При высоких рабочих температурах на катоде образуются ионы кислорода, которые мигрируют через кристаллическую решетку на анод, где взаимодействуют с ионами водорода, образуя воду и высвобождая свободные электроны. При этом водород выделяется из природного газа непосредственно в элементе, то есть нет необходимости в отдельном риформере.

Прямой метаноловый топливный элемент ( Direct Methanol Fuel Cells, DMFC), это разновидность топливного элемента с протонообменной мембраной, в котором топливо, метанол, предварительно не разлагается с выделением водорода, а напрямую используется в топливном элементе. Поскольку метанол поступает в топливный элемент напрямую, каталитический риформинг (разложение метанола) не нужен, хранить метанол гораздо проще, чем водород. Энергетическая ёмкость (количество энергии в данном объеме) у метанола выше, чем в таком же объеме сильно сжатого водорода. Однако метанол ядовит, поэтому использование DMFC приложений в бытовой технике может быть опасным. Существенные ограничения на широкое применение таких топливных элементов накладывает использование в качестве катализаторов драгоценных металлов (платиноидов), что ведет к дороговизне установок.

Существуют две сферы применения топливных элементов: автономная и большая энергетика.

Для автономного использования основными являются удельные характеристики и удобство эксплуатации. Стоимость вырабатываемой энергии не является основным показателем.

Для большой энергетики решающим фактором является экономичность. Кроме того, установки должны быть долговечными, не содержать дорогих материалов и использовать природное топливо при минимальных затратах на подготовку.

Наибольшие выгоды сулит использование топливных элементов в автомобиле. Здесь, как нигде, скажется компактность топливных элементов. При непосредственном получении электроэнергии из топлива экономия последнего составит порядка 50%.

Впервые идея использования топливных элементов в большой энергетике была сформулирована немецким ученым В. Освальдом в 1894 году.

Наибольшего технологического совершенства достигли среднетемпературные топливные элементы первого поколения, работающие при температуре 200 - 230°C на жидком топливе, природном газе либо на техническом водороде. Электролитом в них служит фосфорная кислота. Электроды выполнены из углерода, а катализатором явля-

ется платина (платина используется в количествах порядка нескольких граммов на киловатт мощности).

Электростанция такого типа была введена в строй в штате Калифорния 1991 году. Она состоит из восемнадцати батарей массой по 18 т.

Две электростанции на топливных элементах США поставили в Японию. Первая из них была пущена еще в начале 1983 года. Эксплуатационные показатели станции соответствовали расчетным. Она работала с нагрузкой от 25 до 80% от номинальной. КПД достигал 30 - 37%.

Сейчас в разных районах США испытываются небольшие теплофикационные установки мощностью по 40 кВт с коэффициентом использования топлива около 80%. Они могут нагревать воду до 130°C и размещаются в прачечных, спортивных комплексах, на пунктах связи и т.д. Около сотни установок уже проработали в общей сложности сотни тысяч часов. Экологическая чистота электростанций на топливных элементах позволяет размещать их непосредственно в городах.

Лучшими характеристиками обладают уже проектирующиеся модульные установки мощностью 5 МВт со среднетемпературными топливными элементами второго поколения. Они работают при температурах 650...700°C. Их аноды делают из спеченных частиц никеля и хрома, катоды – из спеченного и окисленного алюминия, а электролитом служит расплав смеси карбонатов лития и калия. Повышенная температура помогает решить две крупные электрохимические проблемы: снизить «отравляемость» катализатора окисью углерода, повысить эффективность процесса восстановления окислителя на катоде.

Еще эффективнее будут высокотемпературные топливные элементы третьего поколения с электролитом из твердых оксидов (в основном двуокиси циркония). Их рабочая температура – до 1000°C. КПД энергоустановок с такими топливными элементами близок к 50%. Здесь в качестве топлива пригодны и продукты газификации твердого угля со значительным содержанием окиси углерода. Не менее важно, что сбросовое тепло высокотемпературных установок можно использовать для производства пара, приводящего в движение турбины электрогенераторов.

Фирма Vestingaus занимается топливными элементами на твердых оксидах с 1958 года. Она разрабатывает энергоустановки мощностью 25...200 кВт, в которых можно использовать газообразное топливо из угля. Готовятся к испытаниям экспериментальные установки мощностью в несколько мегаватт. Другая американская фирма Engelgurd проектирует топливные элементы мощностью 50 кВт работающие на метаноле с фосфорной кислотой в качестве электролита.

В создание топливных элементов включается все больше фирм во всем мире. Американская United Technology и японская Toshiba образовали корпорацию International Fuel Cells. В Европе топливными элементами занимаются бельгийско-нидерландский консорциум Elenko, западногерманская фирма Siemens, итальянская Fiat, английская Jonson Metju. Над созданием образцов электростанций на топливных элементах в настоящее время работают Газпром и федеральные ядерные центры РФ.

В заключение следует отметить, что человек, в который раз повторил созданное природой устройство получения энергии. В то же время этот факт говорит о перспективности направления. Все процессы в природе очень рациональны, поэтому шаги по реальному использованию топливных элементов вселяют надежду на энергетическое будущее.

УДК 620.92.002.68

## ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Райко Д. М., Кривицкая Е. А., Гузыревич И.В., Куцко Т.С.  
Научный руководитель – Седнин В. А.

Экологическую обстановку в городах с высокой плотностью населения независимо от того, есть в них вредные производства или нет, во многом определяет состояние системы санитарной очистки от непромышленных отходов. К ним относятся твердые бытовые отходы, или ТБО, отходы, сопровождающие деятельность коммерческих и производственных фирм, пользующихся услугами коммунальных служб, садовый и уличный мусор, листва и некоторые другие.

Свалки - мощный источник биологического загрязнения. В общей сложности из отходов в окружающую среду попадает более ста токсичных веществ. Нередко свалки горят, выбрасывая в атмосферу ядовитый дым.

Сейчас в Беларуси работают 5 мусороперерабатывающих заводов: в Могилеве, Бресте, Новополоцке, Барановичах. Эти предприятия в силах справиться лишь менее чем с 10% ТБО. Остальной мусор просто "хоронят" на спецполигонах.

В экономически развитых странах все меньше бытовых отходов вывозится на свалки и все больше перерабатывается промышленными способами. Самый эффективный из них – термический, который позволяет почти в 10 раз снизить объем отходов, вывозимых на свалки, причем несгоревший остаток уже не содержит органических веществ, вызывающих гниение, самопроизвольное возгорание и опасность эпидемий. Для улучшения проблем утилизации мусора в Беларуси, страна должна заимствовать опыт экономически развитых стран.

При сжигании ТБО в продуктах сгорания образуются диоксины, которых относят к группе так называемых ксенибиотиков, то есть молекулы любого из диоксинов способны нарушить деятельность клетки и вызвать затем цепь биохимических реакций, полностью нарушающих все функции организма. Однако был предложен способ сжигания ТБО, при котором не образуются перечисленные вредные вещества. Должны соблюдаться следующие условия:

- температура должна превышать 1250°C;
- процесс должен происходить в окислительной среде (то есть при некотором избытке кислорода);
- уничтожение отходов длится более двух секунд, причем температура практически мгновенно достигает рабочего значения.

Вышеперечисленные условия соблюдены в печи Ванюкова.

Андрей Владимирович Ванюков предложил свою технологию плавки металла в плавильной печи. Печь Ванюкова предназначена для переработки медных, медно-никелевых и медно-цинковых концентратов, сульфидного сырья или ТБО. При плавке концентратов плавка происходит в шлако-штейновой ванне печи, куда интенсивно подается кислородно-воздушная смесь.

Проведение процесса плавки в печи неотделимо от непрерывной работы систем, составляющих комплекс: систем подачи шихты, подачи кислородсодержащего дутья и природного газа, охлаждения кессонированных элементов печи, непрерывного отвода продуктов плавки — шлака, штейна и технологических газов, очистки, охлаждения и утилизации технологических газов, аспирации, систем. Все кессонированные элементы печи охлаждаются оборотной химически очищенной водой в количестве до 1000 м<sup>3</sup>/ч при давлении на входе в кессоны и фурмы 0,6 МПа

Комплекс печи работает с потреблением различных видов топлива: угля и природного газа — для технологических нужд и для отопления сифонов штейна и шлака, обогрева желобов для выдачи штейна и шлака. Основным видом топлива является природный газ.

Процесс включает в себя загрузку шихты в печь Ванюкова на поверхность расплава, продувку расплава кислородсодержащим газом, плавку с получением шлака, штейна и отходящих запыленных газов, содержащих диоксид серы и кислород, охлаждение газов в газоохладительной камере с улавливанием пыли водным раствором и образованием пульпы, сгущением пульпы в сгустителе, нейтрализацией сгущенной пульпы и складированием сгущенной нейтрализованной пульпы. При этом плавку ведут с получением газов, имеющих температуру 1250°C, содержащих кислород и аргон в сумме до 5,3% по объему.

Сущность изобретения заключается в том, что в способе переработки сульфидных материалов, включающем загрузку шихты в печь Ванюкова на поверхность расплава, продувку расплава кислородсодержащим газом, плавку с образованием штейна, шлака и отходящих газов, содержащих брызги шлака, шихтовую пыль, кислород и диоксид серы, вывод из зоны продувки жидких продуктов плавки и газов, охлаждение газов водным раствором с образованием пульпы оборотной пыли и охлажденных, очищенных от пыли и брызг шлака газов, отделение брызг шлака и пыли от оборотного раствора. Согласно изобретению плавку ведут с дополнительной подачей в отходящие газы кислорода до содержания его в газах 6 - 9% по объему, из пульпы оборотной пыли первоначально выделяют брызги шлака путем отсадки с декантацией, обеспечивающей отделение твердой фракции, скорость осаждения которой в воде составляет 80-160 м/с, выделенную твердую фракцию направляют на плавку в составе шихты.

Переработка в печи Ванюкова сульфидных материалов сопровождается выделением в газовую фазу печи элементарной серы, образующейся за счет диссоциации высших сульфидов железа и цветных металлов, содержащихся в шихте. В газовом пространстве печи происходит частичное окисление серы кислородом воздуха, поступающего в печь через загрузочные устройства и неплотности. Но, как показывает практика эксплуатации печей Ванюкова, подсосов воздуха в печь не достаточно для полного дожига серы, и ее окончательный дожиг происходит вне печи, в газоперерабатывающих устройствах. Однако при охлаждении газов, выходящих из печи водным раствором, дожиг невозможен и элементарная сера, содержащаяся в газах, конденсируется и улавливается раствором совместно с пылью. Способ плавки и охлаждения газов печей Ванюкова с применением водных растворов, должен предусматривать обязательный эффективный дожиг элементарной серы, содержащейся в газах до охлаждения. Это достигается за счет дополнительной подачи кислорода в отходящие газы на стадии плавки в количестве, обеспечивающем величину содержания кислорода в газах 6-9%. При содержании кислорода в газах менее 6% окисление серы происходит не полностью. При содержании кислорода более 9% идентифицируется процесс окисления охлаждающего раствора с накоплением серной кислоты в нем, что приводит к необходимости увеличения количества раствора, выводимого на нейтрализацию.

Экологическая безопасность достигается за счет отсутствия на выходе из печи высокотоксичных соединений и применения системы очистки газа, имеющей запас по пропускной способности и рассчитанной на улавливание практически всех возможных вредных соединений, встречающихся в твердых отходах производства и потребления и образующихся при их переработке.

Шлаковый расплав используется в качестве исходного сырья для получения минераловатных плит. Остаток шлакового расплава после водной грануляции поступает в виде инертных материалов на предприятия стройиндустрии или строительство автодо-

рог. Уловленная пыль, в зависимости от содержания в ней компонентов, отправляется потребителю или возвращается в оборот – на переработку с ТБО.

Газы охлаждаются в котле-утилизаторе с получением пара энергетических параметров, очищаются от пыли, возгонов, вредных примесей и поступают на производство товарной угольной кислоты. Энергетический пар поступает в турбогенераторы для производства электроэнергии. Отработанный пар турбогенераторов с температурой 165 – 200 °С может быть использован для обогрева теплиц.

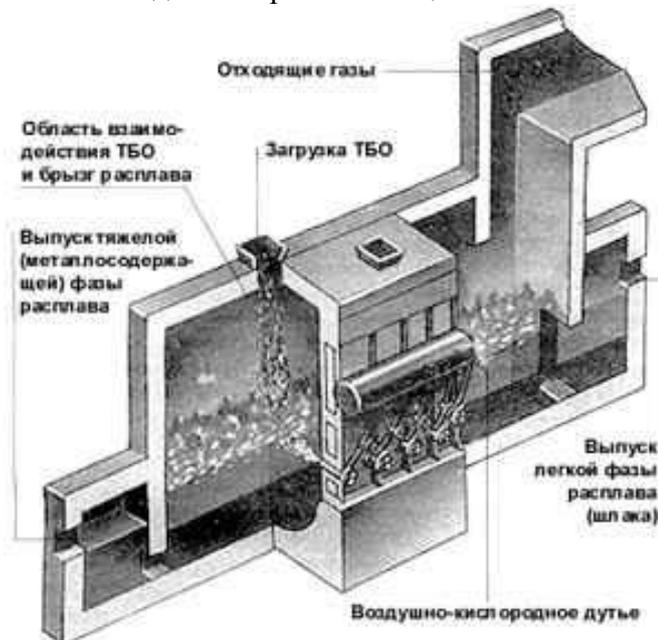


Рисунок 1 – Конструкция печи Ванюкова

Осуществление предлагаемого способа позволяет: увеличить производительность печи Ванюкова по переработке на 25 - 30% за счет использования более надежной в работе системы эвакуации газов, их охлаждения и очистки от пыли, повышения коэффициента использования оборудования; повысить извлечение ценных компонентов в штейн из шихты на 0,2% за счет возврата в производство уловленной пыли, повышения коэффициента использования оборудования; снизить на 20 - 25% расходы на текущий ремонт и эксплуатацию оборудования для переработки газов.

# **СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

## **ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ**

### **ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАГРЕВАТЕЛЬНОГО КАБЕЛЯ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ**

Власюк Д.И.  
Научный руководитель Розум Т.Т., к.т.н., доцент

### **СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ (УЗО) И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО АВТОМАТА**

Слинько А.А.  
Научный руководитель Розум Т.Т., к.т.н., доцент

### **ИНТЕРЕСНЫЕ ФАКТЫ О ТРАНСФОРМАТОРАХ**

Абаканович К.Э.; Адаменко Е.А.  
Научный руководитель Розум Т.Т., к.т.н., доцент

### **ПРИМЕНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ТЕОРЕМ В ТЕОРИИ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ**

Жарко Д.Н.  
Научный руководитель Горошко В.И., к.ф-м.н., доцент

### **ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПА ДУАЛЬНОСТИ ПРИ АНАЛИЗЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЦЕПЕЙ**

Олешкевич С.А.  
Научный руководитель Горошко В.И., к.ф-м.н., доцент

### **ИНВЕРТОРНЫЕ ИСТОЧНИКИ**

Пилипчук Е.В.  
Научный руководитель Жуковская Т.Е., старший преподаватель

### **УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОП**

Лепская М. В.  
Научный руководитель Жуковская Т. Е., старший преподаватель

### **СПОСОБЫ РАЗМАГНИЧИВАНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ТЕЛ**

Морозевич Д.А.  
Научный руководитель Мороз Р.Р., к.т.н., доцент

### **ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ И СТРОЯЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ**

Кононенко Е.В.  
Научный руководитель Мороз Р.Р., к.т.н., доцент

### **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В БЫТУ**

Толкач А. В., Липская С.А., Мамчиц В.Н.  
Научный руководитель Германович Е. И., старший преподаватель

### **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ**

Подольяк В.В., Подлинных Н.В., Равгень П.А.  
Научный руководитель Германович Е.И., старший преподаватель

### **АВТОМАТИКА И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Чайковский Д.С., Коленчик С.И., Терещук Ю.С.  
Научный руководитель Германович Е.И., старший преподаватель

### **ИСТОЧНИКИ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ**

Нестерова И.В., Ушенина Т.М., Юшко В.С.  
Научный руководитель Германович Е.И., старший преподаватель

**ПАССИВНЫЙ ДОМ**

Ярошевич С.В., Готовка В.П., Ефимова Т.Ю., Алашаев М.А.  
Научный руководитель Германович Е.И., старший преподаватель

**ЭНЕРГИЯ ВЕТРА**

Верниковская Е.Ю., Готовко Д.П.  
Научный руководитель Германович Е.И., старший преподаватель

**УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ЭЛЕКТРОГИТАРЫ**

Чигак С.О.  
Научный руководитель Зеленко В.В., старший преподаватель

**ЭЛЕКТРОННЫЕ КНИГИ**

Кудравец Ю.В., Цукрова М.В.  
Научный руководитель Зеленко В.В., ст. преподаватель

**ОРГАНИЧЕСКИЙ СВЕТОДИОД**

Пичуев А.Д.  
Научный руководитель Зеленко В.В., ст. преподаватель

**НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОНИКЕ**

Соленик И. А., Хомич А. А.  
Научный руководитель Зеленко В.В., старший преподаватель

**СИНТЕЗАТОРЫ ЧАСТОТ**

Дирша И.В.  
Научный руководитель Михальцевич Г.А., старший преподаватель

**УСТРОЙСТВО ПЛАВНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ ЛАМП НАКАЛИВАНИЯ**

Воронюк А.А., Петрусевич М.В.  
Научный руководитель Михальцевич Г.А., ст. преподаватель

**МЕТОД РАСЧЕТА ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА АКТИВНО-ЕМКОСТНУЮ НАГРУЗКУ**

Мухин Р.А.  
Научный руководитель Бладыко Ю.В., к.т.н., доцент

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СТАБИЛИТРОНОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА СХЕМ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СТАБИЛИЗАТОРОВ**

Понетовский Е. С.  
Научный руководитель Домников С. В., к.т.н., доцент

**СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ДУГОВОЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВМЕЩЁННОГО УПРАВЛЯЕМОГО РЕАКТОР-ТРАНСФОРМАТОРА**

Джураев Т. Х.  
Научный руководитель Домников С. В., к.т.н., доцент

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМОГО КОМПЛЕКСА НЕБОСКРЁБОВ**

Лукьянчик А.В.  
Научный руководитель Счастливая Е.С., старший преподаватель

**ОПАСНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Погодина М. А., Осипчик А. В.  
Научный руководитель Счастливая Е.С., старший преподаватель

**ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ПО ТОКУ И НАПРЯЖЕНИЮ**

Колоша И.С..

Научный руководитель Михальцевич Г.А., старший преподаватель

#### **ЧАСТОТНЫЕ ДИАПАЗОНЫ РАБОТ БЫТОВЫХ ПЕРЕНОСНЫХ ЦИФРОВЫХ РАДИОСТАНЦИЙ**

Асипенко А.А. Безкоровайный А.С.

Научный руководитель Михальцевич Г.А., старший преподаватель

#### **УЛЬТРАЛИНЕЙНЫЙ ЗВУКОВОЙ УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ НА ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ И МИКРОСХЕМАХ**

Колоша И.С.

Научный руководитель Михальцевич Г.А., старший преподаватель

#### **РАЗНОВИДНОСТИ МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЕЙ**

Хох С.Д., Ванькович В.В.

Научный руководитель Михальцевич Г.А., старший преподаватель

#### **НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**

Колоша И.С.

Научный руководитель Михальцевич Г.А., старший преподаватель

#### **СТРУКТУРА СХЕМЫ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ С ТОКОВОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ**

Колоша И.С.

Научный руководитель Михальцевич Г.А., старший преподаватель

#### **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В БЕЛАРУСИ**

Селивонюк Т.В., Ермола Д.С.

Научный руководитель: Можар В.И., к.т.н., доцент

#### **ГИДРОЭНЕРГЕТИКА В БЕЛАРУСИ**

Якимчик А.А., Шульга Е.В.

Научный руководитель Можар В.И., к.т.н., доцент

#### **ПРИЧИНЫ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**

Селивонюк Т.В., Ермола Д.С.

Научный руководитель Можар В.И., к.т.н., доцент

УДК 621.3

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАГРЕВАТЕЛЬНОГО КАБЕЛЯ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Власюк Д.И.

Научный руководитель Розум Т.Т., к.т.н., доцент

Тепловыделяющий или нагревательный кабель-это кабель, который за счет своей конструкции преобразовывает электрический ток, проходящий по нему, в тепловую энергию. Кабель, применяемый в системах электрообогрева, нормируется ГОСТ Р 5057.25-2000. Эти же стандарты применяются для распределительного силового кабеля, а также комплектующих всей системы.

На данный момент в системах электрообогрева применяются два основных типа нагревательного кабеля: резистивный и саморегулирующийся.

В основе резистивного кабеля лежит одна нагревательная жила. Резистивный нагревательный кабель имеет постоянное сопротивление, поэтому он монтируется секциями строго определенной длины. Чаще всего резистивный кабель ложится в основу систем антиобледенения, предназначенных для обогрева плоских поверхностей: автостоянок, тротуаров, подъездных путей, пандусов, ступеней, ровных участков крыш. В отличие от одножильного резистивного кабеля, саморегулирующийся кабель имеет две токопроводящие жилы. Тепловыделение различных участков кабеля одной и той же нити саморегулирующегося кабеля напрямую зависит от температуры на поверхности каждого из этих участков. В тех зонах обогрева, где температура поверхности ниже возникает опасность возникновения наледи, мощность секции возрастает, в то же время, на участках не подверженных низкой температуре нагревательный кабель остается холодным. Традиционными местами установки саморегулирующегося кабеля являются: желоба, водостоки крыш сложной конфигурации, стоки ливневой канализации – в тех местах, где есть вероятность образования ледяных пробок и заторов при перепадах температур в зимнее время.

Резистивный кабель дешевле саморегулирующегося, однако, саморегулирующийся кабель дешевле в эксплуатации, поскольку оптимизирует энергозатраты. Для обеспечения оптимального соотношения цены и качества работы, в состав системы электрообогрева обычно входят и саморегулирующиеся и резистивные кабели. К примеру, при проектировании системы антиобледенения кровли плоская крыша может обогреваться резистивным кабелем, а водостоки и желоба – саморегулирующимся. Что бы оптимизировать режим работы нагревательного кабеля систему антиобледенения укомплектовывают аппаратурой управления, которая состоит из регуляторов, датчиков температуры, влажности, осадков, пускорегулирующих и защитных устройств. При помощи аппаратуры управления устанавливается определенный диапазон температур, в котором должна работать система. Использование системы управления может значительно снизить затраты на электрообогрев при использовании резистивного кабеля.

Нагревательный кабель используется в различных отраслях промышленности. К примеру, при производстве строительных работ в зимнее время зачастую возникает проблема разработки грунта при подготовке котлована для фундамента здания. Для решения этой проблемы возможно использование готового изделия электроподогрева грунта, основанного на использовании вмонтированного в крепежную сетку нагревательного кабеля высокой мощности. Когда возникает необходимость обогрева замерзшего грунта с целью последующей его разработки, чаще всего основной задачей является прогрев грунта на 20...30 см., т.к. именно этот верхний слой грунта в большей степени насыщен влагой, которая при замерзании образует своеобразную ледяную

корку, которая и является основной причиной трудностей при разработке грунта в зимний период. Время разогрева определяется следующими факторами: температурой окружающего воздуха на момент проведения работ по обогреву грунта, глубиной промерзания грунта, объемной изобарной теплоемкостью грунта (теплоемкость грунта зависит в основном от влажности почвы, т.к. твердые составляющие почвы, такие как песок или гравий, обладают сравнительно очень малой теплоемкостью), площадью обогреваемой площадки, мощностью нагревательного мата. По приблизительным экспериментальным данным среднее оптимальное время обогрева составляет не более 12 часов.

В зимний период на молочных фермах возможно возникновение проблем, связанных с обледенением пола в доильных залах и замерзанием воды в поилках, предназначенных для крупного рогатого скота. Вследствие выполнения процедуры преддоильной обработки вымени и обмывки теплой водой подоильников (в случае ручного доения), на полу доильного помещения скапливается большое количество воды, из-за чего в коровниках повышается влажность и возможно появление конденсата на стенах. Проблему скопления излишней влаги в доильных залах может решить установка электрообогрева пола в местах наиболее вероятного скопления жидкости. Установка теплого пола в коровниках обеспечивает более быстрое испарение влаги и конденсата, а также повышает температуру в доильном помещении, что, несомненно, благотворно сказывается на удое и улучшает условия труда персонала.

Также на молочно-товарных фермах довольно часто возникает проблема замерзания поилок, предназначенных для крупного рогатого скота. В основном эта проблема возникает при установке поилок в не отапливаемых помещениях. Следует отметить, что температура поилок должна не только быть положительной, для предотвращения замерзания воды, но и иметь температуру 8...12 градусов Цельсия. Для предотвращения замерзания воды в поилках и обеспечения необходимой, по ветеринарным требованиям, температуры питьевой воды для животных, на поилках возможна установка системы электроподогрева воды. Данная система поддерживает температуру воды в поилке в необходимом интервале температур, не давая ей замерзнуть.

Одной из основных проблем, возникающих при эксплуатации холодильных установок, является образование наледи на дверях холодильных камер и в дренажных системах отвода конденсата. Причиной образования наледи является появление конденсата. Зачастую его образование в холодильных камерах происходит в районе дверей, так как именно там наиболее вероятен процесс попадания теплого воздуха из примыкающих помещений. Поэтому в низкотемпературных камерах, в местах прилегания уплотнения к раме, целесообразно устанавливать системы электроподогрева, предотвращающие образование ледяной корки на уплотнении при открывании двери, поскольку эта корка может привести к повреждению уплотнения и потере камерой герметичности.

Довольно часто образование конденсата может происходить в местах его отвода (в дренажных системах). Поскольку отвод конденсата способствует уменьшению влажности воздуха в холодильной камере, в значительной степени уменьшается обледенение пола и стен в помещении. Это факт особенно важен в холодильных камерах большой площади (по которым возможно передвижение людей и транспорта), поскольку обледенение пола может служить причиной падения и травмирования рабочего персонала, создавать препятствия для перемещения транспорта по холодильной камере.

В случае, когда крыша здания построена по типичной конструкции с чердаком, зачастую происходит переход тепла с верхних этажей здания, через верхнее

перекрытие и чердачное пространство, к кровле. Происходит её нагрев, вследствие которого даже при отрицательной наружной температуре, температура верхнего слоя кровли может стать положительной. В результате этого процесса снег на кровле начинает таять, а талая вода, под слоем снега, с центральной части кровли стекает к водостокам, которые в гораздо меньшей степени нагреваются за счет паразитного тепла. Из-за того, что водостоки имеют более низкую отрицательную температуру, вода, образовавшаяся за счет паразитного подогрева в центре кровли, в водостоках замерзает, что является причиной образования сосулек. Системы антиобледенения решают проблему образования сосулек, так как их основная задача – освободить путь для стока талой воды, а также сопроводить её до места конечного стока.

Электрическая система антиобледенения открытых площадок предназначена для предотвращения и ликвидации обледенения в зимний период различных видов открытых площадок. Система предназначена для удаления слоя льда и снега с дорог, пандусов, подъездных путей, тротуаров, ступеней лестниц, въездов в гаражи, спортивных площадок и футбольных полей. Обогрев спортивных площадок и футбольных полей имеет свои особенности. Для площадок с естественным травяным газоном мощность обогрева не должна быть более  $130 \text{ Вт/м}^2$ , иначе излишнее тепло плохо скажется на растениях вследствие пересушивания почвы. Для полей с искусственным покрытием допустимая максимальная мощность обогрева составляет  $150...200 \text{ Вт/м}^2$ . Для площадок, на которых не ожидается больших механических нагрузок (тротуаров, садовых дорожек), возможно использование теплоизоляции, которая прокладывается между бетонным основанием и грунтом. При использовании теплоизоляции затраты на электрообогрев снижаются на  $10...20\%$ .

Обогрев резервуара или нагрев и поддержание необходимой температуры хранимого продукта является неотъемлемой частью технологического процесса при добыче, транспортировке, хранении и применении большого количества различных нефтепродуктов, воды или химических соединений. Также задача подогрева резервуаров актуальна в пищевой промышленности для поддержания температуры жидких продуктов, таких как пальмовое масло и т.д. Необходимость применения обогрева резервуара (трубопровода, хранилища) обусловлена загустением вязких нефтепродуктов, таких как, нефть, мазут, битум. Возможно осуществление подогрева при помощи нагревательного кабеля.

При монтаже систем электрообогрева емкостей нагревательный кабель закрепляется на всей площади емкости, затем проклеивается алюминиевой лентой для обеспечения равномерного распределения тепла. В зависимости от требуемой температуры жидкости и объема обогреваемого резервуара выбирается шаг укладки и погонная мощность кабеля.

Экономическое обоснование использования систем электрообогрева.

С энергетической точки зрения электрообогрев является неэффективным способом получения тепловой энергии. Поскольку электричество вырабатывается на ТЭЦ при сжигании топлива и преобразовании тепловой энергии сначала в механическую, а затем в электрическую, обратное преобразование электрической энергии в тепловую, является невыгодным с энергетической точки зрения. При переходе тепловой энергии в электрическую большая часть энергии рассеивается вследствие необратимости турбины, также часть энергии теряется при её транспортировке в линиях электропередач. Вследствие этих причин теряется около  $70\%$  энергии.

Несмотря на значительные потери энергии, электрообогрев широко применяется в промышленности. Это обусловлено тем, что зачастую просто физически нет возможности применять другой способ обогрева. К примеру, в тех случаях, когда зимой на крышах зданий образуются сосульки, которые могут создавать опасность для

проходящих внизу людей, требуется обогревать крышу. В этой ситуации незаменим электрообогрев, поскольку использование какого-либо другого способа обогрева не возможно. Мы не можем проложить по лотку трубы центрального отопления.

На данный момент существует закон, по которому электричество, предназначенное для обогрева помещений, тарифицируется по повышенной ставке. Однако, на мой взгляд, данный законопроект является неправильным. Поскольку под его попадают не только системы обогрева полов в жилых домах, где возможно отопление за счет обычных радиаторов, но и все виды систем электрообогрева, в том числе и системы антиобледенения крыш, ступеней и открытых площадок. Данный законопроект должен распространяться только на системы электрообогрева «теплых полов», но не на весь электрообогрев в целом. К примеру, можно отметить, что повышенная цена электричества для систем антиобледенения крыш приводит к тому, что собственники помещений отказываются от установки систем антиобледенения, вследствие чего на крышах зданий образуется большое количество сосулек, падение которых несет опасность для жизни пешеходов. Разве жизнь и здоровье человека не дороже затрат на электрообогрев?

Так же эта проблема возникает и при обледенении открытых площадок. Ежегодно с ухудшением погодных условий и образованием наледи на дорогах резко увеличивается количество граждан, обращающихся в травмопункты. Опять возникает дилемма, что важнее: экономия электричества или здоровье граждан, получивших переломы вследствие падения на скользких открытых площадках?

В конце этой статьи я хотел бы привести пример самой большой и мощной системы электрообогрева в Беларуси. Данная система была установлена на построенном в 2013 году в Минске торгово-развлекательном комплексе ARENA city. Общая мощность систем электрообогрева на этом объекте составляет около 0,5 МВт. Длина установленного нагревательного кабеля – 5 км. Установлено 8 шкафов управления, проведена собственная силовая проводка для систем электрообогрева. Данная система включает в себя: систему антиобледенения пандусов для платной парковки, электрообогрев воронок на участках с плоской кровлей, а также систему антиобледенения водосточных желобов и труб. В целях предотвращения перегрузки сети, в зимний период данная система электрообогрева запускалась по частям.

Резюме: использование кабельных систем электрообогрева – не самый дешёвый способ получения тепла, однако во многих случаях подобные системы просто незаменимы. К вопросу электрообогрева, как и к любому вопросу, касающемуся энергетики, нужно подходить системно. (То, что в одних условиях недопустимо, может быть просто незаменимо в других условия). А грамотно подобранная система (система электрообогрева – не исключение) в целом исключает лишние энергозатраты.

УДК 621.3

## СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ (УЗО) И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО АВТОМАТА

Слинько А.А.

Научный руководитель Розум Т.Т., к.т.н., доцент

Вопрос использования дифференциального автомата или УЗО встает достаточно часто, но не имеет однозначного ответа, так как использование дифференциальных автоматов или УЗО зависит от множества факторов: уровня защиты предполагаемой схемы, экономической целесообразности, доступности приборов, возможности размещения дифференциального автомата и УЗО в щитке.

УЗО – механический коммутационный аппарат или совокупность элементов, которые при достижении (превышении) дифференциальным током заданного значения при определённых условиях эксплуатации должны вызвать размыкание контактов.

Может состоять из различных отдельных элементов, предназначенных для обнаружения, измерения (сравнения с заданной величиной) дифференциального тока и замыкания и размыкания электрической цепи (разъединителя).

Основная задача УЗО – защита человека от поражения электрическим током и от возникновения пожара, вызванного утечкой тока через изношенную изоляцию проводов и некачественные соединения.

Принцип работы УЗО (рис.1) основан на измерении баланса токов между входящими в него токоведущими проводниками с помощью дифференциального трансформатора тока. Если баланс токов нарушен, то УЗО немедленно размыкает все входящие в него контактные группы, отключая, таким образом, неисправную нагрузку.

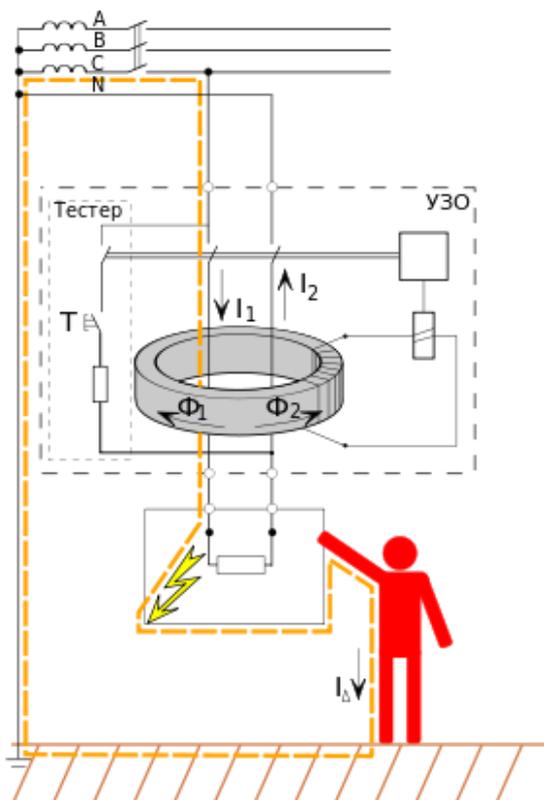


Рисунок 1

УЗО измеряет алгебраическую сумму токов, протекающих по контролируемым проводникам (двум – для однофазного УЗО, четырьём – для трехфазного): в нормальном состоянии ток, «втекающий» по одним проводникам, должен быть равен току, «вытекающему» по другим, то есть сумма токов, проходящих через УЗО равна нулю (точнее, сумма не должна превышать допустимое значение). Если же сумма превышает допустимое значение, то это означает, что часть тока проходит мимо УЗО, то есть контролируемая электрическая цепь неисправна – в ней имеет место утечка.

С точки зрения электробезопасности УЗО принципиально отличаются от устройств защиты от сверхтока (предохранителей) тем, что УЗО предназначены именно для защиты от поражения электрическим током, поскольку они срабатывают при утечках тока значительно меньших, чем предохранители (обычно от 2 ампер и более для бытовых предохранителей, что

во много раз превышает смертельное для человека значение). УЗО должны срабатывать

за время не более 25...40 мс, то есть до того, как электрический ток, проходящий через организм человека, вызовет фибрилляцию сердца – наиболее частую причину смерти при поражениях электрическим током. Обнаружение токов утечки при помощи УЗО является дополнительным защитным мероприятием, а не заменой защиты от сверхтоков при помощи предохранителей, так как УЗО никак не реагирует на неисправности, если они не сопровождаются утечкой тока (например, короткое замыкание между фазным и нулевым проводниками).

УЗО может значительно улучшить безопасность электроустановок, но оно не может полностью исключить риск поражения электрическим током или пожара. УЗО не реагирует на аварийные ситуации, если они не сопровождаются утечкой из защищаемой цепи. В частности, УЗО не реагирует на короткие замыкания между фазами и нейтралью.

УЗО также не сработает, если человек оказался под напряжением, но утечки при этом не возникло, например, при прикосновении пальцем одновременно и к фазному, и к нулевому проводникам. Предусмотреть электрическую защиту от таких прикосновений невозможно, так как нельзя отличить протекание тока через тело человека от нормального протекания тока в нагрузке. В подобных случаях действительны только механические защитные меры (изоляция, непроводящие кожанки и т. п.), а также отключение электроустановки перед её обслуживанием.

Некоторые типы УЗО нуждаются в питании, которое они получают от защищаемой цепи. Поэтому потенциально опасной является ситуация, когда в защищаемой цепи выше УЗО нулевой проводник отключен, а фазный остается под напряжением. В этом случае УЗО будет неспособно отключить цепь, так как разность потенциалов в защищаемой цепи недостаточна для функционирования УЗО. Электромеханические УЗО не нуждаются в питании и поэтому свободны от указанного недостатка.

Выключатель автоматический дифференциальный или Дифавтомат – предназначен для использования в однофазной или трёхфазной электрической сети переменного тока в системе электроснабжения с заземленной нейтралью. Дифавтомат реагирует на дифференциальный (остаточный) ток и обеспечивает:

- повышение уровня безопасности при эксплуатации людьми бытовых и аналогичных электроприборов;
- предотвращение пожаров из-за возгорания изоляции токоведущих частей электроприборов от дифференциального (остаточного) тока на землю;
- автоматическое отключение участка электрической сети (в том числе квартирной) при перегрузке и токе короткого замыкания.

Дифавтомат состоит из двух электрически и механически связанных между собой частей:

- двух или четырёх полюсного автоматического выключателя с механизмом независимого расцепления и рейкой сброса внешним механическим усилием;
- модуля защиты от поражения током (или модуль дифференциальной защиты – МДЗ), обеспечивающим обнаружение дифференциального тока на землю, его преобразование, усиление и механическое воздействие на рейку сброса выключателя.

Электрический выключатель и МДЗ включены последовательно, чем обеспечивается питание электронного усилителя МДЗ и поддерживается его рабочий режим.

Для проверки функционирования дифавтомата в эксплуатации предусмотрена цепь контроля с кнопкой «Тест».

МДЗ содержит датчик – дифференциальный трансформатор, осуществляющий обнаружение остаточного тока и расположенный на силовых проводах, электронный усилитель, на выходе которого включена катушка электромагнитного сброса.

При протекании по силовым проводам МДЗ тока нагрузки, в магнитопроводе датчика создаются равные, противоположно направленные магнитные потоки и в обмотке практически не наводится напряжение. Выключатель остается во включенном положении.

При появлении дифференциального тока (в результате повреждения изоляции токоведущих частей или через тело прикоснувшегося человека), равенство потоков нарушается и в обмотке наводится напряжение, примерно пропорциональное дифференциальному току. Это напряжение прикладывается ко входу усилителя.

При определенном значении этого напряжения (уставка срабатывания), усилитель открывается и подает ток от дополнительного источника питания на катушку электромагнита сброса. Электромагнит сброса сдергивает защелку механизма независимого расцепления выключателя. Происходит принудительное размыкание его контактов.

Основное отличие УЗО от дифавтомата заключается в отсутствии защиты от сверхтоков, то есть от токов короткого замыкания в устройстве защитного отключения. Более того, для нормальной и безопасной работы УЗО его требуется защищать от сверхтока (КЗ), подключая автомат перед УЗО.

Дифференциальный автомат представляет собой сборку из автоматического выключателя и модуля дифференциальной защиты. Функции защиты, осуществляемые дифавтоматом, могут быть реализованы автоматическим выключателем и устройством защитного отключения. Устройство защитного отключения представляет собой модуль определения утечки электричества с исполнительным устройством в виде силового реле. Дифференциальный автоматический выключатель, кроме силового реле и модуля определения утечки содержит так же и тепловой и электромагнитный расцепитель. Таким образом, схематически, отличие УЗО от дифавтомата заключается в наличии термо- и электромагнитного расцепителей, которые являются неотъемлемой частью автоматического выключателя.

Таким образом, при выборе дифавтомата или УЗО, следует точно определить основную функцию, которую будет выполнять устройство отключения и количество предполагаемых устройств.

Если целью является защита человека от удара электрическим током при работе с определенным устройством, например стиральной машиной, вполне подойдет дифференциальный автомат, так как его характеристики по току нагрузки и по току утечки можно определить исходя из параметров именно этой стиральной машины.

Если целью является защита группы розеток, то более удобно использовать УЗО, так как в случае повышения потребления, из за включения ранее не предусмотренных приборов, возможна ситуация, когда дифференциальный автомат начнет выбивать по перегрузке и придется менять дифавтомат, в случае же УЗО, придется заменить на более мощный только автоматический выключатель, что значительно дешевле.

Для защиты всей проводки одним устройством, поставить можно или дифавтомат или УЗО, в зависимости от энергопотребления и количества защищаемых цепей. В случае небольшого энергопотребления и малого количества цепей, обычно ставят дифавтомат. При повышенном энергопотреблении и большего количества цепей, можно установить УЗО, защищенное автоматом. В случае построения многоуровневой или сложной защиты, загородного дома, к примеру, нужно устанавливать дифавтомат или УЗО в соответствии с проектом электропитания, так как для защиты каждой из

цепей может использоваться или дифавтомат или УЗО, в зависимости от защищаемой цепи или устройства.

Кроме того, при выборе дифференциального автомата или УЗО, следует принимать во внимание то, что специализированные устройства обычно обладают лучшим "качеством", чем комбинированные устройства. Учитывая, что дифференциальный автомат является комбинированным устройством, совмещающим автоматический выключатель и УЗО, вероятно, установка отдельных, специализированных устройств является предпочтительной.

Если вам важно удобство при определении причины отключения питания, то вопрос дифференциальный автомат или УЗО, обычно решается в пользу УЗО, так как в случае применения устройства защитного отключения хорошо видна причина отключения, если отключилось УЗО – значит утечка, если автомат – значит перегрузка или короткое замыкание.

УЗО обеспечивает защиту только при утечке тока на землю, потому его нужно использовать совместно с автоматическим выключателем, который, в свою очередь, защищает линию от перегрузки или короткого замыкания. Дифференциальный автомат обеспечивает как защиту от токов утечки на землю, так и от перегрузки или короткого замыкания.

УДК 621.3

**ИНТЕРЕСНЫЕ ФАКТЫ О ТРАНСФОРМАТОРАХ**

Абаканович К.Э.; Адаменко Е.А.

Научный руководитель Розум Т.Т., к.т.н., доцент

*Трансформаторы — самые неподвижные машины техники. «ЭТИ НАДЕЖНЫЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ КОЛОДЫ» - так, подчеркивая простоту конструкции и большой вес, назвал трансформаторы француз Жанвье.*

У каждого технического устройства два дня рождения: открытие принципа работы и его реализация. Идею трансформатора после упорной семилетней работы по «превращению магнетизма в электричество» дал *Майкл Фарадей*. 29 августа 1831 года он описал в своем дневнике опыт, вошедший впоследствии во все учебники физики: на железное кольцо диаметром 15 см и толщиной 2 см экспериментатор намотал отдельно два провода длиной 15 м и 18 м. Когда по первой обмотке шел ток, стрелки гальванометра на зажимах другой обмотки отклонялись!

Нехитрое устройство учёный назвал «*индукционной катушкой*». При включении батареи ток (само собой разумеется, постоянный) постепенно нарастал в первичной обмотке. В железном кольце наводился магнитный поток, величина которого изменялась. Во вторичной обмотке возникало напряжение. Как только магнитный поток достигал предельного значения, «вторичный» ток исчезал. Для того чтобы катушка действовала, нужно все время включать и выключать источник питания (вручную — рубильником или механически — коммутатором).



Рисунок 1 - Индукционная катушка Фарадея

От фарадеевского кольца до сегодняшнего трансформатора было далеко, а наука уже тогда по крохам собирала необходимые данные. Американец *Генри* обмотал провод шелковой ниткой — родилась изоляция.

Француз *Фуко* попробовал вращать железные болванки в магнитном поле — и удивился: они нагревались. Учёный понял причину — сказывались токи, которые рождались в переменном магнитном поле. Чтобы ограничить путь вихревых токов *Фуко*, *Эптон*, сотрудник Эдисона, предложил делать железный сердечник сборным — из отдельных листов. В 1872 году профессор *Столетов* провел фундаментальное

исследование по намагниченности мягкого железа, а несколько позже англичанин *Юинг* представил Королевскому обществу доклад о потерях энергии при перемагничивании стали.

Величина этих потерь, названных «гистерезисными» (от греческого слова «история»), действительно зависела от «прошлого» образца. Зерна металла — домены, словно подсолнухи за солнцем, поворачиваются вслед за магнитным полем и ориентируются вдоль силовых линий. Затрачиваемая при этом работа переходит в тепло. Она зависит от того, как — слабо или сильно — и в какую сторону были направлены домены. Сведения о магнитных и проводниковых свойствах накапливались постепенно, пока количество не перешло в качество. Электротехники время от времени преподносили миру сюрпризы, но главным в истории трансформаторов следует считать событие, заставившее мир в *1876 году* изумленно обернуться в сторону России.

Причиной стали свечи *Яблочкова*. В «лампах» горела дуга между двумя параллельно расположенными электродами. При постоянном токе один электрод сгорал быстрее, и ученый настойчиво искал выход. В конце концов он решил, перепробовав множество способов, использовать переменный ток, и о чудо! — износ электродов стал равномерным. Поступок *Яблочкова* был поистине героическим, ибо в те годы шла жестокая борьба энтузиастов электрического освещения с владельцами газовых компаний. Но не только это: сами сторонники электричества, в свою очередь, единодушно выступали против переменного тока.

Получать-то переменный ток получали, но что это такое — мало кто понимал. В газетах и журналах печатались пространные статьи, угрожавшие опасностью переменного тока: «ведь убивает не величина, а ее изменение». Известный электротехник *Чиколев* заявлял: «Надо все машины с переменным током заменить на машины с постоянным током».

Не менее видный специалист *Лачинов* публично журил *Яблочкова*, поскольку «постоянный ток годится вообще, а переменный может только светить». «Отчего бы господам — приверженцам свечей (дуговых свечей *Яблочкова*) не попытаться серьезно применить к ним постоянный ток; ведь этим и только этим они могли бы обеспечить будущность свечного освещения», — писал он. Не удивительно, что под этим напором *Яблочков* в конце концов забросил свои свечи, но, кроме частичной «реабилитации» переменного тока, он успел открыть истинное «лицо» индукционных катушек. Его свечи, включенные в цепь последовательно, были чрезвычайно капризны. Как только один светильник по какой-либо причине гас, мгновенно потухали и все остальные.

*Яблочков* соединил последовательно вместо «ламп» первичные обмотки катушек. На вторичные он «посадил» свечи. Поведение каждой «лампы» совершенно не отражалось на работе других. Правда, индукционные катушки конструкции *Яблочкова* отличались (и не в лучшую сторону) от фарадеевских — их сердечники не смыкались в кольцо. Но одно то, что катушки на переменном токе работали непрерывно, а не периодически (при или выключении цепи), принесло русскому изобретателю мировую известность. Чуть позже препарат из МГУ *Усагин* развил (а вернее, обобщил) идею *Яблочкова*. К выходным обмоткам катушек, которые он назвал «вторичными генераторами», *Усагин* подсоединял разные электроустройства (а не только свечи). Катушки *Яблочкова* и *Усагина* несколько отличались друг от друга. Если говорить современным языком, трансформатор *Яблочкова* повышал напряжение: во вторичной обмотке было гораздо больше витков из тонкого провода, чем в первичной. Трансформатор *Усагина* разделительный: число витков в обеих обмотках было одинаковым (3000), так же как и напряжения на входе и выходе (500 В).

Индукционные катушки *Яблочкова* и «вторичные генераторы» *Усагина* стали со сказочной быстротой приобретать черты известных нам сегодня трансформаторов.

**Самый мощный трансформатор.** Самый мощный трансформатор изготовлен австрийской компанией «Элин» и предназначен для ТЭЦ в штате Огайо. Мощность его составляет 975 мегавольт-ампер, повышает напряжение, вырабатываемое генераторами в 25 тысяч вольт до 345 тысяч вольт.

Восемь самых больших в мире однофазных трансформаторов имеют мощность 1,5 млн. кВА. Трансформаторы принадлежат американской компании «American Electric Power». 5 из них понижают напряжение с 765 до 345 кВ.

В 2007 году Холдинговой компанией "Электрозавод" (Москва) был изготовлен самый мощный из ранее выпускаемых в России трансформаторов - ТЦ-630000/330 мощностью 630 МВА на напряжение 330 кВ, весом около 400 тонн. Трансформатор нового поколения разработан для объектов Концерна "Росэнергоатом".



Рисунок 2 – Трансформатор ОРЦ-417000/750 мощностью 417 МВА на напряжение 750 кВ

**Конструкция.** Любой трансформатор любого назначения состоит из пяти компонентов: магнитопровода, обмоток, бака, крышки и вводов. Самая важная деталь — магнитопровод — набирается из стальных листов, каждый из которых покрыт с обеих сторон изоляцией – слоем лака толщиной 0,005 мм.

Габариты, например, трансформаторов канадской электростанции Бушервиль (изготовленных западногерманской фирмой «Сименс») таковы: высота 10,5 м, диаметр по сечению 30 - 40 м. Вес этих же трансформаторов — 188 т. При перевозке с них снимают радиаторы, расширители и выливают масло, и все равно железнодорожникам приходится решать сложную задачу: 135 т — не шутка! Но подобный груз уже никого не удивляет: на атомной электростанции Обрихэйм стоит трансформаторная группа мощностью 300 тыс. кВт. Главный «преобразователь» весит 208 т, регулировочный — 101 т.

Для доставки этой группы на место потребовалась 40-метровая железнодорожная платформа! Нашим энергетикам отнюдь не легче: ведь создаваемые ими конструкции — одни из самых крупных в мире.



Рисунок 3 – Трансформатор весом в 388 тонн! (США)

**Работа.** Крупный трансформатор действует 94 дня из 100. Средняя загрузка — около 55—65% от расчетной. Это очень расточительно, но ничего не поделаешь: выйдет из строя одно устройство, его дублер довольно быстро буквально «сгорит на работе». Если, например, конструкцию перегрузить на 40%, то за две недели ее изоляция износится, как за год нормальной службы.

Среди студентов давно бытует легенда о чуде, который на вопрос «Как работает трансформатор?» «находчиво» ответил: «Ууу...» Но только сегодня становится ясной причина этого шума.

Оказывается, виноваты не вибрация стальных пластин, плохо скрепленных между собой, не кипение масла и не упругая деформация обмоток. Причиной можно считать магнитострикцию, то есть изменение размеров материала при намагничивании. Как бороться с этим физическим явлением, пока неизвестно, поэтому бак трансформатора облицовывают звукоизолирующими щитами. Нормы на «голоса» трансформаторов довольно жесткие: на расстоянии 5 м — не более 70 децибел (уровень громкой речи, шума автомобиля), а на расстоянии 500 м, где обычно стоят жилые дома, около 35 децибел (шаги, тихая музыка).

Даже столь краткий обзор позволяет нам сделать два важных вывода. Основное достоинство трансформатора — отсутствие движущихся частей. За счет этого достигаются высокий КПД, отличная надежность, простота обслуживания.

Самым главным недостатком можно считать огромный вес и габариты. А увеличивать размеры все-таки придется: ведь мощности трансформаторов должны вырасти в ближайшие десятилетия в несколько раз.

Причина этого тоже ясна: все зависит от свойств применяемых материалов. Так, может быть, если хорошо поискать, найдутся другие идеи преобразования электричества, кроме той, которую предложил когда-то Фарадей?

К сожалению (а может, и к счастью — кто знает), пока таких идей нет, и появление их маловероятно. Пока в энергетике будет царствовать переменный ток и останется потребность в изменении его напряжения, идея Фарадея — вне конкуренции.

#### Литература

Интернет-сайт «Техника-молодежи» [Электронный ресурс]: официальное интерактивное публичное место размещения информации об изданиях ЗАО «Корпорация Вест» – Режим доступа: <http://technicamolodezhi.ru/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. © 2004-2013 ЗАО «Корпорация ВЕСТ»

УДК 621.3

## ПРИМЕНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ТЕОРЕМ В ТЕОРИИ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ

Жарко Д.Н.

Научный руководитель Горошко В.И., к.ф.-м.н., доцент

Цель: упрощение схемы с помощью электротехнических теорем

Система уравнений Z-параметров [1]:

$$U_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2'$$

$$U_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2'$$

Этой системе соответствует схема замещения, представленная на рисунке 1. Вводим одну переключку (штриховая линия на рис. 1). Далее переключку представим в виде двух сопротивлений  $Z_{12}$  плюс  $(-Z_{12})$ , компенсирующих друг друга. По переключке течет сумма токов  $I_1$  и  $I_2'$ . Применим к  $-Z_{12}$  с током  $(I_1 + I_2')$  теорему замещения (рис. 2) Далее применяем правило переноса источника через узел. Источники в левой части компенсируются. Затем применяем обратную теорему замещения и получаем схему (рис. 3).

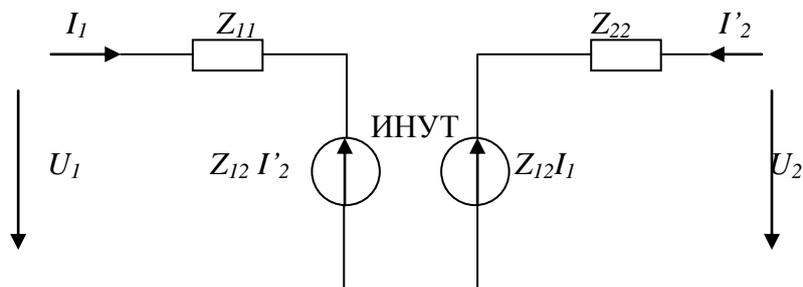


Рисунок 1

где  $Z_{11}$ ,  $Z_{22}$ -собственное сопротивление; $Z_{12}$ -передаточное сопротивление; $U_1$ ,  $U_2$  – напряжение на зажимах; $I_1$ ,  $I_2'$  – токи;

ИНУТ-источник напряжения управляемый ток.

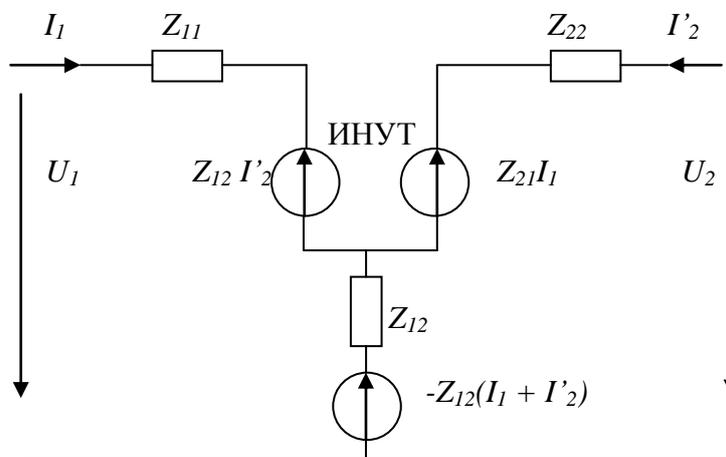


Рисунок 2

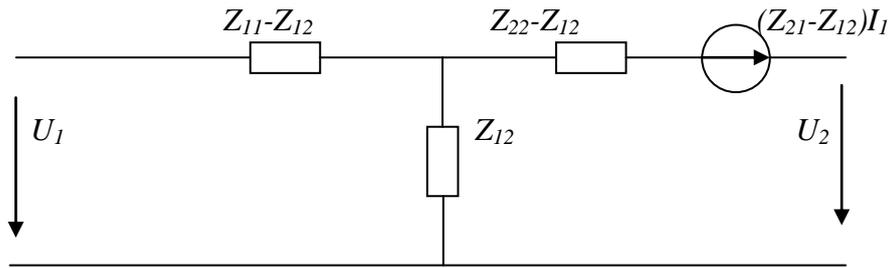


Рисунок 3

В итоге, благодаря электротехническим теоремам, от схемы с двумя источниками, переходим к схеме с одним источником, что и упрощает схему.

#### Литература

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи.- 7-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш. школа, 1978.- 528 с.

УДК 621.3

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПА ДУАЛЬНОСТИ ПРИ АНАЛИЗЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЦЕПЕЙ

Олешкевич С.А.

Научный руководитель Горошко В.И., к.ф-м.н., доцент

Для объяснения сути метода возьмем резонансную электрическую цепь, которая дана на рис. 1. Также нам известны формулы для вычисления резонанса  $\omega_p$  и резонансного сопротивления  $R_p$  данной цепи (вывод последних мы не приводим):

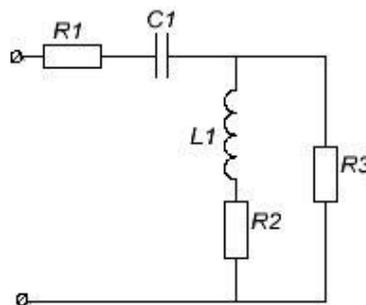


Рисунок 1

$$\omega_p = \omega_0 \cdot \frac{R_2 + R_3}{\sqrt{R_3^2 - \rho^2}}; R_p = R_1 + \frac{\rho^2 + R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3},$$

где  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$  - резонансная частота идеального контура,

$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$  - характеристическое сопротивление.

Перейдем от заданной схемы к дуальной [1].

Каждому независимому контуру исходной схемы, а также области, являющейся внешней по отношению к схеме, соответствует свой узел дуальной схемы. Если в какой-либо ветви исходной схемы, являющейся смежной между двумя контурами, имеется  $n$  последовательно включенных элементов, то этой ветви соответствует  $n$  параллельных ветвей, соединяющих узлы дуальной схемы, которые отвечают этим контурам.

Так, активному сопротивлению  $R$  исходной схемы рис. 1 отвечает в дуальной схеме проводимость  $G_3 = 1/R_3$ , рис. 2; индуктивности  $L$  - емкость  $C_3$ ; емкости  $C$  - индуктивность  $L_3$ . Для преобразования исходной схемы в дуальную поступают следующим образом. Внутри каждого независимого контура (и во внешней области) ставят точки и называют их. Эти точки являются узлами эквивалентной дуальной схемы. Между полученными узлами проводим пунктирные линии - ветви дуальной схемы. Эти линии проходят через элементы исходной схемы ( $R, L, C, E$ ) и в дуальной схеме рис. 2 включаем в них соответствующие эквиваленты.

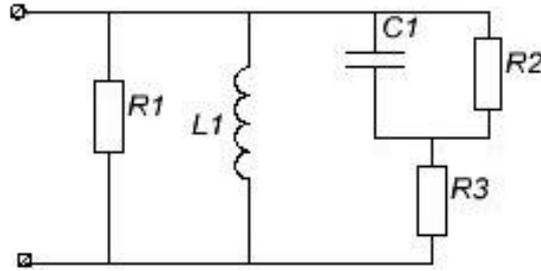


Рисунок 2

Итак, после выполнения всех действий описанных выше мы получаем дуальную схему, для которой формулы выводить не нужно. Следует всего лишь подставить в формулы исходной цепи соответствующие эквиваленты и после несложных алгебраических преобразований получить резонансную  $\omega_{p\partial}$  частоту и резонансное сопротивление  $R_{p\partial}$  дуальной цепи:

$$\omega_{p\partial} = \omega_0 \cdot \frac{1}{R_2} \cdot \frac{R_2 + R_3}{\sqrt{1 - \left(\frac{R_3}{\rho}\right)^2}}$$

$$R_{p\partial} = \frac{\rho^2 \cdot R_1 \cdot (R_2 + R_3)}{\rho^2 \cdot (R_1 + R_2 + R_3) + R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}$$

Таким образом, в докладе показано, что можно находить выражения для резонансной частоты и резонансного сопротивления дуальных схем простой операцией замены величин  $R, L, C$  дуальными величинами  $G, C, L$ .

#### Литература

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи.- 7-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш. школа, 1978.- 528 с.

УДК 62-83-52

## ИНВЕРТОРНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Пилипчук Е.В.

Научный руководитель Жуковская Т.Е., старший преподаватель

**Применение инверторов** *Инверторами* напряжения называются автономные преобразователи, в которых переменное напряжение на нагрузке образуется в результате ее периодического подключения с помощью ключей к источнику постоянного напряжения, причем с помощью ключей обеспечивается чередующаяся полярность импульсов напряжения на нагрузке. Инверторы напряжения выполняются на полностью управляемых приборах (транзисторах, двухоперационных тиристорах, однооперационных тиристорах, снабженных цепями коммутации).

Какое практическое применение можно найти инверторному преобразованию? Множество. От возможности регулировать работу электродвигателей, а значит получать только необходимую работу и осуществлять только необходимые затраты электроэнергии, до использования для обеспечения питанием бытовых приборов от аккумуляторов - например в источниках бесперебойного питания или работы телевизора от аккумулятора автомобиля.

В сфере энергетики расширение использования инвертора обусловлено возрастанием использования альтернативных источников получения энергии, таких как солнечные батареи и ветряные генераторы. Их основной недостаток - непостоянство. Поэтому часть энергии используется для подзарядки аккумуляторных батарей, а затем, при помощи инвертора, когда невозможно получение энергии по каким-либо причинам (ночь, отсутствие ветра), инвертор преобразует наколенную энергию. Преобразуя постоянную энергию в переменную.

Еще одна сфера применения инвертора - ИБП. Здесь энергия попадает сначала в буферный аккумулятор, откуда, преобразованная при помощи инвертора, подается на потребляющее устройство - персональный компьютер. Кроме очевидной функции - обеспечение постоянного питания (если пропало питание сети, используется накопленная мощность аккумулятора, и есть возможность продолжить или аккуратно завершить работу) выполняется еще одна немаловажная функция — фильтрация напряжения. В сети напряжение редко соответствует привычным для нас параметрам: 220 вольт, 50 герц. Колебания обычно незначительные, но бывают и резкие скачки напряжения. Использование инвертора в цепи позволяет сгладить их.

Но наиболее важная сфера применения инверторов - управление электроприводами. В некоторых случаях, при работе электродвигателя не требуется уменьшение или увеличение скорости работы, иначе говоря, количества оборотов. В сети частота тока относительно постоянная. Если использовать трансформаторы, то получим опять-таки статичное напряжение. Инверторы позволяют регулировать частоту в широком диапазоне. А значит регулировать и работу электродвигателя. Это необходимо в случае, если требуемая пиковая мощность и минимальная, сильно различаются. Из-за перепадов параметров тока в сети, в некоторых производственных процессах, использование обычного электродвигателя, получающего питание от сети, недопустимо - вращение нестабильно. Это приводит к нарушению технологических процессов. В этом случае используется инвертор в качестве фильтра, позволяющего получить равномерную стабильную работу. Даже когда не требуется большая статичность оборотов, но есть необходимость синхронизации нескольких электродвигателей, этого можно достичь с помощью инвертора. Современные системы коммутации позволяют одновременно достичь синхронной работы нескольких

двигателей в различных режимах, изменяя режимы для двигателя, в соответствии с требуемой частой по времени и оборотам, зачастую получая довольно сложные схемы, для управления которых необходимы специальные чипы.

Еще одна полезная отдача от применения инвертора - экономия. Как электроэнергии, так и ресурса. Снижение оборотов электродвигателя, когда не требуется полная выходная мощность, приводит к экономии электроэнергии и моторесурса. Экономия электроэнергии может, причем довольно часто, достигать 50 процентов. К тому же КПД инвертора очень высок - 90-95%. А значит, применение его не несет практически никаких дополнительных затрат.

### Последовательный инвертор

Электрическая схема, рабочие фазы и формы выходных сигналов последовательного инвертора изображены на (рис. 1). Такая схема называется последовательным инвертором, поскольку в ней нагрузочное сопротивление включено последовательно с емкостью.  $R$  - Нагрузочное сопротивление,  $L$  и  $C$  - коммутационные элементы. Такой тип инвертора содержит два тиристора. Рассмотрим подробнее фазы работы такой схемы.

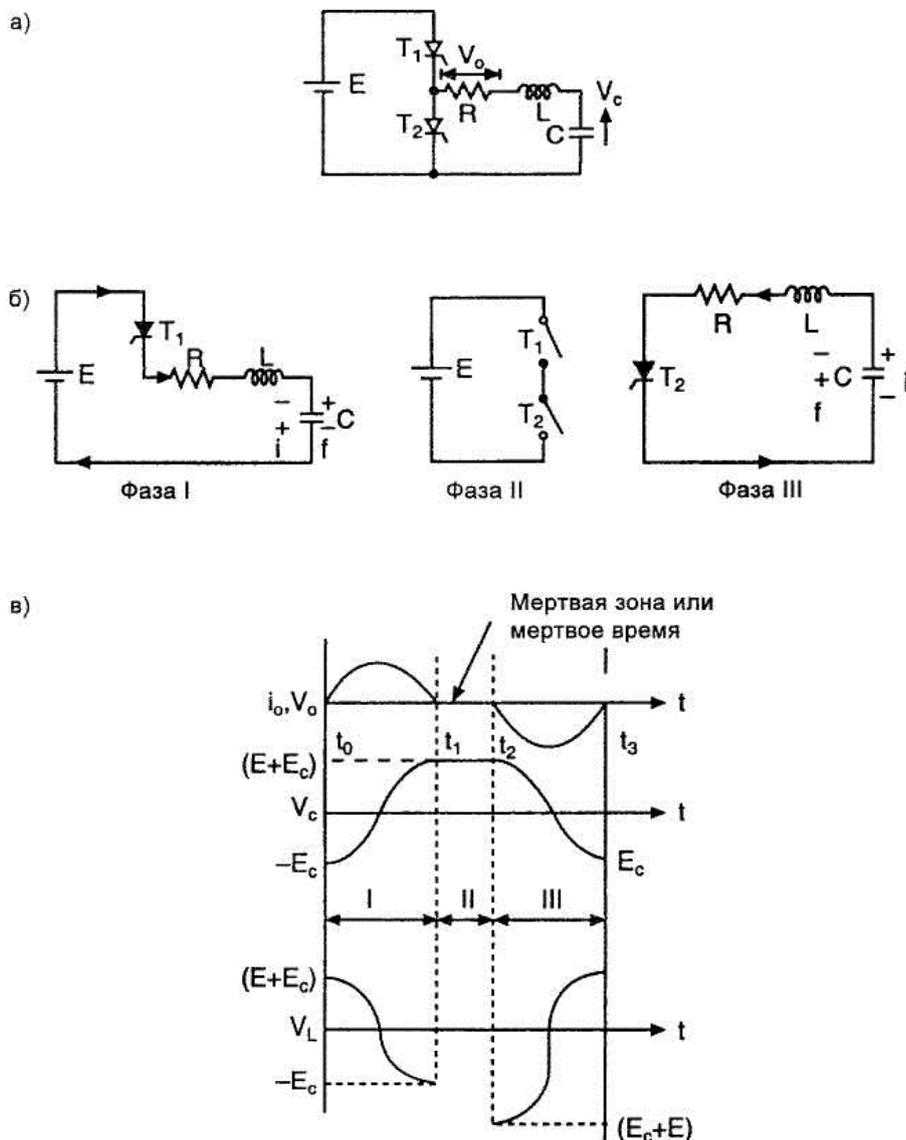


Рисунок 1 - Последовательный инвертор:

Фаза I. Тиристор Т1 включается в момент времени  $t_0$ . Начинается заряд конденсатора от источника питания. Последовательная цепь  $R$ ,  $L$  и  $C$  формирует синусоидальный ток через нагрузочное сопротивление и выполняет функцию демпфирующей цепи. Когда ток в цепи уменьшается до нуля, тиристор Т1 запирается. Напряжение на нагрузочном сопротивлении находится в фазе с током тиристора.

Фаза II. Тиристор Т2 не должен включаться сразу после того, как ток через тиристор Т1, уменьшится до нуля. Для лучшего запираания тиристора Т1, к нему необходимо приложить небольшое обратное напряжение. Если тиристор Т2 включается без запаздывания, или мертвая зона отсутствует, напряжение источника питания замыкается через открытые тиристоры Т1 и Т2. Если оба тиристора находятся в закрытом состоянии, то, следовательно, конденсатор  $C$  остается незаряженным.

Фаза III. В момент времени  $t_2$  тиристор Т2 включается и инициирует отрицательный полупериод. Конденсатор разряжается через  $L$ ,  $R$  и Т2. Следует заметить, что электрический ток через нагрузочное сопротивление  $R$  протекает в противоположном направлении. В момент времени, когда этот ток уменьшается до нуля, тиристор Т2 выключается. Рис.1 - Последовательный инвертор:

Недостатки:

1. Индуктивность  $L$  и конденсатор  $C$  имеют большие габариты.
2. Источник питания используется только в течение положительного полупериода.
3. В выходном напряжении имеются высшие гармоники из-за наличия мертвой зоны.

Последовательный инвертор лучше всего подходит для высокочастотных устройств, так как для требуемых значений  $L$  и  $C$  уменьшаются их габариты.

Выходная частота последовательного инвертора всегда меньше резонансной частоты вследствие наличия мертвой зоны. Значение выходной частоты может варьироваться путем изменения мертвого времени (рис.2).

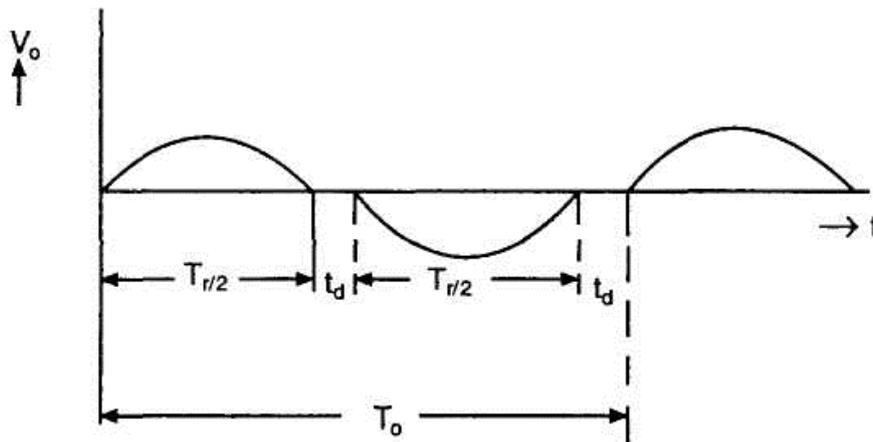


Рисунок 2. -Форма выходного напряжения последовательного инвертора

### Транзисторный двухтактный инвертор напряжения с самовозбуждением

На (рис.3) представлена принципиальная схема транзисторного инвертора напряжения с насыщающимся трансформатором, где  $R_1$ ,  $R_2$  - создают смещение на базе транзисторов  $VT1$  и  $VT2$ , работающих в ключевом режиме, конденсатор  $C$  - обеспечивает прохождение переменной составляющей напряжения обратной связи, обмотки  $Woc1$ ,  $Woc2$  - образуют цепь положительной обратной связи (ПОС) по

напряжению для этого они включены согласно по отношению к обмоткам силового контура  $W_{11}$ ,  $W_{12}$ .

Запуск схемы обеспечивается за счет асимметрии плеч инвертора (транзисторы  $VT_1$ ,  $VT_2$  имеют различные ВАХ). Иногда приходится делать принудительный запуск схемы в момент включения, если асимметрия недостаточна для первоначального пуска.

При преобладании коллекторного тока в полу обмотке  $W_{11}$  за счет разностного тока формируется ЭДС с полярностью, указанной красным цветом на рисунке. На выходе инвертора напряжения имеет место положительный сигнал прямоугольной формы. За счет обмотки ПОС происходит приоткрывание  $VT_1$  и приоткрывание  $VT_2$ . Нарастание коллекторного тока  $I_{K1}$ . Имеет лавинообразный характер, которое прекращается при заходе в область насыщения трансформатора. Скорость изменения потока ( $\Phi_0$ ) снижается и происходит смена полярности ЭДС во всех обмотках трансформатора  $T$ , приоткрывается транзистор  $VT_2$  и процессы повторяются.

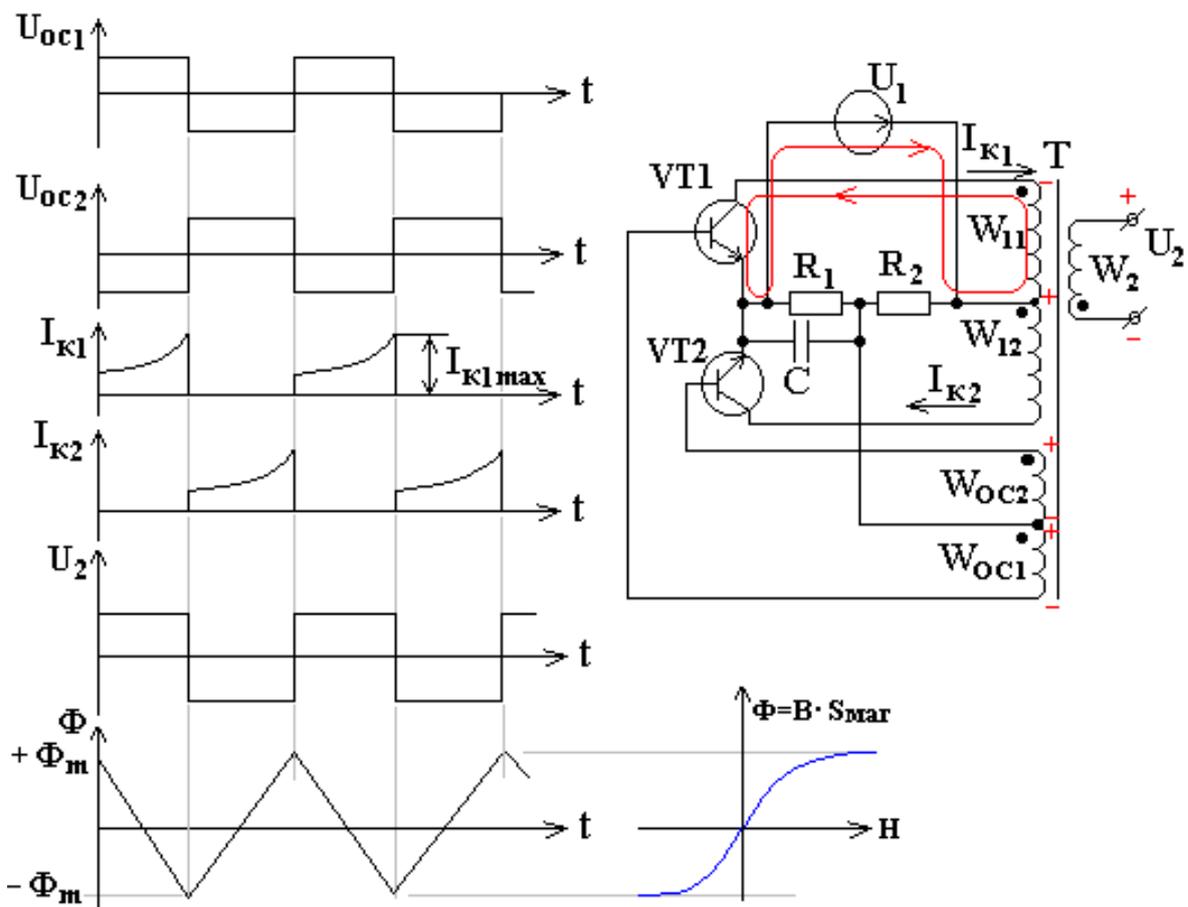


Рисунок 3-Схема транзисторного инвертора напряжения с насыщающимся трансформатором

С увеличением тока нагрузки происходит уменьшение частоты преобразования за счет увеличения потерь на транзисторных ключах. Если рассматривать реальные процессы, то к концу полупериода работы инвертора напряжения происходит "спад" вершины импульса  $U_2$  за счет влияния цепи намагничивания на величину коллекторного тока, что приводит к значительным потерям на силовых ключах.

### Литература

1. Горбачев Г.Н., Чаплыгин Е.Е. Промышленная электроника: Учебник для вузов./ Под ред. В.А. Лабунцова. - Энергоатомиздат, 1988.-320с.: ил.
2. Готтлиб И.М. Источники питания. Инверторы, конверторы, линейные и импульсные стабилизаторы/ И.М. Готтлиб; перев. с англ.: А.Л. Ларина, С.А. Лужанского, - Москва.: Постмаркет, 2000, - 552с.: ил. - (Б-ка современной электроники);
3. <http://ryazgres.ru/primeneniye-invertorov/>

УДК 69:620.179.1.08

## УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОП

Лепская М. В.

Научный руководитель Жуковская Т. Е., старший преподаватель

К дефектам относятся нарушения сплошности или однородности структуры, зоны коррозионного поражения, отклонения химического состава, размеров и прочее.

Дефектоскоп – устройство для обнаружения дефектов в изделиях из различных металлических и неметаллических материалов методами неразрушающего контроля [1].

Классификация приборов неразрушающего метода контроля:

1 Акустические. Бывают реверберационные, акустико-эмиссионные, велосиметрические и пр. Основными же являются:

1.1 Импульсные ультразвуковые (далее УЗ) дефектоскопы. Основываются на посыле в изделие коротких ультразвуковых импульсов и регистрации каких-либо параметров отраженного сигнала. К примеру, при эхо-методе регистрируют интенсивность и времена прихода сигналов, а при теновом методе – энергию колебания или фазу.

1.2 Импедансные дефектоскопы. Принцип работы основан на определении отличия полного механического сопротивления (импеданса) дефектного участка по сравнению с доброкачественным.

1.3 Резонансные дефектоскопы. Основаны на определении собственных резонансных частот упругих колебаний при возбуждении их в изделии.

2 Магнитно-порошковые дефектоскопы. Принцип действия основан на создании поля рассеяния над дефектами с последующим выявлением их магнитной суспензией. Наибольшая плотность магнитных силовых линий поля рассеяния наблюдается непосредственно над трещиной и уменьшается с удалением от нее. Сначала намагничивания отдельные контролируемые участки, после на поверхность детали наносят магнитный порошок, а под действием сил действующих на частицы, они притягиваются к трещине и накапливаются над ней.

3 Вихретоковые дефектоскопы. В основе метод вихревых токов, т.е. возбуждение вихревых токов в зоне контроля и регистрация изменений электромагнитного поля вихревых токов.

4 Феррозондовые дефектоскопы. При движении феррозонда (чувствительного элемента, реагирующего на изменение магнитного поля) вдоль изделия вырабатываются импульсы тока, форма которых зависит от наличия дефектов в изделии.

5 Электроискровые дефектоскопы. Основаны на электрическом пробое воздушных промежутков между касающимся поверхности изоляционного покрытия щупом, подключенным к одному полюсу источника высокого напряжения, и диагностируемым объектом, подключенным к земле.

6 Термоэлектрические дефектоскопы. Основаны на измерении электродвижущей силы, в замкнутой цепи при нагреве места контакта двух разнородных материалов. Если один из этих материалов принять за эталон, то при заданной разности температур горячего и холодного контактов величина и знак термоэдс будут определяться химическим составом второго материала.

7 Радиационные дефектоскопы. Осуществляется облучение объектов рентгеновскими,  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -лучами, а также нейтронами. Радиационное изображение дефекта преобразуют в радиографический снимок, электрический сигнал или световое изображение.

8 Инфракрасные дефектоскопы. Используют инфракрасные (тепловые) лучи для обнаружения непрозрачных для видимого света включений.

9 Радиоволновые дефектоскопы. Основаны на проникающих свойствах радиоволн сантиметрового и миллиметрового диапазонов.

10 Электронно-оптические дефектоскопы. Основа – определение характеристик коронных и поверхностно-частичных разрядов, а также их зависимостей от величины напряжения и степени загрязнения изоляции.

11 Капиллярные дефектоскопы. Основаны на искусственном повышении свето- и цветоконтрастности дефектного участка относительно неповреждённого. Позволяют обнаруживать невооружённым глазом тонкие поверхностные трещины и другие несплошности материала [2,3].

Ультразвуковая дефектоскопия базируется на свойствах ультразвука проникать в различные среды и отражаться от границы раздела сред и основывается на явлении пьезоэффекта. Сущность его состоит в том, что сжатие пластины из пьезоматериала приводит к возникновению на ее поверхностях электрических зарядов. Это явление называется прямым пьезоэффектом. Если же пластину поместить в переменное электрическое поле, то ее толщина будет колебаться с частотой изменения поля. Такой пьезоэффект называется обратным. Эти явления позволяют преобразовывать электрические сигналы в ультразвуковые колебания и обратно. Наибольший эффект пьезопреобразователя достигается при равенстве собственной частоты пьезопластины и частоты приложенного электрического поля (резонансе) [4].

Рассмотрим простейший дефектоскоп. Он состоит из генератора радиоимпульсов, сигнализатора дефектов, широкополосного усилителя, устройства временного выравнивания амплитуды, стабилизатора напряжения питания и преобразователя (видеоусилитель, экран) (рисунок 1).

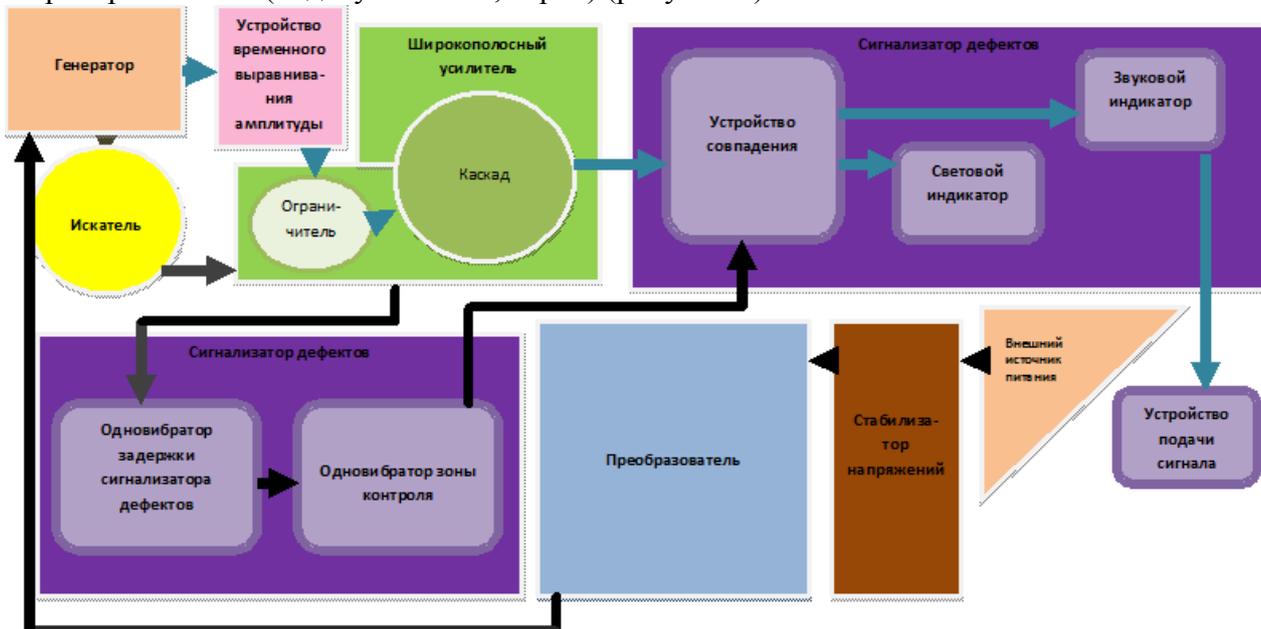


Рисунок 1 – Принципиальная схема дефектоскопа

Искатель дефектоскопа изготовлен из органического стекла. Пьезопластины выполнены из титаната бария. Предварительно подогнанные по размерам, а следовательно, и по частоте пластины приклеивают в щели эпоксидным клеем.

Генератор синхронизирующих импульсов обеспечивает синхронизацию работы узлов дефектоскопа, предназначен для формирования высокочастотных электрических импульсов, используемых для возбуждения УЗ колебаний в преобразователе искателя.

Высокочастотные электрические колебания пьезопластиной преобразователя трансформируются в механические, которые вводятся в контролируемый объект. При отсутствии дефекта в контролируемом изделии импульс дойдет до нижней поверхности изделия, отразится от нее и возвратится, если на пути прохождения ультразвука встретится дефект, то часть волн отразится от него раньше.

Приемно-усилительный тракт дефектоскопа предназначен для усиления и детектирования сигналов, регистрируемых приемным преобразователем.

Автоматический сигнализатор дефектов управляет дополнительными индикаторами. В этом блоке осуществляется временная селекция сигналов, поступающих на его вход с выхода усилительного тракта. Это необходимо для того, чтобы на дополнительные индикаторы дефектоскопа не поступал зондирующий импульс, а также эхо-сигналы от несплошностей, расположенных вне контролируемого слоя. Принцип временной селекции состоит в том, что на выход селектора (каскада совпадений) приходят только те сигналы, которые совпадают по времени со специально сформированным селектирующим (стробирующим) импульсом, временное положение которого соответствует распространению УЗ-колебаний в заданном слое.

Простейшие дефектоскопы (рисунок 2) имеют два режима работы: «Поиск» и «Оценка». Это позволяет сначала определить наличие дефекта, а затем его расположение.

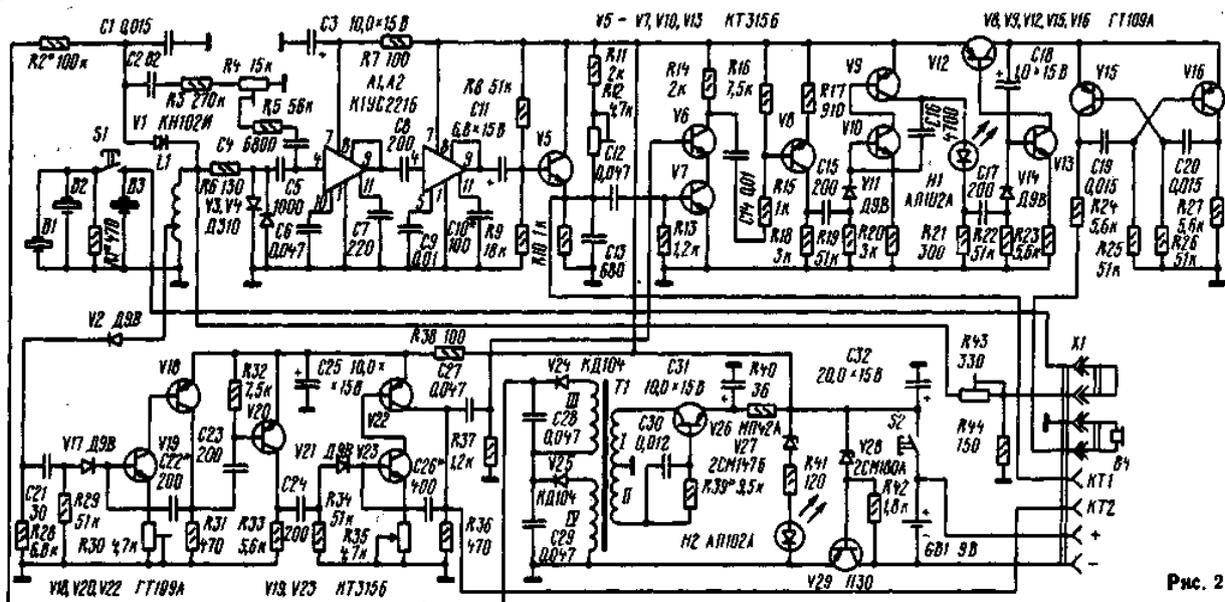


Рис. 2

Рисунок 2 – Электронная схема дефектоскопа

Разъем X1 служит для подключения внешних искателя и источника питания, а также автоматизированных и полуавтоматизированных установок при работе дефектоскопа в комплекте с ними.

Импульс тока, проходящий через динистор V1, возбуждает в контуре L1B3 в режиме «Поиск» или L1B1-B3R1 в режиме «Оценка» радиоимпульс. Его длительность составляет 0,4 мкс. Чувствительность прибора в режиме «Оценка» устанавливают резистором R43.

Стабилизатор на транзисторе V29 и преобразователь на транзисторе V26 и диодах V24, V25 обеспечивают дефектоскоп необходимыми напряжениями питания.

Короткий радиоимпульс преобразуется пьезопластинами В1-В3 искателя в импульс УЗ колебаний, которые через слой контактирующей жидкости распространяются в материале в виде расходящегося пучка поперечных волн. УЗ колебания, отраженные от дефекта, в свою очередь, воздействуют на пьезопластины

V1-V3, возбуждая в них ЭДС, которая усиливается, преобразуется и подается на сигнализатор дефектов.

Снятый с части катушки L1 радиоимпульс преобразуется диодом V2 в положительный импульс, который запускает одновибратор задержки сигнализатора дефектов на транзисторах V18, V19. Длительность импульса одновибратора зависит от положения движка резистора R30. Продифференцированный импульс одновибратора, прошедший через инвертор на транзисторе V20, включает одновибратор «зоны контроля» сигнализатора на транзисторах V22, V23. Длительность импульса этого одновибратора регулируют резистором R35 (расстояние до дефекта). С коллектора транзистора V22 импульс поступает на базу транзистора V6 устройства совпадения на транзисторах V6, V7 сигнализатора.

Если в «зоне контроля» встречается дефект, импульс, отраженный от него и преобразованный пьезопластинами V1-V3, усиливается широкополосным усилителем на микросхемах A1, A2. Для защиты усилителя от перенапряжений по входу включен двусторонний ограничитель на диодах V3, V4. Далее радиоимпульс детектируется и ограничивается в каскаде на транзисторе V5 сигнализатора дефектов и воздействует на базу транзистора V7 устройства совпадения. Резистором R12 можно изменять порог ограничения импульсов в детекторе-ограничителе. С коллектора транзистора V8 положительный импульс запускает сначала одновибратор светового (транзисторы V9, V10), а затем одновибратор звукового (V12, V13) индикаторов, сигнализирующих о наличии дефекта в «зоне контроля». Звуковой индикатор, кроме одновибратора-расширителя импульсов, содержит мультивибратор на транзисторах V15, V16. При наличии дефекта кратковременно загорается светодиод H1 (дефект) и звучит сигнал в телефонах B4.

Для выравнивания чувствительности прибора по глубине залегания дефектов в дефектоскоп введено устройство временного выравнивания амплитуды радиоимпульсов на элементах R3R4C3. Оно формирует импульсы поступающие на вход микросхемы A1.

#### Литература

1. Технические средства диагностирования : справочник / П.П. Пархоменко [и др.]; под ред. В.В.Клюева. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.
2. Научно-производственный центр неразрушающего контроля [Электронный ресурс] / ООО НПЦ «Кропус». – Ногинск, 2011. – Режим доступа: <http://www.kropus.com/products/>. – Дата доступа: 15.04.2013.
3. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов: ГОСТ 18353-79. – М.: Госстандарт, 1980. – 12 с.
4. «Ультразвуковые технологии и аппараты» – официальный сайт Лаборатории акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института [Электронный ресурс] / ООО «Центр ультразвуковых технологий». – Бийск, 1994. – Режим доступа: <http://ultrasonic.ru/book/export/html/900>. –Дата доступа: 15.04.2013.

УДК 621.318.25

## СПОСОБЫ РАЗМАГНИЧИВАНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ТЕЛ

Морозевич Д.А.

Научный руководитель Мороз Р.Р., к.т.н., доцент

Любое ферромагнитное тело всегда разбито на замкнутые магнитные участки (домены), которые намагничены до насыщения (до максимального значения). Линейные размеры доменов не имеют строго определённой величины, но пропорциональны линейным размерам тела:

$$l = k\sqrt{L},$$

где:  $l$  – размер домена,

$L$  – линейный размер образца в направлении прохождения магнитных силовых линий,

$k$  – коэффициент.

Если размер домена будет равен величине, определяемой по приведенной выше формуле, то доменная структура будет равновесной и наиболее устойчива к внешним воздействиям, а ферромагнитное тело будет сохранять значение своей намагниченности. Если размер домена не будет соответствовать равновесной доменной структуре, то ферромагнитное тело будет неустойчиво к внешним воздействиям и может легко намагнититься. При неустойчивой доменной структуре домены или дробятся на более мелкие частички (если размер домена превышает размер равновесной структуры) или объединяются (если размер домена меньше размера равновесной структуры), но в любом случае намагниченность тела изменяется.

Если направления векторов намагниченности всех доменов совпадают, то тело представляет собой постоянный магнит. Если же направления векторов намагниченности доменов имеют некоторое результирующее значение, то тело тоже намагничено, но не до максимальной величины. Если направления векторов намагниченности доменов имеют такие направления, что результирующий вектор равен нулю, то тело размагничено.

Итак, значение намагниченности ферромагнитного тела определяется как размерами доменов, так и направлением векторов намагниченности этих доменов.

Так как в пространстве вокруг намагниченных ферромагнитных тел существуют достаточно сильные магнитные поля, отрицательно воздействующие на работу изделий, то ферромагнитные тела нужно размагничивать. Для устойчивого размагничивания ферромагнитных тел их необходимо разбить на равновесные домены (в этом случае тело будет наиболее устойчиво к внешним воздействиям) и разупорядочить направления векторов намагниченности доменов таким образом, чтобы результирующая намагниченность равнялась нулю.

В настоящее время известно три способа размагничивания ферромагнитных тел:

- статическое размагничивание – размагничивание, полученное при помощи внешнего равномерно меняющегося магнитного поля, которое приводит намагниченность магнитного материала к такому значению, что при удалении поля она становится равной нулю;

- термическое размагничивание – размагничивание, полученное повышением температуры материала выше точки Кюри и последующим охлаждением его при отсутствии внешнего магнитного поля;

- динамическое размагничивание – размагничивание, полученное при помощи внешнего знакопеременного периодического магнитного поля, амплитуда

напряжённости которого уменьшается от значения, соответствующего намагниченности технического насыщения, до нуля.

Наиболее эффективным способом размагничивания является динамический, так как переменное затухающее электромагнитное поле разбивает ферромагнитное тело на домены и разупорядочивает направления их векторов намагниченности. Причём размеры доменов и направления векторов их намагниченности зависят от параметров размагничивающего поля. Значит, изменяя параметры размагничивающего поля (частоту  $f$  и время размагничивания  $t$ ), можно разбить тело на домены, размеры которых соответствуют равновесной доменной структуре, и разупорядочить векторы намагниченности доменов. Этим обеспечивается наилучшее размагничивание. Значения параметров размагничивающего поля определяются габаритами и внутренними свойствами ферромагнитных тел.

УДК 658.26:621.3.001.63

## ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ И СТРОЯЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ

Кононенко Е.В.

Научный руководитель Мороз Р.Р., к.т.н., доцент

К электроснабжению предприятий строительной индустрии предъявляются следующие основные требования:

1) обеспечение подачи необходимого для предприятия количества электроэнергии и надёжности электроснабжения;

2) обеспечение подачи электроэнергии требуемого качества;

3) обеспечение электробезопасности и экономичности электроснабжения.

Своеобразие электроснабжения строящихся объектов заключается в первую очередь в том, что значительная часть электрических сетей (воздушных и кабельных) носит временный характер и обычно выполняется без тщательных расчётов. Поэтому во многих случаях качество электроэнергии на строительных площадках не соответствует требованиям обеспечения высокой эффективности технологических процессов строительного производства и паспортную производительность электроустановок, что и обуславливает значительные потери электроэнергии.

Основными приёмниками электроэнергии в строительстве являются асинхронные двигатели. Так как на строительных площадках эксплуатируются двигатели, мощность которых соизмерима с мощностью питающих трансформаторов, а также и из-за удаленности двигателей от главных производственных подстанций напряжение у токоприёмников строительных площадок может понижаться до 15%, что недопустимо. Поэтому для вторичной стороны трансформаторных подстанций на строительных площадках при холостом ходе должно быть принято отклонение напряжения +10% от номинального. В соответствии с вышесказанным, для стабилизации и регулирования напряжения у приёмников серийно выпускается ряд трансформаторов, у которых возможно регулирования напряжения на вторичных обмотках.

Необходимый уровень напряжения у приёмников электроэнергии обеспечивается при определении параметров линий питания. Поэтому чрезвычайно важным является их расчёт и выбор. Расчёт электрических сетей производят по нагреву, по потере напряжения, по условиям пуска мощных асинхронных двигателей.

Расчёт электрических сетей по нагреву производят, исходя из того, что значения длительно допустимых токов нагрузки  $I_{\text{нагр.}}$  для стандартных сечений проводов, кабелей и воздушных линий должны быть такие, при которых сохраняются качества изоляции и механическая прочность проводов. При этом необходимо учитывать влияние температуры окружающей среды. Поэтому по расчётному току нагрузки  $I_{\text{нагр.}}$  выбирают сечение провода, для которого  $I_{\text{доп.}} \geq I_{\text{нагр.}}$ , где  $I_{\text{доп.}}$  – значения длительно допустимого тока нагрузки.

Потеря напряжения равна разности модулей напряжения в начале и в конце линии, т. е.  $\Delta U = U_1 - U_2$ . Потеря напряжения в линии показывает, на сколько вольт напряжение в конце линии меньше, чем напряжение в начале линии. Величина падения напряжения определяется по формуле:

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100 = \frac{I(R + X_L)}{U_n} \cdot 100 = \frac{I(r_0 2l + x_0 2l)}{U_n} \cdot 100 = \frac{200 Il}{U_n} (r_0 \cos \varphi_2 + x_0 \sin \varphi_2), \text{ В.}$$

Определение потери напряжения при пуске мощных асинхронных двигателей требует решения сложной системы нелинейных уравнений. Однако опыт проектирования показывает, что простоты расчётов электрической сети при достаточной для практики степени точности результатов можно достигнуть, приняв потерю напряжения от работающих двигателей в момент пуска мощного двигателя той же, что и перед пуском, т.е. постоянной.

В этом случае потеря напряжения в линии при пуске двигателя определяется по формуле:

$$\Delta U = U_0 - U_{II},$$

где:  $\Delta U$  – потеря напряжения в линии,

$U_0$  – напряжение в начале линии на вторичной обмотке трансформатора,

$U_{II}$  – напряжение на зажимах двигателя.

Эта формула получила широкое применение для расчёта и проверки параметров электрических сетей по условиям пуска.

При наличии на строительных площадках значительных отклонений питающего напряжения возрастает роль регулирования напряжения в сетях как одного из эффективных средств улучшения качества электроэнергии. Регулирование напряжения может осуществляться с помощью не только средств, непосредственно воздействующих на значение напряжения, но и устройств компенсации реактивной мощности.

Электроприёмники на строительных площадках создают огромные реактивные токи, которые в течение суток претерпевают значительные колебания. Эти токи создают дополнительные потери напряжения. Поэтому возможности и эффективность компенсации реактивных нагрузок в сетях довольно велики.

Регулирование напряжения в сети может осуществляться либо путём оснащения питающего трансформатора средствами регулирования, обеспечивающими требуемые изменения коэффициента трансформации, либо с помощью специальных устройств, присоединяемых к электрической сети.

При выборе первого способа регулирования отпадает необходимость в применении какой-либо дополнительной аппаратуры, однако устройство должно быть рассчитано на полную мощность всех потребителей. Преимущество второго способа регулирования – возможность удовлетворения требований отдельных потребителей по качеству электроэнергии. Недостаток – потребность в дополнительном оборудовании, усложняющем монтаж и повышающем трудоёмкость обслуживания.

По характеру использования можно выделить три группы регулирующих устройств:

- 1) централизованного регулирования;
- 2) группового регулирования;
- 3) индивидуального регулирования.

Выпускаемые отечественной промышленностью силовые трансформаторы можно подразделить на три группы:

- 1) трансформаторы, снабжённые устройствами регулирования напряжения под нагрузкой (РПН);
- 2) трансформаторы, допускающие разовые изменения коэффициента трансформации путём переключения дополнительных ответвлений;
- 3) трансформаторы, не имеющие ответвлений.

Наибольшее распространение в силовых электрических сетях общего назначения получили трансформаторы с РПН. Их производство достигло около 70% от общего выпуска по мощности.

Реактивная нагрузка предприятий строительной индустрии, как правило, является индуктивной (трансформаторы, электродвигатели, кабели и т. д.). Индуктивная энергия то потребляется генератором, то возвращается в сеть. Суммарное значение энергии, потребляемое от источника электроэнергии, равно нулю. Уменьшение коэффициента мощности влечёт за собой снижение к.п.д. трансформаторов, электродвигателей и ряда других электропотребителей. С уменьшением нагрузки двигателей резко падает их коэффициент мощности. Кроме того, индуктивные токи вызывают дополнительные потери напряжения, снижая напряжение, подводимое к приёмникам; обуславливают активные потери (на нагрев) в электропроводящих сетях.

Различают два вида коэффициента мощности: естественный, измеряемый без компенсирующих устройств, и общий, определяемый с учётом действия компенсирующих устройств.

К естественным методам повышения коэффициента мощности относятся: замена асинхронных двигателей на синхронные, правильный выбор двигателей по мощности и др.

К искусственным методам компенсации индуктивной мощности можно отнести использование конденсаторов, а также синхронных двигателей, которые в режиме перевозбуждения представляют собой ёмкостную нагрузку.

УДК 620.9

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В БЫТУ

Толкач А. В., Липская С.А., Мамчиц В.Н.

Научный руководитель Германович Е. И., старший преподаватель

С каждым годом на бытовые нужды расходуется всё большая доля электроэнергии, газа, тепла, воды. Между тем, многие месторождения в обжитых местах уже исчерпаны, а новые приходится искать и обустраивать в труднодоступных районах Сибири и Дальнего Востока. Обходится всё это очень недёшево. Поэтому именно экономия становится важнейшим источником роста производства.

Коммунально-бытовое хозяйство является на сегодня крупным потребителем топлива и энергии: на его долю приходится около 20% топливно-энергетических ресурсов. Самыми крупными потребителями электроэнергии в коммунально-бытовом хозяйстве являются жилые дома. В них ежегодно расходуется в среднем 400 кВт\*ч на человека, из которых примерно 280 кВт\*ч потребляется внутри квартиры на освещение и бытовые приборы различного назначения и 120 кВт\*ч – в установках инженерного оборудования и освещения общедомовых помещений.

Электростанции работают с полной нагрузкой, особенно напряжённо – в осенне-зимний период года в часы наибольшего потребления электроэнергии: с 8.00 до 10.00 и с 17.00 до 21.00. И в это напряжённое время где-то столь необходимые для производства киловатт-часы тратятся напрасно. В пустующих помещениях горят электрические лампы, светятся экраны телевизоров и др. 15-20% потребляемой в быту электроэнергии пропадает из-за небрежности потребителей. А электроэнергия сегодня дорожает. Поэтому старый призыв «Экономьте электроэнергию!» стал ещё более актуальным. Посмотрим, как и за счёт чего это можно сделать.

### 1. Рациональное освещение квартиры

Освещение квартиры складывается из естественного и искусственного. Любое из них должно обеспечивать достаточную освещённость помещения.

В помещения, окна которых выходят на север и частично на запад и восток, попадает лишь рассеянный свет. Для улучшения естественного освещения комнат отделку стен и потолка рекомендуется делать светлой. Запылённые стёкла могут поглощать до 30% света. Значительное количество электроэнергии напрасно расходуется днём в квартирах первых, а некоторых домах - вторых и третьих этажей. Причина этому – беспорядочные посадки зелени перед окнами, затрудняющие проникновение в квартиры естественного дневного света. Согласно существующим нормам деревья высаживаются на расстоянии не ближе 5 м от стен жилого дома, кустарник – 1,5 м.

Искусственное освещение создаётся электрическими светильниками. В современных квартирах широко распространены три системы освещения: общее, местное и комбинированное. При общем освещении можно заниматься работой, не требующей сильного напряжения зрения. Светильники общего освещения являются самыми мощными светильниками в помещении, их основная задача – осветить всё как можно более равномерно. Для этого обычно используют потолочные или подвесные светильники, установленные в центре потолка. Общую освещённость можно считать достаточной, если на 1 кв. м площади приходится 15-25 Вт мощности ламп накаливания.

В одном или нескольких местах помещения следует обеспечить местное освещение с учётом конкретных условий. Такое освещение требует специальных светильников, устанавливаемых в непосредственной близости к письменному столу, креслу, туалетному столику и т.п. Так, например, достаточное освещение листа ватмана

при черчении обеспечит светильник с лампой накаливания мощностью 150 Вт на расстоянии 0,8-1 м. Штопку чёрными нитками можно выполнять при лампе мощностью 100 Вт на расстоянии 20-30 см. Для продолжительного чтения рекомендуется светильник с лампой накаливания в 60 Вт.

Комбинированное освещение достигается одновременным использованием светильников общего и местного назначения, а также при помощи светильников комбинированного освещения. К ним относятся многоламповые светильники имеющие 2 группы ламп, одна из которых обеспечивает местное, а другая – общее освещение.

Более совершенными источниками света являются люминесцентные лампы. Такая лампа имеет по сравнению с лампой накаливания в 4-5 раз более высокую световую отдачу и в 5-8 раз больший срок службы. Например, светоотдача люминесцентной лампы 20 Вт равна светоотдаче лампы накаливания 150 Вт.

#### 2. Экономия электроэнергии при приготовлении пищи.

Самыми энергоёмкими потребителями являются электроплиты. Технология приготовления пищи требует включения конфорки на полную мощность только на время, необходимое для закипания. Варка пищи может происходить при меньших мощностях. Суп совершенно не обязательно должен кипеть ключом: он от этого быстрее не сварится, потому что выше 100 °С вода всё равно не нагреется. Зато при интенсивном кипении она будет очень активно испаряться, унося около 0,6 кВт\*ч на каждый литр выкипевшей воды. То, что должно вариться долго, следует варить на маленькой конфорке, нагретой до минимума, и обязательно при закрытой крышке. Варка пищи на малых мощностях значительно сокращает расход электроэнергии, поэтому конфорки электроплит снабжают переключателями мощности.

Большинство электроплит оснащены сейчас 4-7ступенчатыми регуляторами мощности; в результате при приготовлении пищи электроэнергия расходуется нерационально. Применение 7-ступенчатых переключателей снизит затраты энергии на 5-12%, а бесступенчатых – ещё на 5-10%. Несвоевременная смена неисправных конфорок приводит к перерасходу электроэнергии на 3-5%.

На электроплитах надо применять специальную посуду с утолщённым обточенным дном диаметром, равным или несколько большим диаметра конфорки. Использовать специализированные приборы для приготовления пищи. Эти приборы предназначены для приготовления отдельных видов блюд. Блюда получаются лучшего качества, чем приготовленные на плите, а энергии затрачивается меньше. Применение скороварок примерно в три раза сокращает время приготовления блюд и упрощает технологию. Расход электроэнергии при этом сокращается в два раза.

Одним из условий улучшения работы электрочайника и посуды является своевременное удаление накипи. Накипь обладает малой теплопроводностью, поэтому вода в посуде с накипью нагревается медленно. Неоспоримые преимущества имеют и микроволновые печи, получившие в последнее время широкое распространение. В них разогрев и приготовление продуктов происходят за счёт поглощения ими энергии электромагнитных волн. Причём продукт подогревается не с поверхности, а сразу по всей его толще. В этом заключается эффективность этих печей.

#### 4. Экономия электроэнергии при пользовании радиотелевизионной аппаратурой

Радиотелевизионная аппаратура – значительный потребитель электроэнергии. Если считать, что в среднем телевизоры в наших домах включены 4 часа в сутки, то ежегодно расходуется около 30 миллиардов кВт\*ч электроэнергии. Поэтому надо создать условия для ее лучшего охлаждения, а именно: не ставить вблизи электроотопительных приборов, не накрывать различного рода салфетками, производить систематическую очистку от пыли.

Для прослушивания передач информационного характера целесообразно использование радиотрансляционной сети. Многие электронные приборы –

видеомагнитофоны, приемники, проигрыватели – после выключения продолжают работать в дежурном режиме. Табло прибора при этом становится электронными часами. Это, конечно, удобно. Мощность «дежурного» устройства невелика – каких-нибудь 10 – 15 Вт. Но за месяц непрерывной работы оно «съест» уже довольно ощутимое количество электроэнергии – около 10 кВт\*ч.

#### 5. Экономия электроэнергии при пользовании электробытовыми приборами

Холодильник – энергоемкий прибор. Поскольку холодильники постоянно включены в сеть, его следует ставить в самое прохладное место кухни (ни в коем случае не к батарее, плите), желательно возле наружной стены, но не вплотную к ней. Чем ниже температура теплообменника, тем эффективнее он работает и реже включается. При снижении температуры теплообменника с 21 до 20 градусов, холодильник начинает расходовать электроэнергию на 6% меньше. Ледяная «шуба», нарастая на испарители, изолирует его от внутреннего объема холодильника, заставляя включаться чаще и работать каждый раз больше. Чтобы влага из продуктов не намерзала на испарители, следует хранить их в коробках, банках и кастрюлях, плотно закрытых крышками, или завернутыми в фольгу. А регулярно оттаивая и просушивая холодильник можно сделать его гораздо экономичнее.

Стиральные машины – наиболее экономичные автоматические машины, включение и выключение которых производится строго по программе. Они рассчитаны на одновременную загрузку определенной массы сухого белья. Перегружать машину не следует: ее мотору будет тяжело работать, а белье плохо отстирается. Не следует думать, что загрузив бак машины лишь наполовину, можно добиться экономии энергии и повысить качество стирки. Половина мощности машины уйдет на то, чтобы вхолостую гонять воду в баке, а белье чище все равно не станет.

Мощность утюга довольно велика – около киловатта. Чтобы добиться некоторой экономии, белье должно быть слегка влажным: пересушенное или слишком мокрое приходится гладить дольше, тратя лишнюю энергию.

Для эффективной работы пылесоса большое значение имеет хорошая очистка пылесборника. Забитые пылью фильтры затрудняют работу пылесоса, уменьшают тягу воздуха. Для их очистки надо обзавестись щетками двух типов: плоской широкой и узкой длинной. Такими щетками легко удалять пыль, как с пылесборника, так и с матерчатых фильтров.

Экономия воды, мы экономим электроэнергию. Вода не сама приходит в наши многоэтажные дома. Мощные насосы, приводимые в движение электрическими моторами, поднимают воду на нужную высоту. Этот расход энергии не отражается на наших электросчетчиках, но величина его весьма ощутима. Во многих странах Европы водомерные счетчики уже стали привычной деталью квартир. Советы по экономии воды очень просты. Это исправное состояние кранов в ваннах, умывальниках и мойках; исправность унитазов; уменьшение пользования ванной за счёт использования душа.

Экономия электроэнергии необходима в любое время года, месяца и дня. Но особенно она значима в часы наиболее напряжённого режима работы наших электростанций, так называемых утренних и вечерних часов максимума нагрузки энергосистем.

#### Литература

1. Кораблев В.П. Экономия электроэнергии в быту. – Москва, «Энергоатомиздат», 1987.
2. Лацис О. Р. Солнце в доме. – Москва, «Советская Россия», 1982.
3. Экономьте электроэнергию! – «Наука и жизнь», 3/96, стр. 66-67.

УДК 628.511

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

Подоляк В.В., Подлинных Н.В., Равгень П.А.

Научный руководитель Германович Е.И., старший преподаватель

Системы вентиляции зданий и сооружений известны с давних времен. С развитием мира и изобретением новых технологий инженерные системы также прогрессируют. До недавнего времени механические системы вентиляции считались идеально автоматизированными, в них имелись возможности регулирования температуры приточного воздуха и регулирование количества воздуха (его расхода). Однако наряду с этими возможностями появились новые проблемы, связанные с постоянным сечением вентиляционных каналов, т.е. для использования функции регулирования расхода необходимо было устанавливать дросель-клапаны, предназначенные для частичного или полного перекрытия вентиляционного канала. Настройка системы осуществлялась согласно аэродинамическому расчету и выполнялась вручную, т.е. каждый отдельный клапан имел механическую регулировку.

Решением данной проблемы было разработано компанией Swegon и его техническими специалистами. Данное решение является инновационным и не имеет мировых аналогов. Полное автоматизирование системы предусматривает отсутствие необходимости механического регулирования и предлагает нам лишь управление температурным режимом.

Современные энергоэффективные системы вентиляции по потребности в комплексе с системой *Super WISE* (разработка фирмы Swegon), а также холодные балки с функцией подогрева воздуха (серия *Paragon*) открывают идеальное «оружие» микроклимата. В каждой комнате устанавливаются датчики CO<sub>2</sub> и температуры, таким образом, необходимое количество приточного воздуха рассчитывается и регулируется системой автоматически. В качестве регулирующей арматуры используется клапан с активной заслонкой (*ADAPT Damper*).

В температурном же режиме мы отходим от стандартного нагрева либо охлаждения до заданной температуры на выходе из установки (в этом случае температура приточного воздуха по всем помещениям одинакова). Системы Swegon предусматривает установку секций охлаждения и нагрева, которые являются основополагающими, но единственными. Инновационное решение заключается в использовании холодных балок.

Приточный воздух на выходе из установки имеет некоторую температуру, заданную пользователем. Однако используя комфортные модули *Paragon*, мы имеем возможность нагрева и дополнительного охлаждения воздуха для отдельно взятого помещения. Спецификой является подведение горячей и холодной воды к модулю (горячая вода системы отопления и холодная вода вентиляционного чиллера).

Как следствие можно сделать вывод о пользовательском комфорте потребителя, ведь то, что необходимо сделать: это - задать комфортную температуру воздуха в помещении. В качестве дополнительного решения температурного режима является новейшая система автоматизации, дополнительно берущая под свое начало систему отопления данного помещения (подключается к регулирующему расход-клапану, который может быть двух- или трехходовой и осуществляет его регулирование). То есть когда мы задаем температуру в 23 градуса (на локальном переносном пульте управления), данное значение принимает как система отопления, так и система вентиляции помещения.

Что же может обеспечить стабильную, а главное правильную работу такой системы? Ответ очень прост: это специально разработанные модули систем управления (в их число входит CONTROL Damper в комбинации с CONTROL Optimize и Slave Controller и т.д.). Они являются невидимыми посредниками и фактически управляют работой все системы, координируя при этом работу заслонок, воздухораспределителей, вентиляторов, комнатных датчиков, индивидуальных пультов регулирования и другие. Все элементы данной системы соединены между собой при помощи трехжильного сечением 1.5 мм<sup>2</sup>.

Таким образом мы добавляем затраты на использование кабеля и элементы систем регулирования, а на выходе получаем колоссальную экономию энергии. Ведь все мы прекрасно понимаем что, когда производится расчет системы вентиляции для частного дома - проектировщиком подразумевается присутствие группы людей в каждой комнате для расчета количества приточного воздуха. Но в реальности количество людей в доме, а уж тем более в отдельно взятом помещении не совпадает с расчетным количеством, что тратит наши средства на вентилирование не используемых помещений. С наличием же предложенной нами системы вы будете точно уверены в том, что система работает лишь там, где это необходимо (в местах пребывания людей и животных).

#### Литература

1. [www.swegon.com](http://www.swegon.com)
2. Расчет малошумной системы вентиляции / О. С. Кочетов // Безопасность труда в промышленности. - 2010. - № 1. - С. 22-25.
3. Роль вентиляции и охлаждения в энергетическом балансе современного офисного здания / науч. ред. Н. А. Шонина // Вентиляция. Отопление. Кондиционирование: АВОК. - 2011. - N 2. - С. 60-67.
4. Прямоточные приточные системы вентиляции / науч. ред. Е. Г. Малявина // Вентиляция. Отопление. Кондиционирование: АВОК. - 2011. - N 5. - С. 32-38.

УДК 628.511

## **АВТОМАТИКА И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Чайковский Д.С., Коленчик С.И., Терещук Ю.С.

Научный руководитель Германович Е.И., старший преподаватель

Управление инженерным оборудованием зданий требует систем автоматики, способных контролировать все необходимые параметры и влиять на работу оборудования таким образом, чтобы обеспечить комфортное и безопасное пребывание людей в помещениях, исправное функционирование оборудования. Эти задачи решаются локальной автоматикой, к которой относятся контроллеры, пользовательские терминалы, датчики и исполнительные устройства. Контроллер, который является основой системы управления, может быть или конфигурируемый или свободно программируемый.

Обычно контроллеры имеют выходы с небольшой нагрузочной способностью, поэтому для управления электродвигателями, калориферами и другими мощными устройствами контроллер оснащается контакторами и другой пускозащитной аппаратурой. Так появляется щит автоматики – полностью укомплектованное изделие, предназначенное для управления конкретным типом оборудования.

Пользовательские терминалы предназначены для контроля состояния и управления системой автоматики. При этом обычно существует возможность производить управление несколькими контроллерами с одного терминала, что повышает эффективность работы службы эксплуатации объекта и создает более комфортные условия.

Датчики и исполнительные устройства – т.н. «обвязка», служат для получения контроллерами системы управления необходимой информации о состоянии оборудования и непосредственного управления этим оборудованием. К исполнительным устройствам относятся приводы воздушных заслонок, водяных клапанов, частотные преобразователи и т.д.

Одна из типовых задач, которую решает система автоматики климатического оборудования, – управление скоростью вращения вентиляторов, регулирование производительности компрессоров и другой приводной техники.

Для решения указанной задачи в номенклатуре Carel присутствуют тиристорные ШИМ регуляторы скорости вращения как однофазных, так и трехфазных вентиляторов.

Современные системы управления инженерным оборудованием, использующим приводную технику, все чаще оснащаются частотными преобразователями, которые позволяют, например, за счет плавного регулирования скорости вращения двигателей вентиляторов, согласовывать производительность системы вентиляции с текущей потребностью в свежем воздухе.

В случае, когда оборудования много и оно расположено в различных, особенно труднодоступных, местах, возникает необходимость иметь возможность контролировать его состояние и управлять им удаленно, с единого диспетчерского пульта, а также вести запись состояния оборудования в течение времени работы для выявления потенциальных неисправностей. Системы управления, построенные по такому принципу, называют системами управления зданием, системами диспетчеризации.

Необходимо отметить, что система диспетчеризации является надстройкой над локальной автоматикой – основные задачи управления инженерным оборудованием будут выполняться независимо от функционирования системы диспетчеризации.

Главная причина, почему системы диспетчеризации все более востребованы в современных проектах автоматизации инженерного оборудования – использование таких систем позволяет получить экономию ресурсов сразу по нескольким направлениям:

- Снижение расходов на эксплуатацию и обеспечение бесперебойной работы оборудования.
- Снижение расходов на энергоносители и за счет оптимального регулирования параметров работы оборудования.
- Возможность коммерческого и технологического учета энергоресурсов.
- Ведение автоматизированного учёта эксплуатационных ресурсов инженерного оборудования с целью проведения своевременного технического обслуживания.
- Обеспечение оперативного взаимодействия эксплуатационных служб.
- Планирование проведения профилактических и ремонтных работ инженерных систем.
- Документирование протекания технологических процессов, работы инженерных систем и действий обслуживающего персонала.

Для предприятий розничной торговли продуктами питания характерно наличие большого количества инженерного оборудования, прежде всего холодильной техники, обеспечивающей необходимые условия хранения продуктов. При этом требуется обязательный контроль с ведением журнала записей о значениях таких параметров, как температура и влажность. Аналогичные задачи необходимо решать в складских помещениях, где находятся материалы, требующие поддержания влажности и температуры в определенных пределах для сохранения их характеристик. Это относится к гигроскопичным материалам, используемым в фармацевтическом производстве, текстильной и полиграфической промышленности.

#### Литература

1. Е.С.Бондарь, А.С.Гордиенко, В.А.Михайлов, Г.В. Нимич, Киев, Ивик, 2003 - 556с.
2. О.А. Мухин - Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции учеб. Пособие для вузов.
3. Вентиляция с рекуперацией теплоты. Необходимое условие для зданий с близким к нулевому энергетическим балансом / С. Хандел // Вентиляция. Отопление. Кондиционирование: АВОК. - 2011. - № 8. - С. 68-72.

УДК 621.314

## ИСТОЧНИКИ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ

Нестерова И.В., Ушенина Т.М., Юшко В.С.

Научный руководитель Германович Е.И., старший преподаватель

Перечислим основные неполадки, которые возникают в сетях электропитания:

1. исчезновение напряжения - отсутствие напряжения более одного периода (20мс);
2. провал напряжения - внезапное понижение напряжения ниже 90% от номинального значения (207 В);
3. перенапряжение - внезапное повышение напряжения выше 110% от номинального значения (253 В);
4. электромагнитные помехи - возникновение в сети высокочастотных импульсных помех;
5. высоковольтные импульсы напряжения - появление в сети короткого (10-50мкс) высоковольтного импульса напряжением до 6000 В;
6. отклонения частоты - отклонение частоты напряжения за пределы диапазона ( $50 \pm 0.2$ ) Гц;
7. несинусоидальность напряжения, характеризующееся коэффициентом искажения синусоидальной кривой.

Любое из этих событий может привести к неприятным последствиям, таким как временная остановка оборудования, выход из строя каких-либо его узлов, потеря данных и т.д. В настоящее время самыми эффективными устройствами, защищающими оборудование от проблем в электросетях, являются источники бесперебойного питания (ИБП, Uninterruptible Power Supply, UPS), которые устанавливаются между электросетью и защищаемым оборудованием. Основной задачей источника бесперебойного питания является генерирование на его выходе чистого синусоидального напряжения стабильной амплитуды и частоты при любых отклонениях напряжения в питающей электросети.

Отсюда следует, что любой источник бесперебойного питания должен содержать генератор синусоидального напряжения (чаще называемый инвертором) и от того, какими характеристиками он обладает, во многом зависит качество самого ИБП.

Инвертор, в свою очередь, должен иметь как минимум два источника энергии для обеспечения непрерывной работы ИБП:

- а) непосредственно питающая электросеть,
- б) аккумуляторные батареи, энергия которых используется, когда напряжение в электросети недостаточно для нормальной работы инвертора (например, при полном его отсутствии).

Емкость аккумуляторных батарей и их количество определяют время резервной работы ИБП при полном отсутствии напряжения в электросети. Все источники бесперебойного питания делятся на 3 типа:

1. off-line
2. line-interractive
3. on-line (Double conversion - двойное преобразование).

Off - line ИБП - это наиболее простые и дешевые источники бесперебойного питания. При нормальном напряжении в электросети ИБП передает его через фильтр в нагрузку, инвертор при этом выключен. При пропадании напряжения или отклонении его параметров от нормы запускается инвертор, который преобразует энергию батарей в переменное напряжения, необходимое для питания нагрузки. Как правило, в off - line ИБП инвертор вырабатывает не синусоидальное напряжение, а прямоугольные

импульсы. Такое напряжение само по себе создает помехи в сети и не всегда пригодно для питания оборудования. Это обусловлено тем, что ступенчатое напряжение при работе на емкостную нагрузку (а емкости содержатся практически в любом оборудовании) порождает короткие импульсы тока большой амплитуды. Они то и представляют наибольшую опасность для критического оборудования. Таким образом, off - line ИБП не обеспечивают 100% защиты оборудования, а в некоторых случаях могут даже создавать дополнительные проблемы. Такие источники можно использовать для питания компьютеров, не содержащих какой-либо ценной информации и не влияющих на результаты работы вашего предприятия.

Line - interactive ИБП - это усовершенствованный off - line ИБП. В нем устанавливаются более мощные фильтры, и добавляется регулятор (стабилизатор) выходного напряжения (выполненный обычно из трансформатора с дополнительными отводами, которые коммутируются с помощью реле). За счет этого стабилизатора выходное напряжение ИБП регулируется в заданном диапазоне при довольно значительных изменениях входного напряжения (например, от 176 до 282 В) без перехода ИБП на работу от батарей. За счет этого увеличивает срок эксплуатации батарей (до 4-6 лет). Инверторы в line - interactive источниках могут вырабатывать как "аппроксимированное синусоидальное напряжение" (т.е. прямоугольные импульсы), так и чистое синусоидальное напряжение. От этого в основном и зависит качество и цена ИБП. ИБП с прямоугольными импульсами на выходе можно использовать только для питания такого оборудования, которое не представляет для Вас большой ценности. ИБП с синусоидальным выходным напряжением можно использовать для питания компьютеров, серверов и другого аналогичного оборудования.

Основными преимуществами line - interactive ИБП являются:

1. незначительные тепловыделения, т.к. ИБП в основном работает в режиме прямой передачи входного напряжения на выход и переходит в батарейный режим (в этом режиме запускается инвертор, который в основном и выделяет тепло) только при значительных перепадах питающего напряжения
2. низкий уровень шума, что является немаловажным обстоятельством, особенно тогда, когда рядом работают люди (шум возникает только при запуске инвертора)
3. низкая цена.

Основным существенным недостатком line - interactive ИБП является наличие интервала времени переключения ИБП из нормального режима в батарейный режим и обратно. В течение этого интервала времени напряжение на выходе ИБП падает до нуля. Как правило, время переключения составляет (1 - 10) мс (в некоторых старых моделях может быть и больше). Чем выше его значение, тем больше вероятность того, что в вашем оборудовании произойдет сбой во время такого переключения. Для уменьшения времени переключения необходимо использовать высокоскоростные реле или другие электронные коммутаторы. К сожалению, эта важная характеристика, очень редко указывается в технической документации ИБП. Причем следует иметь в виду, что провалы выходного напряжения происходят не только тогда, когда ИБП переходит в батарейный режим. Они возникают также вследствие работы выходного регулятора напряжения. При изменении амплитуды входного напряжения регулятор выходного напряжения переключает отводы выходного трансформатора с помощью реле, что также приводит к прерыванию выходного напряжения и ступенчатому изменению его амплитуды. Эти переключения также могут привести к сбою в работе критического оборудования.

On - line ИБП - это ИБП, использующий принцип двойного преобразования энергии для защиты оборудования. В таком ИБП при нормальном режиме работы (on - line - режим) отсутствует непосредственная передача входного напряжения на

выход. Входное напряжение претерпевает двойное преобразование (double conversion). На первом этапе переменное напряжение преобразуется в постоянное напряжение (обычно с помощью выпрямителя AC/DC), где оно аккумулируется в промежуточных емкостных накопителях, которые, в свою очередь, подключены непосредственно (или через согласующее устройство, которое называют зарядным устройством) к аккумуляторным батареям. На втором этапе постоянное напряжение емкостных накопителей преобразуется в переменное с помощью инвертора DC/AC, фильтруется и подается на выход ИБП. В on-line ИБП инвертор работает постоянно и вырабатывает напряжение со стабильной амплитудой и частотой. Т.к. инвертор подключен к промежуточным емкостным накопителям, которые питаются как от выпрямителя, так и от батарей, то в on-line ИБП отсутствует время переключения из нормального режим (on-line режим) в батарейный режим (это время равно 0,00 мс). Выходное напряжение не имеет никаких прерываний. А это означает, что основной недостаток line-interactive ИБП здесь отсутствует. Амплитуда и частота выходного напряжения абсолютно не зависят от изменений напряжения в питающей электросети. Поэтому такая технология преобразования еще называется Voltage and Frequency Independent from utility - VFI (независимое напряжение и частота от входного напряжения). Здесь следует отметить, что в on-line режиме, когда частота входного напряжения находится в заданных пределах, выходное напряжение синхронизируется по фазе с входным напряжением. Но как только частота входного напряжения выходит за установленные пределы, ИБП начинает вырабатывать переменное напряжение, синхронизированное с внутренним генератором синусоиды. Режим синхронизации с входным напряжением необходим для того, чтобы ИБП мог перейти в режим байпас и обратно с минимальным значением времени переключения. В режиме байпас напряжение со входа через электронный или механический переключатели подается на выход ИБП. Такой режим используется, когда необходимо провести профилактические или ремонтные работы (например, заменить батареи) без отключения нагрузки. ИБП переключается в этот режим также при возникновении сильной перегрузки или аварии внутри самого ИБП.

ИБП on-line типа обеспечивают наивысшую степень защиты оборудования, поскольку вырабатывают стабильное непрерывное синусоидальное выходное напряжение, не зависящее от колебаний напряжения в питающей электросети. Поэтому их можно использовать для защиты любого оборудования: от персональных компьютеров до сложных вычислительных комплексов.

В on-line ИБП инвертор работает непрерывно, и поэтому эти ИБП обладают некоторыми недостатками по сравнению с line-interactive ИБП:

1. Повышенное тепловыделение, или более низкий коэффициент полезного действия (КПД). Это обусловлено тем, что для генерирования синусоидального напряжения в инверторе используется высокочастотная импульсная модуляция силовых электронных коммутаторов (транзисторов), которые и выделяют тепло при своей работе. От того насколько профессионально разработана электронная схема и конструкция инвертора в основном и зависит КПД всего ИБП. Значение КПД в современных ИБП находится в пределах от 88% (в ИБП малой мощности до 3000 ВА) до 97% (в ИБП большой мощности выше 30 000 ВА). Низкий КПД ведет к повышенному тепловыделению и дополнительному расходу электроэнергии. При малых мощностях КПД несущественно влияет на дополнительный расход электроэнергии. А при высоких мощностях значение КПД имеет большее значение в вопросе энергосбережения. И, кроме того, менее эффективный ИБП считается более экологически вредным, поскольку в большей степени усугубляет проблему глобального потепления климата.

2. Увеличенные массогабаритные показатели. Постоянно работающий инвертор требует использования более мощной системы охлаждения (состоящей, как правило, из

вентиляторов и радиаторов), что и приводит к увеличению размеров всего ИБП. Здесь также следует отметить, что ИБП с большим коэффициентом полезного действия требует меньшего охлаждения, и поэтому его размеры всегда будут меньше аналогичного по мощности, но менее эффективного ИБП.

3. Большой шум, создаваемый работой инвертора и системой его охлаждения. Поэтому on - line ИБП не рекомендуется использовать в помещениях, где работают люди. Их лучше размещать в отдельных помещениях (например, в серверных комнатах).

Во всех описанных источниках бесперебойного питания отсутствует принцип резервирования. Их поэтому еще называют одиночными ИБП. Одиночный On - line ИБП обеспечивает 100% защиту оборудования пока его собственное оборудование исправно. Однако во время длительной эксплуатации в любом источнике бесперебойного питания может произойти сбой в его работе или выход из строя какого-либо компонента. Причинами могут быть старение элементов, нарушение условий эксплуатации, дефект производства и другие. И все время, необходимое для восстановления ИБП, нагрузка питается через байпас, оставаясь незащищенной. Современные центры обработки информации не могут подвергать себя такому, пусть даже и маловероятному, риску в сбое работы своего оборудования.

#### Литература

1. Курзуков Н.И. Ягнятинский В.М. Аккумуляторные батареи. Краткий справочник. - М.: За рулем, 2006. - 88с.
2. Кучеров. Д.П. Источники питания ПК и периферии. - СПб.: Наука и Техника, 2005. - 429с.
3. Хрусталева Д.А. Аккумуляторы. - М.: Изумруд, 2003. - 224с. • Шпак И.Г. Химические источники тока. - Саратов: СГТУ, 2003. - 95с.
4. Ковалев В.З. Химические источники энергии. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. - 66с.
5. Арзуманян Н., Микаэлян А., Данелян А. Топливные элементы - вчера, сегодня, завтра. //Альтернативная энергетика и экология. - 2005. - №10. - с.65-68.

## ПАССИВНЫЙ ДОМ

Ярошевич С.В., Готовка В.П., Ефимова Т.Ю., Алашаев М.А.  
Научный руководитель Германович Е.И., старший преподаватель

Современный дом должен быть дружелюбным как для своих жителей, так и для окружающей среды. Поэтому он должен проектироваться с учетом среды, ее охраны, а также жилищных и социальных условий. В настоящее время в результате такой деятельности развивается новый тип строительства, называемый энергосберегающим и характеризующийся уменьшенным потреблением энергии и использованием ее возобновляемых источников для удовлетворения энергетических потребностей здания.

В рамках энергосберегающего строительства начали проектировать также здания со значительно меньшим энергопотреблением, чем предусмотрено стандартами и нормами. Такие объекты называются низкоэнергосберегающими. Разделяют также категории домов с экстремально низким энергопотреблением, определяемые термином пассивного строительства. Под этим термином везде понимаются дома, проектируемые без традиционных систем отопления и без активных (традиционных) систем охлаждения, или же, как дома с минимальной потребностью во внешних поставках энергии для отопления и охлаждения.

Уже существуют даже такие дома, в которых вообще не используются традиционные виды энергии и не только на отопительные цели, но и для удовлетворения всех нужд (освещение, бытовые нужды и т.п.) - называемые ноль энергетическими. В них применяются современные, т.е. совершенные технологии, но на настоящее время они слишком дороги, чтобы получить широкое распространение, в связи, с чем ведется поиск технологий экономически обоснованных.

Обстоятельства, связанные с необходимостью экономии энергии, охраны окружающей среды, и при стремлении к повышению комфорта пользования домом, определили направление строительства, называемого биоклиматическим или экологическим строительством, отвечающим местным условиям, не загрязняющим окружающую среду, энергосберегающим при строительстве, эксплуатации и демонтаже, в котором используются местные материалы и вторичное сырьё.

В отличие от традиционного строительства биоклиматическое строительство рассматривает здание, как «живой организм», дышащий, ощущающий тепло и холод-взаимодействующий с окружающей средой. Поколения являются т.н. интеллектуальные здания (например, офисные). В интеллектуальном здании автоматически оптимизируется функционирование различных его систем для наиболее эффективной реализации целей в области минимизации затрат, в т.ч. на энергию, и повышения комфорта и безопасности.

Узкое определение пассивного дома означает объект, который не требует для отопления или охлаждения энергии, подаваемой традиционными способами. В этом смысле пассивный дом является ноль энергетическим.

Мерой эффективности использования энергии конечным потребителем является величина потребления энергии первичной, т.е. энергии, содержащейся в топливе, например, в сжигаемом угле.

Основной идеей строительства и эксплуатации пассивного дома является снижение потребления первичной энергии. Поэтому, например, потребление электроэнергии на отопление или питание оборудования дома следует отнести к полной эффективности преобразования энергии, заключенной, например, в угле, сжигаемом на ТЭС или ТЭЦ, которая зависит от ряда потерь в процессе производства и передачи электрической энергии.

Пассивный дом является домом с экстремально низким потреблением отопительной энергии, составляющим (нетто) менее  $15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ , в котором тепловой комфорт обеспечивается благодаря т.н. «пассивным» источникам тепла, поступающего от жильцов, от тепловых потерь электрооборудования, окружающей среды, тепла, регенерируемого из вентиляции и, возможно, от подогрева вентиляционного воздуха. (см. табл.1).

Таблица 1. Основные критерии энергопотребления в пассивном доме

1. Потребность в отопительной энергии	< $15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \text{ год}$
2. Максимальная потребность в отопительной мощности	< $10 \text{ Вт}/\text{м}^2$
3. Полное потребление конечной энергии	< $42 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \text{ год}$
4. Потребление первичной энергии на удовлетворение всех энергетических потребностей дома	< $120 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \text{ год}$

Ключевым фактором для достижения высокого теплового комфорта (стандарт пассивного дома - табл. .2) при низком потреблении энергии является т.н. энергетическая эффективность дома.

Таблица .2. Стандарты пассивного дома

1. Коэффициент теплопередачи (тепловых потерь) через наружные перегородки (стену, крышу, плиту пола)	< $15 \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ К}$
2. Коэффициент теплопередачи через окна (вместе с оконными рамами и коробками)	< $0,8 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \text{ год}$
3. Плотность здания	< $0,6 \text{ л}/\text{ч}$
4. Эффективность рекуператора (теплообменника для регенерации тепла воздуха, удаляемого из здания)	> $75\%$

Критерии пассивных домов, по замыслу их разработчиков, реально выполнимы в индивидуальных домах, расположенных в климатических условиях Германии, Беларуси и в странах с более суровым климатом, например, в Скандинавии. Практика подтверждает справедливость этого заключения. Но основным допущением пассивного строительства является экономическая доступность используемых в них решений, а пока именно это условие трудновыполнимо. Развитие пассивного строительства будет осложняться спросом на определенные продукты и услуги и одновременно вызовет развитие определенных сегментов строительного сектора.

Современные идеи, касающиеся строительства, вместе с возможностями, предлагаемыми современными технологиями (в части энергетических систем, основанных на использовании возобновляемых источников энергии), позволяют создать функциональный дом, дружелюбный пользователю и окружающей среде.

### Литература

1. Пионеры пассивных домов / В. Файст // Современный дом. - 2012. - № 1. - С. 32-35.
2. Пионеры пассивных домов / Д. Ромашков // Современный дом. - 2012. - № 2. - С. 116-119.
3. Механизмы энергосбережения / Л. Н. Чернышов // Управление многоквартирным домом. - 2010. - № 6. - С. 23-32.

УДК 620.91

## ЭНЕРГИЯ ВЕТРА

Верниковская Е.Ю., Готовко Д.П.

Научный руководитель Германович Е.И., старший преподаватель

Ветроэнергетический бум охватывает все больше и больше стран. На сегодняшний день доля ветроэнергетики в мировом энергопроизводстве составляет 1%, причем в некоторых странах на долю энергии, выработанной за счет ветра, приходится 20% и более от общего объема энергопоставок. Финансы, ранее затрачиваемые на импорт ископаемых энергоносителей, сегодня "инвестируются" в новые рабочие места - уже более 235 000 человек непосредственно занято в ветроэнергетической отрасли.

За последние два года мощность ветроэнергетики возрастала в среднем на 30% в год. Для сравнения, рост атомной энергетики был менее 1%, в то время как увеличения количества электроэнергии, полученной за счет сжигания угля, не было вовсе. Европа стала центром этой молодой и высокотехнологичной промышленности. 90% мирового производства средних и больших ВЭУ сосредоточено в Европе. Средняя установленная мощность одной ВЭУ возросла на 150 кВт и достигла показателя в 900 кВт.

Согласно проведенным исследованиям, к 2020 году затраты на производство электроэнергии, полученной за счет энергии ветра, понизятся до 2,5 центов США за 1 кВт·ч (нынешняя стоимость составляет 4,0 цента США за 1 кВт·ч). Согласно "Wind Force 12" к 2020 году за счет ветроэнергетики будет обеспечено 12 % потребности в электроэнергии, учитывая, что мировое энергопотребление удвоится, установленная мощность ВЭУ достигнет 1 261 000 МВт. Ветроэлектростанции (ВЭС) будут производить 3 093 ТВт·ч энергии, что соответствует нынешнему энергопотреблению Европы выбросы CO<sub>2</sub> в атмосферу уменьшатся на 11 768 млн. тонн.

Ландшафты многих стран мира оживляют изящные и в то же время мощные ветроэнергетические установки. Причем их польза доказана настолько, что в Голландии, к примеру, ветряками решили украсить крыши не одной тысячи зданий. В Беларуси же, обделенной нефтью, газом и углем, как будто и ветра нет. Что мешает развиваться белорусской ветроэнергетике?

Мало кто знает, что использовать ветер в качестве энергоресурса в Беларуси пытались еще в восьмидесятые годы прошлого века. На территории страны действовал Белорусский филиал НПО "Ветроэн", который изучал ситуацию с ветром во всем Черноморско-Балтийском регионе Советского Союза, производил и устанавливал ветряные агрегаты на севере России, в Украине, даже в Монголии. Успешно работал белорусский ветряк в Заславле. После распада Советского Союза предприятие подверглось преобразованиям, а потом и вовсе заглохло. Больше чем десять лет в Беларуси о ветроэнергетике не вспоминали. Но рост цен на нефть и необходимость обеспечить энергетическую безопасность заставило государство задуматься об альтернативных возобновляемых источниках энергии.

В сентябре 2009 года в стране была создана ассоциация "Возобновляемая энергетика", ее исполнительный директор Владимир Нистюк согласился прокомментировать сложившуюся ситуацию. - Что сегодня представляет собой ветроэнергетика Беларуси? - С 2001 года в Беларуси действует два ветроагрегата, полученные от Германии по линии благотворительной помощи. Чтобы ни говорили противники ветроэнергетики, оба ветряка показывают хороший результат, их эффективность составляет около 20%, что соответствует мировым стандартам. К тому же в Беларуси появился первый производитель ветряных агрегатов - фирма "Аэролла - Энерго". Она уже выпустила семь агрегатов небольшой мощности, которые

приобретены предприятиями и фермерскими хозяйствами. Таким образом, в Беларуси сегодня вырабатывает электроэнергию порядка 10 ветроустановок.

По оценкам же Всемирной ассоциации ветроэнергетики вместе они вырабатывают 1,1 МВт электроэнергии, что несопоставимо с потенциалом белорусской ветроэнергетики. Он составляет как минимум 1600 МВт, что отмечено и в ряде руководящих документов. Что мешает использовать потенциал ветра как энергоресурса?

По ветропотенциалу Беларусь соответствует требованиям коммерческой целесообразности внедрения ветротехники и приближается к уровню Польши и других стран Восточной Европы, где ветроэнергетика эффективно развивается уже много лет. Парадокс белорусской ветроэнергетики состоит в том, что есть вся необходимая теоретическая база и люди, которые могут этим заниматься, но ветроэнергетика не развивается. Причин такого положения дел много, но главной остается экономический фактор: ветроэнергетика требует вложений и не сразу окупается, только лет через 6-8. Во всех странах, где она сегодня развивается, на начальных этапах государство дотировало этот процесс. Население не имеет средств, чтобы купить ветроустановки, например, для владельца частного дома, стремящегося автономно обеспечить энергией свое жилище, она обойдется в 12-15 тысяч евро. К тому же не собирается сдавать своих позиций ни нефтегазовая энергетика, ни ядерная. До сих пор в Беларуси не принят закон "О нетрадиционных и возобновляемых источниках энергии". Не должна оставаться в стороне и белорусская наука, потому что сейчас приходится покупать ветровые установки за рубежом, а они далеко не всегда подходят под наши природные условия, да и стоят недешево. Надо дать работу и коллективам высокотехнологичных предприятий, способных производить конкурентную на мировом рынке продукцию.

Строительство ветроэнергетических установок в Беларуси по удельным затратам на выработку одного киловатт-часа электроэнергии и сроку окупаемости сходно со строительством угольных и газовых электростанций. Минприроды считает ветроэнергетическую отрасль наиболее перспективной с точки зрения отсутствия загрязнения атмосферы и, соответственно, отсутствия затрат на строительство дорогостоящих установок по очистке дымовых газов и снижения выбросов в атмосферный воздух в среднем на 12 кг при выработке 1 МВт·ч электрической энергии.

Планируется выделить ветроэнергетику в самостоятельное направление. С учетом перспективы внедрения ветроэнергетических установок мощностью 2400 МВт выработка электроэнергии к 2025 году может достичь 7,9 млрд. кВт·ч., что составляет 18% от общего электропотребления страны. При этом общее сокращение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу составит 96 тыс. тонн в год или 24% от валового выброса всех стационарных источников за 2007 год.

В ближайшем будущем в стране, скорее всего, будет утверждена госпрограмма по развитию ветроэнергетики. Несколько вариантов ее проекта неоднократно представлялись в Правительство. Однако конфликт интересов различных Министерств и ведомств, их нескоординированная позиция в этом вопросе препятствует созданию такого важного документа. Серьезный вред общему делу наносят создатели мифов о том, что в Беларуси нет потенциала для возобновляемых источников энергии. В итоге из 76 стран мира, использующих энергию ветра, Беларусь занимает только 68 место.

Хочется надеяться, что новая ситуация и новые подходы руководства страны к обеспечению энергетической и экологической безопасности Беларуси помогут создать нормативную базу и дополнительные стимулы для тех, кто решил использовать альтернативные источники энергии, в том числе энергию ветра.

### Литература

1. Курзуков Н.И. Ягнятинский В.М. Аккумуляторные батареи. Краткий справочник. - М.: За рулем, 2006. - 88с.
2. Кучеров. Д.П. Источники питания ПК и периферии. - СПб.: Наука и Техника, 2005. - 429с.
3. Хрусталева Д.А. Аккумуляторы. - М.: Изумруд, 2003. - 224с. • Шпак И.Г. Химические источники тока. - Саратов: СГТУ, 2003. - 95с.
4. Ковалев В.З. Химические источники энергии. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. - 66с.
5. Арзуманян Н., Микаэлян А., Данелян А. Топливные элементы - вчера, сегодня, завтра. //Альтернативная энергетика и экология. - 2005. - №10. - с.65-68.

УДК 621.3

## УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ЭЛЕКТРОГИТАРЫ

Чигак С.О.

Научный руководитель Зеленко В.В., старший преподаватель

Электрогитара — разновидность гитары с электрическими звукоснимателями, преобразующими колебания металлических струн в колебания электрического тока. Сигнал со звукоснимателей может быть обработан для получения различных звуковых эффектов и затем усилен для воспроизведения через динамики.

Первый магнитный звукосниматель в 1924 году сконструировал Ллойд Лоэр (англ. Lloyd Loar), инженер-изобретатель, работавший в компании Gibson. Первые электрогитары для массового рынка произвела в 1931 году Electro String Company, образованная Полом Бартом, Джорджем Бьюшамом и Адольфом Рикенбакером: будучи сделанными из алюминия, эти инструменты получили от музыкантов любовное прозвище «frying pans» («сковородки»).

Принцип работы электромагнитных датчиков основан на появлении электрического тока в проводнике, находящемся в переменном магнитном поле. Звукосниматель состоит из постоянных магнитов, магнитопроводов и катушки. Движение металлических струн приводит к изменению магнитного потока, проходящего через витки катушки, что в свою очередь вызывает появление переменной ЭДС на ее выводах.

Существует два основных вида звукоснимателей:

— однокатушечные, или синглы (single), в которых используется одна катушка, а магнит может представлять собой набор круглых стержней или полос. Сигналы от такого звукоснимателя достаточно яркие и чистые, но сильно подвержены электромагнитным помехам. Такого типа звукосниматели появились первыми и использовались на гитарах типа Stratocaster;

— двухкатушечные, или хамбакеры (hum-bucker), представляют собой сдвоенные датчики, в которых используются две одинаковые катушки, включенные последовательно в противофазе. Кроме того, магниты в обоих датчиках имеют разную полярность. При таком включении полезные сигналы от обеих катушек складываются, а шумы и наводки вычитаются. Звук хам-бакеров более мощный и плотный, однако менее яркий. В современных электрогитарах используется большое количество вариантов конструкций хамба-кереров.

Величина выходного сигнала зависит от конструкции звукоснимателя, параметров используемого магнита, места установки звукоснимателя и амплитуды колебания струны. Основные требования к конструкции звукоснимателя состоят в обеспечении большого уровня выходного сигнала, малой неравномерности частотной характеристики, высокой помехоустойчивости, малых нелинейных искажений и др.

Электрическая цепь электрогитары: сигнал от звукоснимателей поступает в темброблок. Основные задачи темброблоков: подключение звукоснимателей, их коммутация, коррекция тембра и громкости и предварительное усиление. На передней панели темброблока расположены органы управления, состоящие из регуляторов громкости и тембра.

Для регулировки громкости обычно используются переменный резистор и конденсатор. Электрическая схема звукоснимателя с учетом такой внешней нагрузки, показанная на рисунке. Выходное напряжение звукоснимателей обычно равно 100-300 мВ.

Если сигнал больше не подвергается никакой обработке до поступления в усилитель, то такой звукосниматель считается пассивным. Если он включен в

электронную цепь операционного усилителя, встроенного в корпус самого датчика, и имеется возможность управления динамикой и спектральными характеристиками сигнала, создаваемого в катушке, то такой звукосниматель называется активным. При этом увеличивается выходное напряжение, улучшаются динамические и частотные характеристики сигнала. Однако для активного звукоснимателя необходим дополнительный источник питания (потребляемый ток примерно 200 мкА).

Лидерами массового производства пассивных и активных звукоснимателей являются фирмы Di Marzio, Seymore Duncan, EMG, Bill Lawrence, Fender и др.

Процессоры эффектов: для обработки гитарного звука используются специальные устройства, реализующие один или несколько звуковых эффектов, без которых в настоящее время электрогитары практически не используются. К числу наиболее употребляемых гитарных методов обработки звука можно отнести как общие способы, используемые в студийной практике (компрессия, шумоподавление, частотная коррекция, реверберация, дилей, хорус, фейзинг, флэнжинг и др.), так и специфические, например овердрайв, дисторшн, вау-вау, тремоло, октавер, питч-шифтер, гармонай-зер, вокодер и др. Все эти эффекты реализуются с помощью отдельных приборов, как аналоговых, так и цифровых (обычно в виде педалей), специальных блоков, например TCElectronic G-Force, Lexicon MPX-G2), или программным путем.

Принципы обработки звука для обеспечения компрессии (сжатия) сигнала, добавления реверберации и связанных с ней эффектов (дилей, фейзер, флэнжер, эхо и др.), а также частотной коррекции были рассмотрены в главе 6. Остановимся только на некоторых специфических процессах обработки, часто используемых именно в гитарном звуке.

Овердрайв, дисторшн (overdrive, distortion) — группа эффектов, использующая искажения звука за счет его ограничения по амплитуде. Ограничение сигнала по амплитуде может реализовываться с помощью различных схемотехнических решений; возникающее за счет этого большое количество гармоник и придает звуку характерный оттенок. Звук становится резким и неприятным. Поэтому, как правило, после ограничивающего каскада устанавливаются фильтры, выполняющие частотную коррекцию полученного сигнала. Схемы дисторшн обеспечивают большой коэффициент усиления, из-за чего сигнал начинает искажаться сразу независимо от его уровня, звук получается очень резким.

При использовании овердрайва обеспечивается более мягкое ограничение, пропорциональное уровню входного сигнала, что создает более певучее звучание. Использование этих эффектов позволяет получить мощное звучание гитары, выровнять динамику звука, замаскировать недостатки техники игры.

Вау-вау (wah-wah), иногда его называют «тембровое вибрато» — еще один из распространенных гитарных эффектов. С помощью специальной педали регулируется частота пика на амплитудно-частотной характеристике для подчеркивания определенного участка спектра звукового сигнала; при нажатии и отпуске педали «пик» перемещается на АЧХ в ту или иную сторону. Это достигается применением низкочастотного фильтра с высокой добротностью, частота среза которого смещается по определенному закону. Устройство выпускается в виде как отдельной педали, так и совмещенной с каким-нибудь другим эффектом. Существуют также устройства Autowah, где управление осуществляется не педалью, а специальным встроенным генератором.

Октавер (octaver) — данное устройство позволяет сдвигать спектр входного сигнала на октаву или две ниже или выше основного тона, при этом продолжает звучать и сам основной тон, что создает впечатление игры в октаву сразу двух инструментов. В аналоговых педалях эффект реализован посредством простого

умножения или деления частоты, но так как спектр гитары имеет довольно сложную форму, то сдвиг частоты сигнала носит условный характер и изменение звучания достигается в основном за счет добавления определенных обертонов. В цифровых устройствах короткие отрезки сигнала записываются в буфер и циклически считываются с разной скоростью. Величина сдвига высоты определяется синхронизацией входных и выходных таймеров. В эту же группу входят приборы для сдвига высоты тона (pitch-shifting) и добавления дополнительных гармоник (гармонайзеры).

Тремоло (tremolo) — это эффект амплитудной модуляции. Устройство, реализующее этот эффект, представляет собой обычный электронный регулятор громкости, управление которым осуществляет генератор, вырабатывающий колебания низкой частоты; при этом форма импульсов, производимых генератором, может быть различной (треугольной, синусоидальной и т. п.). Соответственно различным будет закон модуляции сигнала, а значит, и воспринимаемый слуховой эффект.

Педаль громкости (volume pedal) встроена в отдельный корпус, где она с помощью зубчатой передачи связана с осью потенциометра. Такое устройство используется для оперативного контроля громкости звука, для формирования «мягкой» атаки, для обеспечения быстрого и в то же время плавного затухания звука и т. д. Существуют также модели, совмещающие в себе педаль громкости и еще какой-либо эффект (fuzz, wah-wah и т. д.).

Конкретные схемы соединения между собой этих эффектов могут быть различными в зависимости от стиля музыки и характера исполнения. Существует три основных способа соединения процессоров эффектов. Первый — последовательный. Второй способ — параллельный (исходный сигнал разделяется на несколько идентичных копий, каждая из которых поступает на свой блок обработки, затем сигналы со всех блоков суммируются). Третий способ — последовательно-параллельный, когда последовательная группа блоков подсоединяется к параллельным.

Роль усилителя существенно отличается от его функций в системах звукоусиления, где он должен усиливать сигнал с минимальным уровнем искажений. В усилители для электрогитар иногда специально вводится определенный уровень нелинейных искажений для придания специальных тембральных оттенков. Среди усилителей в настоящее время широко используются также ламповые модели гитарных усилителей, например Marshall DSL-20, VOX-AC30 и др.

#### Литература

1. [dmoz.org/World/Russian/Искусство/Музыка/Инструменты/Струнные/Гитара](http://dmoz.org/World/Russian/Искусство/Музыка/Инструменты/Струнные/Гитара)
2. <http://ru.wikipedia.org/wiki/>
3. <http://ru.wikipedia.org/wiki/>
4. <http://www.paintpit.ru/elektrogitara.html>

УДК 621.326.7:628.4.043(476)

## ЭЛЕКТРОННЫЕ КНИГИ

Кудравец Ю.В., Цукрова М.В.

Научный руководитель Зеленко В. В., ст. преподаватель

Электронная книга (англ. *e-book reader*) — общее название группы узкоспециализированных компактных планшетных компьютерных устройств, предназначенных для отображения текстовой информации, представленной в электронном виде.

Термин «Электронная книга» произошел от английского словосочетания «Electronic book» и в современном языке чаще всего встречается как сокращение eBook или e-Book.

### История создания

Первые электронные книги появились с первым появлением компьютеров и возможностью печати на принтере и, позже, вывода текста на экран. Так, в 1971 году Майкл Харт получил неограниченный доступ ко времени крупного компьютера SigmaV от операторов в университете штата Иллинойс. Пытаясь достойно применить этот ресурс, он создал первую электронную книгу Декларация независимости США, когда впечатал ее текст в компьютер. Так путём создания электронных копий большего количества книг получил начало Проект «Гутенберг». Поэтому возникла потребность в специализированных устройствах, с помощью которых можно было бы читать электронную литературу.

Первое устройство узкоспециализированное для чтения электронных документов было разработано компанией DEC. В 1996 году компания DEC представила воплощенный в «железе» DEC Lectrice — планшетный компьютер с монохромным сенсорным экраном и возможностью перьевого ввода информации — явившийся прообразом всех современных e-books. Несмотря на изначально поставленную задачу разработать узкоспециализированное устройство для чтения электронных документов, оно получилось слишком дорогим и не пошло в серийное производство.

Первыми массовыми электронными книгами были устройства с цветными LCD-экранами, выпущенные практически одновременно в 1998 году компаниями NuvoMedia и Softbook Press. Впоследствии они были модифицированы, появились устройства с полноцветными экранами и расширенной функциональностью. Несмотря на весьма удачное техническое исполнение первых моделей (аналоги продолжали выпускаться до 2006 года), устройства не получили широкого распространения. То же можно сказать и об изделиях других компаний, варьирующихся от «чистых» читалок до КПК-подобных Niebook и Franklin eBookMan.

Появившиеся позже электронные книги на основе холестерических жидкокристаллических экранов (*ChLCD*), несмотря на значительное повышение разрешения и времени автономной работы, оказались мало востребованными в связи с длительной прорисовкой экрана и отсутствием подсветки.

С 2007 года рынок электронных книг переживает подъем в связи с появлением экранов с технологией электронной бумаги. Это заметно как по росту числа производителей, так и по увеличению списка моделей.

### Экран

Один из основных элементов в электронной книге — это экран. Электронные книги обладают следующими типами экранов:

- *E-ink* или *SiPix* (электронная бумага);
- *LCD, TFT* (жидкокристаллический экран).

На основе *E-ink* технологии создается основная масса современных электронных книг. Разница между двумя основными типами экранов принципиальная. Во-первых, *E-ink*, в отличие от ЖК, не имеет негативного воздействия на здоровье человека. Дело в том, что в обычных плоских ЖК-дисплеях для формирования изображения используется просвет матрицы, подсветка идет за счет импульсных газоразрядных ламп. Происходит знакомое всем мерцание, которое пагубно влияет на зрение человека и перегружает психику.

*E-ink* же создает изображение в отраженном свете, как обычная бумага. Отражение текста или графики может происходить сколько угодно долго, при этом электрическая энергия не потребляется. Угол обзора у *E-ink* 180 градусов, в то время как у жидкокристаллических мониторов — только 160. Экраны на основе технологии *E-ink* не подвержены влиянию магнитных колебаний, статических зарядов и излучений мобильных телефонов.

Однако по сравнению с ЖК-мониторами, *E-ink* имеют очень большое время обновления, то есть «тормозят». Как правило, у дешевых моделей на экране остается след от предыдущей страницы. Происходит это потому, что у современных жидкокристаллических дисплеев время отклика равно 15—30 мс, а у электронных книг — минимум 50 мс. Впрочем, как раз благодаря медленному обновлению изображения такие экраны потребляют энергии в 500 раз меньше, чем ЖК-экраны.

#### **Преимущества и недостатки электронной книги на базе *E-ink* и *SiPix* технологиях в сравнении с бумажными книгами**

Преимущества:

- Компактность и портативность. В одном устройстве могут храниться сотни и тысячи книг. Кроме того, устройство обычно меньше и легче бумажной книги.

- Настройки изображения. По желанию пользователя можно изменять начертание и размер шрифта, и формат вывода (в одну колонку или в две, портрет или ландшафт).

- Дополнительные возможности: поиск по тексту, переходы по гиперссылкам, отображение временных выделений и примечаний, электронные закладки, словарь. Встроенные программы — синтезаторы речи позволяют озвучивать тексты. Электронная книга позволяет не только читать тексты, но и отображать анимированные картинки, мультимедийные клипы или проигрывать аудиокниги.

- Стоимость. Многие тексты в электронном виде бесплатны или дешевле, чем в бумажном.

- Доступность. При наличии подключения к Интернету тексты в любое время доступны для бесплатного скачивания с соответствующих сайтов (электронных библиотек).

- Простота публикации. Текст проще, быстрее и дешевле опубликовать в электронном виде, чем в бумажном.

- Экологичность. Для чтения текстов в электронной книге не нужна бумага, для производства которой вырубается леса.

Недостатки: Как любые электронные приборы, устройства для чтения электронных книг гораздо чувствительнее к физическому воздействию (повреждению), чем обычные книги.

- Многие издатели официально не публикуют электронные версии бумажных книг.

- Довольно часто в устройствах, купленных в специализированных интернет-магазинах, используется *DRM* и даже возможность производителя дистанционно удалять информацию с устройств пользователей.

- Устройства для чтения электронных книг требуют периодической подзарядки встроенных аккумуляторов (батарей).

### **Сравнение с другими устройствами (КПК, планшетными компьютерами, электронными книгами с TFT-экраном)**

Преимущества:

- большее время автономной работы (низкое энергопотребление). Состояние пигментных частиц в микрокапсулах очень стабильно. Созданное на электронной бумаге изображение может устойчиво сохраняться весьма длительное время, вплоть до нескольких недель, не требуя при этом каких-либо затрат энергии. Дисплеи любых других типов на такое просто не способны. Из этого следует, что дисплеи на электронных чернилах отличаются крайне низким энергопотреблением, а потребляемая такими устройствами мощность во многом зависит именно от частоты изменения картинки на экране. Кроме того дисплеи не нуждаются в подсветке, они работают в отраженном свете, поэтому энергия расходуется исключительно на электродах только для смены изображения;

- отсутствия мерцания и свечения, большой угол обзора (значительно больший, чем у ЖК-дисплеев);

- при чтении с электронной бумаги глаза устают значительно меньше, чем при чтении с ЖК-дисплеев;

Недостатки:

- имеют очень большое время обновления. Это не позволяет производителям использовать сложные интерактивные элементы интерфейса (анимированные меню и указатели мыши, скроллинг), которые широко распространены на КПК. Говоря более строго, такой экран имеет высокую инерционность (частота смены кадров примерно 4 в секунду, что соответствует инерционности в 250 мс. Например, у не самых лучших современных ЖК-дисплеев такая находится на уровне около 25 миллисекунд). Сильнее всего это сказывается на способности показывать увеличенный фрагмент большого текста или изображения на маленьком экране;

- яркость, контраст и цветопередача дисплеев на электронных чернилах сильно зависят от условий внешнего освещения. А ведь оно для дисплеев, особенно в случае мобильных устройств, оптимально далеко не всегда. А об актуальности подсветки экрана в темное время суток или при работе в условиях плохо освещенных помещений и говорить не приходится.

### **Литература**

1. «Книги без бумаги. Технология обогнала экономику», Владимир Харитонов, Частный корреспондент, 4 ноября 2008 года.

2. «Электронные книги будущего», gadgets-reviews.com.

3. Материал свободной энциклопедии "Википедия" <http://ru.wikipedia.org/wiki>

УДК 004.353.254.5

## ОРГАНИЧЕСКИЙ СВЕТОДИОД

Пичуев А.Д.

Научный руководитель Зеленко В.В., ст. преподаватель

Органический светодиод (англ. Organic Light-Emitting Diode, *OLED*) — полупроводниковый прибор, изготовленный из органических соединений, эффективно излучающих свет при пропускании через них электрического тока. Основное применение технология *OLED* находит при создании устройств отображения информации (дисплеев). Предполагается, что производство таких дисплеев будет гораздо дешевле, нежели производство жидкокристаллических дисплеев.

Французский учёный Андрэ Бернаноз (André Bernanose) и его сотрудники открыли электролюминесценцию в органических материалах в начале 1950-х, прикладывая переменный ток высокого напряжения к прозрачным тонким плёнкам красителя акридинового оранжевого и хинакрина. Низкая электрическая проводимость таких материалов ограничивала развитие технологии до тех пор, пока не стали доступными более современные органические материалы, такие как полиацетилен и полипиррол. И только в 1974 году исследовали свойства бистабильного выключателя на основе меланина с высокой проводимостью во «включенном» состоянии. Этот материал испускал вспышку света во время включения. В 2000 году Алан Хигер, Алан Мак-Диармид и Хидеки Сиракава получили Нобелевскую премию по химии за «открытие и развитие проводящих органических полимеров». Первое диодное устройство было создано в 1980-х компанией Eastman Kodak. В 1990 году в журнале *Nature* появляется статья учёных, в которой сообщается о полимере с зелёной светимостью и «очень высоким КПД». Недавно был разработан гибридный светоиспускающий слой, в котором используются непроводящие полимеры с примесью светоиспускающих проводящих молекул. Использование полимера даёт преимущества в механических свойствах без ухудшения оптических свойств. Светоиспускающие молекулы имеют ту же долговечность, как и в первоначальном полимере.

Принцип действия. Для создания органических светодиодов (*OLED*) используются тонкопленочные многослойные структуры, состоящие из слоев нескольких полимеров. При подаче на анод положительного относительно катода напряжения, поток электронов протекает через прибор от катода к аноду. Таким образом, катод отдает электроны в эмиссионный слой, а анод забирает электроны из проводящего слоя, или другими словами анод отдает дырки в проводящий слой. Эмиссионный слой получает отрицательный заряд, а проводящий слой — положительный. Под действием электростатических сил электроны и дырки движутся навстречу друг к другу и при встрече рекомбинируют. Это происходит ближе к эмиссионному слою, потому что в органических полупроводниках дырки обладают большей подвижностью, чем электроны. При рекомбинации происходит понижение энергии электрона, которое сопровождается испусканием (эмиссией) электромагнитного излучения в области видимого света. Поэтому слой и называется эмиссионным. Прибор не работает при подаче на анод отрицательного относительно катода напряжения. В этом случае дырки движутся к аноду, а электроны в противоположном направлении к катоду, и рекомбинации не происходит. В качестве материала анода обычно используется оксид индия, легированный оловом. Он прозрачный для видимого света и имеет высокую работу выхода, которая способствует инжекции дырок в полимерный слой. Для изготовления катода часто используют металлы, такие как алюминий и кальций, так как они обладают низкой работой выхода, способствующей инжекции электронов в полимерный слой.

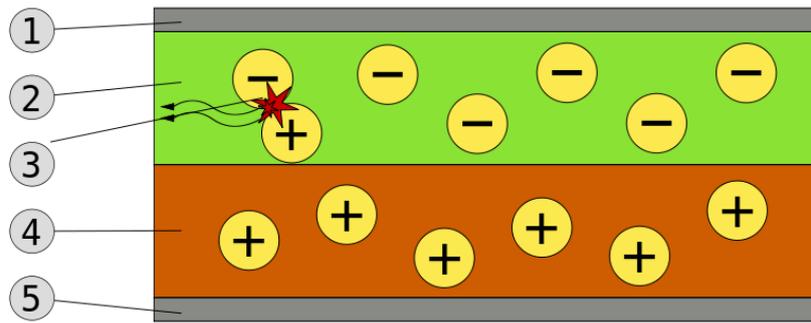


Рисунок 1. Двухслойная OLED-панель: 1. Катод(-), 2. Эмиссионный слой, 3. Испускаемое излучение, 4. Проводящий слой, 5. Анод (+)

Преимущества в сравнении с плазменными дисплеями:

- меньшие габаритны и вес;
- более низкое энергопотребление при той же яркости;
- возможность создания гибких экранов.

Преимущества в сравнении с ЖК дисплеями:

- меньшие габариты и вес;
- отсутствие необходимости в подсветке;
- большие углы обзора— изображение видно без потери качества с любого угла;
- высокий контраст;
- мгновенный отклик;
- возможность создания гибких экранов;
- большой диапазон рабочих температур ( от -40 до +70 С ).

**Яркость.** OLED-дисплеи обеспечивают яркость излучения от нескольких кд/м<sup>2</sup> (для ночной работы) до очень высоких яркостей — свыше 100 000 кд/м<sup>2</sup>, причем их яркость может регулироваться в очень широком динамическом диапазоне. Так как срок службы дисплея обратно пропорционален его яркости, для приборов рекомендуется работа при более умеренных уровнях яркости до 1000 кд/м<sup>2</sup>. **Контрастность.** Здесь OLED также лидер. OLED-дисплеи обладают контрастностью 10000 или даже больше (Контрастность LCD до 2000:1, CRT до 5000:1). **Углы обзора.** Технология OLED позволяет смотреть на дисплей с любой стороны и под любым углом, причем без потери качества изображения. Впрочем, современные ЖК - дисплеи (за исключением основанных на TN+Film матрицах) также сохраняют приемлемое качество картинки при больших углах обзора.

**Энергопотребление.** Сложно сравнивать что-либо по потреблению с ЖК, так как жидкокристаллическая ячейка требует крайне малой величины тока в рабочем режиме. Однако вспомогательные средства для обеспечения её работы (драйверы, подсветка) могут потреблять весьма много или наоборот, очень мало, это определяется задачами для которых предназначен тот или иной дисплей. Потребление OLED прямо пропорционально яркости и площади свечения.

**Недостатки:**

- маленький срок службы люминофоров некоторых цветов (порядка 2-3 лет);
- как следствие первого, невозможность создания долговечных полноценных дисплеев;
- дороговизна и неотработанность технологии по созданию больших матриц.

Главная проблема OLED — время непрерывной работы должно быть не более 15 тыс. часов. Одна проблема, которая в настоящее время препятствует широкому

распространению этой технологии в мониторах и телевизорах, состоит в том, что «красный» OLED и «зелёный» OLED могут непрерывно работать на десятки тысяч часов дольше, чем «синий» OLED. Это визуально искажает изображение, причем время качественного показа неприемлемо для коммерчески жизнеспособного устройства. Хотя сегодня «синий» OLED всё-таки добрался до отметки в 17,5 тыс. часов (примерно 2 года) непрерывной работы.

Дисплеям телефонов, фотокамер, планшетов и иных малых устройств этих показателей вполне достаточно в связи с быстрыми темпами устаревания аппаратуры и её неактуальности уже через несколько лет. Средняя продолжительность непрерывной работы этих устройств составляет около 5 тысяч часов, поэтому OLED в них успешно применяется уже сегодня. Можно считать это временными трудностями становления новой технологии, поскольку разрабатываются новые долговечные люминофоры. Также растут мощности по производству матриц. Потребность в преимуществах, демонстрируемых органическими дисплеями с каждым годом растёт. Этот факт позволяет заключить, что в скором времени дисплеи произведённые по OLED технологиям, с высокой вероятностью станут доминантными на рынке электроники народного потребления.

Применение. На сегодняшний день OLED-технология применяется многими разработчиками узкой направленности, например, для создания приборов ночного видения. Органические дисплеи встраиваются в телефоны, цифровые фотоаппараты, автомобильные бортовые компьютеры, коммерческие OLED-телевизоры, выпускаются небольшие OLED-дисплеи для цифровых индикаторов, лицевых панелей автомагнитол, карманных цифровых аудиопроигрывателей и т.д.

#### Литература

1. <http://ru.wikipedia.org>.
2. Майская В. Органические светодиоды. Удивительное рядом // Электроника: НТБ - № 5, 2007 - С. 39 – 46.
3. Highly flexible polymer light-emitting devices using carbon nanotubes as both anodes and cathodes - SPIE Library.
4. ASU Insight, MEMBRANA Люди. Идеи. Технологии., Wiley InterScience.

УДК 621.3

## НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОНИКЕ

Соленик И. А., Хомич А. А.

Научный руководитель Зеленко В.В., старший преподаватель

Нано электроника — область электроники, занимающаяся разработкой интегральных электронных схем с характерными размерами элементов менее 100 нанометров. Вся история электроники — стремление к уменьшению размеров, увеличению быстродействия и массовость производства.

Гордон Мур — один из основателей компании Intel — установил, что плотность логических элементов микросхем удваивается каждые полтора года. На основании этой закономерности в 1965 году, когда плотность составляла 50 компонентов на кристалле, он предсказал, что в 1975 году она составит 65 тыс. компонентов на кристалле, что и произошло. Эта тенденция действует до сих пор, и стала она называться Законом Мура.

В наше время процессор Itanium компании Intel содержит миллиарды логических элементов. Сегодня разрешение в 130 нм является рядовым достижением, но уже существуют производства с размерами элементов 65 нм и 43 нм. В такие размеры укладывается цепочка из 300 и 200 атомов. Сейчас ученые и инженеры компании Intel планируют перейти рубеж в 20 нм.

### Эффекты нано технологий

Новые эффекты нано технологий связаны не только с уменьшением размеров компонентов систем. Благодаря более малым размерам ученые надеются выйти на новый качественный уровень полупроводниковой электроники и создать совершенно новые поколения процессоров.

### Нано технологии и квантовая механика

Однако в нано мире все еще много загадочного. Например, нано материалы не подчиняются законам механики Ньютона. В нано масштабе доминируют законы квантовой механики. Квантовая механика лежит в основе современной и будущей электроники.

### Ограничения литографии

В настоящее время для создания микропроцессоров используется фотолитография. Эта технология основана на принципе фотопечати, то есть с помощью света топология электрической схемы проецируется на кремниевую подложку.

В настоящее время ведутся интенсивные исследования возможностей использования литографии на основе экстремального ультрафиолетового света с длиной волны около 10-15 нм. С его помощью можно настолько увеличить плотность транзисторов в микропроцессорах, что они станут мощнее почти в 100 раз. Некоторые специалисты считают, что эта задача будет решена уже к 2014 г.

### Прогнозы пределов миниатюризации

Специалисты прогнозируют, что полупроводниковая индустрия с современными стандартными технологиями достигнет физического предела миниатюризации электронных компонентов к 2015–2020 гг. После этого инженерам не удастся далее сокращать размеры элементов кремниевых микропроцессоров. С приближением этого времени компании — производители микропроцессоров хотели бы сохранить свое лидирующее положение на рынке. Будущий успех они связывают с нано технологиями.

### Нано миниатюризация на уровне ДНК

Одна из проблем в создании нано структур — сборка компонентов в систему. Представление об использовании инструмента здесь не приемлемо. Действительно, как можно взять, переместить и точно поставить нано размерный компонент на нано размерную подложку? Германские ученые представляют себе процесс сборки в некоей

жидкости, в которой плавают нано компоненты. Определенным образом ориентируясь, они подплывают к нано подложке и встают в нужные ее места, реализуя, таким образом, нано сборку.

Другой принцип формирования сборок – использование биоэлектроники на основе молекул ДНК, способных стать основой компьютеров будущего. ДНК-чипы, которые также называют биочипами, уже сейчас являются частью биологических технологий в генетических исследованиях. ДНК-чипы состоят из молекул ДНК, которые располагаются на жесткой подложке (например, из кремния, стекла, пластика и т. п.). Созданием ДНК-чипов занимаются некоторые крупные компании, включая Affymetrix, PE Applied Systems, HySeq, Nanogen, Incycle, Molecular Dynamics и Geometrix.

#### Первые успехи ДНК-сборки

В будущем микроэлектронные массивы и ДНК - компоненты могут позволить ученым и инженерам регулировать само сборку двумерных и трехмерных электронных цепей и устройств внутри более крупных полупроводниковых структур. В этом случае электрически управляемая само сборка ДНК может охватить широкий круг потенциальных применений.

#### Новейшие достижения

Нано материалы – это материалы, разработанные на основе нано частиц с уникальными характеристиками, вытекающими из микроскопических размеров их составляющих.

1. Нано технологии в электронике получили мощный импульс за счет использования углеродных нано трубок. Углеродные нано трубки могут сделать электронику гибкой и прозрачной. Это протяжённые цилиндрические структуры диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких сантиметров, состоящие из одной или нескольких свёрнутых в трубку гексагональных графитовых плоскостей (графенов) и обычно заканчивающиеся полусферической головкой. Нано трубки более подвижны и не задерживают свет в тонком слое, так что опытные матрицы с интегральными схемами можно изгибать без потери электронных свойств. Оптимисты предсказывают, что не за горами день, когда ноутбук можно будет носить в заднем кармане джинсов, потом, сев на скамейку, развернуть до размера газеты, причем вся его поверхность станет экраном высокого разрешения, а после этого снова свернуть и, скажем, превратить в браслет на запястье.

2. Фуллерены – молекулярные соединения, принадлежащие классу аллотропных форм углерода (другие — алмаз, карбин и графит) и представляющие собой выпуклые замкнутые многогранники, составленные из чётного числа трех координированных атомов углерода. Применение их весьма широко и разнообразно. Так, очень эффективным является использование фуллерена в качестве автомобильной присадки. Он способствует созданию идеальной масляной пленки на деталях двигателя, в несколько раз более прочной, чем обычная масляная, продлевая, таким образом, срок его службы. Уже многие мировые производители добавляют фуллерен в качестве присадки в масло.

Водный раствор фуллерена обладает удивительными биологическими свойствами. Он является невероятно сильным антиоксидантом, самым мощным из известных на сегодняшний день. Он не вступает в организм, ни в какие реакции, а, следовательно, нетоксичен, немутагенен и гипоаллергенен. Также фуллерен, возможно, использовать в качестве сорбента. Помимо прочего, фуллерен ускоряет процесс заживления ран.

3. Графен – монослой атомов углерода, полученный в октябре 2004 года в Манчестерском университете (The University Of Manchester). Графен можно

использовать как детектор молекул ( $\text{NO}_2$ ), позволяющий детектировать приход и уход единичных молекул.

4. Нано кристалл – отдельный однородный кристалл, имеющий непрерывную кристаллическую решётку и характеризующийся анизотропией свойств. Внешняя форма нано кристалла обусловлена его атомно-кристаллической структурой и условиями кристаллизации. Изделия и элементы, изготовленные из нано кристаллов, применяются в качестве различных преобразователей в радиоэлектронике, квантовой электронике, акустике, вычислительной технике.

5. Аэрогель – уникальный материал, полученный искусственным путем, как побочный продукт кристаллизации аминокислот в перенасыщенных жидкостях. Еще его называют “замороженный дым”. Это совершенно необычный гель, в котором жидкая фаза замещена газообразной, в результате чего материал обладает низкой плотностью, а еще прозрачностью и твёрдостью. Что удивительно, аэрогель на 99,8% состоит из воздуха. Аэрогели могут использоваться в качестве газовых и жидкостных фильтров.

6. Аэрографит – представляет собой синтетическую пену, состоящую из трубчатых волокон углерода. Плотность материала составляет 0,18 мг/см<sup>3</sup>, что позволяет назвать данный материал самым легким на сегодняшний день. Аэрографит был разработан объединенной командой Гамбургского технологического университета. Первое сообщение о новом материале было опубликовано в июне 2012 г.

7. Нано аккумуляторы. В начале 2005 года компания Altair Nanotechnologies (США) объявила о создании инновационного нано технологического материала для электродов литий-ионных аккумуляторов. Эти аккумуляторы имеют время зарядки 10-15 минут. В феврале 2006 года компания начала производство аккумуляторов на своём заводе в Индиане. В марте 2006 Altairnano и компания Boshart Engineering заключили соглашение о совместном создании электромобиля. В мае 2006 успешно завершились испытания автомобильных нано аккумуляторов. В июле 2006 Altair Nanotechnologies получила первый заказ на поставку литий-ионных аккумуляторов для электромобилей.

8. Самоочищающиеся поверхности на основе эффекта лотоса.

Эффект лотоса — эффект крайне низкой смачиваемости поверхности, который можно наблюдать на листьях и лепестках растений рода Лотос и других растений, как например настурция и тростник обыкновенный. Только с изобретением электронного микроскопа секрет лотоса стал известен. Его раскрыл немецкий биолог Вильгельм Бартлотт в 1975 году. Все дело в микроскопических бугорках, которыми покрыты листья. А бугорки, в свою очередь, покрыты еще более мелкими «нано волосиками». Капля воды, попадая на такую бугристую поверхность, не может равномерно расположиться на ней, т.к. этому мешают силы поверхностного натяжения. Поэтому капли скатываются с поверхности листа, не оставляя следа и смывая грязь, пыль и бактерии. Ученые стремятся создать супер гидрофобный материал с использованием нано технологий.

Говоря о нано электронике, хочется также затронуть плазмонику. Плазмоны представляют собой коллективные колебания свободных электронов в металле. В начале 2000-го года, благодаря быстрому прогрессу в технологии изготовления частиц нано размеров, был дан толчок к развитию новой области нано технологии – нано плазмонике. Выяснилось, что электромагнитное излучение можно передавать вдоль цепочки металлических нано частиц с помощью возбуждения плазмонных колебаний. Эта технология может стать заменой традиционных технологий, используемых в современных компьютерах. Логические цепи, построенные на основе плазмоники, работают гораздо быстрее, имеют значительно большую информационную емкость, чем традиционные электронные цепи и, что гораздо более важно, имеют гораздо меньшие габариты, чем существующие оптические системы.

### Управление нано процессами

Необходимость создания сложной электроники и электрических компонентов на молекулярном уровне способствовала быстрому появлению и развитию новых нано масштабных методов управления нано процессами. На этом уровне огромное значение имеют точные измерения для определения состояния процесса. Кинетические и квантовые эффекты существенно меняют электрические и тепловые свойства материалов и устройств. И их нужно вовремя регистрировать, чтобы управлять процессом.

Проводящие нано структуры могут применяться для нано масштабных измерений. Некоторые лаборатории уже активно используют движение отдельных электронов в качестве стандартных измерительных инструментов электрического тока и емкости. Кроме того, ученые успешно измеряют свойства атомарных проводов и других, электромагнитных нано структур.

Будущие нано структуры, вероятно, будут использоваться в чрезвычайно широком спектре – от квантовых вычислений до сенсоров отдельных частиц и атомарных взаимодействий. Квантовые эффекты очень слабы с точки зрения макро масштаба, а потому для их измерения и управления требуются более точные инструменты.

### Заключение

Мировой рынок электроники выглядит следующим образом: производство самой современной электроники с высокой добавочной стоимостью полностью находится в США, а «массовой» высокотехнологичной продукции – на Тайване, что обеспечивается в значительной степени благодаря американским и японским инвестициям.

В течение нынешнего столетия произойдет переход от ныне существующих планарных структур к объемным нано микросхемам, размеры активных элементов уменьшатся до размеров молекул. Рабочие частоты компьютеров, достигнут терагерцовых величин. Получат распространение схемные решения на нейро чипах. Появится быстродействующая долговременная память на белковых молекулах, емкость которой будет измеряться сотнями терабайт. Станет возможным «переселение» человеческого интеллекта в компьютер. Прогнозируемый срок реализации: вторая четверть XXI века.

Уже сегодня техника вплотную приблизилась к теоретической возможности запоминать и передавать 1 бит информации с помощью одного электрона, локализация которого в пространстве может быть задана одним атомом. Это позволяет уменьшить размеры одного транзистора приблизительно до 10 нм, а рабочие частоты увеличить до порядка 10<sup>12</sup> Гц.

### Литература

1. А. И. Гусев, А. А. Ремпель. Нано кристаллические материалы. 2001 год., 224 стр.
2. В. Е. Борисенко, А.И. Воробьева, Е. А. Уткина. Нано электроника. Уч. пособие. В 3-х частях. 2004 год.
3. Н. И. Кобаяси. Введение в нано технологию. Издательство: Бином. Лаборатория знаний, 2008 г., 134 стр.
4. И. Балабанов. Нано технологии. Наука будущего. — М.: Эксмо, 2008 г., 256 с.

УДК 621.396.029

## СИНТЕЗАТОРЫ ЧАСТОТ

Дирша И.В.

Научный руководитель Михальцевич Г.А., старший преподаватель

Радиопередающие устройства (РПДУ) применяются в сферах телекоммуникации, телевизионного и радиовещания, радиолокации, радионавигации. Стремительное развитие микроэлектроники, аналоговой и цифровой микросхемотехники, микропроцессорной и компьютерной техники оказывает существенное влияние на развитие радиопередающей техники как с точки зрения резкого увеличения функциональных возможностей, так и с точки зрения улучшения ее эксплуатационных показателей. Это достигается за счет использования новых принципов построения структурных схем передатчиков и схемотехнической реализации отдельных их узлов, реализующих цифровые способы формирования, обработки и преобразования колебаний и сигналов, имеющих различные частоты и уровни мощности.

В области телекоммуникаций и вещания можно выделить следующие основные непрерывно возрастающие требования к системам передачи информации, элементами которых являются РПДУ:

- обеспечение помехоустойчивости в перегруженном радиоэфире;
- повышение пропускной способности каналов;
- экономичность использования частотного ресурса при многоканальной связи;
- улучшение качества сигналов и электромагнитной совместимости.

Стремление удовлетворить этим требованиям приводит к появлению новых стандартов связи и вещания. Среди уже известных GSM, DECT, SmartTrunk II, TETRA, DRM и др.

Синтезатор частот – устройство для генерации электрических гармонических колебаний с помощью линейных повторений (умножением, суммированием, разностью) на основе одного или нескольких опорных генераторов. Синтезаторы частот служат источниками стабильных (по частоте) колебаний в радиоприемниках, радиопередатчиках, частотомерах, испытательных генераторах сигналов и других устройствах, в которых требуется настройка на разные частоты в широком диапазоне и высокая стабильность выбранной частоты. Стабильность обычно достигается применением фазовой автоподстройки частоты или прямого цифрового синтеза (DDS) с использованием опорного генератора с кварцевой стабилизацией. Синтез частот обеспечивает намного более высокую точность и стабильность, чем традиционные электронные генераторы с перестройкой изменением индуктивности или ёмкости, очень широкий диапазон перестройки без-каких-либо коммутаций и практически мгновенное переключение на любую заданную частоту.

### Прямые цифровые синтезаторы частоты (DDS)

Прямые цифровые синтезаторы частоты (DDS) появились на рынке изделий микроэлектроники в начале 90-х годов, и с тех пор их популярность неизменно возрастает. Это объясняется их уникальными свойствами, недоступными обычным синтезаторам частот косвенного синтеза. Диапазон перестройки такого синтезатора может быть непрерывным от долей Гц до десятков МГц, при этом точность установки частоты и шаг перестройки составляет сотые доли Гц, а скорость перестройки частоты измеряется наносекундами (и при этом нет разрыва фазы). Многие из имеющихся синтезаторов способны формировать квадратурные сигналы с высочайшей точностью сдвига фазы между ними во всем рабочем диапазоне, а также обеспечивают цифровую частотную и фазовую манипуляцию (возможен и линейный переход к следующему

значению частоты или фазы), а также цифровую квадратурную амплитудную модуляцию.

Вместе с тем, таким синтезаторам свойственны все недостатки цифровых устройств обработки сигналов: шум квантования, наложение спектров цифрового сигнала, ограниченная верхняя рабочая частота и пр.

Цифровые синтезаторы частоты с косвенным синтезом (ФАПЧ)

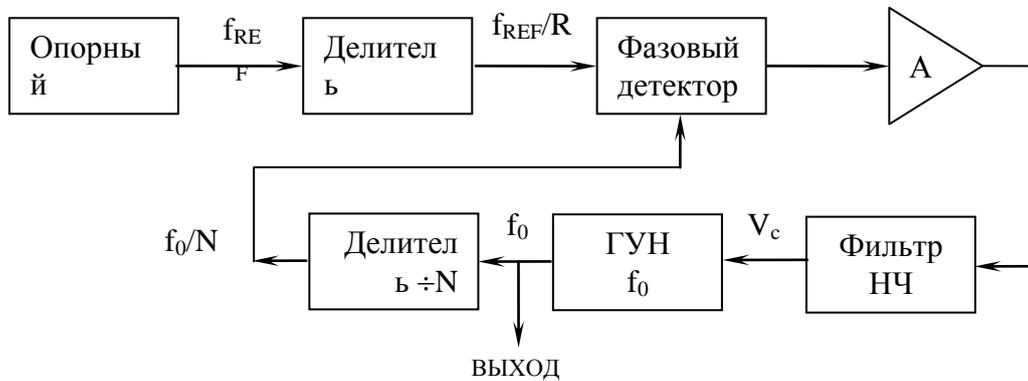


Рисунок 1 – структурная схема синтезатора частоты с ФАПЧ.

Следует отметить, что полоса захвата симметрична по отношению к частоте собственных колебаний ГУН  $f_0$ .

На рис. 2 приведена зависимость  $V_c$  от частоты опорного сигнала, характеризующая полосу захвата.

Частота ГУН не может быть синхронизирована с частотой опорного сигнала.

Вне этой полосы

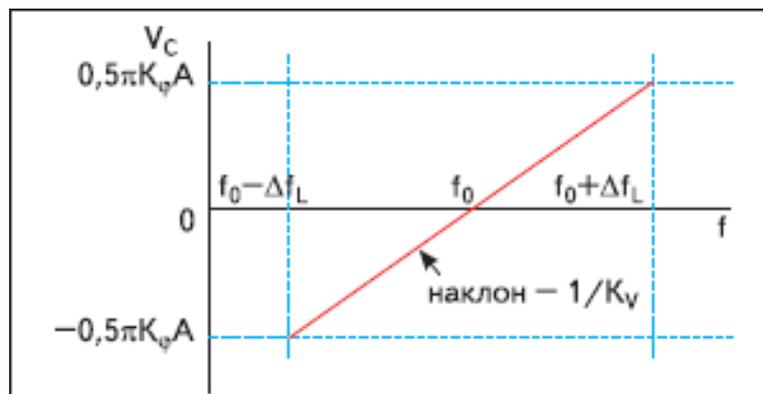


Рисунок 2

Несмотря на то, что прямые цифровые синтезаторы активно вытесняют традиционные косвенные синтезаторы из их традиционных областей применения, последние остаются непревзойденными по ряду параметров и вряд ли когда-нибудь будут заменены на DDS полностью.

Таким образом, синтезаторы с косвенным синтезом (на основе петли ФАПЧ) незаменимы в СВЧ-генераторах, гетеродинах высокочувствительных приемников и передатчиков, к которым предъявляются жесткие требования по чистоте спектра

Недостатком подобного синтезатора является увеличение шага перестройки частоты при повышении его рабочей частоты.

#### Заключение

Основным направлением развития систем связи является обеспечение множественного доступа, при котором частотный ресурс совместно и одновременно используется несколькими абонентами. К технологиям множественного доступа относятся TDMA, FDMA, CDMA и их комбинации. При этом повышают требования и к качеству связи, т.е. помехоустойчивости, объему передаваемой информации, защищенности информации и идентификации пользователя и пр. Это приводит к необходимости использования сложных видов модуляции, кодирования информации, непрерывной и быстрой перестройки рабочей частоты, синхронизации циклов работы передатчика, приемника и базовой станции, а также обеспечению высокой стабильности частоты и высокой точности амплитудной и фазовой модуляции при рабочих частотах, измеряемых гигагерцами. Что касается систем вещания, здесь основным требованием является повышение качества сигнала на стороне абонента, что опять же приводит к повышению объема передаваемой информации в связи с переходом на цифровые стандарты вещания. Крайне важна также стабильность во времени параметров таких радиопередатчиков частоты, модуляции.

УДК 621.326

## УСТРОЙСТВО ПЛАВНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ ЛАМП НАКАЛИВАНИЯ

Воронюк А.А., Петрусевич М.В.

Научный руководитель Михальцевич Г.А., ст. преподаватель

Эта статья посвящена новой разработке “Мастер КИТ” — устройству плавного включения/выключения ламп накаливания мощностью до 150 Вт, работающих от сети переменного тока 220 В. Это устройство может значительно увеличить срок службы обычной бытовой лампочки, и сделает процесс ее включения/выключения более оригинальным и приятным для восприятия. Небольшие размеры, высокие эксплуатационные характеристики, надежность, простота в изготовлении и настройке, низкая стоимость делают это устройство крайне привлекательным. Собрать устройство можно из набора “Мастер КИТ” NM1043.

Каждому из нас знакома ситуация — щелкаем выключателем в надежде зажечь свет в комнате, а лампочка вспыхивает и перегорает в считанные доли секунды... Приходится брать стул, лезть под потолок и менять перегоревшую лампу на новую. Такое может произойти практически со всеми лампами накаливания, даже с самыми дорогими и долговечными, чтобы ни говорили нам производители.

Дело в том, что в холодном состоянии сопротивление спирали лампы в 10 раз меньше чем в разогретом. Поэтому пусковой ток лампы мощностью, например, 100 Вт может достигать 7 А. После разогрева спирали, который происходит за несколько полупериодов сетевого напряжения, ток уменьшается до рабочего. Именно этот момент пуска является порой губительным для лампочки. Со временем спираль лампы изнашивается, утончается, приобретает неоднородности в своей структуре. Спираль становится более чувствительной к подобным перегрузкам при включении, соответственно увеличивается вероятность ее перегорания.

Облегчить условия пуска холодной спирали лампочки и тем самым снизить вероятность ее перегорания можно. Для этого надо подавать напряжение питания на лампу не с полной, а с постепенно увеличивающейся амплитудой. В результате к моменту подачи полной амплитуды спираль лампы успеет полностью разогреться и перейти в нормальный режим работы.

Перед специалистами компании “Мастер КИТ” была поставлена и успешно решена задача по разработке такого устройства на базе современной, уникальной в своем классе микросхеме — фазовом регуляторе K1182PM1P (производитель НПЦ “СИТ”).

Эта микросхема предназначена для плавного включения/выключения ламп накаливания или для регулировки яркости их свечения. Максимальная ИМС может применяться для регулировки скорости вращения электродвигателей (вентиляторы, бытовые электродвигатели и пр.) и управления более мощными силовыми элементами (тиристоры, симисторы). ИМС выполнена в стандартном корпусе DIP (16) или Power DIP (12+4), что упрощает ее практическое использование.

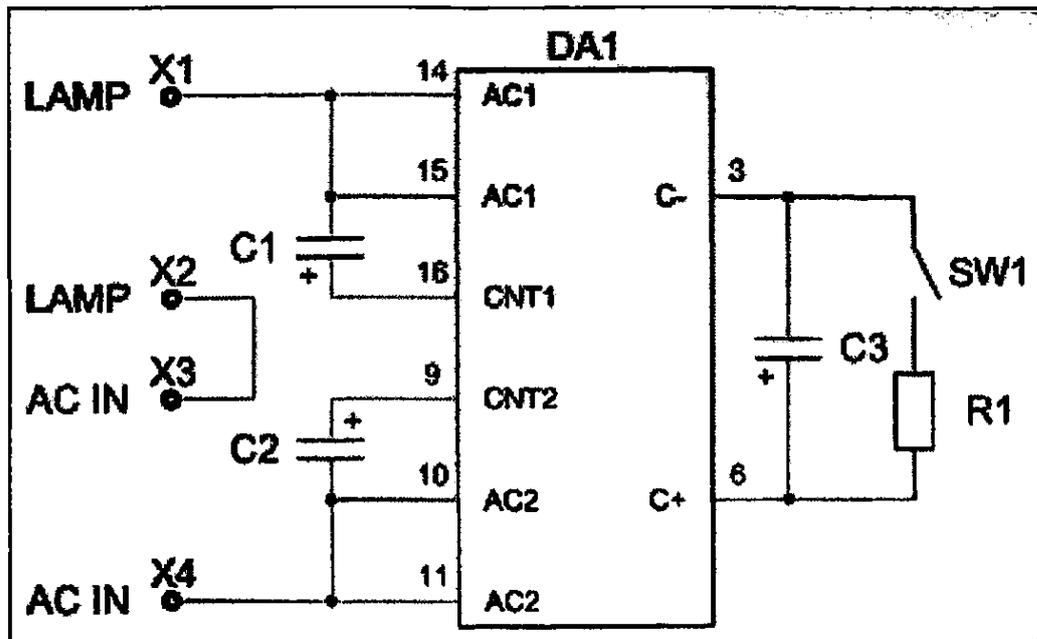


Рисунок 1 - Принципиальная электрическая схема фазового регулятора

Устройство выполнено на базе ИМС К1182ПМ1Р (DA1), оно позволяет путем постепенного увеличения фазового угла включения увеличивать подаваемое на лампу напряжение. При этом спираль успевает разогреться до максимальной температуры к моменту подачи полного напряжения. В результате снижается вероятность выхода спирали лампы из строя.

Выходы 3 и 6 ИМС DA1 предназначены для подключения цепи управления (C3, R1, SW1) фазовым регулятором. Время плавного включения лампы зависит от емкости конденсатора C3, а время плавного выключения — от сопротивления резистора R1. Номиналы этих элементов пользователь может выбрать самостоятельно. С номиналами приведенными в табл. 1, время включения и выключения составляет примерно 1 с.

Сетевое напряжение питания подключается к контактам X3, X4, лампа накаливания — к контактам X1, X2. В качестве SW1 рекомендуется использовать настенный комнатный выключатель (при этом монтаж устройства можно произвести в его распаечной коробке).

**ВНИМАНИЕ!** Подключение устройства к сети переменного тока необходимо производить при замкнутом выключателе SW1. В противном случае ИМС регулятора может выйти из строя.

Рассмотренное устройство можно применять не только в целях плавного включения/выключения ламп накаливания, но и для регулировки яркости их свечения. Для этого его дополняют переменным резистором со встроенным выключателем согласно рис. 2, а элементы C3, R1 не устанавливают. Сопротивление переменного резистора R следует выбрать равным 47 кОм.

**ВНИМАНИЕ!** В данной конструкции необходимо совместить выключатель SW1 и регулировочный резистор R. При этом выключатель должен замыкаться после установки резистора в положение минимального сопротивления. Этому положению будет соответствовать выключение лампы. В этом же положении необходимо подключать устройство к сети, в противном случае ИМС регулятора может выйти из строя.

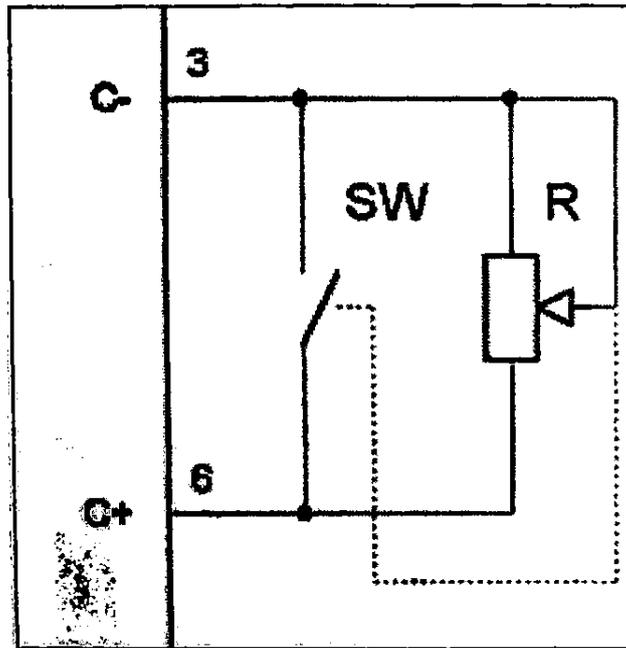


Рисунок 2 - Схема доработки

Конструктивно регулятор выполнен на печатной плате из фольгированного стеклотекстолита. Для удобства подключения питающего напряжения, лампы и внешнего выключателя на плате предусмотрены посадочные места под клеммные винтовые зажимы.

Внешний вид устройства показан на рис. 3, печатная плата — на рис. 4, расположение элементов — на рис. 5.

Конструкция предусматривает установку платы в корпус или распаечную коробку настенного комнатного выключателя. Для этого предусмотрены монтажные отверстия по краям платы 3 мм.

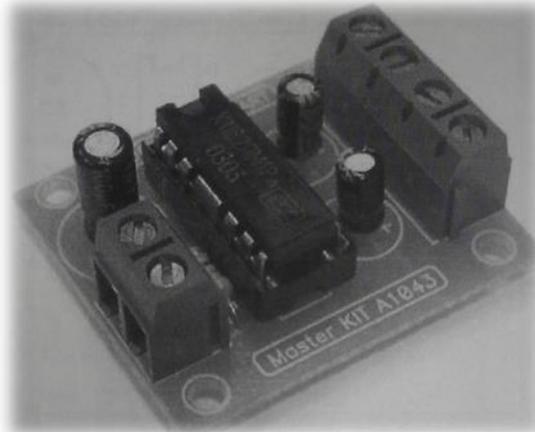


Рисунок 3 - Внешний вид устройства

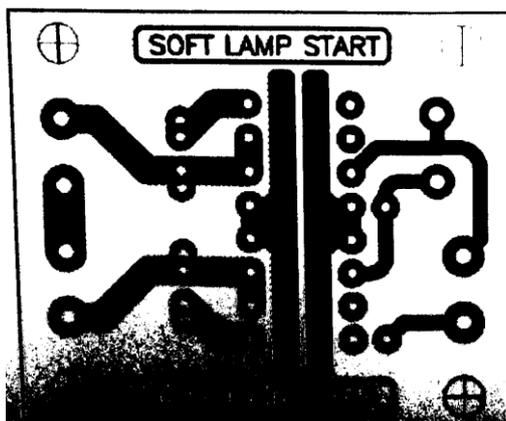


Рисунок 4 - Печатная плата (вид снизу)

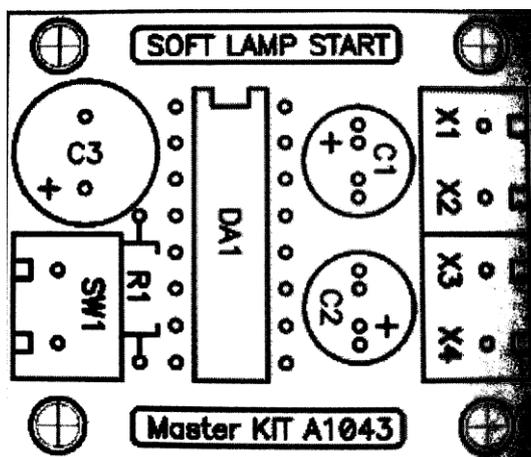


Рисунок 5 - Печатная плата (вид сверху)

#### Литература

1. <http://www.masterkit.ru/info/magshow.php?num=122>
2. <http://radiokot.ru/forum/viewtopic.php?f=11&t=82228>

УДК 621.38

## МЕТОД РАСЧЕТА ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА АКТИВНО-ЕМКОСТНУЮ НАГРУЗКУ

Мухин Р.А.

Научный руководитель Бладыко Ю.В., к.т.н., доцент

При работе сетей на нагрузку, потребляющую небольшие токи от выпрямителя, часто используют фильтры, включающие конденсатор; в наиболее простом виде — это С-фильтры. Такие фильтры для выпрямителя представляют емкостную нагрузку, которая заметно изменяет характер процессов в вентильном комплекте. Реальный источник питания в электроэнергетических сетях имеет активно-индуктивный характер.

Существующие методы расчета выпрямителя ориентированы на ручной счет, поэтому они основаны на целом ряде допущений и упрощений. Так, например, в [1] допускается, что диоды идеальные, также не учитываются все предвключенные сопротивления (сопротивления трансформатора, линии электропередачи). Метод Б.П.Терентьева, применяемый в проектной практике, основывается на допущении, что емкость конденсатора фильтра бесконечно большая, вследствие чего напряжение на нагрузке можно считать постоянным по величине.

Новейшие компьютерные технологии сегодня позволяют выполнять решение систем дифференциальных уравнений численными методами. Авторами предлагался дифференциальный метод расчета выпрямительных схем с численным решением в MathCAD.

Для нахождения сглаженного напряжения необходимо найти напряжение на конденсаторе, для чего используется расчет переходных процессов классическим методом. Расчет сводится к решению системы дифференциальных уравнений по законам Кирхгофа. Установившийся режим наступает после практического завершения переходных процессов. После этого можно определять среднее значение напряжения, коэффициенты сглаживания и пульсаций. В MathCAD для численного расчета используется стандартная встроенная функция *Rkadapt* с решением дифференциальных уравнений по методу Рунге-Кутты.

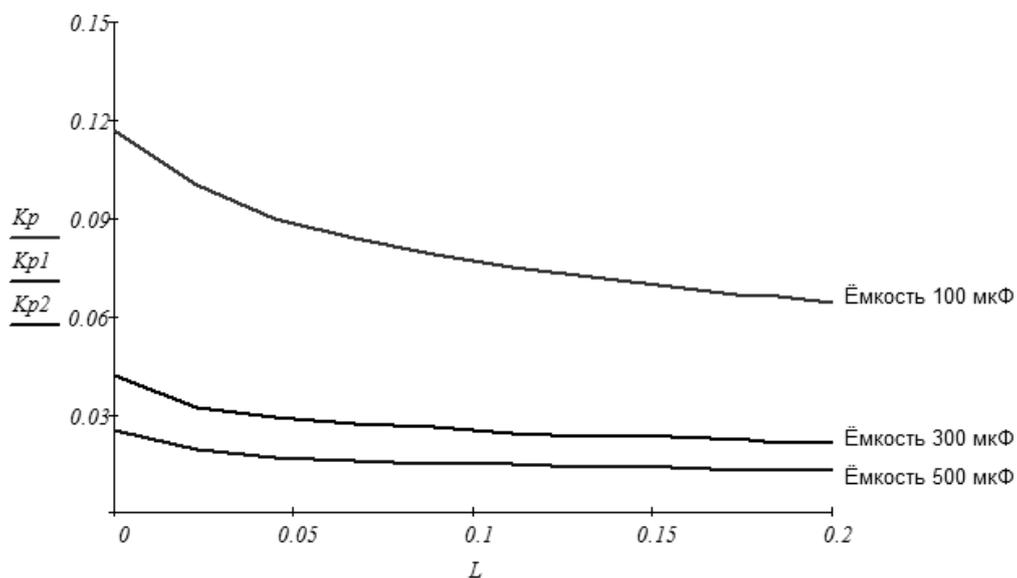


Рисунок 1. Зависимость коэффициента пульсаций от индуктивности источника питания при разных значениях емкостей С-фильтра

Авторами разработан алгоритм расчета среднего значения напряжения выпрямителя с емкостным фильтром, работающего на активную нагрузку, с учетом конечных значений емкости конденсатора фильтра и сопротивления фазы выпрямителя (активного и индуктивного). Разработана программа расчета на ЭВМ среднего значения выпрямленного сглаженного напряжения. Результаты расчета по программе сравнивались с результатами, полученными по существующим методикам и опытным путем.

По разработанной программе были выполнены расчеты. На рисунке 1 приведены зависимости коэффициентов пульсаций для разных значений емкостей сглаживающих фильтров в зависимости от индуктивности источника питания при сопротивлении нагрузки 200 Ом.

#### Литература

1. Теоретические основы электротехники, часть 2 и 3. Нелинейные электрические цепи. Электромагнитное поле / Г.И. Атабеков [и др.]; под ред. Г.И.Атабекова – СПб.: Лань, 2009. - 432 с.

УДК 621.382.2

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СТАБИЛИТРОНОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА СХЕМ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СТАБИЛИЗАТОРОВ

Понетовский Е. С.

Научный руководитель Домников С. В., к.т.н., доцент

Под математической моделью стабилитрона (как и других типов диодов) понимают совокупность его эквивалентной схемы и математических выражений, определяющих элементы эквивалентной схемы. Одна из эквивалентных схем диода, широко используемая при анализе электронных схем на ЭВМ, имеет вид:

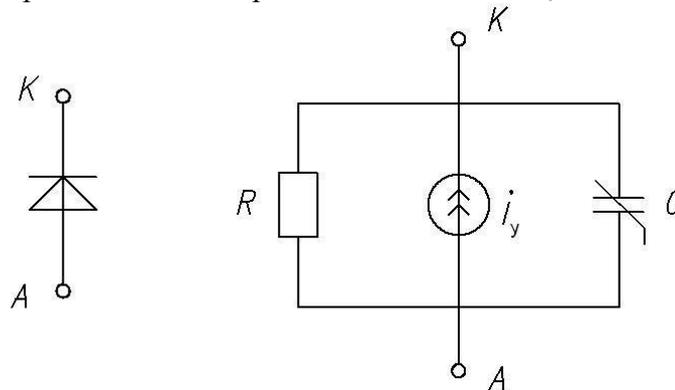


Рисунок 1 – Эквивалентная схема диода

где  $R$  позволяет учесть ток утечки, емкость  $C$  моделирует ёмкость диода. Управляемый источник тока  $i_y$  моделирует статическую вольтамперную характеристику диода. Модель является универсальной и хорошо моделирует диод в любом из возможных режимов работы, позволяя учесть и влияние температуры на свойства диодов.

Однако математическое описание тока  $i_y$  и ёмкости  $C$  довольно громоздко. Поэтому в несложных ручных расчетах предпочтение отдают простым математическим моделям диодов. При составлении этих моделей используют кусочно-линейную аппроксимацию вольтамперных характеристик диодов.

В частности, для стабилитрона, нормально работающего на обратной ветви вольтамперной характеристики, линейная аппроксимация обратной ветви представлена на рисунке 2.

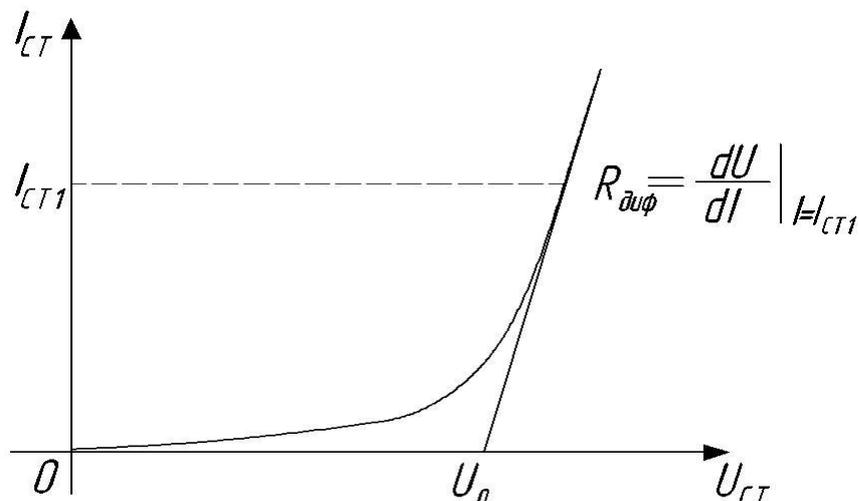


Рисунок 2 – Линейная аппроксимация обратной ветви ВАХ

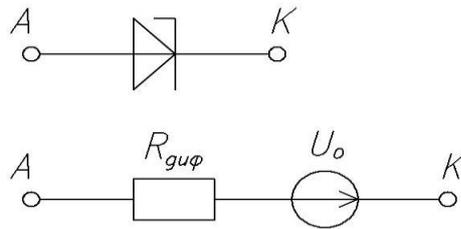


Рисунок 3 – Эквивалентная схема замещения

Кусочно-линейная аппроксимация стабилитрона

Применимость математической модели стабилитрона, полученной на основе кусочно-линейной аппроксимации его вольтамперной характеристики, рассмотрим на примере расчета режима работы параметрического стабилизатора, схема которого дана на рисунке 3, где VD – стабилитрон 2С168А, вольтамперная характеристика которого дана в таблице 1.

Таблица 1.

$I_{ст}, \text{mA}$	0	2	4	5	10	30	45
$U_{ст}, \text{B}$	0	6,3	6,55	6,6	6,8	7,4	8,0

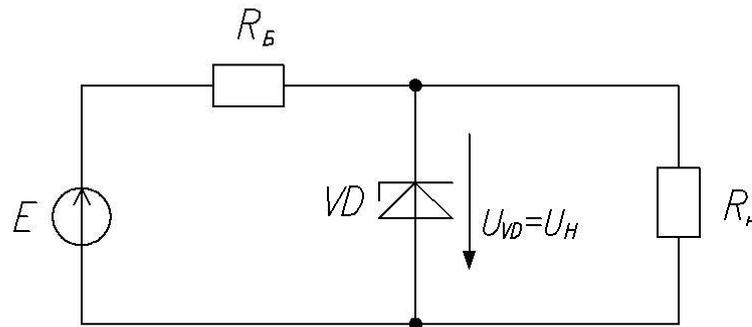


Рисунок 4 – Схема параметрического стабилизатора

Рассчитаем напряжение  $U_H = U_{VD}$  при  $E = 15\text{B}$ ,  $R_B = 0,5\text{k}\Omega$ ,  $R_H = 0,5\text{k}\Omega$ .

1) Графический метод расчета. Выделив ветвь с VD в качестве расчетной, представим всю остальную часть стабилизатора по отношению к ней эквивалентным генератором с параметрами

$$E_{\text{эГ}} = E \cdot \frac{R_H}{R_B + R_H} = 15 \cdot \frac{0,5}{0,5 + 0,5} = 7,5\text{B}$$

$$R_{\text{эГ}} = \frac{R_B \cdot R_H}{R_B + R_H} = \frac{0,5 \cdot 0,5}{0,5 + 0,5} = 0,25\text{k}\Omega$$

Схема имеет вид:

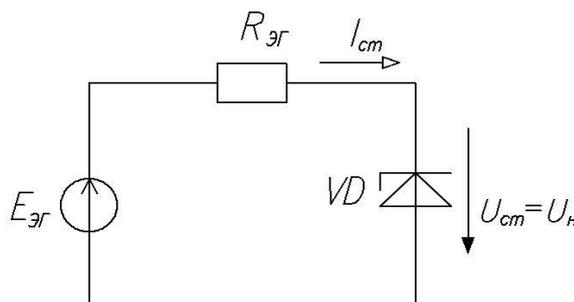


Рисунок 5 – Использование метода эквивалентного генератора для расчета стабилизатора

Известно, что расчет цепи, представленной на рисунке 4, состоит в нахождении точки пересечения линии нагрузки

$$U_H = E_{ЭГ} - I_{СТ} \cdot R_{ЭГ}$$

и вольт-амперной характеристики  $I_{СТ}(U_{СТ})$  стабилитрона, которая приведена в таблице 1. Линию нагрузки строим по 2-ум точкам, соответствующим режимам холостого хода (точка М) цепи на рисунке 4 (без стабилитрона VD) и короткого замыкания (точка N) той же цепи. Очевидно, что координаты точки М:

$$I_{СТ} = 0A; U_{СТ} = U_H = E_{ЭГ} = 7,5B;$$

а точки N:

$$U_{СТ} = U_H = 0B; I_{СТ} = \frac{E_{ЭГ}}{R_{ЭГ}} = \frac{7,5}{250} = 0,03A = 30mA.$$

Находим точку пересечения линии нагрузки MN с вольтамперной характеристикой стабилитрона. По оси абсцисс откладываем значения  $U_{СТ}$  в В, а по оси ординат значения  $I_{СТ}$  в mA.

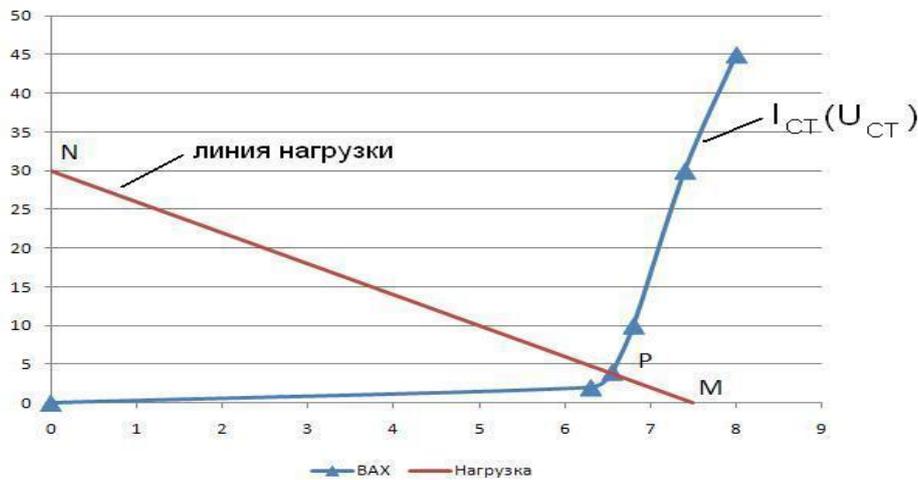


Рисунок 6 – Пересечение линии нагрузки с ВАХ

Координаты точки P, дающие решение задачи,

$$I_{СТ} = 4,5mA, U_{СТ} = U_H = 6,55B.$$

2) Графоаналитический метод с использованием кусочно-линейной аппроксимации вольт-амперной характеристики стабилитрона. По ВАХ стабилитрона, приведенной в таблице 1, в соответствии с аппроксимацией, представленной на рисунке 2, найдем:

$$U_0 = 6,5B, R_{диф} = \frac{7,4 - 6,6}{30 - 5} = 0,032k\Omega.$$

Схема замещения стабилизатора, с учетом кусочно-линейной аппроксимации вольтамперной характеристики стабилитрона представлена на рисунке 7:

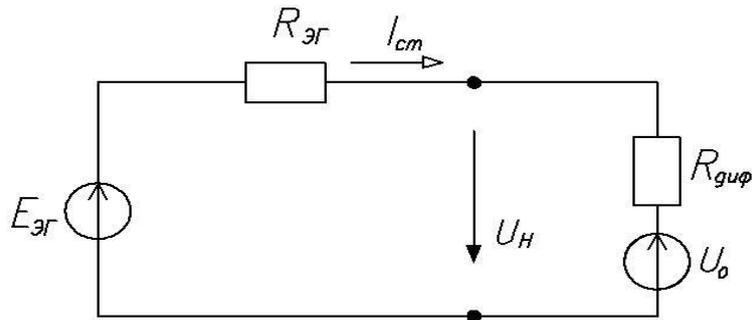


Рисунок 7 – Схема замещения стабилизатора при кусочно-линейной аппроксимации стабилитрона

Согласно 2-му закону Кирхгофа для этой цепи запишем:

$$E_{\Gamma} - U_0 = I_{CT} \cdot (R_{\text{ЭГ}} + R_{\text{оуф}})$$

Отсюда имеем:

$$I_{CT} = \frac{E_{\text{ЭГ}} - U_0}{R_{\text{ЭГ}} + R_{\text{оуф}}} = \frac{7,5 - 6,5}{0,25 + 0,032} = 3,56 \text{ mA}$$

$$U_{\text{Н}} = E_{\text{ЭГ}} - I_{CT} \cdot R_{\text{ЭГ}} = 7,5 - 3,56 \cdot 0,25 = 6,61 \text{ B.}$$

Сопоставляя значения параметров режима, рассчитанные согласно изложенным выше подходам, приходим к выводу о высокой точности расчета, обеспечиваемой при аппроксимации вольтамперной характеристики стабилитрона, и значительном сокращении времени, необходимого для решения задачи.

#### Литература

1. Гершунский Б.С. Справочник по расчету электронных схем. - Киев: Вища школа, 1983. - 240с.
2. Терещук З.М., Терещук К.М., Седов С.А. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства. Справочник радиолюбителя. – Киев: Наукова думка, 1989. – 820с.
3. Перельман Б.Л. Полупроводниковые приборы. Справочник. – М: СОЛОН, МИКРОТЕХ, 1996. – 176с.
4. В.И.Бойко, А.Н.Гуржий, В.Я.Жуйков, А.А.Зори, В.М.Спивак. Схемотехника электронных систем. Аналоговые и импульсные устройства. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 496 с.

УДК 629.3

## **СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ДУГОВОЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВМЕЩЁННОГО УПРАВЛЯЕМОГО РЕАКТОР-ТРАНСФОРМАТОРА**

Джураев Т. Х.

Научный руководитель Домников С. В., к.т.н., доцент

Способ заключается в выравнивании мощности по фазам путем управления током дуги каждого из электродов и регулировании электрических параметров короткой сети за счет включения в схему косвенного регулирования напряжения в качестве второй электромагнитной единицы совмещенного управляемого реактор-трансформатора (СУРТ) и увеличения индуктивного сопротивления его вторичных обмоток.

Изобретение относится к электротехнике, а именно к электрометаллургии и к способам регулирования мощности в трехэлектродных дуговых печах переменного тока, и направлено на увеличение их производительности, уменьшение удельного расхода электроэнергии, снижение негативного влияния на питающую сеть и повышение надежности функционирования регулирующего устройства.

Известен способ регулирования мощности трехфазной дуговой электропечи, заключающийся в управлении величиной тока дуги каждого электрода и регулировании реактивного сопротивления короткой сети с помощью батарей статических конденсаторов (БК), подключаемых параллельно фазе с наибольшим реактивным сопротивлением. Присоединение БК на вторичное напряжение печного трансформатора требует выполнения условия синусоидальности тока дуговой трехэлектродной печи. Это вызывает затруднения при использовании указанного способа на практике, т.к. ток печи имеет несинусоидальный характер, обусловленный условиями горения дуги и влиянием случайных факторов на ее сопротивление.

Указанный способ имеет некоторые недостатки. Возможны значительные перегрузки батарей статических конденсаторов токами высших гармонических составляющих и тяжелые условия работы при частых коммутациях емкостей. Это вызывает их преждевременный выход из строя. Снижение реактивного сопротивления короткой сети путем включения БК может уменьшить устойчивость горения дуги. Это приводит к возрастанию колебаний токов и напряжений. Рассматриваемый способ не позволяет минимизировать глубину провала напряжения, возникающего на стороне высшего напряжения печного трансформатора, при эксплуатационном коротком замыкании электродов на шихту.

По мере заглубления электрода все большая часть излучения дуги экранируется шихтой. Излучение дуги «дикой» фазы не представляет серьезной опасности для футеровки стен и свода печи и практически полностью расходуется на расплавление шихты. Оно не компенсирует уменьшение излучения других фаз. Это объясняет снижение производительности печи при несимметричном режиме. В период восстановления изменение реактивного сопротивления короткой сети менее значительно, а излучение дуги не экранируется шихтой. По сравнению с периодом расплавления футеровка стен и свода поглощает большее количество энергии, излучаемой дугами. Ее часть, расположенная вблизи «дикой» фазы, разрушается быстрее. Это вызывает простои печи, необходимые для проведения ремонтных работ. Снижается производительность агрегата. Поэтому с точки зрения минимизации негативного воздействия излучения дуги «дикой» фазы выравнивание электрических параметров разных фаз короткой сети в период восстановления имеет важнейшее

значение. Вышесказанное подтверждает актуальность снижения перекаса мощностей по фазам и минимизации смещения нейтральной точки нагрузки относительно нейтральной точки печного трансформатора во всех режимах функционирования электропечи.

Регулирование питающего напряжения электропечной установки производится с помощью трансформаторного агрегата. В большинстве случаев по косвенной схеме регулирования, состоящей из двух электромагнитных единиц. В качестве первой используется регулировочный автотрансформатор, а в качестве второй - понижающий трансформатор.

Для регулирования мощности электропечи предлагается производить регулирование тока дуги каждого из электродов и выравнивание электрических параметров короткой сети по фазам за счет изменения реактивного сопротивления короткой сети посредством включения в схему косвенного регулирования напряжения в качестве второй электромагнитной единицы совмещенного управляемого реактор-трансформатора и увеличения индуктивного сопротивления его вторичных обмоток, соответствующих фазам с наименьшим реактивным сопротивлением короткой сети. Регулирование мощности дуговой трехэлектродной электропечи переменного тока осуществляется во всех режимах ее функционирования. СУРТ имеет некоторые конструктивные отличия от силового трансформатора и может функционировать в трансформаторном, реакторном и реакторно-трансформаторном совмещенном режиме. В данном способе он используется в реакторно-трансформаторном режиме.

В случае уменьшения реактивного сопротивления и возрастания тока «дикий» фазы для выравнивания мощностей по фазам увеличивают индуктивное сопротивление соответствующей этой фазе вторичной обмотки СУРТ. Пример включения СУРТ в схему косвенного регулирования напряжения электропечи (ЭП) с регулировочным автотрансформатором приведен на рисунке:

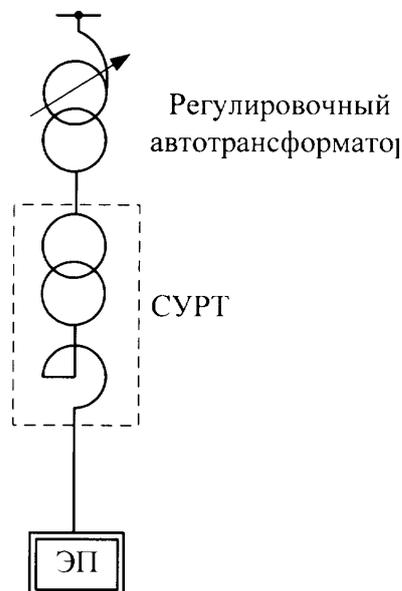


Рисунок 1

Электрическая схема замещения вторичной цепи печного трансформатора дуговой электропечи с конфигурацией короткой сети «несимметричный треугольник на электродах» при этом примет вид, изображенный на рисунке:

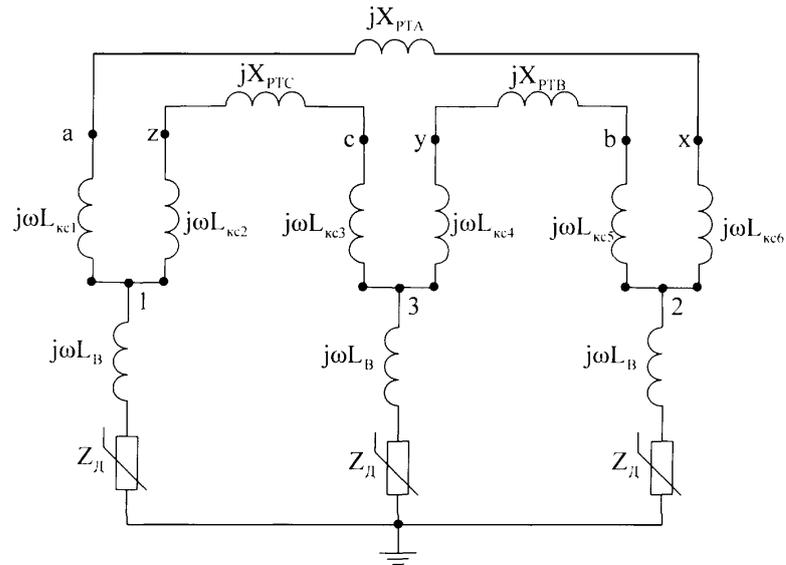


Рисунок 2

На рисунке 2 приняты следующие обозначения:  $jX_{PTA}$ ,  $jX_{PTC}$ ,  $jX_{PTB}$  - реактивные сопротивления вторичных обмоток СУРТ;  $j\omega L_{KCn}$  - реактивное сопротивление  $n$ -ого кабеля короткой сети;  $j\omega L_B$  - реактивное сопротивление ванны печи с учетом сопротивления электрода;  $Z_d$  - нелинейное сопротивление электрической дуги. При увеличении реактивного сопротивления одной фазы и уменьшении его значения в двух других фазах, для выравнивания мощностей по фазам увеличивают индуктивное сопротивление вторичных обмоток СУРТ, соответствующих фазам с наименьшим реактивным сопротивлением короткой сети.

Предлагаемый способ применим для электропечей, регулирование напряжения которых осуществляется по косвенным схемам регулирования, а короткая сеть имеет одну из следующих конфигураций: «несимметричный треугольник на электродах», «треугольник на электродах», «треугольник на электродах с дополнительной стойкой фазы», «треугольник на подвижных башмаках».

Использование способа регулирования мощности дуговой электропечи переменного тока с применением СУРТ позволяет свести к минимуму перекося мощности по фазам и смещение нейтральной точки нагрузки относительно нейтральной точки печного трансформатора. Уменьшается излучение дуги «дикой» фазы и перегрев футеровки стен и свода печи вблизи него в течение периода восстановления. Повышается устойчивость горения дуги, и снижаются колебания токов и напряжений. При возникновении эксплуатационного короткого замыкания электродов на шихту повышение реактивного сопротивления рабочих обмоток СУРТ способствует минимизации глубины провала напряжения, возникающего на стороне первичного напряжения печного трансформатора. Увеличивается вводимая в печь мощность, уменьшается продолжительность цикла плавки и длительность периодов простоя печи, предназначенных для проведения ремонтных работ по восстановлению футеровки стен и свода вблизи «дикой» фазы.

Преимущество способа заключается в минимизации негативного воздействия на питающую сеть, а также в том, что, по сравнению с БК, совмещенный управляемый реактор-трансформатор менее чувствителен к воздействию высших гармонических составляющих тока электропечи, обладает большим сроком службы и высокой надежностью при эксплуатации.

УДК 621.135

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМОГО КОМПЛЕКСА НЕБОСКРЁБОВ

Лукьянчик А.В.

Научный руководитель Счастливая Е.С., старший преподаватель

Интенсивное возрастание доли городского населения в течение последних столетий логически приводит к увеличению этажности новостроек. Основными проблемами, при этом, являются устойчивость и энергосбережение небоскребов. Я надеюсь, что предлагаемый мною подход к проектированию зданий повышенной этажности в некоторых случаях поможет решить эти проблемы.

Основными факторами, влияющими на устойчивость многоэтажных зданий, являются сейсмическая устойчивость и давление ветра. В условиях Беларуси проектирование высоток, с одной стороны, облегчается отсутствием сейсмической активности, однако с другой стороны, ввиду отсутствия значительных запасов нефти и газа, основной акцент, в плане энергосбережения, необходимо делать на восполняемые источники энергии, такие, как солнечная энергия и ветроэнергетика.

Предлагаемый проект комплекса многоэтажных зданий позволит минимизировать влияние воздушных потоков, действующих на поверхность зданий, а также, использовать их для производства электроэнергии.

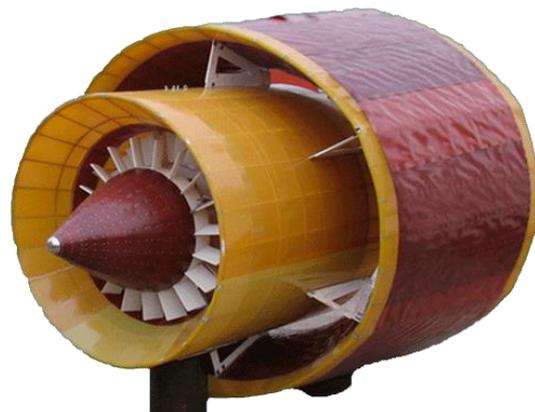
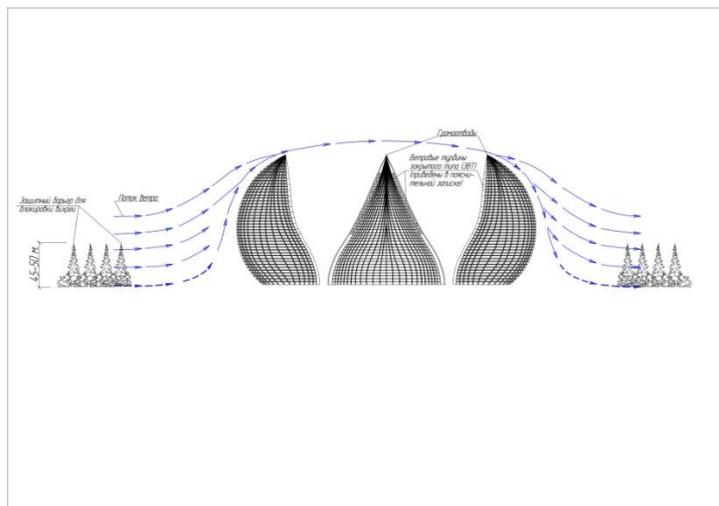
В качестве одного из вариантов решения изложенных выше проблем мною предлагается комплекс зданий парусного типа, ориентированный в

направлении преобладающей розы ветров (см. рис. 1). Параметры комплекса рассчитываются таким образом, чтобы его собственные частоты колебаний не совпадали с характерными частотами порывов ветра. Кроме того, для уменьшения давления на внешнюю поверхность комплекса предлагается использовать два дополняющих друг друга механизма:

1) организация обтекания внешней поверхности зданий с использованием естественного рельефа местности или лесопосадок;

2) нарушение ламинарности обтекающей струи за счет неоднородностей фасадов зданий, что должно привести к возникновению вихрей в пристеночной области и, соответственно, к увеличению скорости воздушного потока и уменьшению давления в нем.

К тому же, увеличение скорости потока вблизи поверхности зданий позволит повысить эффективность



турбинных энергоустановок, которые планируется использовать для решения проблемы энергообеспечения комплекса.

В качестве энергоустановок предлагается использовать ветроустановки закрытого типа (см. рис. 2). В их конструкции отсутствуют лопасти, что благоприятно влияет на безопасность, экологичность и энергоэффективность эксплуатации. Они компактны и способны работать при низких скоростях ветра, малошумны. Ветроустановки закрытого типа легкие, недорогие и мобильные, так как при их изготовлении значительно снижено количество дорогих и тяжелых материалов. Отсутствие в конструкции сложных составляющих упрощает ремонт ветроустановок и снижает уровень эксплуатационных расходов.

Было проведено компьютерное моделирование поведения комплекса с точки зрения воздействия на него воздушных течений с различной скоростью (см. рис. 3). Установлено неплохое соответствие полученных результатов компьютерного эксперимента с поставленными задачами.

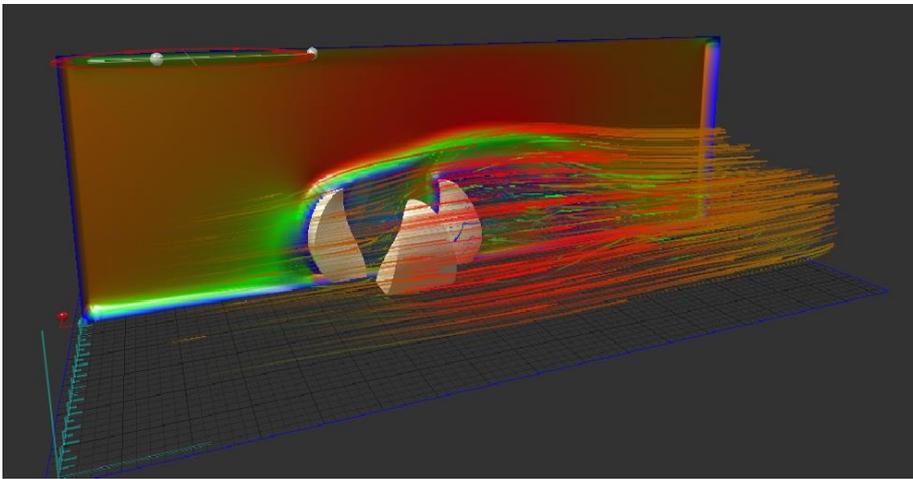


Рисунок 3

Но главным плюсом в этих зданиях будет энергоснабжающее стеклянное ограждение.

Данное стекло с большим КПД блокирует прямое солнечное излучение, сохраняя тепло в помещении. При этом, по сравнению с другими интегрированными солнечными модулями разработка обладает более высоким коэффициентом прозрачности, что позволяет обеспечить естественное освещение в помещении, сэкономив на лампах и расходах на электроэнергию.

Но главное отличие стекла состоит в том, что оно производит больше солнечной энергии, чем обычные солнечные модули – 13 ватт на  $0,1 \text{ м}^2$ . Таким образом, стандартное окно размерами 6 на 3 метра будет представлять собой солнечную систему мощностью 2,6 кВт, которая способна производить в среднем около 500 киловатт-часов в месяц, в зависимости от окружающих условий (инсоляция области, затенение и т.д.).

Технология производства стекла включает в себя специальную оптическую поверхность, пропускающую через себя дневной свет, и зеркала, отражающие свет от солнечных элементов. Стандартный стеклопакет состоит из двух стекол, каждое из которых представляет собой набор из нескольких плиток, вырабатывающих электроэнергию с помощью традиционных и весьма эффективных монокристаллов.

Отсюда, при высоте здания в 200 м. и объёмом в 500 тыс.  $\text{м}^3$  небоскрёб будет вырабатывать порядка 100 мегаватт в год, что на 10% превышает среднегодовое потребление энергии. Если для сравнения взять запроектированный мной комплекс,

высотой 300 м. каждое здание, то оно будет вырабатывать порядка 35 000 мегаватт в год. Эта энергия может обеспечить электричеством небольшой город.

Таким образом, если использовать при строительстве данное стекло, то целые высотные микрорайоны могут быть не только полностью энергонезависимы, но и отдавать остаточную энергию на уличное освещение, подсветку зданий и сооружений, полностью исключая таким образом затраты на электроэнергию, и потребность в электростанциях, а это большая экономия бюджета города.

Единственным минусом данного стекла в настоящий момент является только то, что оно является дорогим,  $10\,000\text{ м}^2$  окупится примерно через 4-5 лет.

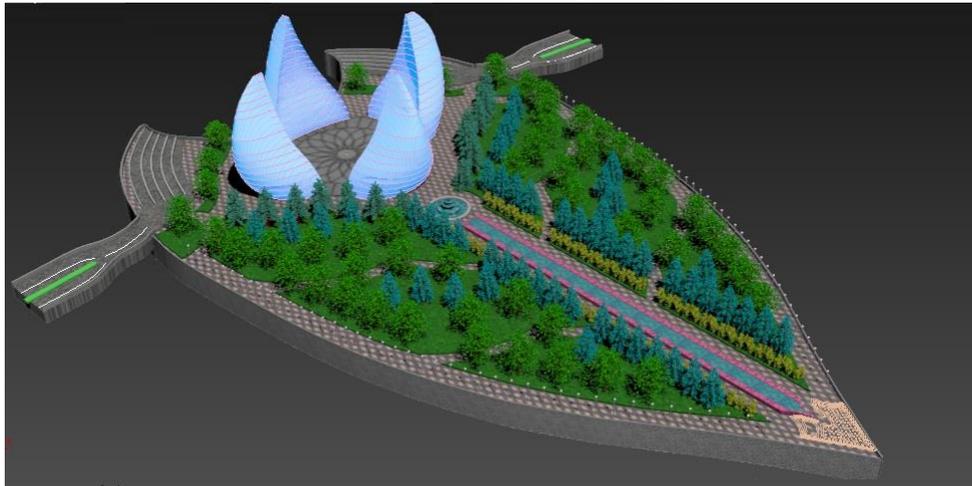


Рисунок 4 – Проектируемый мною комплекс небоскрёбов

УДК 621.135

## ОПАСНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Погодина М. А., Осипчик А. В

Научный руководитель Счастливая Е.С., старший преподаватель

В нормальном режиме работы векторы напряжения на проводах трехфазной высоковольтной линии (ВЛ) образуют симметричную трехфазную звезду. Электрические поля, создаваемые в окружающем пространстве напряжениями прямой последовательности, почти полностью взаимно компенсируются, подобно магнитным полям от токов прямой последовательности.

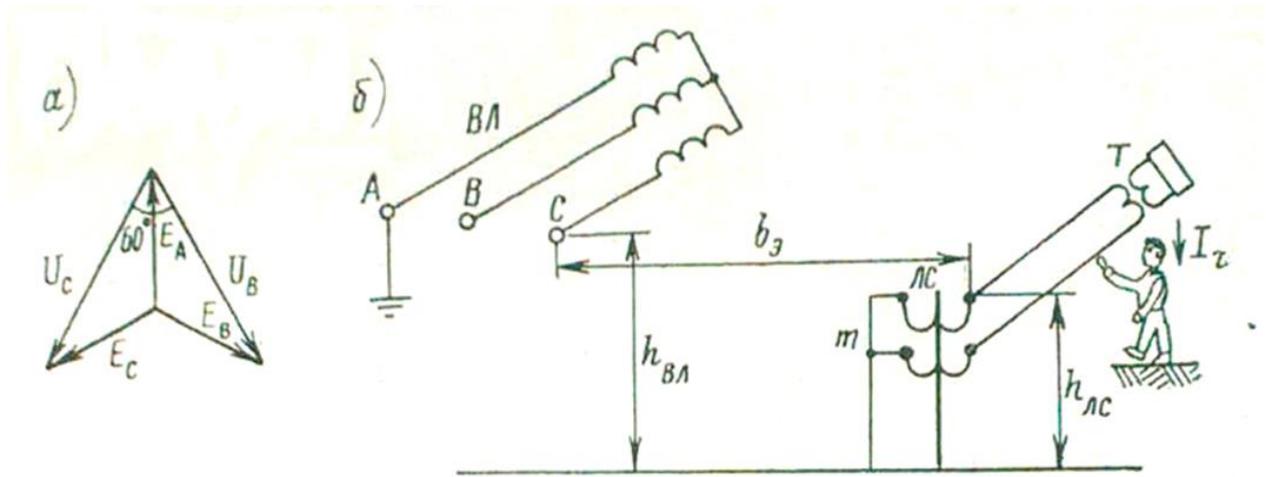


Рисунок 1. К расчету тока, протекающего через человека, при опасном электрическом влиянии ВЛ на ЛС: *a* — векторная диаграмма напряжений; *b* — схема сближения

При однофазном коротком замыкании в сети с заземленной нейтралью определяющее значение имеет опасное магнитное влияние токов нулевой последовательности.

Рассмотрим далее случай однофазного замыкания на землю ВЛ, работающей в сети с изолированной нейтралью. При этом ток нулевой последовательности ограничен большим емкостным сопротивлением сети и в большинстве случаев можно пренебречь магнитным влиянием. Однако, если вблизи ВЛ проходит воздушная ЛС и на ней имеются изолированные от земли двухпроводные цепи, то на них может возникнуть опасное индуктированное напряжение (рис. 1). При замыкании на землю фазы А, на фазах В и С сети с изолированной нейтралью действуют линейные напряжения, сдвинутые на  $60^\circ$ . Соответствующее напряжение нулевой последовательности равно

$$U_0 = \frac{U_B + U_C}{3}; \quad |U_0| = U_{л}/\sqrt{3} \approx U_{\phi}$$

Ток, протекающий через человека, коснувшегося изолированного провода ЛС, зависит от  $U_0$ , взаимной емкости между проводами ВЛ и ЛС и от экранирующего эффекта других заземленных проводов. Когда этот ток превышает 1 мА, человек испытывает неприятные ощущения. Если же ток достигает десятков миллиампер, то при неблагоприятных обстоятельствах руки человека начинают конвульсивно сжиматься, и он не в состоянии самостоятельно оторваться от провода. Токи свыше 100 мА,

протекающие через человека более 3 с, могут привести к смертельному исходу. Правила защиты ограничивают величину допустимого тока

$$I_{\text{доп}} \leq 10 \text{ мА.}$$

Ток, протекающий через человека, можно приближенно вычислить по следующей формуле:

$$I_{\text{ч}} \approx 2,83 U_{\text{л}} \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{m_i + 2} \frac{h_{\text{вл}} h_{\text{лс}} k_{\text{вл}} k_{\text{д}}}{b_{\text{э}i}^2 + h_{\text{вл}}^2 + h_{\text{лс}}^2} \leq I_{\text{доп}},$$

где  $U_{\text{л}}$  — линейное напряжение ВЛ, кВ;  $I_{\text{ч}}$  — ток через человека, мА;  $l_i, b_{\text{э}i}, m_i$  — длина, ширина  $i$ -го эквивалентного параллельного участка сближения в метрах и число заземленных проводов ЛС на этом участке;  $k_{\text{вл}} \approx 0,7$  — коэффициент экранирования от заземленных проводов ВЛ;  $k_{\text{д}} \approx 0,7$  — коэффициент экранирования сплошного ряда деревьев.

Если  $I_{\text{ч}}$  оказалось больше допустимого, необходимо заземлить среднюю точку линейного трансформатора Т на ЛС или принять другие меры, снижающие ток  $I_{\text{ч}}$  (см. рис. 1).

С аналогичным явлением приходится считаться при прикосновении человека к транспорту, находящемуся под проводами ВЛ сверхвысокого (330...750 кВ) и ультравысокого (1150 кВ и выше) напряжения (рис. 2).

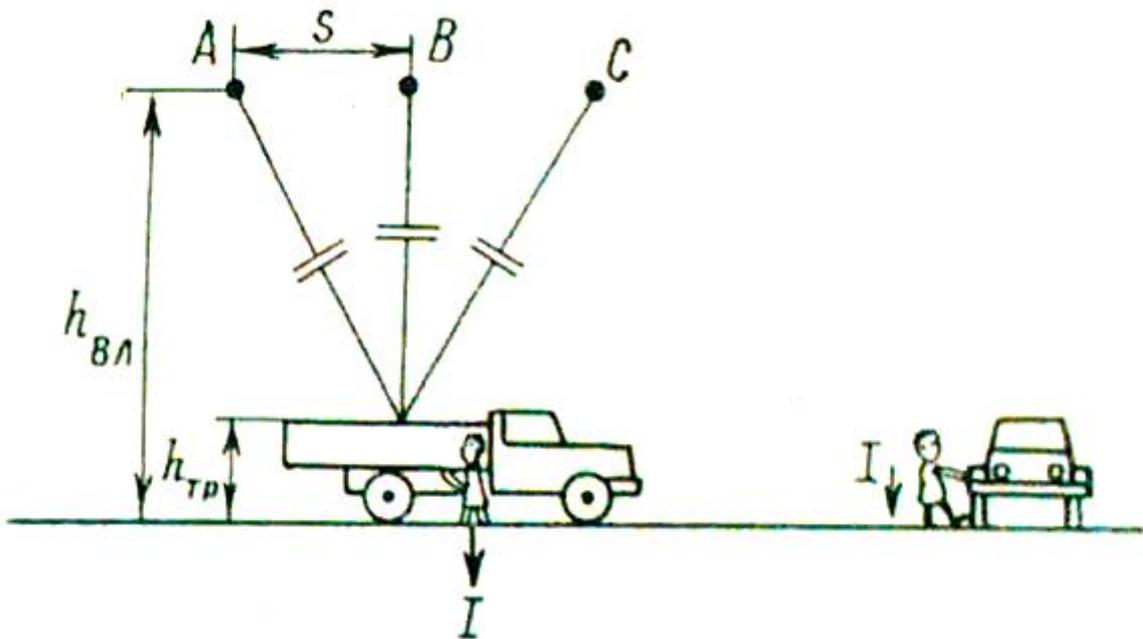


Рисунок 2. К расчету тока, протекающего через человека, при опасном электрическом влиянии ВЛ на транспорт

Транспортные средства на резиновом ходу сравнительно хорошо изолированы от земли. Через человека, стоящего на земле и коснувшегося корпуса крупногабаритного транспорта, будет протекать суммарный емкостный ток, обусловленный напряжениями всех трех фаз ВЛ. При нахождении транспорта под проводами ВЛ СВН или УВН этот ток может вызывать неприятные ощущения у людей, а также затруднять

сельскохозяйственные работы на участках, расположенных под линией, даже в нормальном режиме работы ВЛ.

Оценим величину тока, проходящего через человека, коснувшегося корпуса автомашины, которая находится непосредственно под проводами ВЛ. Принимаем, что эти провода расположены, в одной горизонтальной плоскости на высоте  $h_{\text{ВЛ}}$  над поверхностью земли (см. рис. 2). В наиболее неблагоприятном случае, если машина находится под средним проводом ВЛ, вертикальная составляющая напряженности электрического поля у поверхности земли (при  $h_{\text{тр}} \leq 0,2h_{\text{ВЛ}}$ ) в первом приближении равна

$$E_3 \approx \frac{U_{\text{л}} s^2}{2h(h^2 + s^2) \lg \frac{2hs}{r_3 \sqrt{h^2 + s^2}}},$$

где  $U_{\text{л}}$  — линейное напряжение электропередачи;  
 $r_3 = r_{\text{п}} \sqrt{\frac{nr_{\text{п}}}{r_{\text{п}}}}$  — эквивалентный радиус расщепленной фазы;  $r_{\text{п}}$  — радиус окружности, по которой расположены провода расщепленной фазы;  $r_{\text{п}}, n$  — радиусы и число проводов в фазе.

Для ВЛ СВН, у которых  $h_{\text{ВЛ}} \leq s$ , погрешность расчетов не превышает 5%. В качестве примера определим  $E_3$  в середине пролета линии 750 кВ, имеющей  $h_{\text{ВЛ}} = 13$  м,  $s = 18$  м, провод 4×АСО — 600/60 ( $r_{\text{п}} = 17$  мм,  $r_{\text{п}} = 430$  мм,  $n=4$ ,  $r_3 = 270$  мм):

$$E_3 = \frac{750 \cdot 18^2}{2 \cdot 13(13^2 + 18^2) \lg \frac{2 \cdot 13 \cdot 18}{0,27 \sqrt{13^2 + 18^2}}} \approx 10 \text{ кВ/м.}$$

В первом приближении считаем, что у земли в пределах транспортного средства  $E_3 = \text{const}$ . Изолированный от земли металлический корпус машины под действием электрического поля приобретает напряжение по отношению к земле

$$U_{\text{тр}} \approx E_3 h_{\text{тр}} = 10 \cdot 1 = 10 \text{ кВ,}$$

где  $h_{\text{тр}} \approx 1$  м — средняя высота машины.

Если человек, стоя на земле, прикоснется к корпусу машины, то через него на землю пройдет кратковременный импульс разрядного тока емкости машины. Суммарный заряд этой емкости составляет несколько микрокулон. Поэтому такое прикосновение не представляет непосредственной опасности для жизни человека, однако вызывает неприятное ощущение внезапного укола. Если он отдернет руку и затем снова дотронется до машины, это явление повторится. В случае тесного контакта человека с машиной на резиновом ходу и с землей через него будет протекать установившийся ток

$$I_{\text{ч}} \approx \omega \varepsilon_0 S E_3 \approx 0,4 \text{ мА,}$$

где  $S \approx 3 \times 4$  м — площадь транспортного средства в плане. В связи с этим не рекомендуются остановки транспорта на резиновом ходу под проводами ВЛ 750 кВ и выше, а для сельскохозяйственных работ вблизи таких линий желательно использовать машины на гусеничном ходу.

**Литература:**

1. Школа для электрика, <http://electricalschool.info/>, <http://electricalschool.info/main/vl/897-jekologicheskoe-vlijanie-vozdushnykh.html>
2. РОСЭНЕРГОСЕРВИС, <http://rosenergосervis.ru/>,  
<http://lib.rosenergосervis.ru/elektromagnitnaya-sovmestimost-v-elektroenergetike?start=90>
3. Портал нормативных документов, <http://www.iso.opengost.runiso.opengost.ru/> ,  
<http://www.iso.opengost.runiso.opengost.ru/iso/11030-chast-4.-zaschita-ustanovok-svyazi-ot-opasnyh-napryazheniy-i-tokov-voznikayuschih-na-vozdushnyh-liniyah-svyazi.html>

## ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ПО ТОКУ И НАПРЯЖЕНИЮ

Колоша И.С..

Научный руководитель Михальцевич Г.А., старший преподаватель

Рассмотрим некоторые основные различия характеристик усилителей с обратной связью по напряжению и с токовой обратной связью [1]. Рассмотрим вначале обратную связь по напряжению, а затем остановиться на преимуществах токовой обратной связи. Такое рассмотрение позволяет понять, почему схемы, использующие эту относительно новую топологию, так важны. Полоса пропускания звукового усилителя со спадом усиления – 3 дБ обычно является одной из важнейшей его характеристикой.

Теоретический анализ схем с обратной связью по напряжению, который часто сопровождается их критикой, хорошо описан во многих работах. Рассмотрим некоторые их недостатки.

Получение необходимой полосы пропускания при постоянном усилении с применением обратной связи по напряжению представляет проблему, если одновременно требуется достаточно большое усиление и широкая полоса пропускания. Некоторые высоковольтные усилители мощности могут требовать высокого усиления, такого как, например, 50, частот в несколько сотен кГц требует иметь необходимость применения устройств с полосой усиления от 10 до 20 МГц. Это обеспечить нелегко, особенно для высоковольтных схем. Дополнительной проблемой в усилителях с обратной связью по напряжению является их скорость нарастания, которая обычно ограничена каскадом преобразования импедансов, который имеет конечный максимальный выходной ток, предназначенный для заряда корректирующего конденсатора. Он обычно равен разности токов транзисторов входной дифференциальной пары. Высокая скорость нарастания очень желательна в силовых усилителях, и это вынуждает использовать большой ток входного каскада и маленькое значение емкости корректирующего конденсатора. А это нежелательно, так как для обеспечения устойчивости усилителя уменьшение емкости корректирующего конденсатора требует некоторого ухудшения параметров входного каскада (уменьшения коэффициента передачи), что уменьшает усиление с разомкнутой петлей обратной связи. А это уменьшает петлевое усиление в аудио диапазоне и вызывает рост коэффициента гармоник. Все это заставляет делать трудный выбор между устойчивостью, усилением с разомкнутой обратной связью и скоростью нарастания без ухудшения общих характеристик по переменному току и переходной характеристики. Значит, схема с общей обратной связью по напряжению не является оптимальным выбором для высококачественного звукового усилителя мощности и в некоторых случаях она не может удовлетворять всем поставленным требованиям.

Операционные усилители с токовой обратной связью появились благодаря тому, что у них полоса частот не сужалась обратно пропорционально усилению с замкнутой петлей обратной связи, как у усилителей с обратной связью по напряжению. Они показывали небольшое изменение полосы пропускания, когда усиление повышалось более единицы, однако намного меньшее, чем с общей обратной связью по напряжению. Известно, что усилители с токовой обратной связью не ведут себя так, как усилители с обратной связью по напряжению, пока усиление с замкнутой петлей обратной связи не становится слишком большим (~50).

Упрощенная модель усилителя с токовой обратной связью, изображенной на **рисунке 1**, показывает, что она использует входной буфер с единичным усилением,

выходной ток которого подается через двунаправленное токовое зеркало в каскад преобразования импедансов. Напряжение, получаемое здесь, потом буферизуется и подается на выход. Типичное значение  $R_T$  достаточно большое, обычно несколько сотен кОм или даже несколько МОм. Резистор  $R_{INV}$  является выходным сопротивлением входного буфера, а резисторы обратной связи  $R_1$  и  $R_2$  задают усиление по напряжению от входа до выхода, подобно обычным операционным усилителям. Здесь, однако, есть ток ошибки  $I_1$ , который определяет выходное напряжение, и нет напряжения ошибки.

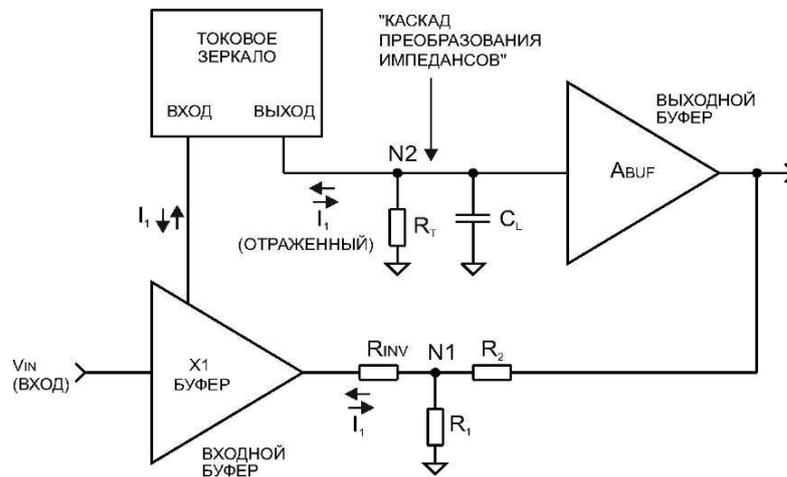


Рисунок 1– Модель усилителя с токовой обратной связью

Оценка полосы пропускания при конечном усилении может быть применена и к усилителям с токовой обратной связью как показатель их качества, хотя она имеет значение только при больших усилениях. Более важным атрибутом этой топологии является величина тока, способного перезаряжать корректирующий конденсатор за время изменения выходного напряжения на величину, пропорциональную разнице между начальным и конечным значением.

Теоретически, скорость нарастания в этой топологии не ограничена, что делает ее очень привлекательной для УМЗЧ. Хотя на практике схемотехника неминуемо накладывает ограничения на максимальную величину тока, который может обеспечить входной каскад усилителя с токовой обратной связью, и это дает ограничение на скорость нарастания. Но все равно, скорости нарастания, достижимые с этим типом схем, часто в 5 (или более) раз выше, чем у своих аналогов с обратной связью по напряжению при данном значении тока потребления. Токковая обратная связь предоставляет большие возможности для выбора элементов усилителя мощности, чем обратная связь по напряжению.

### Литература

1. Mark Alexander, "A Current Feedback Audio Power Amplifier", 88th Convention of the Audio Eng. Soc., reprint #2902, March 1990.

УДК 621.039.83.002

## **ЧАСТОТНЫЕ ДИАПАЗОНЫ РАБОТ БЫТОВЫХ ПЕРЕНОСНЫХ ЦИФРОВЫХ РАДИОСТАНЦИЙ**

Асипенко А.А. Безкорвайный А.С.

Научный руководитель Михальцевич Г.А., старший преподаватель

В зависимости от условий эксплуатации, рельефа местности, наличия препятствий, деревьев оптимальны радиостанции разных диапазонов частот. При выборе радиостанции необходимо определить конкретный круг задач, стоящих перед ней.

В условиях плотной городской застройки – из гражданских частот лучше подходят мощные рации диапазона 433 – 446 МГц. В этом диапазоне частот мало промышленных помех, длина волны составляет около 70 см, что позволяет работать радиостанции в сложных железобетонных конструкциях, так как при прохождении радиоволн с данной длиной волны в железобетонных помещениях из-за особенности их изготовления образуются волноводы.

Для связи в условиях леса и пересечённой местности из выделенных для гражданской связи частот лучше подходят FM радиостанции Си-Би диапазона с частотами работ около 27 МГц, так как на этих частотах длина волны немного более 10 м, что позволяет эффективно огибать препятствия – плотные группы деревьев, холмы. Применение FM (частотной) модуляции предпочтительнее по отношению к AM (амплитудной) модуляции, так как электромагнитные помехи природного и техногенного характера преимущественно носят амплитудный характер.

Для связи на трассе с водителями-дальнобойщиками применяются рации с AM модуляцией диапазона около 27 МГц (частота C15евр 27,135 МГц в режиме AM модуляции). При этом FM модуляция у такой радиостанции также должна быть, которая применяется для связи на служебных каналах (бедствия и безопасности C09евр, канале дорожной информации C19евр).

Основным блоком радиостанции является приемопередатчик. Приемопередатчик состоит из приемника, передатчика в основном с фазовой модуляцией и кварцевым генератором, блока управления и микротелефона. С кварцевого генератора на фазовый модулятор поступает высокочастотный сигнал и под действием низкочастотного сигнала осуществляется его модуляция. После усиления предыдущего сигнала может осуществляться умножение частоты высокочастотного сигнала путем последовательного удвоения умножителями частоты с последующим фильтрованием. После усиления мощности совершается последняя завершающая фильтрация высокочастотного сигнала.

Для поддержания постоянного уровня исходящей мощности в кольцо обратной связи передатчика могут включать схему автоматического регулирования мощности.

Работа радиостанции осуществляется в трех режимах: дежурный, прием, передача. В дежурном режиме низкочастотный сигнал на телефоне и головке громкоговорителя отсутствует, переговоры абонентов в сети и радишумы приемника не прослушиваются. При поступлении на приемник высокочастотного сигнала, который модулирован частотой вызова, появляется сигнал низкой частоты на выходе усилителя коммутационного приемника, на телефоне и головке громкоговорителя. Именно тогда громкость на головке громкоговорителя является максимальной.

Таким образом, и осуществляется работа радиостанций, позволяющих бесперебойно поддерживать связь.

Электронная схема персональной цифровой радиостанции

Примерная дальность радиосвязи между типичными автомобильными/стационарными и импортными портативными Си-Би радиостанциями следующая:

- между базовыми станциями с использованием отражения от ионосферы – практически составляет не более 1500 – 2000 км. К сожалению, этот вид связи нестабилен и зависит от состояния ионосферы. Ближе редко получается, так как радиоволна не всегда успевает отразиться и опуститься обратно на землю не пройдя достаточное расстояние.

- между базовыми станциями – 15-80 км;
- между базовой станцией и автомобилем – 15-40 км;
- между базовой станцией и портативной – 3-10 км;
- между автомобилями – 5-15 км;
- между автомобилем и портативной станцией – 2-7 км;
- между портативными станциями – 1-5 км.

Основными для Си-Би радиостанций являются каналы, начинающиеся с частоты 26965 кГц и идущие с форматом частоты, кратным 10 кГц (26975 кГц, 26985 кГц и т. д.). Эти каналы имеют условные обозначения с 1-го по 40-й, и радиолюбителями называются "Европа (E)". В связи с ростом числа пользователей в некоторых странах появились дополнительные сетки с таким же шагом в 10 кГц, но со сдвинутыми частотами по отношению к основным на 5 кГц, с такой же нумерацией с 1-го по 40-ой: 1 = 26960 кГц, 2 = 26970 кГц, и т. д. Эта сетка получила название "Россия (R)" или "Польша (PL)". Позже путём введения дополнительных сеток и расширения диапазона количество каналов было доведено до 200, а в некоторых странах до 400. Некоторые современные радиостанции (с учётом обоих форматов) поддерживают до 800 каналов. Однако стандарта, определяющего принадлежность сеток по странам, не существует. Основная масса российских радиостанций работает в сетке частот "Европа", иногда обозначаемой RU. В формате частот "Россия" работают в основном радиолюбители, проводящие связи на большие расстояния.

Для удобства пользователей сетки были промаркированы буквами. Классической считается маркировка, когда основной диапазон обозначается буквой "С". Наиболее распространённым считается описание канала следующего вида: C9 FM или (C9E FM, C9R FM) – в нём: первой буквой («С») обозначается сетка, содержащая в себе набор из 40 каналов; далее («9») – номер канала, за ним – необязательное обозначение («E») основного (европейского) или вспомогательного (российского) формата; и, в конце, – используемая модуляция («FM»). Например, в радиостанции VT-27 NAVIGATOR буквенно-цифровой индикатор "CE19A" обозначает:

1. С - гражданский диапазон;
2. E - формат частоты "европейский"(H - "российский");
3. 19 - стандартный частотный канал (от 1 до 40,(41-45 нестандартные каналы так называемые "дырки");
4. A - частотная сетка (бывают A, B, C, D, E, F, G, H, I, L).

Некоторые производители радиостанций не соблюдают общепринятые сетки и допускают их произвольный сдвиг.

### Литература

1. <http://ru.wikipedia.org>.

УДК 621.3

## УЛЬТРАЛИНЕЙНЫЙ ЗВУКОВОЙ УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ НА ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ И МИКРОСХЕМАХ

Колоша И.С..

Научный руководитель Михальцевич Г.А., старший преподаватель

Усилители мощности звуковой частоты (УМЗЧ) пользуются заслуженной популярностью среди любителей и профессионалов чистого, яркого, сочного и естественного звучания.

Различные схемы УМЗЧ часто печатают в радиотехнических журналах, но, к сожалению, радиолюбители, изготовившие их, редко остаются довольны их звучанием, даже при хороших технических характеристиках, приведенных в статьях. Например, номинальный диапазон воспроизводимых частот 20...20000 Гц и уровень гармоник при номинальной мощности в этом диапазоне частот  $< 0,1\%$  не гарантирует высококачественного звучания.

Целью работы стало создание простого высококачественного усилителя, предназначенного для совместного использования с Hi-Fi акустическими системами, обладающего лучшими параметрами и звучанием, чем многие известные отечественные в 80...90-е годы промышленные образцы и любительские конструкции.

После изготовления и испытания нескольких, известных УМЗЧ внимание привлекла схема [1], содержащая небольшое количество радиоэлементов и имеющая неплохие параметры. Выбор основывался на технических характеристиках, отзывах пользователей, доступности комплектующих.

При испытании макета этой схемы на слух и сравнивая его с имеющимся усилителем японской фирмы «Опкучо», оказалось, что макет звучит лучше.

Поэтому захотелось данную схему взять за основу при разработке усовершенствованной схемы УМЗЧ с меньшими нелинейными искажениями и большей выходной мощностью.

Принципиальная схема усовершенствованного УМЗЧ показана на рисунке 1.

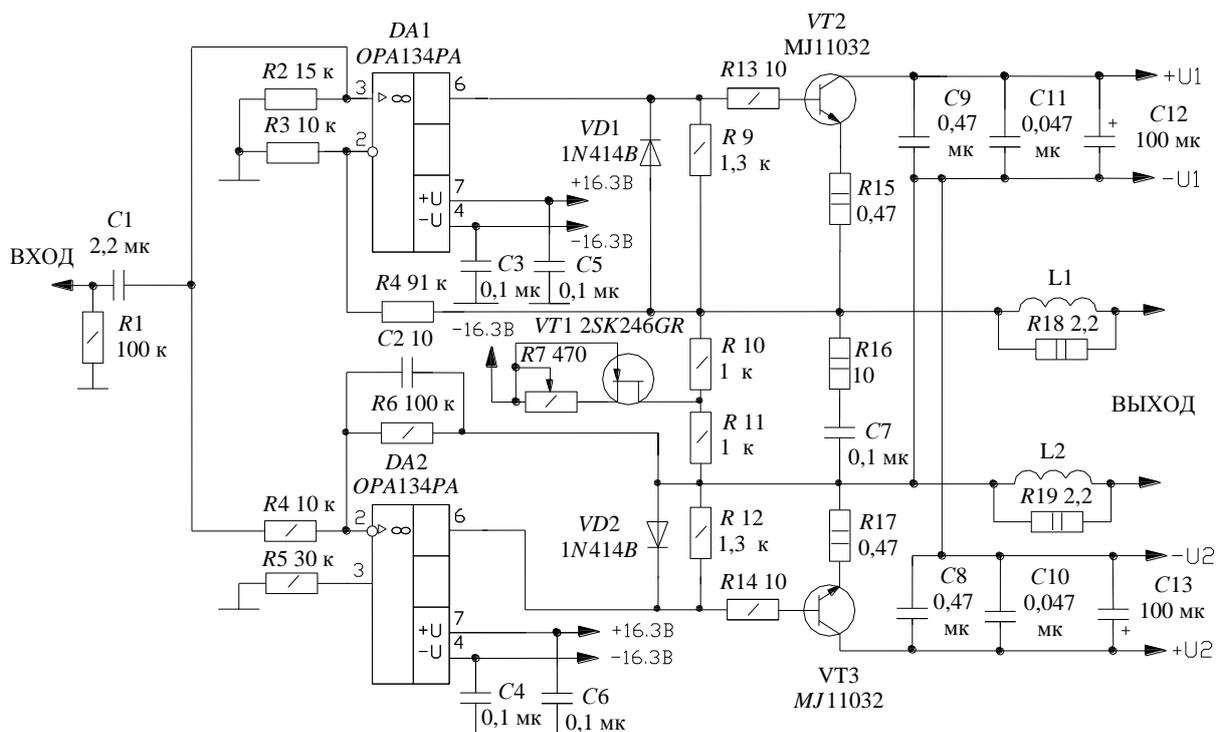


Рисунок 1. Схема усовершенствованного УМЗЧ

В схеме транзисторы и микросхемы заменены на импортные с лучшими характеристиками. Вместо постоянного резистора, задающего ток покоя выходных транзисторов, применен переменный резистор  $R7$ , что позволило плавно регулировать ток покоя выходных транзисторов.

Транзистор  $VT7$ , участвующий в задании тока покоя выходных транзисторов закрепим на общий радиатор с выходными транзисторами. Данное изменение позволяет обеспечить лучшую стабильность поддержания тока покоя.

В приведенной схеме заменены диоды  $VD1$  и  $VD2$  марки Д101 на современные 1N4148. Заметим, что в оригинальной схеме допущена ошибка в схеме установки выводов  $VD2$ .

Замена операционных усилителей (ОУ)  $DA1$  и  $DA2$  марки К140УД11 на ОРА13РА (производство «Texas Instruments») и выходных транзисторов  $VT2$  и  $VT3$  марки КТ827Б на более высокочастотные и линейные MJ11032 (производство Motorola), позволило уменьшить нелинейные искажения всего приведенного УМЗЧ и стабильность нулевого потенциала на выходе.

Увеличение напряжения питания ОУ с 15 В до 16,3 В, позволяет обеспечить большую амплитуду на выходе ОУ и всего усилителя, а следовательно получить большую выходную мощность в нагрузке. Достигается это применением интегральных стабилизаторов для питания ОУ марки 7815 и 7915 с двумя включенными кремневыми диодами в общий отвод.

На выходе усилителя применен металлопленочный конденсатор  $C7$  (100 нФ) и резистор  $R16$  10 Ом (2Вт).

В целях уменьшения нелинейных искажений и увеличения стабильности тока покоя выходных транзисторов увеличены номиналы эмиттерных резисторов  $R15$  и  $R17$  с 0,33 Ом до 0,47 Ом (2Вт).

Для устранения самовозбуждения УМЗЧ в цепь базы выходных транзисторов добавлены резисторы  $R13$  и  $R14$  номинальным значением 10 Ом.

Для уменьшения нелинейных искажений и повышения устойчивости усилителя к самовозбуждению в цепь нагрузки (акустических систем) включены LR-цепи  $L1$ ,  $R18$  и  $L2$ ,  $R19$ .

В результате приведенных изменений улучшаются большинство параметров и показателей усилителя.

В усилителе должен быть применен источник питания с четырьмя отдельными обмотками или с тремя, где у одной есть отвод от средней точки. Для ОУ необходимо двуполярное стабилизированное питание напряжением  $\pm 16,3$ В.

Для питания выходных транзисторов необходимо два отдельных блока питания., Каждый, из которых, содержит диодный мост и сглаживающий емкостной фильтр на выходе. Фильтр содержит параллельно соединенные электролитический конденсатор емкостью 15000 мкФ (производство Nippon ChemiCon) (Рисунок 2) и металлопленочный конденсатор 0,1 мкФ.

Усилитель рекомендуется оснастить релейной защитой от постоянного напряжения на выходе.

В рабочем образце используется корпус с радиаторами и два силовых экранированных трансформатора мощностью 110Вт каждый, на которых присутствуют две отдельные обмотки на 22В переменного напряжения от отечественного усилителя «Амфитон-002 стерео».

Для питания ОУ используется дополнительный тороидальный трансформатор, имеющий две отдельные обмотки на 20В переменного напряжения, подключенные к входу стабилизатора напряжения с выходным напряжением  $\pm 16,3$ В. Для питания сервисных блоков используется дополнительный трансформатор, имеющий две отдельные обмотки на 18 В переменного напряжения, который используется для питания двух плат защиты акустических систем, релейного селектора входов на высококачественных реле РЭС55А, платы стрелочной индикации с применением

микросхемы K157ДА1 и платы дистанционного управления на микроконтроллере и шаговом двигателе.



Рисунок 2. Конденсатор фильтра питания выходных транзисторов

В процессе сборки УМЗЧ следует обратить внимание на прокладку питающих проводов для ОУ. Они должны быть сплетены в плотные косички и уложены как можно дальше от силовых трансформаторов. Несоблюдение этого правила ведет к самовозбуждению усилителя, выходу из строя эмиттерных резисторов и выходных транзисторов.

При измерении параметров УМЗЧ было отмечено:

- Выходная мощность (RMS) - 2x77Вт на 4 Ом.
- Коэффициент нелинейных искажений (THD) - 0,005%
- Чувствительность по входу - 775мВ

Оценка качества звучания (при подключении акустики «Кливер 150АС-009»): звучание усилителя можно охарактеризовать как натуральное, правильное, в то же время очень точное; усилитель воспроизводит каждый инструмент очень четко, независимо от жанра музыки; одинаково качественно справляется как с легкими, так и с тяжелыми композициями. Стоит отметить превосходную сцену: расположение каждого инструмента слышится безошибочно. Вокал звучит естественно, без окрасов. В отличие от других моделей при прослушивании тяжелых жанров музыки собранный усилитель не смешивает все инструменты в единое целое, а детализирует каждый. Стоит отметить безупречные, ничем не ограниченные высокие частоты и приятный бас. Несмотря на небольшую мощность, у усилителя имеется запас по громкости.

Удобства эксплуатации усилителю добавляют: моторизированный регулятор громкости с дистанционным управлением при помощи ИК-пульта.

Оценка качества звучания (при подключении акустики «Кливер 150АС-009»): звучание усилителя можно охарактеризовать как натуральное, правильное, в то же время очень точное; усилитель воспроизводит каждый инструмент очень четко, независимо от жанра музыки; одинаково качественно справляется как с легкими, так и с тяжелыми композициями. Стоит отметить превосходную сцену: расположение каждого инструмента слышится безошибочно. Вокал звучит естественно, без окрасов. В отличие от других моделей при прослушивании тяжелых жанров музыки собранный усилитель не смешивает все инструменты в единое целое, а детализирует каждый.

Стоит отметить безупречные, ничем не ограниченные высокие частоты и приятный бас. Несмотря на небольшую мощность, у усилителя имеется запас по громкости.

Удобства эксплуатации усилителю добавляют: моторизированный регулятор громкости с дистанционным управлением при помощи ИК - пульта; селектор на два входа для подключения фоно корректора и CD-проигрывателя; индикатор выходной мощности.

Внешний вид опытного образца усилителя изображен на рисунках 3 и 4.

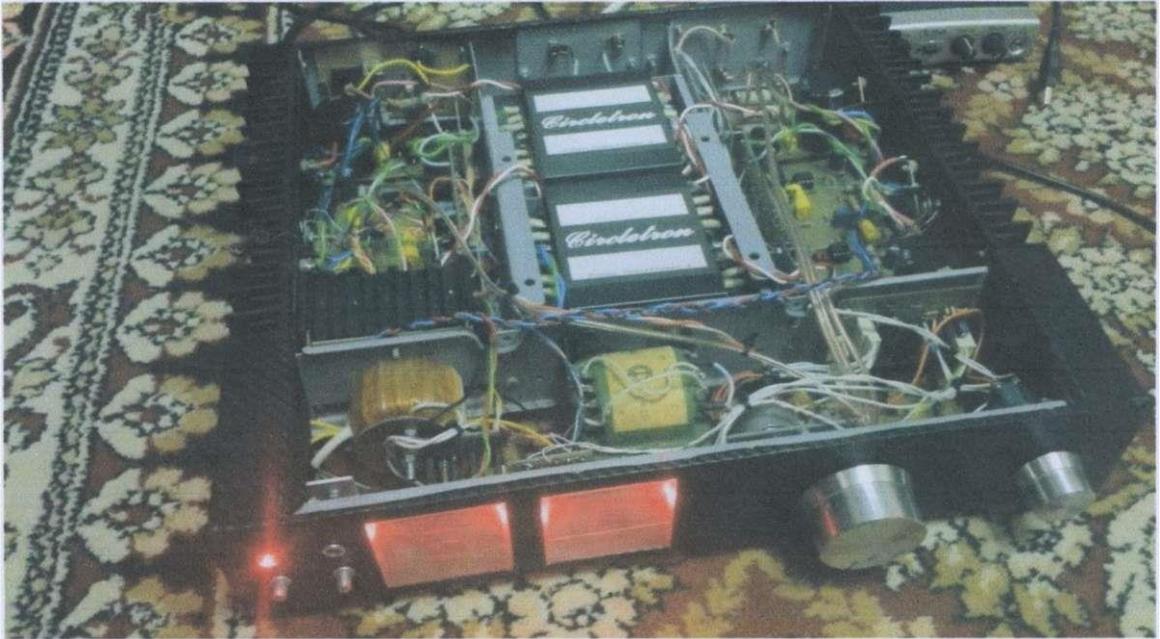


Рисунок. 3.

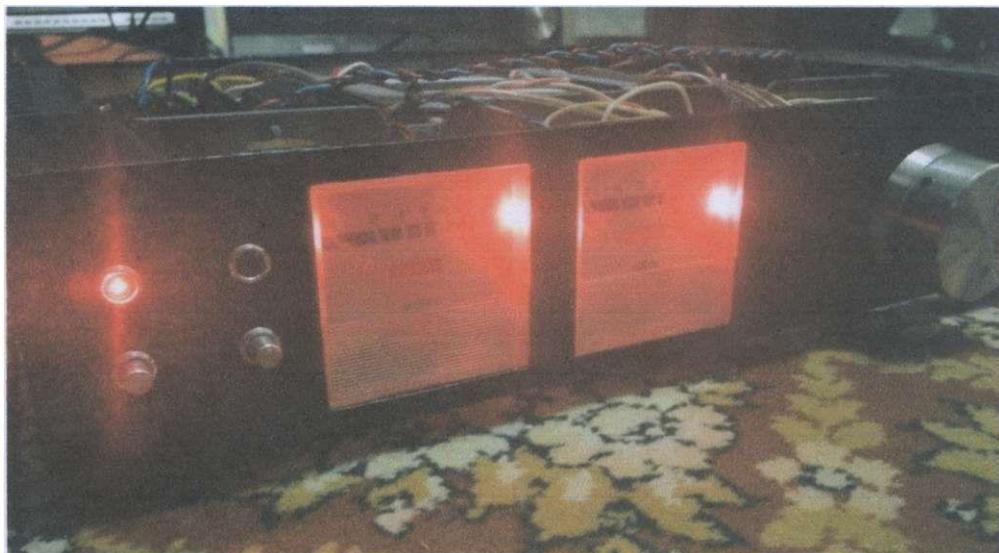


Рисунок. 4.

#### Литература

1. Журнал Радио 1984, №10.

УДК 621.317.441

## РАЗНОВИДНОСТИ МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЕЙ

Хох С.Д., Ванькович В.В.

Научный руководитель Михальцевич Г.А., старший преподаватель

**Металлоискатель (металлодетектор)** – электронный прибор, позволяющий обнаруживать металлические предметы в нейтральной или слабопроводящей среде за счет их проводимости. металлоискатель способен обнаруживать метал в грунте, воде, стенах, в древесине, под одеждой и в багаже, в пищевых продуктах, в организме человека и животных и т. д. Благодаря развитию микроэлектроники современные металлоискатели являются компактными и надежными приборами.

**Принцип действия металлоискателя.** При включении прибора в поисковой головке создается электромагнитное поле, которое распространяется в окружающую среду. При воздействии электромагнитного поля на поверхности металлов возникают вихревые токи, которые создают собственные встречные электромагнитные поля, приводящие к снижению мощности электромагнитного поля, создаваемого поисковой катушкой. Именно падение мощности и фиксирует специальная схема металлоискателя. Кроме того, это вторичное поле искажает конфигурацию основного поля, что также улавливается прибором. Определение вида металла в объекте основано на измерении удельной электропроводности объекта.

Некоторые схемы металлоискателей позволяют определять вид обнаруживаемого металла, глубину его залегания, позволяют работать металлоискателем в различных средах [1].

**Различные виды металлоискателей различаются по принципу работы.**

**Приборы типа «приём-передача».** В основе их лежат две катушки индуктивности – приёмная и передающая, расположенные так, чтобы сигнал, излучаемый передающей катушкой, не проникал в приёмную катушку. Когда вблизи прибора появляется металлический предмет, то часть сигнала передающей катушки рассеивается им во всех направлениях. Попадая в приёмную катушку, сигнал от металла усиливается и фиксируется блоком индикации прибора.

*Достоинства:* относительно простая схемотехника, широкие возможности для определения типа обнаруженного объекта.

*Недостатки:* сложность изготовления датчика, влияние минерализации грунта.

**Индукционные металлоискатели.** Они представляют собой разновидность приборов типа «приём-передача», однако в отличие от последних приборов, содержат не две, а только одну катушку, которая одновременно является и передающей и приёмной. Основной трудностью при создании подобных приборов является выделение весьма малого отражённого (наведённого) сигнала на фоне мощного передаваемого (излучаемого).

*Достоинства:* простота конструкции датчика.

**Приборы – измерители частоты.** В их основе лежит LC-генератор. При приближении металла к контуру его частота изменяется. Это изменение фиксируется различными методами:

- 1) смешивание частоты генератора с эталонной и измерение частоты биений.
- 2) подача сигнала с генератора на систему фазовой подстройки частоты ФАПЧ и измерение напряжения в цепи обратной связи.

*Достоинства:* простота конструкции датчика, сравнительно простая схемотехника.

*Недостатки:* худшие возможности дискриминации обнаруженных объектов, малая чувствительность.

**Импульсные металлоискатели.** Принцип их работы основан на возбуждении в зоне расположения металлического объекта импульсных вихревых токов и измерении вторичного электромагнитного поля, которое наводят эти токи. В данном случае, возбуждающий сигнал передается в катушку датчика не постоянно, а периодически, в виде импульсов. В проводящих объектах наводятся затухающие вихревые токи, которые возбуждают затухающее электромагнитное поле. Поле, в свою очередь, наводит в катушке датчика затухающий ток. В зависимости от проводящих свойств и размера объекта, сигнал меняет свою форму и длительность.

*Достоинства:* нечувствительность к грунту, содержащему минералы, простота конструкции датчика.

*Недостатки:* повышенное потребление энергии, слабые возможности дискриминации обнаруживаемых объектов.

**Ультразвуковой металлоискатель.** В основе принципа действия его заложено свойство магнитострикции, которое проявляется в том, что размер металлического предмета изменяется при действии на него механической силы постоянного магнитного поля.

Излучатель – пьезоэлемент воздействует на грунт или строительные конструкции, которые чаще всего скрывают искомый предмет, ультразвуком с частотой 6 МГц. Длина волны излучения такая, что частицы кристаллической решетки веществ полупроводникового типа, например, кремния, кальция или молекулы таких веществ, как углерод, хлор и других, из которых состоит почва или стены домов, приходят в неравновесное состояние. Оно характеризуется с одной стороны передачей механического воздействия ультразвука от частицы к частице, а с другой стороны – появлению так называемого состояния "текучести" веществ в ультразвуковом поле. Вследствие этого металлические предметы оказываются как бы взвешенными или свободно плавающими в области "текучести".

Вещество в состоянии "текучести" начинает излучать широкий спектр ультразвуковых колебаний со средней частотой 6 МГц, при этом ширина полосы достигает 5 МГц.

Колебательная система передатчика и фильтры приемника требуют тщательной настройки по определенным методикам [2, 3].

**Различные виды металлоискателей различаются по назначению работы.**

**Глубинный металлоискатель.** Он предназначен для поиска больших глубинных целей. Имеет две разнесённые друг от друга катушки, либо одну большую рамку с катушкой. Основан на принципе «приём-передача». Отличительной особенностью данного вида металлоискателей является то, что он реагирует не только на металлы, но и на любые изменения в глубине грунта (переходы от одной почвы к другой, старые фундаменты зданий и т. д.). Глубина обнаружения объектов обычно от 50 см до 3 метров.

**Грунтовый металлоискатель.** Он может использоваться для поиска кладов, монет и ювелирных изделий. Как правило, он выполнен по индукционной технологии. Лучшие из них имеют множество настроек, DSP-процессор, дискриминатор металлов – специальную функцию для определения металла, из которого предположительно состоит объект в земле. Глубина обнаружения объектов чаще всего от 20 см до 1 метра.

**Подводные металлоискатели.** Аналогично грунтовым металлоискателям применяются для поиска монет, кладов и артефактов. Но их отличительная особенность – умение работать в воде на больших глубинах.

**Специальные металлодетекторы для золотоискателей.** Обычно это ручные детекторы, специализирующиеся на поиске золотых самородков. Их особенность – максимальная чувствительность даже к мелкому кусочку золота. Это мощные и дорогие детекторы. Конечно, искать золото можно и обычным недорогим

металлоискателем для хобби, но когда речь заходит о самородках и о поиске золота как ремесле – тут нужны специальные технологии, которые позволят обнаружить на максимальной глубине даже крохотные кусочки золота.

**Промышленные металлодетекторы.** В эту группу входят детекторы, встроенные в конвейер или транспортировочную ленту для обнаружения металла, в различных изделиях. Необходимы такие детекторы, например, для обнаружения нежелательного металла в дереве (деревянной доске). Во многих производствах есть специфичное оборудование, которое может сломаться при попадании твердого предмета, например железного гвоздя.

**Досмотровый металлоискатель (ручной).** Он предназначен для служб безопасности. Служит для обнаружения на теле человека и в багаже металлических предметов.

**Арочные (рамочные) металлоискатели.** Они используются для контроля больших потоков людей, например, в аэропортах, на вокзалах. Представляют собой рамку, через которую проходит человек.

**Военный металлоискатель (миноискатель).** Он предназначен для поиска преимущественно мин. Имеет минимум настроек. Глубина обнаружения мины от 20 см до 1 метра.

**Магнитометры.** Они предназначены для поиска ферромагнитных целей, содержащих, например железо. Данный вид металлоискателей самый компактный и самый чувствительный, так как поисковая головка может расположиться на ладони. Также магнитометры могут применяться и для поиска золота, меди, алюминия. Для этого нужно дополнительно иметь возбудитель электромагнитного поля, изготовленный из неферромагнитных металлов.

#### Литература

1. <http://www.metalloiskatel.com>
2. <http://www.shemy.ru>
3. <http://www.eltech.ru>

УДК 621.3

## НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Колоша И.С.

Научный руководитель Михальцевич Г.А., старший преподаватель

Радиоэлектронные устройства (РЭА), распаянные на печатной плате (ПП), смотрятся красиво, элегантно и надежно.

Основными достоинствами ПП являются:

- увеличение плотности монтажа и возможность микроминиатюризации изделий;
- гарантированная стабильность электрических характеристик;
- повышенная стойкость к климатическим и механическим воздействиям;
- унификация и стандартизация конструктивных изделий;
- возможность комплексной автоматизации монтажно-сборочных работ.

ПП изготавливаются различными способами и бывают они самыми различными по сложности.

Все ПП делятся на следующие классы:

а) ОПП - односторонняя печатная плата. Элементы располагаются с одной стороны платы. Характеризуется высокой точностью выполняемого рисунка.

б) ДПП - двухсторонняя печатная плата. Рисунок располагается с двух сторон, элементы с одной стороны. ДПП на металлическом основании используются в мощных устройствах.

в) МПП - многослойная печатная плата. Плата состоит из чередующихся изоляционных слоев с проводящим рисунком. Между слоями могут быть или отсутствовать межслойные соединения.

г) ППП-гибкая печатная плата. Имеет гибкое основание, аналогично ДПП.

е) ППП-проводная печатная плата. Сочетание ДПП с проводным монтажом из изолированных проводов.

Достоинства МПП:

- уменьшение размеров, увеличение плотности монтажа;
- Сокращение трудоёмкости выполнения монтажных операций.

При конструировании РЭА на ПП используют следующие методы. Моносхемный применялся раньше для несложной РЭА, но в последнее время все чаще, так и для сложной РЭА, благодаря компьютерным технологиям производства ПП. В этом случае вся электрическая схема располагается на одной ПП.

Функционально-узловой метод применяют в РЭА с использованием микросхемных элементов. При этом ПП содержит проводники коммутации функциональных модулей в единую схему. На одной плате можно собрать очень сложную схему. Недостаток этого метода - резкое увеличение сложности ПП. В ряде случаев все проводники не могут быть расположены на одной и даже обеих сторонах платы. При этом используют многослойные печатные платы МПП, объединяющие в единую конструкцию несколько слоёв печатных проводников, разделённых слоями диэлектрика. В соответствии с этим различают три метода выполнения ПП:

- ручной;
- полуавтоматизированный;
- автоматизированный.

Предпочтительными являются полуавтоматизированный, автоматизированный методы.

Изготовление ПП при ручном методе состоит из нескольких этапов. Это, в первую очередь, разработка топологии рисунка печатных проводников под конкретные

необходимые и имеющиеся в наличии радиодетали с размерами подходящими для задуманной или имеющейся конструкции устройства.

Затем вырезается или вырубается заготовка из одностороннего СТФ-1 или двухстороннего СТФ-2 фольгированного стеклотекстолита, заданной толщины.

Следующим этапом необходимо очистить и обезжирить заготовку. Очищается заготовка очень мелкой наждачной бумагой №1500...2500. Обезжиривается спиртом, ацетоном или другим средством.

Потом необходимо нанести разработанную топологию рисунка печатных проводников на медный слой или слои заготовки платы и вытравить химическими средствами ненужное пространство между проводниками.

После этого, необходимо тщательно промыть ПП водой, удалить растворителем покрытие с оставшихся на ПП проводников и снова промыть в воде.

Несколько десятков лет назад, в домашних условиях, радиолюбители и инженеры в научных лабораториях для изготовления соединений на ПП между элементами схемы пользовались следующими методами:

1. Рисунок печатных проводников и радиодеталей, выполненный, чаще всего, на миллиметровке, прикреплялся к заготовке платы липкой лентой, затем кернером намечались места будущих отверстий и, после снятия рисунка, производилось сверление отверстий заданных размеров, обработка заготовки мелкой наждачной бумагой и обезжиривание медной поверхности спиртом, ацетоном или другим средством. Затем на медный слой платы наносился рисунок печатных проводников, чаще всего нитролаком или быстросохнущей краской с помощью стеклянного или металлического рейсфедера. После высыхания лака или краски производилась корректировка рисунка печатных проводников с помощью, например, скальпеля, а затем травление, чаще всего в растворе хлорного железа.

2. После наметки отверстий и их сверления, обработки заготовки мелкой наждачной бумагой и обезжиривания, как и в первом методе, на медный слой заготовки платы наклеивалась прозрачная липкая лента скотча. Дорожки топологии соединений между радиодетальями вырезались, согласно разработанной топологии, скальпелем на липкой ленте скотча. Липкая ненужная лента между дорожками аккуратно снималась острым ножом или скальпелем и затем производилось травление в растворе хлорного железа.

3. Соединения в простых схемах, содержащих малое количество радиодеталей, можно вырезать на фольге заготовки печатной платы с помощью резака, изготовленного, например, из металлического сломанного полотна ножовки по металлу.

Данными способами изготовить качественную плату сложно.

При изготовлении большого количества ПП в промышленных масштабах раньше пользовались способом, заключающемся в том, что вначале на кальке отображался конструкторами РЭА рисунок топологии проводников печатной платы в заданном масштабе, и он фотографировался. На медный слой подготовленных заготовок ПП наносился негативный фоторезист, например СПФ-2, который при засветке рисунка проводников печатной платы и проявлении метилхлороформом, приобретал свойства, обеспечивающее при травлении хлорным железом или другим химическим веществом вытравливание ненужного слоя меди на плате. Сверление отверстий, после удаления слоя фоторезиста хлористым метиленом и промывки платы, производилось на универсальных станках с ЧПУ СМ-600-Ф2.

Типовой промышленный техпроцесс изготовления ПП следующий:

- входной контроль фольгированного диэлектрика;
- нарезка заготовок слоев;
- подготовка поверхности диэлектрика;

- получение рисунка схемы слоев;
- травление меди с пробельных мест;
- удаление маски;
- создание базовых отверстий;
- прессование слоев МПП;
- сверление межслойных отверстий;
- подготовка поверхности перед металлизацией;
- химическая металлизация отверстий;
- гальваническая металлизация отверстий;
- обработка плат по контуру;
- маркировка;
- выходной контроль.

В настоящее время для изготовления качественной топологии рисунка проводников ПП радиолюбители и научные работники, которым необходимо быстро проверить работу опытного образца разработанной схемы, сначала её рисуют на компьютере с помощью программ. Самая распространенная среди них, специализированная программа для изготовления ПП – layout. Часто пользуются пятой версией программы. Программа очень проста в использовании. Рисуются дорожки в необходимом и привычном виде и, при распечатывании изображения, программа может создать зеркальное отображение дорожек. С помощью программы можно изготовить не только рисунок дорожек, но и макет надписей деталей с обратной стороны платы.

Чтобы перенести изображение на плату необходимо его вывести на печать, предварительно настроив принтер на самое четкое изображение и отключив экономию тонера. Распечатывать изображение необходимо на глянцевой бумаге, которую часто используют от глянцевых журналов. Можно применить фотобумагу.

Изображение желательно обрезать с запасом на 10...15 мм от размера заготовки. Прикладываем картинку к заготовке и фиксируем его загнутыми краями, с помощью скотча с обратной стороны. Выставив температуру утюга на максимум, и дав ему полностью нагреться, начинаем проутюживать бумагу на плате. Проутюживать следует постепенно, от одного края к другому сильно прижимая утюг. Данная процедура продлевается в течение нескольких минут, обычно 3...5 мин.

Далее плате нужно дать остыть, а затем в теплой воде необходимо размочить бумагу и осторожно раскатать ее пальцами. После удаления бумаги на плате остается перенесенный с бумаги тонер. Тонер служит защитным покрытием меди, которая должна остаться после травления в виде дорожек.

Травятся ПП путем их погружения в химический состав, который вступает в реакцию с медью и разрушает ее на поверхности текстолита платы. Тонер, который нанесен на медь, защищает ее от взаимодействия с химическим составом.

Травление ПП хлорным железом является наиболее распространенным способом травления ПП в домашних условиях. Приобрести его можно в магазине бытовой химии.

Приготавливается раствор хлорного железа очень просто – одна часть хлорного железа на три части воды (хлорное железо в воду, а не наоборот), все это необходимо тщательно перемешать. Время травления сильно зависит от температуры воды и загрязнения раствора медью и составляет обычно 10...60 мин. Если обеспечить процесс перемещения раствора вдоль платы время травления уменьшится. При нанесении дорожек с помощью лазерного принтера не рекомендуется поднимать температуру раствора хлорного железа выше 50°C.

Можно осуществить травление печатной платы медным купоросом.

Чтобы приготовить раствор необходимо на 200 грамм теплой воды добавить столовую ложку медного купороса и две столовые ложки поваренной соли. Все это тщательно перемешивается. После погружения платы для травления в раствор необходимо добавить кусок железа. Если раствор выдержать в течении 2...3 недель, травление платы будет занимать меньше времени. Время травления занимает от 3-х часов.

После травления плату необходимо промыть под проточной водой и смыть тонер с помощью бензина, спирта или ацетона. После этого сверлятся отверстия нужного диаметра. Заусенцы от сверления снимаются мелкой наждачной бумагой. И в завершении дорожки печатной платы необходимо залудить, проще всего это делается паяльником, прижатым к оплетке от экранированного провода с припоем к плате и медленно перемещающимся по дорожкам ПП. Предварительно необходимо протереть плату раствором канифоли в спирте.

После этого печатная плата готова к распайке радиодеталей.

ПП без ошибок, точно по нарисованной схеме и с заданными установочными размерами имеющихся радиодеталей и диаметром простых и металлизированных отверстий, можно разработать и изготовить в промышленных масштабах с помощью программ P-CAD 2001, P-CAD 2002 Trial version и некоторых других. При этом необходимо иметь оборудование, позволяющее использовать эти программы.

УДК 621.3

## СТРУКТУРА СХЕМЫ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ С ТОКОВОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Колоша И.С.

Научный руководитель Михальцевич Г.А., старший преподаватель

Рассмотрим упрощенную блок-схему усилителя мощности с токовой обратной связью, показанную на рисунке 1. Она поможет понять, как работает такая структура на системном уровне. Схема имеет нетрадиционный дизайн, в котором два входных каскада на операционных усилителях (ОУ) работают на один каскад усиления напряжения и мощный выходной буфер. Рассмотрим по очереди отдельные блоки этой схемы, и тогда будет легче понять их взаимодействие между собой.

Входной буфер, который используется в этом усилителе, является обычным ОУ с обратной связью по напряжению, выбранный исходя из своих выдающихся аудио характеристик и достаточно высокого выходного тока. Это гарантирует, что ограничивающим фактором для общих характеристик усилителя будет блок токовой обратной связи, а не входной каскад. Выходной ток входного усилителя А1, снятый с его выводов питания, подается на эмиттеры пары транзисторов, включенных с общей базой и образующих каскадное включение. Эти транзисторы обеспечивают стабилизированное напряжение питания для ОУ. На первый взгляд, такое включение, когда выводы питания А1 используются как выходы, а выход используется как вход, может показаться очень странным.

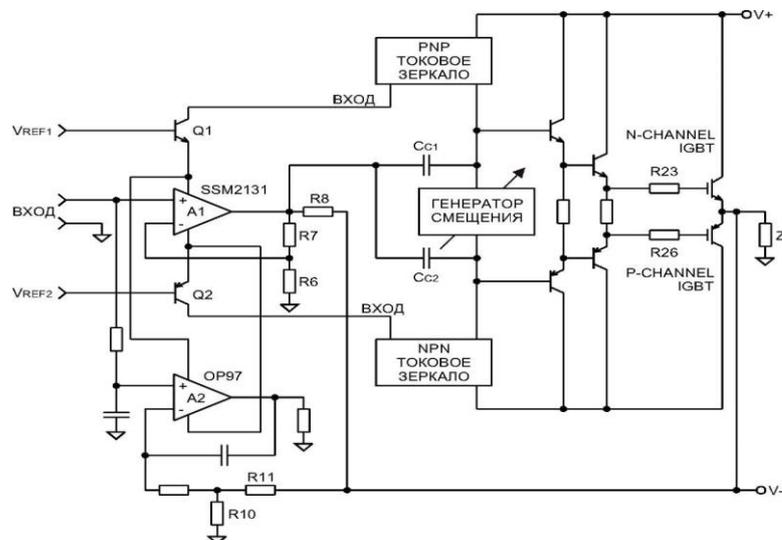


Рисунок 1 – Упрощенная блок-схема усилителя

**Входной каскад.** Входной буфер, который используется в этом усилителе, является обычным ОУ с обратной связью по напряжению, выбранный исходя из своих выдающихся аудио характеристик и достаточно высокого выходного тока. Это гарантирует, что ограничивающим фактором для общих характеристик усилителя будет блок токовой обратной связи, а не входной каскад.

Выходной ток входного усилителя А1, снятый с его выводов питания, подается на эмиттеры двух транзисторов, включенных с общей базой и образующих каскадное включение. Эти транзисторы обеспечивают стабилизированное напряжение питания для ОУ. На первый взгляд, такое включение, когда выводы питания А1 используются как выходы, а выход используется как вход, может показаться очень странным. Однако

это находится в соответствии с моделью, показанной на рисунке 1, согласно которой выходной ток входного буфера должен быть подан через двунаправленное токовое зеркало на каскад преобразования импедансов. В этом каскаде в конечном итоге получается большое выходное напряжение, потом буферируемое выходным каскадом с единичным усилением.

Процесс однополупериодного выпрямления выходного тока усилителем А1 из-за его работы в классе АВ требует двух токовых зеркал для передачи комплементарных выходных токов. Когда А1 работает с вытекающим выходным током, происходит соответствующее увеличение тока верхнего токового зеркала и уменьшение тока нижнего. Это заставляет напряжение на выходе каскада преобразования импедансов увеличиваться.

Для случая втекающего выходного тока А1 все наоборот. Токовый каскад усиления классифицируется как полностью комплементарный и полностью двухтактный, а это означает, что он будет иметь низкий уровень четных гармоник. Здесь видно, что ток потребления А1 выполняет смещение двух токовых зеркал, которые подключены к полюсам источника питания, и это обеспечивает подходящую рабочую точку для каскада преобразования импедансов и источника напряжения смещения.

Во многих известных усилителях с токовой обратной связью входной буферный каскад имеет единичное усиление и не имеет обратной связи. Здесь в качестве входного каскада использован ОУ, и он должен быть сконфигурирован для получения такого же усиления. Осуществить это очень просто, так как требуется простой резистивный делитель с выхода А1 на землю.

Усилитель будет иметь следующее полное усиление:

$$A_v = \left(1 + \frac{R7}{R6}\right) \left(1 + \frac{R8}{R6 + R7}\right) \quad (1)$$

**Каскад усиления напряжения и частотная коррекция.** Между выходами двух токовых зеркал, которые подключены к каждому полюсу источника питания, включен регулируемый источник напряжения смещения, который обеспечивает необходимое для работы в классе АВ смещение для комплементарных IGBT транзисторов выходного каскада. Генератор напряжения смещения спроектирован так, чтобы иметь очень низкий выходной импеданс во всем рабочем частотном диапазоне усилителя. Коррекция осуществляется конденсаторами  $C_{C1}$  и  $C_{C2}$ ; два конденсатора взамен одного используются для сохранения симметричной структуры усилительного каскада. В отличие от упрощенной модели усилителя с токовой обратной связью, показанной на рисунке 1, в данной схеме конденсаторы коррекции подключены в точку суммирования сигнала обратной связи вместо земли. Такое альтернативное подключение положительно влияет на переходную характеристику усилителя, когда он нагружен на довольно низкоимпедансную нагрузку, например, на акустическую систему.

Выходной каскад в виде эмиттерного повторителя на IGBT, использованный в этой схеме, имеет передаточную характеристику, которая содержит два полюса и действительный нуль. Усиление каскада по постоянному току, как обычно, немного меньше единицы. Когда к усилителю подключена нагрузка, имеющая высокий импеданс, например, просто резистор обратной связи, оба полюса выходного каскада находятся на довольно высокой частоте (обычно более 20 МГц) и в полосе пропускания усилителя дают небольшой фазовый сдвиг. Совершенно другая ситуация возникает, когда к выходу усилителя подключена нагрузка. Два полюса выходного каскада теперь разделяются, и тот, который располагается на более низкой частоте, становится

доминирующим и вносит дополнительный вклад в фазовый сдвиг на низких частотах в полосе пропускания усилителя. Это может вызвать серьезные проблемы, если используется схема коррекции, показанная на рисунке 1.1. Например, могут иметь место нежелательные колебания на фронтах прямоугольных импульсов. Схема коррекции, показанная на рисунке 2, решает данную проблему путем введения дополнительного нуля на высокой частоте, что делает усилитель более устойчивым. К тому же, такой метод коррекции позволяет использовать меньшие номиналы конденсаторов, чем в оригинальной схеме. Если принять коэффициент преобразования тока в напряжение  $R_T$  для малого сигнала довольно большим, а усиление выходного буфера близким к единице, тогда с замкнутой петлей обратной связи полюс и нуль будут находиться на частотах:

$$f_{POLE} \cong \frac{1}{2\pi \left( 2R8 + \frac{R8}{R6 + R7} R_{INV} \right) C_{C12}} \quad (2)$$

и

$$f_{ZERO} = \frac{\left( 1 + \frac{R8}{R6 + R7} \right)}{4\pi R8 C_{C12}}, \quad (3)$$

где  $C_{C12}$  представляет собой сумму  $C_{C1}$  и  $C_{C2}$ .

Нужно заметить, что частота, на которой находится нуль, примерно равна полосе пропускания с замкнутой петлей обратной связи, умноженной на усиление петли токовой обратной связи, если  $R_{INV}$  имеет относительно малую величину. Эти выражения, плюс выражение (1), являются необходимыми расчетными формулами для определения усиления и малосигнальной полосы пропускания усилителя.

#### **Драйвер и выходные каскады**

Эта часть схемы усилителя мощности во многом традиционна, так как, здесь нет коррекции искажений или обеспечения смещения псевдо класса А для уменьшения переключательных искажений. Основным преимуществом этой части схемы усилителя является широкая полоса пропускания, большая скорость нарастания выходного напряжения и устойчивость к возбуждениям с замкнутой петлей обратной связи. Кроме того, низкие коммутационные искажения могут быть достигнуты за счет работы выходных транзисторов с достаточно (но не чрезмерно) большим током покоя. Поэтому в качестве драйвера был выбран каскад в виде простого двойного эмиттерного повторителя, который буферизирует выходное напряжение каскада усиления напряжения и подает его на затворы мощных IGBT транзисторов. Каскад драйвера способен обеспечить ток в несколько сотен миллиампер для перезарядки емкостей затворов IGBT транзисторов в том момент, когда выходное напряжение усилителя изменяется, что является необходимым для такой быстродействующей схемы, как эта.

Усилитель слежения за напряжением смещения. Предназначением этого дополнительного входного каскада является обеспечение необходимой точности тракта по постоянному току и малого дрейфа. Эти параметры не должны зависеть от тракта усиления переменной составляющей, так как ему свойственны плохие характеристики по постоянному току. В некоторых версиях данного усилителя в двух токовых зеркалах используются дорогие прецизионные согласованные пары NPN и PNP транзисторов, а усилитель слежения за напряжением смещения не используется. В них предполагалось, что прецизионно подобранные транзисторы в каждом токовом зеркале обеспечат очень низкое напряжение смещения, так как входной буфер тоже имеет достаточно низкое

напряжение смещения. Однако это не тот случай, который годится для усилителя с токовой обратной связью. Любое рассогласование между двумя токовыми зеркалами вызывает появление заметного тока смещения на выходе входного буфера, и этот ток протекает через резистор обратной связи R8 на выход. Он не может протекать через R6 и R7 на землю, так как ток в этих резисторах определяется только напряжением, присутствующим на выходе входного буфера. Выходное напряжение смещения без усилителя слежения за напряжением смещения при этом становится равно:

$$V_{OOS} = V_{IOS(A1)} \left( 1 + \frac{R7}{R6} \right) \left( 1 + \frac{R8}{R6 + R7} \right) + I_{BIAS} R8 \quad (4)$$

Обычно  $V_{IOS(A1)}$  может быть сделано достаточно малым путем использования ОУ с низким напряжением смещения. К сожалению, выходной ток смещения  $I_{BIAS}$  может быть довольно большим, например, 100 мкА в статических условиях и даже больше, если существует градиент температуры между двумя токовыми зеркалами на плате усилителя. Этот ток легко может вызвать на выходе напряжение смещение, достигающее 100 мВ, которое будет меняться с прогревом усилителя. Большое смещение, подобное этому, скорее всего, будет вызывать слышимый щелчок в момент срабатывания реле, которое подключает акустические системы к усилителю, что является совершенно нежелательным.

Решением данной проблемы является введение низкочастотной серво-петли, которая будет поддерживать уровень постоянной составляющей на выходе независимо от того, какой низкочастотный ток или флуктуации напряжения существуют внутри главной петли обратной связи. Это легко осуществить путем использования второго маломощного прецизионного ОУ А2, который используется как интегратор с очень низкой частотой среза (менее 5 Гц). Низкая частота среза гарантирует, что интегратор не будет влиять на характеристики усилителя в звуковой полосе частот. Обратная связь по напряжению подается с основного выхода на вход интегратора через резисторы R10 и R11, которые устанавливают усиление по постоянному току. Это усиление сделано равным тому, которое определяется выражением (1). Так как А2 нагружен на заземленный резистор, как показано на рисунке 2, он ведет себя как операционный преобразователь напряжения в ток, выходной ток которого снимается с выводов питания. Этот компенсирующий выходной ток подается на два транзистора, включенных с общей базой, где он суммируется с током, поступающим с выводов питания А1. Выходной ток А2 заставляет исчезнуть  $I_{BIAS}$  почти полностью, поскольку усиление интегратора на постоянном токе, вместе с дополнительным усилением каскада преобразования импедансов, очень большое. Следовательно, на постоянном токе интегрирующая петля регулирования полностью перевешивает петлю токовой обратной связи, и выходное напряжение смещения уменьшается со значения, полученного в формуле (4) до следующего значения:

$$V_{OOS} = V_{IOS(A2)} \left( 1 + \frac{R11}{R10} \right) \quad (5)$$

Это означает, что может быть получено сколь угодно малое смещение путем выбора ОУ А2 с малым напряжением смещения. Дополнительный ОУ – не такая большая цена за низкое напряжение смещения, учитывая отсутствие необходимости применения дорогих подобранных пар NPN и PNP транзисторов в токовых зеркалах.

**Литература**

1. Mark Alexander, "A Current Feedback Audio Power Amplifier", 88th Convention of the Audio Eng. Soc., reprint #2902, March 1990.

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В БЕЛАРУСИ

Селивонюк Т.В., Ермола Д.С.

Научный руководитель: Можар В.И., к.т.н., доцент

Обоснования для развития ветроэнергетики в Беларуси:

Беларусь не располагает собственными топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР). Лишь 15% собственных ТЭР покрывают потребности страны, остальные 85% импортируются — в основном из России. В последние годы наблюдается постоянный рост цен на топливо и импортируемую электроэнергию. Этот рост будет иметь место и далее до достижения мировых цен. В связи с этим для Беларуси чрезвычайно важно включать в топливно-энергетический баланс вторичные энергоресурсы и возобновляемые источники энергии, одним из которых является ветер [3].

Ветроэнергетика, как и любая отрасль хозяйствования, должна обладать тремя обязательными компонентами, обеспечивающими ее функционирование:

1) ветроэнергетическими ресурсами, 2) ветроэнергетическим оборудованием, 3) развитой ветротехнической инфраструктурой.

1. Для ветроэнергетики Беларуси энергетический ресурс ветра практически неограничен. В стране имеется развитая централизованная электросеть и большое количество свободных площадей, не занятых субъектами хозяйственной деятельности. Поэтому размещение ветроэнергетических установок (ВЭУ) и ветроэлектрических станций (ВЭС) обуславливается только грамотным размещением ветроэнергетической техники на пригодных для этого площадях.

2. Возможности приобретения зарубежной ветротехники весьма ограничены вследствие отсутствия достаточного выбора именно того оборудования для ВЭУ и ВЭС, которое соответствует климатическим условиям Беларуси, а также мощного противодействия ответственных административных работников от официальной энергетики.

3. Отсутствие инфраструктуры по проектированию, внедрению и эксплуатации ветротехники и, соответственно, практического опыта и квалифицированных кадров можно преодолеть только в ходе активного сотрудничества с представителями развитой ветроэнергетической инфраструктуры зарубежья.

Ветроэнергетика в Беларуси развивается медленно, но специалисты верят в далекие перспективы.

Преобразовывать энергию ветра для своих целей люди научились давно. Сначала был придуман парус, который, кстати, до сих пор обладает наивысшим коэффициентом полезного действия. Позже наступило время ветряных мельниц. Вплоть до середины прошлого века они качали воду, поднимали камни, вращали мукомольные жернова. Пришедшие им на смену ветродвигатели сегодня вырабатывают электрическую энергию.

По словам одного из специалистов Департамента по энергоэффективности, Беларусь находится в довольно непростом положении: единственный отечественный производитель ветроагрегатов, работающий на рынке уже 10 лет, выпускает продукцию по мощности в 25 раз меньше мировых аналогов. Таким образом, для выполнения программы необходимо будет обеспечить поставку импортного оборудования. К слову сказать, спрос и цены на ветроагрегаты на Западе в связи с ростом стоимости газа увеличились в разы.

Необходимо учесть и довольно длительный срок окупаемости подобных ветряных мельниц. Многие отечественные сторонники бурного развития ветроэнергетики в стране обещают окупаемость установок максимум за 4 года, прогнозы не столь оптимистичны. Следует учитывать, что работать на полную

мощность и 100-процентную загрузку ветряки в Беларуси не могут опять же в силу объективных особенностей [3].

Среднегодовая фоновая скорость ветра (среднестатистическая за 20—25-летний период), оцененная по данным государственных метеорологических станций и постов, — 4,2 м/с на высоте 10 м. Среднегодовая расчетная скорость ветра на высоте 65 метров (примерно такой высоты будет опора у ветроустановок в Беларуси) на самых высоких точках Беларуси составляет 7,9 м/с. Для сравнения: большинство ветроустановок континентального базирования в Европе работают на скорости ветра от 12 до 15 м/с, а ветроустановки прибрежного и морского базирования — более 15 м/с. [1]

Поэтому, несмотря на всю привлекательность данного вида энергетики, представить Беларусь, уставленную сплошь ветряками (как, например, это можно увидеть в Германии), довольно сложно.

#### **Автономия для фермеров**

Директор НИИ экологических проблем Международного государственного экологического университета имени А. Д. Сахарова Сергей Позняк считает: в Беларуси ветроэнергетика не решит всех актуальных проблем, но развивать отрасль, особенно учитывая опыт Германии и Польши, стоит. По словам специалиста, данное направление у нас в стране изучено не до конца, но в перспективе может занять достойное место в программе развития энергетической отрасли. Пока же сотрудники НИИ решают вопросы локального применения ветряков. Так, например, на полигоне в Дзержинском районе сейчас действует установка роторного типа мощностью 250 кВт. Однако генератор работает только на одну пятую своей мощности, к тому же ветряк часто ломается [2].

#### **Против ветра**

И у ветроэнергетики есть свои скептики. Так, против использования ветроагрегатов некоторые специалисты приводят следующие доводы: шум, внешняя неэстетичность, вред для животных и птиц. А не так давно Министерство обороны Великобритании выступило с заявлением, что ветроэлектростанции угрожают безопасности страны. Военные утверждают, что над зонами их расположения образуется пространство, при попадании в которое воздушные объекты становятся невидимыми для военных радаров.

#### **Литература**

1. Рекомендации по определению климатических характеристик ветроэнергетических ресурсов. «Госкомгидромет СССР — ГГО им. А.И. Воейкова» и НПО «Ветроэн». Ленинград: Гидрометеиздат, 1989.
2. НИР №12488 «Методические указания по обоснованию и разработке схемы размещения площадок под ветроэнергетические установки на территории Республики Беларусь», руководитель к.т.н. Пекелис В.Г., Минск, НИПИ «Белэнергосетьпроект», 1995.
3. НИР 06.4.1 «Формирование информационного банка данных по ветроэнергетическому потенциалу в зонах предполагаемого внедрения ветроустановок», руководитель к.т.н. Шадурский Г.П.; ГНТП тема «Жилищно-коммунальное хозяйство», Минск, НПП «Ветромаш», 1998.

УДК:621

## ГИДРОЭНЕРГЕТИКА В БЕЛАРУСИ

Якимчик А.А., Шульга Е.В.

Научный руководитель Можар В.И., к.т.н., доцент

Гидроэлектростанция (ГЭС) - электростанция, в качестве источника энергии использующая энергию водного потока. Гидроэлектростанции (ГЭС) обычно строят на реках, сооружая плотины и водохранилища.

Для эффективного производства электричества на ГЭС необходимы два основных фактора: гарантированная обеспеченность водой круглый год и возможно большие уклоны реки, благоприятствуют гидростроительству каньонобразные виды рельефа. Генераторы ГЭС можно достаточно быстро включать и выключать в зависимости от потребления энергии.

Среди особенностей ГЭС выделяются такие как:

- 1) Себестоимость электроэнергии на российских ГЭС более чем в два раза ниже, чем на тепловых электростанциях.
- 2) Турбины ГЭС допускают работу во всех режимах от нулевой до максимальной мощности и позволяют плавно изменять мощность при необходимости, выступая в качестве регулятора выработки электроэнергии.
- 3) Сток реки является возобновляемым источником энергии.
- 4) Строительство ГЭС обычно более капиталоемкое, чем тепловых станций.
- 5) Часто эффективные ГЭС более удалены от потребителей, чем тепловые станции.
- 6) Водоохранилища ГЭС, с одной стороны, улучшают судоходство, но с другой — требуют применения шлюзов для перевода судов с одного бьефа на другой.
- 7) Водоохранилища делают климат более умеренным.

Принцип работы ГЭС достаточно прост. Цепь гидротехнических сооружений обеспечивает необходимый напор воды, поступающей на лопасти гидротурбины, которая приводит в действие генераторы, вырабатывающие электроэнергию. Необходимый напор воды образуется посредством строительства плотины, и как следствие концентрации реки в определенном месте, или деривацией — естественным током воды. В некоторых случаях для получения необходимого напора воды используют совместно и плотину, и деривацию. Непосредственно в самом здании гидроэлектростанции (ГЭС) располагается все энергетическое оборудование. В зависимости от назначения, оно имеет свое определенное деление. В машинном зале расположены гидроагрегаты, непосредственно преобразующие энергию тока воды в электрическую энергию. Есть еще всевозможное дополнительное оборудование, устройства управления и контроля над работой ГЭС, трансформаторная станция, распределительные устройства и многое другое.

Гидроэлектрические станции разделяются в зависимости от принципа использования природных ресурсов, и, соответственно, образующейся концентрации воды. Здесь можно выделить следующие ГЭС: русловые и приплотинные, плотинные, деривационные.

Лидерами по выработке гидроэнергии на гражданина являются Норвегия, Исландия и Канада. А так же это и некоторые другие гидроэлектростанции: Итайпу, Гури Тукуруи ГЭС, Гранд-Кули, Саяно-Шушенская ГЭС.

Следует выделить такие преимущества ГЭС:

- 1) использование возобновляемой энергии.

- 2) очень дешевая электроэнергия.
- 3) работа не сопровождается вредными выбросами в атмосферу.
- 4) быстрый (относительно ТЭЦ/ТЭС) выход на режим выдачи рабочей мощности после включения станции.

К недостаткам же относятся:

- 1) затопление пахотных земель
- 2) строительство ведется только там, где есть большие запасы энергии воды
- 3) на горных реках опасны из-за высокой сейсмичности районов.

*Постановлением совета министров республики Беларусь от 17 декабря 2010 года №1838 утверждена государственная программа строительства в 2011-2015 годах гидроэлектростанций в республике Беларусь*

Госпрограмма принята с целью повышения уровня энергетической безопасности республики путём замещения импортируемых топливно-энергетических ресурсов возобновляемыми источниками энергии, снижения экологической нагрузки, обусловленной деятельностью топливно-энергетического комплекса

Ожидаемые результаты реализации Госпрограммы: выработка электроэнергии на ГЭС к 2015 году - до 0,51 млрд. кВт•ч в год, годовая экономия ТЭР по отношению к 2009 году - 120 тыс. т у.т.

Отметим перспективы гидроэнергетики в Беларуси. Как известно, Беларусь представляет собой равнинную страну. Казалось бы, ну о каких гидроэлектростанциях, за исключением разве что совсем уж небольших, может вообще идти речь? И тем не менее, в Беларуси строятся и проектируются несколько не таких уж и маленьких ГЭС.

Вся территория Беларуси поделена речными бассейнами трех рек: Немана, Западной Двины и Днепра. Реки равнинные, но кое-где текут в достаточно высоких берегах, и даже образуют небольшие пороги. Учитывая отсутствие у республики собственных топливно-энергетических ресурсов (нефти, газа, угля) и соответственно зависимость от их импорта, руководство страны пытается максимально использовать все возможности для выработки электроэнергии, в том числе и имеющиеся гидроэнергетические ресурсы.

В качестве первого шага, было решено построить гидроэлектростанцию на реке Неман. Так возник проект Гродненской ГЭС, строительство которой было начато в 2008 году в 10 км выше города Гродно. В здании ГЭС планировалось разместить 5 гидроагрегатов по 3,4 МВт. Гидроагрегаты довольно оригинальной конструкции - турбина расположена горизонтально, а генератор - вертикально (так называемая система PIG Kaplan). В России такие гидроагрегаты не производятся, и контракт был заключен с чешской фирмой Mavel. Напор на станции небольшой, всего 7 метров, в связи с чем водохранилище невелико - площадь 1938 га, объём 48,7 млн.куб.м. Водоохранилище уместилось в зону обычного паводкового затопления, в связи с чем никого переселять не пришлось. При этом, в год Гродненская ГЭС позволит сэкономить 24 миллиона кубических метров природного газа, из-за которого практически ежегодно возникают различные проблемы. Введена в действие она была в сентябре 2012.

После завершения строительства Гродненской ГЭС, на Немане планировалось построить еще одну станцию, на этот раз ниже Гродно - Немновскую ГЭС. Станция будет немного мощнее - 19,8 МВт, 85,5 млн.кВт.ч, но конструктивно очень схожа с Гродненской - такая же русловая низконапорная, те же 5 гидроагрегатов той же конструкции. Правда, в отличие от Гродненской, на Немновской ГЭС планируется построить судоходный шлюз.

На Западной Двине белорусы запроектировали целый каскад из 4 ГЭС:

- Верхнедвинская - 20 МВт

- Бешенковичская - 33 МВт
- Витебская - 40 МВт
- Полоцкая - 22 МВт

Днепр в Беларуси планируется осваивать в последнюю очередь - совсем уж равнинный характер реки позволяет строить там лишь малые ГЭС с не самыми лучшими экономическими показателями. Тем не менее, до 2020 года по планам белорусских властей на Днепре должен появиться каскад из 4 небольших ГЭС:

- Оршанская ГЭС (5,7 МВт) - 2017 год;
- Речицкая ГЭС (4,6 МВт) - 2018 год;
- Шкловская ГЭС (4,9 МВт) - 2018 год;
- Могилевская ГЭС (5,1 МВт) - 2019 год.

Удастся ли Белоруссии реализовать все эти планы - покажет время.

#### **Литература**

1 Об утверждении плана действий по интенсификации разработки недр Республики Беларусь на 2006-2010: Постановление совета министров Республики Беларусь №671 от 21.06.2005.

2 Рубрика: Экономика//Вечерний Минск.- 2003.-21 мая.

## ПРИЧИНЫ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Селивонюк Т.В., Ермола Д.С.

Научный руководитель Можар В.И., к.т.н., доцент

### **ЧАЭС: Поиск причин аварии**

Определение причин аварии на четвертом блоке ЧАЭС является одним из наиболее дискуссионных вопросов и на сегодня. Существует два лагеря профессионалов, которые имеют противоположные взгляды на причины разрушения энергетической установки в апреле 1986 года. Первые – это проектировщики, которые утверждают, что основной причиной аварии является непрофессиональная работа эксплуатирующего персонала блока. Вторые – это непосредственно эксплуатационный персонал, который не менее аргументировано, доказывает о наличии существенных недоработок в конструкции реакторов РБМК (Реактор Большой Мощности Канальный) и перекладывают ответственность за случившееся на проектировщиков. За более чем двадцатилетний период, который прошел с момента аварии, дискуссии о первопричинах аварии не умолкают. С каждым годом, который отделяет нас от событий апреля 1986 года, появляются все новые и новые версии и гипотезы.

Несмотря на наличие непрекращающейся дискуссии между проектантами и эксплуатационным персоналом по вопросам истинных причин аварии, существует официально принятый перечень причин взрыва реактора на ЧАЭС. Перечень причин был определен путем детального и всестороннего анализа событий приведших к аварии ядерной установки. Необходимо отметить, что для установления причин аварии была создана Государственная комиссия Госатомнадзора бывшего СССР (Союз Советских Социалистических Республик), которая была создана 27 февраля 1990 года.

### **Авария на ЧАЭС: Ошибки проектантов**

Комиссия признала, что для конструкции реактора является наличие положительного парового коэффициента реактивности и положительного коэффициента реактивности мощности. Благодаря этому, как следствие ошибки проектировщиков реактора, при расчетах физических та конструктивных параметров активной зоны, реактор представлял собой динамически нестабильную систему.

Комиссией было проанализировано 13 версий причин аварии. Наиболее вероятной является версия, которая связана с наличием эффекта реактивности системы управления и защиты реактора.

Такими выглядят технические причины. Вместе с этим, экспертами отмечаются более глубокие причины катастрофы – это низкий уровень культуры ядерной безопасности в бывшем СССР. Что за этим кроется?

Отсутствие развитой системы ядерного законодательства, невыполнение принципа полной ответственности за безопасность ядерной установки эксплуатирующей организацией. Недостаточное внимание к человеческому фактору и его возможному влиянию на безопасность АЭС. Недостаточное внимание к опыту других государств и отставание методологии анализа безопасности ядерных энергетических установок СССР. Как следствие, к эксплуатации были допущены энергоблоки с существенным дефицитом безопасности (положительный выбег реактивности при вводе в активную зону стержней системы защиты и управления и т.д.), которые вместе с неадекватными действиями персонала стали непосредственными причинами аварии.

Что подразумевают специалисты, когда говорят о «неадекватных» действиях персонала ЧАЭС?

### **Авария на ЧАЭС: Ошибки персонала**

Как показал анализ, авария на четвертом блоке ЧАЭС относится к классу аварий, связанных с вводом избыточной реактивности. Конструкция реакторной установки предусматривала защиту от подобного типа аварий с учетом физических особенностей реактора, включая положительный паровой коэффициент реактивности.

К числу технических средств защиты относятся СУЗ (Система управления и защиты реактора) по превышению мощности и уменьшению периода разгона, блокировки и защиты по неисправностям при переключении оборудования и систем энергоблока, а также САОР (Система аварийного охлаждения реактора).

Кроме технических средств защиты предусматривались также строгие правила и порядок ведения технологического процесса на АЭС, определяемые регламентом эксплуатации энергоблока. К числу наиболее важных правил относятся требования о недопустимости снижения оперативного запаса реактивности ниже 30 стержней.

В процессе подготовки к проведению испытаний и в процессе проведения испытаний с нагрузкой собственных нужд блока персонал отключил ряд технических средств защиты и нарушил важнейшие положения регламента эксплуатации в части безопасного ведения технологического процесса. В результате этих нарушений реактор был приведен в такое неустойчивое состояние, в котором существенно усилилось влияние положительного коэффициента реактивности, что и явилось в конечном счете причиной неуправляемого роста мощности реактора.

Тщательное расследование причин аварии, произведенное специалистами, показало, что корни аварии лежат глубоко в сфере проблем взаимодействия человека и машины, что основным «движущим» фактором аварии были действия операторов, грубо нарушивших эксплуатационные инструкции и правила управления энергоблоком. Подобно другим «рукотворным» катастрофам. Авария произошла из-за того, что оперативный персонал, желая выполнить план экспериментальных работ любой ценой, грубо нарушил регламент эксплуатации, инструкции и правила управления энергоблоком. Сказались, конечно, и некоторые особенности физики активной зоны, конструктивные недостатки системы управления и защиты реактора, которые привели к тому, что защита реактора не смогла предотвратить разгон на мгновенных нейтронах.

В более подробных информациях о происшедшей аварии показано, что операторы произвели такие запрещенные действия, как блокирование некоторых сигналов аварийной защиты и отключение системы аварийного охлаждения активной зоны; работали при запасе реактивности на стержнях СУЗ ниже допустимого регламентом значения; ввели реактор в режим работы с расходами и температурой воды по каналам выше регламентных, при мощности реактора ниже предусмотренной программой.

Эти и другие ошибки операторов привели к такому состоянию реактора, что в условиях роста мощности защитные средства реактора оказались недостаточными, что и привело к значительной сверхкритичности реактора, взрыву и разрушению активной зоны.

Таким образом, первопричиной аварии на Чернобыльской АЭС было крайне маловероятное сочетание допущенных персоналом нарушений порядка и режима эксплуатации, которые разработчики реакторной установки считали невозможными и поэтому не предусмотрели создания соответствующей такой ситуации системы защиты.

### **Авария на ЧАЭС: Выводы**

В настоящее время проведен комплекс технических мероприятий на всех реакторах РБМК, позволивший перевести эти реакторы в режим работы, исключающий проявление положительного эффекта реактивности в условиях преднамеренных отключений технических средств защиты и нарушений регламента эксплуатации.

Анализ причин аварии свидетельствует, что определенные системы безопасности должны функционировать исключительно на основании сигналов технических систем контроля параметров энергетической установки, а не на командах операторов. Примером реализации такого подхода является система, которая в последующем была установлена на реакторах РБМК – это автоматизированная система расчета оперативного запаса реактивности с подачей сигнала аварийной остановки реактора при условии уменьшения запаса реактивности ниже определенного (заданного) уровня.

Из изложенного выше следует, что поиск исчерпывающих ответов о первопричинах аварии на Чернобыльской АЭС продолжается. Продолжается и дискуссия экспертов на страницах средств массовой информации.

### **Литература**

1. Чернобыльская катастрофа - Киев, Наукова думка, 1995.
2. Радиоактивные отходы АЭС и методы обращения с ними / Ключников А.А., Пазухин Э. М., Шигера Ю. М., Шигера В. Ю. — К.: Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2005. — 487 с.: ил.

# **СЕКЦИЯ ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ**

## **ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ**

### **АГРОЭКОТУРИЗМ КАК ИДЕЯ БИЗНЕСА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Гуско А.В., Якимиди Т.В.  
Научный руководитель – ст. преп. Кравчук Е.А.

### **ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ ТОРФЯНЫХ РЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ**

Гуско А.В., Якимиди Т.В.;  
Научный руководитель – к.э.н., доцент Унукович А.В.

### **МАКРОСТРУКТУРА НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РИСКИ**

Швайко А.В., Петрова А.А.  
Научный руководитель – ст. преподаватель Самосюк Н.А.

### **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ КАК ОДНО ИЗ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Швайко А.В., Петрова А.А.  
Научный руководитель – ст. преподаватель Самосюк Н.А.

### **ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОДУКЦИИ**

Иванов Д.В., Мазунова П.А.  
Научный руководитель – к.э.н., доцент Манцерова Т.Ф.

### **КОНВЕРСИЯ ТОРФА И БИОМАССЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ**

Бушмович П. А.  
Научный руководитель – д.э.н., профессор Бокун И. А.

### **АНАЛИЗ МЕЖДУНАРОДНОГО ТУРИЗМА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Догаджина С.В., Соленик И.А.  
Научный руководитель – к.э.н., доцент Манцерова Т.Ф.

### **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВНЕШНЕТОРГОВОГО ОБОРОТА В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Пенязь А.Г.  
Научный руководитель – ст. преподаватель Самосюк Н.А.

### **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИМИДЖА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В 2013 ГОДУ**

Лонская Г. В.  
Научный руководитель – к.э.н., доцент Нагорнов В.Н.

### **ОБЗОР СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ О РОЖДАЕМОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Пичуев А.Д.  
Научный руководитель – к.э.н., доцент Манцерова Т.Ф.

### **РЕСТРУКТУРИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Добриян А.П., Корх Е.Ю.  
Научный руководитель – к.э.н., доцент МАНЦЕРОВА Т.Ф.

### **ПРОБЛЕМА УТИЛИЗАЦИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ЛАМП В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Цукрова М.В., Кудравец Ю.В.  
Научный руководитель – к.э.н., доцент МАНЦЕРОВА Т.Ф.

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ**

СОЛЕНИК И.А., ГОНЧАРОВА М.О.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Э.Н., ДОЦЕНТ УНУКОВИЧ А.В.

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ КОНКУРЕНЦИИ**

ЛАПИНСКИЙ Я.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ - СТ. ПРЕПОДАВАТЕЛЬ КРАВЧУК Е.А.

**СТАТИСТИКА ПО СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОДЫ В ГОРОДЕ МИНСКЕ**

ЛАПИНСКИЙ Я.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Э.Н., ДОЦЕНТ МАНЦЕРОВА Т.Ф.

УДК 338.486(476)

## **АГРОЭКОТУРИЗМ КАК ИДЕЯ БИЗНЕСА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Гуско А.В., Якимиди Т.В.

Научный руководитель – ст. преп. Кравчук Е.А.

Агроэкотуризм – особый вид туризма, подразумевающий отдых в «естественных» сельских условиях. В Беларуси субъектами агроэкотуризма являются «агроусадьбы». Это дома, расположенные преимущественно в сельской местности (реже в пригороде) и предоставляющие ряд туристических услуг: комфортное проживание, национальную кухню, отдых на природе, местные экскурсии и зачастую рыбалку либо охоту.

Белорусский агроэкотуризм достаточно молод. Его развитие началось с образования в 2002 г. общественного объединения «Агро- и экотуризм». Сегодня общественной организацией проводится активная работа в области развития сельского туризма. Проводятся семинары для жителей сельской местности, а также происходит обмен опытом с другими соседними странами, где агротуризм развит на более высоком уровне.

Агротуризм получил значительную государственную поддержку и был причислен к национальным приоритетам. основополагающими документами явились Национальная программа развития туризма в Беларуси на 2011 – 2015 гг. и Указ Президента Республики Беларусь № 372 «О мерах по развитию агроэкотуризма в Республике Беларусь» от 2 июня 2006 года. Указ Президента предоставляет ряд льгот сельским жителям при организации агроэкотуристического бизнеса на своих усадьбах.

Среди предпосылок развития бизнеса следует назвать: большое количество нерентабельных и убыточных сельскохозяйственных организаций и низкая заработная плата сельских жителей; увеличение безработицы в сельской местности; живописные естественные ландшафты; большое количество памятников археологии, истории и культуры, природы; самобытные традиции и обычаи, ремесла и промыслы, фольклор.

Реально уже сложились следующие целевые группы клиентов сельских усадеб: отечественные туристы-горожане; зарубежные туристы; корпоративные группы, связанные общим местом работы; компании, состоящие из друзей, знакомых; семьи; мобильные группы, совершающие многодневные велосипедные, водные путешествия.

Развитие агроэкотуризма содействует устойчивому развитию регионов, т. к. сельский туризм повышает величину валового регионального продукта, способствует увеличению эффективности использования трудовых ресурсов и снижению безработицы, приводит к возникновению эффекта мультипликатора в регионах, содействует поддержке предпринимательства в сельской местности, способствует развитию традиционных форм хозяйства и получению дополнительного дохода, формирует имидж района как экономически развитого в стране.

Однако, развитие агроэкотуризма в Беларуси не лишено проблем, среди которых – недостаточный уровень развитости инфраструктуры, недостаток справочных материалов по сельским усадьбам Беларуси, слабый уровень продвижения сельских усадеб на туристском рынке.

Для успешного развития агроэкотуризма в Беларуси необходимо дальше сосредоточиться на внедрении комплексных образовательных программ, разработке выдачи льготных кредитов, применении стандартов европейской сертификации услуг в области агроэкотуризма.

Белорусы активно осваивают агротуризм. Если в 2006 году в республике было 34 усадьбы, то сегодня зарегистрировано 1946 усадеб.

Ярким успешным примером в данной области является «Гарадзенскімаёнтак «Каробчыцы» в 12 км от Гродно. Это не просто развлекательный комплекс, но и красивый, яркий пример белорусского зодчества. Здесь можно ощутить дух народного быта, прикоснуться к прелестям девственной природы. Это место для полноценного отдыха. На территории 16 гектар с прекрасным природным ландшафтом, большими и малыми прудами, расположены лесные уголья с дикими животными.

На сегодня в маёнтке имеется: конюшня – для лошадей и пони различных пород. Рядом расположен манеж, где под руководством тренера можно прокатиться верхом на лошади либо пони. По территории парка можно проехать на дилижансе с экскурсоводом, который расскажет о богатой флоре и фауне маёнтка. Новобрачные могут заказать свадебный кортеж для прогулки.

В центре маёнтка находится территория, где свободно ходят дикие животные: кабаны и олени. Посетители имеют возможность во время экскурсии понаблюдать за ними вблизи. В вольерах обитает несколько десятков экзотических птиц. На берегу озера находится беседка, где можно хорошо отдохнуть и насладиться приятной атмосферой. Также посетителям предоставляется возможность отдохнуть в ресторане «ЗамакЗеваны», где можно попробовать традиционный фирменный напиток – медовуху, которая производится по рецептам наших предков.

2013 год в Беларуси объявлен годом «Зеленого туризма». Кроме того, в Беларуси может появиться первый агротуристический курорт.

Данный вид бизнеса является очень перспективным на западе, и его дальнейшее развитие и популяризация приведут к значительному улучшению экономической и экологической ситуации в нашей стране.

УДК 330.15(476)

## **ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ ТОРФЯНЫХ РЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ**

Гуско А.В., Якимиди Т.В.;

Научный руководитель – к.э.н., доцент Унукович А.В.

Для сохранения и приумножения природного капитала (богатства) необходим учёт природно-экологических активов – ресурсов и выгод от их рационального использования и пассивов – экономических потерь в результате действия природных факторов, антропогенной деятельности или последствий загрязнения окружающей среды. Для решения этих задач актуальным представляется их экономическая (стоимостная) оценка. Отсутствие экономических оценок природного капитала и экологически обусловленных экономических издержек искажает статистику показателей экономического развития, ограничивает возможность их сравнения в пространстве и времени. В настоящее время большинство экологически важных природных объектов либо вообще не имеют цены, либо имеют заниженные стоимостные оценки, что приводит к принятию ресурсоемких и экологически необоснованных решений. Рассмотрим это на примере торфяных месторождений.

Существуют три направления рационального и эффективного использования торфяных месторождений. Первое – это использование торфяно-болотных земель в природоохранной деятельности как элемента особо охраняемых природных территорий. Второе – это комплексное использование торфяных месторождений для производства фрезерного торфа на топливо и продуктов его глубокой переработки. Третье направление связано с освоением природного плодородия торфяных земель Беларуси в сельскохозяйственных целях для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. В связи с обострением экологических проблем первому направлению уделяется всё возрастающее внимание, т.к. торфяные запасы истощены и изношены. При увеличении объемов добычи в 2-2,5 раза запасы будут исчерпаны за 7-10 лет. А также нерациональное использование торфяных почв ведёт к снижению их экологической устойчивости.

В настоящее время общая площадь торфяного фонда составляет 2 415,2 тыс га с геологическими запасами торфа 4 373 млн т. Кроме этого имеется 523,4 тыс га болот с площадью менее 1 га, которые не вошли в торфяной фонд и ресурсы в них не оценены. Эффективным вариантом освоения торфяного месторождения следует считать только такой, который обеспечивает максимальную экономическую выгоду от использования потенциальной ценности полезного ископаемого при строгом ограничении негативного воздействия на составляющие окружающей среды. Это означает, что для повышения эффективности освоения торфяных месторождений необходимо в полной мере использовать заложенные природой в этот объект потенциальные ценности при сохранении надлежащего уровня состояния окружающей среды.

Для объективной и всесторонней оценки торфяного месторождения в первую очередь необходимо изучить условия образования и последующего формирования природного объекта, получить данные по влиянию техногенных воздействий различных технологий добычи на превращение состава и свойств получаемого сырья, провести доразведку выбранных месторождений, учесть прогнозную потребность рассматриваемого региона в продукции на основе торфа.

Стоимость косвенного использования торфяно-болотных угодий, характеризующая получение возможного дохода от связывания (депонирования) углерода, а также стоимость их существования и выполнения ими нересурсных функций (создание условий для рекреации, сохранение питьевой воды, поддержание водного баланса, поддержание продуктивности экосистем, сохранение генетического и видового разнообразия живой природы) гораздо выше стоимости прямого использования торфяно-болотных угодий. Она составляет порядка 33 млн долл. США из расчета 3,5 долл. США на 1 жителя Беларуси, по чистому доходу – 175 399 тыс дол., а по чистому дисконтированному – 107 774 тыс дол. Подавляющая часть этой суммы приходится на косвенную стоимость (58,2%), а в прямой стоимости использования наиболее значительные выгоды составляют выгоды от туристической деятельности и деятельности по обслуживанию туристов и др. посетителей. Указанные суммы представляются как упущенная выгода, реализация которой является актуальной, т.к. торфяно-болотные экосистемы Беларуси – важнейшие объекты, определяющие объем квот на выброс парниковых газов, торговля которыми позволила бы привлечь инвестиции в проекты по их снижению. Кроме того, природные комплексы имеют большое значение для совместного решения экономических и экологических задач на основе развития экологического туризма.

Бережное отношение к использованию торфяных ресурсов является актуальной задачей, решение которой позволит значительно продлить срок использования торфяных месторождений и обеспечит высокую эффективность производства продукции.

Важнейшим принципом природопользования на болотах должно быть соблюдение интересов экологии и экономики с приоритетом экологических интересов над экономическими.

УДК 629.735

## МАКРОСТРУКТУРА НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РИСКИ

Швайко А.В., Петрова А.А.

Научный руководитель – ст.преподаватель Самосюк Н.А.

Макроструктура национальной экономики включает комплекс подсистем и компонентов, которые в ходе многолетней хозяйственной практики интегрируются в такие структурные образования, как секторы, отрасли, хозяйственные комплексы и др.

Современная структура белорусской экономики характеризуется доминированием материало- и энергоемких отраслей – металлургической, топливной, нефтехимической промышленности. При такой структуре экономики низкая самообеспеченность республики собственными топливно-энергетическими ресурсами представляет угрозу национальной безопасности государства в экономической сфере, связанную, в первую очередь, с рисками неблагоприятного изменения цен и условий поставок данных видов ресурсов. Рост энергетических рисков – один из важных поводов для проведения структурных реформ. Среди других факторов, угрожающих макроэкономической стабильности, обычно выделяют низкий уровень диверсификации рынков сбыта, доминирование узкого круга крупных «валообразующих» предприятий-экспортеров, низкая доля инновационно активных предприятий и инновационной продукции. Тезис о необходимости структурного реформирования присутствует в директивной части основных программных документов, определяющих стратегию развития национальной экономики на протяжении последних 10 и более лет. Однако до сегодняшнего дня принципиальных изменений отраслевой структуры не произошло. Доля добывающего сектора (включая сельское хозяйство) в ВВП снизилась с 13,1% в 2000 г. до 9,6% в 2011 г.; доля обрабатывающей промышленности увеличилась за этот период с 35,5 до 36,5%. Доля услуг в 2011 г. составила 41,2%, при этом значение данного показателя не претерпело существенных изменений начиная с 1995 г.

Для ряда микроэкономических субъектов, а в краткосрочном плане – для экономики в целом – в сложившихся условиях выгодно сохранение существующей макроструктуры национальной экономики. Источником выгоды, в частности, может служить разница между ценой экспорта топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) из Беларуси и ценой их импорта в Беларусь. Чем больше эта разница, тем выше конкурентоспособность белорусских энергоемких предприятий и отраслей на мировом рынке и, соответственно, сильнее стремление к увеличению их доли в отраслевой структуре национальной экономики. Влияние условий экспорта и импорта топливно-энергетических ресурсов на макроэкономические показатели чрезвычайно высоко как для нашей страны, так и в общемировом масштабе.

Роль энергоемких отраслей в белорусской экономике двойственна. С одной стороны, выгодные условия поставок энергоресурсов существенно повышают их конкурентоспособность в сравнении с аналогичными зарубежными предприятиями. С другой стороны, расширение объемов производства и экспорта продукции энергоемких предприятий ведет к росту рисков, когда увеличение цены импортируемого топлива может оказать негативное шоковое воздействие на экономику. В наиболее благоприятные периоды, когда разница цены экспорта и импорта максимальна, трудно найти более эффективные виды бизнеса, чем энергоемкие производства, в особенности топливная промышленность. Данное обстоятельство также препятствует изменению структуры национальной экономики в пользу высокотехнологических отраслей.

Белорусская экономика в некотором смысле уникальна: наша страна не обладает существенными запасами собственных топливно-энергетических ресурсов, но при этом ее благосостояние в значительной степени зависит от результатов функционирования топливной промышленности и электроэнергетики, работающих на привозном сырье. В таких условиях цели обеспечения энергетической безопасности и роста экономического благосостояния в определенных условиях окажутся разнонаправленными, друг другу противоречащими и одна из двух целей окажется доминирующей, а другая будет вынужденно рассматриваться как второстепенная. Совместить цели энергетической безопасности и экономического роста может переход к концепции управления энергетическими рисками. В данном случае речь идет о комплексном подходе, позволяющем сочетать развитие альтернативной энергетики с традиционной, энергоэффективных производств с энергоемкими. Такой подход в большей степени отвечает условиям функционирования Таможенного союза, который абсолютно самодостаточен по топливу и энергии. Беларусь в Таможенном союзе могла бы взять на себя функции трансфера новых энергетических и энергосберегающих технологий с Запада на Восток, а также участвовать в технологической модернизации не только собственной экономики, но также экономик своих восточных соседей. Залогом минимизации энергетических рисков может стать не только локализация новых энергетических предприятий на территории республики, но также участие белорусских предприятий в технологических и воспроизводственных процессах энергетического цикла на территории Таможенного союза.

УДК 629.735

## **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ КАК ОДНО ИЗ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Швайко А.В., Петрова А.А.

Научный руководитель – ст.преподаватель Самосюк Н.А.

Для функционирования и развития экономики нашей страны первостепенное значение имеет не только устойчивое обеспечение её энергоносителями, но и экономически оправданное эффективное использования топливно-энергетических ресурсов при существующем уровне развития техники и технологии, а также соблюдении требований к охране окружающей среды.

За последние 15 лет реализованы три пятилетних республиканских программы энергосбережения. В 2012 году приняты дополнительные меры по усилению работы по энергосбережению и повышению энергоэффективности: для органов государственного управления установлены показатели по снижению потребления светлых нефтепродуктов; доведено задание по снижению потребления электроэнергии и природного газа промышленным организациям – крупным потребителям ТЭР; утвержден Комплекс мер по снижению энергоёмкости ВВП в 2012- 2015 гг.; определены прогрессивные удельные нормы расхода ТЭР

Так как одним из показателей энергетической безопасности страны является доля собственных энергоресурсов в её топливном балансе, то важно отметить значительное усиление работы в данном направлении. В частности, в республике действует Национальная программа развития местных и возобновляемых энергоисточников, которая предусматривает использование вторичных энергоресурсов для выработки тепловой и электрической энергии, а также внедрение биогазовых, ветроэнергетических и гелиоустановок, тепловых насосов, строительство и восстановление ГЭС. В ходе реализации программ по увеличению использования местных ТЭР, вторичных энергоресурсов и возобновляемых источников энергии будет введено в эксплуатацию около 200 энергоисточников на древесном топливе и торфе, 33 ГЭС мощностью 102,1 МВт, 84 биогазовых комплекса, работающих на отходах животноводства и птицеводства, мясопереработки, сточных вод, сахарных заводов. Ряд пилотных проектов уже реализован. Так, в период 2008-2012 гг. построено 8 биогазовых комплексов суммарной электрической мощностью около 8,3 МВт, в том числе в текущем году – один мощностью 0,6 МВт. До конца года запланирован ввод еще 10 биогазовых комплексов суммарной электрической мощностью 11,6 МВт. Также энергоэффективные мероприятия проводятся в промышленности (введение когерационных установок). В организациях жилищно-коммунального хозяйства обобщенные энергозатраты снижены, прежде всего, за счет внедрения высокоэффективного насосного оборудования; преобразования котельных в мини-ТЭЦ; оптимизации схем теплоснабжения с ликвидацией длинных теплотрасс и установкой локальных теплоисточников в центре тепловых нагрузок; замены неэкономичных котлов с низким КПД на более эффективные, замены неэффективных теплотрасс с применением предизолированных труб, реконструкции тепловых узлов с внедрением эффективных теплообменников; термомодернизации зданий и сооружений; установки систем автоматического регулирования теплопотребления на отопление и горячее водоснабжение

Продолжается работа и по модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы, что означает введение высокоэффективных

генерирующих мощностей современными технологиями энергетического производства. Вводятся высокоэффективные генерирующие мощности современными технологиями энергетического производства. Это позволит снизить удельный расход топлива на выработку электрической энергии не менее чем на 10 %.

Эффективной мерой отслеживания рационального использования топлива, электрической и тепловой энергии является надзорная деятельность, т.е. проведение проверок и обследований организаций (экспресс - энергоаудиты).

Практическая реализация мероприятий энергосбережения требует значительного вложения средств. Достижение установленных показателей по энергосбережению в 2011-2015 гг. потребует финансирования в объеме 8,66 млрд. долларов США. Часть средств поступит из международных организаций в рамках реализации совместных проектов.

На данный момент Беларусь успешно осуществляет международную деятельность в сфере энергосбережения и энергоэффективности совместно с Международным банком реконструкции и развития (МБРР), Программой развития Организации объединенных наций (ПРООН), Европейским союзом, другими организациями. Ряд проектов, в том числе и в социальной сфере, уже реализован: реконструированы котельные, модернизированы тепловые пункты, внедрено энергоэффективное освещение, проведена тепловая модернизация зданий, установлены энергосберегающие стеклопакеты. На основе внедрения новейших технологий и оборудования получен и социальный эффект.

УДК 338.512

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОДУКЦИИ

Иванов Д.В., Мазунова П.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Манцерова Т.Ф.

Себестоимость продукции – один из важнейших экономических показателей деятельности промышленных предприятий и объединений, выражающий в денежной форме все затраты предприятия, связанные с производством и реализацией продукции.

Снижение энергетической составляющей себестоимости продукции является одним из главных путей снижения себестоимости в целом. Доля стоимости потребленной электроэнергии в производстве продукции характеризуется показателем энергоемкости. Энергоемкость продукции – показатель, характеризующий количество энергии, затраченной на единицу выпуска продукции или выполненных работ (оказанных услуг).

Основными причинами высокой энергоемкости продукции являются:

- морально и физически устаревшее технологическое оборудование;
- неэкономичные системы электроосвещения;
- отсутствие эффективного расчета затрат на добычу первичных энергоносителей и производство энергии;
- заниженные цены на энергию и энергоносители;
- отсутствие материальной заинтересованности во внедрении энергосберегающих технологий и в экономии энергоресурсов;
- изношенность оборудования электростанций, низкий КПД преобразования первичных энергоносителей в электроэнергию и др.

Энергоемкость продукции рассчитывается не только на уровне предприятия, но и на уровне страны. Для этого используют показатель энергоемкости внутреннего валового продукта. Энергоемкость валового внутреннего продукта определяется как отношение объема валового потребления топливно-энергетических ресурсов к объему валового внутреннего продукта.

Правительством страны разрабатываются ежегодно планы по снижению энергоемкости продукции. В них предусматриваются меры по снижению потребления топливно-энергетических ресурсов, затраченных на производство, при положительном значении роста ВВП. Согласно с постановлением Совета Министров №1260 снижение энергоемкости валового внутреннего продукта Беларуси в 2013 году должно составить 7% к уровню 2012 года при темпах роста ВВП 108,5%. Данным документом установлены целевые показатели для республиканских органов государственного управления на текущий год по энергосбережению, доле использования местных топливно-энергетических ресурсов в котельно-печном топливе, а также по экономии светлых нефтепродуктов (бензина, дизельного и биодизельного топлива). Снижение энергоемкости ВВП страны в январе-марте должно составить 2%, в январе-июне - 3%, по итогам девяти месяцев ожидается снижение до 5% к аналогичному уровню 2012 года.

Основными направлениями по снижению энергоемкости ВВП являются:

- 1) Переход на местные виды топлива. Доля местных энергоресурсов в балансе котельно-печного топлива Беларуси к концу 2013 года, согласно постановлению, должна составить 25,5%. Развитие сельское хозяйство и промышленность являются прекрасной базой для внедрения альтернативной

энергетики и получения местных видов топлива. Наиболее перспективными являются биотопливо, отходы деревообрабатывающей промышленности, бытовые отходы. В 2012 году экономия ТЭР за счет мероприятий по энергосбережению составила 746,8 тысяч тонн условного топлива, что эквивалентно более 150 миллионам \$.

Важным является сооружение современных энергогенерирующих установок, позволяющих вырабатывать энергию из альтернативных источников с меньшей себестоимостью. В условиях Республики Беларусь наибольший потенциал имеют следующие альтернативные источники: биогазовые установки; когенерационные установки (мини-ТЭЦ); солнечные батареи; ветроустановки и т.д.

2) Модернизация либо замена оборудования, внедрение энергосберегающих технологий. Сегодня большая часть основного оборудования предприятий характеризуется большой степенью морального и физического износа.

Модернизация оборудования должна проходить на каждом предприятии. Модернизация, в отличие от полной замены оборудования, позволяет за счет меньших денежных вложений повысить эффективность производства в целом. В энергетике ярким примером может служить монтаж парогазовых установок на основе существующих газотурбинных агрегатов. Это позволяет увеличить коэффициент полезного действия и снизить стоимость вырабатываемой электрической и тепловой энергии.

3) Установка приборов учета потребления электроэнергии позволит увеличить эффективность ее использования, обеспечить максимально точную и своевременную информацию о необходимых цифровых показателях, оплачивать услуги поставки электроэнергии исключительно по показаниям счетчиков, а не в соответствии со стандартными расчетными нормами, тем самым уменьшая себестоимость продукции.

УДК 621.515

## КОНВЕРСИЯ ТОРФА И БИОМАССЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ

Бушмович П. А.

Научный руководитель – д.э.н., профессор Бокун И. А.

Переход на местные виды топлива обеспечивает не только экономический эффект, но также повышает надежность энергоснабжения и энергетическую безопасность.

В республике разведано более 9000 торфяных месторождений общей площадью в границах промышленной глубины залежи 2,54 млн. га и первоначальными запасами торфа 5,65 млрд.т. К настоящему времени оставшиеся геологические запасы оцениваются в 4,3 млрд.т, что составляет 75% от первоначальных.

Для применения торфа и древесины в энергетических целях по-прежнему остается сжигание, но уже в настоящее время совершенствуются методы подготовки этих видов топлива.

Широкое распространение получает производство торфяных и древесных пеллет в виде гранул цилиндрической формы размером порядка нескольких сантиметров.

Технология производства пеллет из торфа и древесины состоит из следующих стадий:

### 1. Подача и складирование сырья

Поступаемое на предприятие сырье для изготовления пеллет из может быть различной влажности и размеров, при этом не должно содержать посторонних включений (камни, металл и др.). На этой стадии происходит предварительное дробление с размерами фракций  $25 \times 25 \times 2$  мм. Раздробленное на специальной машине сырье и дополнительно подсушенные обрабатываются на последующей стадии.

### 2. Измельчение

На этой стадии сырье подвергается дополнительному дроблению и его измельчают до 3..5 мм, а затем подают на сушку.

### 3. Сушка

Так как древесное сырье с влажностью более 15% плохо прессуется, то перед прессованием оно должно иметь влажность 8..12%. Для сушки измельченных фракций 3..5 мм могут быть использованы сушилки, как барабанные так и с псевдооживленным или пульсирующим слоем. При этом подвод тепла в слой должен быть осуществлен за счет размещенных в слое поверхностей нагрева, так как это предотвращает образование статического электричества.

В производстве пеллет сушка является наиболее энергоемким процессом. После сушки сырье размалывается в мельницах. В связи с тем, что сырье с влажностью ниже 8% плохо прессуется, то его иногда приходится увлажнять с помощью воды или пара в смесительной емкости.

### 4. Гранулирование (прессование)

### 5. Охлаждение

После прессования гранулы имеют температуру 70..90<sup>°C</sup>, поэтому для получения качественного продукта они подлежат охлаждению. Охлаждение прессованных гранул может осуществляться в холодильниках в псевдооживленном или пульсирующим слое, отвод тепла из которых будет осуществляться с помощью поверхностей охлаждения, размещенных в слое. Охлажденные гранулы перед фасовкой и упаковкой просеиваются и очищаются от мелкой фракции. Остывшие и очищенные гранулы поступают в тару для упаковки и транспортировки к месту хранения.

### 6. Фасовка и упаковка

Фасовка и упаковка топливных пеллет на заводе-изготовителе должна учитывать способ их хранения у потребителя: в свободном виде – насыпью; в мешках от 500 до 1200 кг; в мелкой расфасовке 10..20 кг.

Пеллеты используются как для бытовых целей, так и в качестве топлива для электростанций и котельных средней мощности. КПД котлов, работающих на сжигании пеллет составляет 85..97%. Поэтому с целью сферы применения торфа и древесины в энергетических целях может возникнуть необходимость создания технологий их переработки в высококалорийные газовые смеси, которые затем будут использованы в качестве топлива для производства тепловой и электрической энергии на базе газотурбинных, газопоршневых и газодизельных установок мощностью в интервале 100..1000 кВт.

Технология производства пеллет из торфа и древесины повышает их теплоту сгорания и они могут быть использованы в качестве котельного и быстрого топлива

УДК 338.48-44

## АНАЛИЗ МЕЖДУНАРОДНОГО ТУРИЗМА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Догадкина С.В., Соленик И.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Манцерова Т.Ф.

Туризм является одной из важнейших сфер современной экономики. Данный вид деятельности направлен на удовлетворение потребностей людей в ознакомлении с историей, культурой, обычаями, духовными и религиозными ценностями различных стран и их народов.

Тема данной работы актуальна, так как в различных странах и регионах туризм является важной сферой деятельности и оказывает благотворное влияние на развитие других секторов экономики.

Работа включает в себя следующие основные аспекты:

- ✓ Выявление тенденций развития международного туризма в Республике Беларусь на современном этапе;
- ✓ Анализ общего потока туристов, посетивших Республику Беларусь;
- ✓ Исследование количества поездок граждан Республики Беларусь за рубеж;
- ✓ Оценка туристического потенциала страны;
- ✓ Освещение проблем, связанных с развитием экологического туризма в Республике Беларусь;
- ✓ Установление взаимосвязи эффективной системы статистического учёта, анализа в сфере туризма и экономики страны.

Для формирования конкурентоспособного рынка туристических услуг в рамках Государственной программы развития туризма в Республике Беларусь на 2011–2015 годы предполагается разработка эффективной стратегии по продвижению отечественных туров, сосредоточенной на ключевых направлениях туристических рынков. Особенное внимание уделяется развитию экотуризма, связанного с посещением туристами уголков нетронутой природы, имеет большие перспективы в Беларуси, где природные территории составляют около половины площади страны.

В туристическом плане Беларусь имеет ряд преимуществ по сравнению с другими странами. Среди них: близость к Западной Европе, Скандинавии - туристическому рынку с высоким финансовым потенциалом; соседство со странами Балтии, Россией и Польшей - важным ресурсом для развития приграничного туризма; древняя история и самобытная культура (15 тыс. объектов, имеющих историческую, культурную и архитектурную значимость, из них 4,8 тыс. - национального значения); сохранившийся природный потенциал (обширные лесные массивы, множество водных акваторий, природные лечебные ресурсы, богатое биологическое и генетическое разнообразие).

За последние годы в республике произошли значительные перемены в развитии туристической инфраструктуры: увеличилось количество новых комфортабельных гостиничных комплексов, санаториев, баз отдыха и др.; реконструируется и обновляется согласно общепризнанным мировым стандартам гостиничный фонд. За 2005-2012 гг. количество туристических объектов размещения и отдыха выросло на 192 единицы. В 2012 г. введено в строй 27 новых и реконструированных объекта туризма.

**Перспективными** для развития можно выделить такие специфические виды туризма, как медицинский, образовательный, научный, событийный. Их целями являются предоставление качественных и относительно недорогих услуг в области стоматологического обслуживания, языкового образования, научной деятельности

(семинары, конференции, консультации), культуры (торжества по поводу важных дат, проведение фестивалей и т.д.).

Устойчивое развитие туризма - процесс длительной перспективы, требующий поступательных грамотных решений в краткосрочном периоде.

Для этого необходимо осуществить:

- ✓ разработку рекреационных и экскурсионных программ;
- ✓ внедрение приемлемых стандартов обслуживания;
- ✓ формирование определенных традиций гостеприимства;
- ✓ внедрение нововведений и широкое использование информационных технологий;
- ✓ развитие маркетинговой стратегии в сфере туризма;
- ✓ создание современной инфраструктуры гостиничного и санаторно-курортного хозяйств;
- ✓ совершенствование ценовой политики при создании белорусского турпродукта, способного конкурировать с соседними государствами;

В целом, оптимистически оценивая перспективы развития туризма в Беларуси, следует отметить, что от сегодняшнего состояния до эффективного использования имеющегося туристского потенциала следует пройти большой путь.

Современные тенденции развития сферы туризма требуют эффективной интеграции науки и образования. Следует обеспечить информационную доступность международной статистики, передовых научных разработок, учебной литературы и другой информации.

УДК 629.735

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВНЕШНЕТОРГОВОГО ОБОРОТА В ЭНЕРГЕТИКЕ

Пенязь А.Г.

Научный руководитель – ст. преподаватель Самосюк Н.А.

Республика Беларусь относится к числу государств, которые недостаточно обеспечены собственными энергетическими ресурсами. Это создает особые условия функционирования экономики государства, делает ее уязвимой и зависимой от внешних поставщиков. В то же время показатель энергоемкости валового внутреннего продукта республики, по данным экспертов, в три-четыре раза выше, чем в странах Европейского союза. В этих условиях правительством Республики Беларусь проводится энергетическая политика, направленная на модернизацию и трансформацию топливно-энергетического комплекса, снижение энергоемкости всех видов продукции. Известно, что стабильный, устойчивый экономический рост означает устойчивый рост объема производства товаров и услуг в стране без спадов и кризисов. Степень достижения этой цели характеризуют многие показатели, и одним из них является темп прироста реального валового национального продукта. Внешнеторговый оборот оказывает непосредственное влияние на величину валового национального продукта, в том числе рынок электроэнергии и энергоресурсов.

Предприятия электроэнергетической отрасли занимают монопольное положение по производству, передаче и распределению электроэнергии. Вследствие этого тарифы регулируются со стороны государства, однако существующая система тарифов не позволяет обеспечить достаточный уровень воспроизводства электроэнергетического бизнеса. Учитывая сложившуюся ситуацию, можно заметить, что для формирования корректной системы тарифов необходимо провести существенное реформирование отрасли.

В 2008 году по заданию Совета Министров Республики Беларусь был разработан проект Концепции реструктуризации отрасли «Электроэнергетика», который предусматривает разделение энергопроизводства по видам деятельности, что позволит улучшить инвестиционный климат и создать конкурентную среду в отрасли, обеспечить прозрачность финансовых потоков, сделать электроэнергетику привлекательной для инвесторов с целью реализации программы ее модернизации и создать рыночную инфраструктуру для эффективного развития возобновляемых источников энергии. Формирование тарифов на основе рыночной цены на электроэнергию позволит повысить интерес инвесторов в сфере энергоэффективных технологий и прежде всего в области генерации электроэнергии, поскольку тарифы будут соответствовать минимально необходимым затратам на производство, передачу и распределение электроэнергии.

Одним из приоритетных направлений экономического развития республики является формирование долгосрочных направлений международного сотрудничества. Поэтому создание конкурентной среды в энергетической отрасли откроет перспективу участия РБ в формировании общего энергетического рынка стран СНГ и ЕврАзЭС. Основными поставщиками электроэнергии и энергоресурсов для Республики Беларусь по-прежнему остаются Российская Федерация и Украина. В энергетической отрасли на 2013 год Постановлением Министерства экономики Республики Беларусь определены следующие показатели. Объем импорта электроэнергии из РФ будет ниже, чем в 2012 году, когда Беларусь импортировала 7,9 млрд. кВт·ч и составит 5 млрд. кВт·ч. Из них 3 млрд. кВт·ч составят гарантированные поставки и 2 млрд. кВт·ч – при условии

экономической выгоды. Поставки электроэнергии из Украины намерены довести до 2 млрд. кВт·ч. Снижение импорта было обусловлено внеплановым отключением одного из энергоблоков АЭС Украины, однако уже в начале 2013 года поставки превысили уровень предыдущего года на 39,3 %. Экспорт запланирован в размере 0,2 млрд. кВт·ч. Поставки из стран СНГ составили в 2012 году 149,4 млн. кВт/ч. Импорт нефти и природного газа планируется увеличить в размере 23 млн. тонн и 22,1 млрд. кубометров соответственно, что на 5,3 % и 6,8 % больше, чем в предыдущем году. Также ставится задача произвести 6233 тыс. тонн мазута и 93,5 % этого топлива экспортировать, что на 5,8 % больше данного показателя 2012 года. Самостоятельно Беларусь планирует добыть 1,63 миллиона тонн нефти (98,2% от прошлогоднего показателя). При этом всю добытую нефть планируется экспортировать. Самостоятельно Беларусь намерена произвести 203,1 миллиона кубометров газа. Кроме того, в 2013 году республика импортирует 970 тысяч тонн каменного угля, что на 68,5 % больше объема импорта 2012 года.

Беларусь в ближайшее время планирует начать экспорт электроэнергии в Польшу по линии «Березовская ГРЭС – ВулькаДобрыньска». Также ведутся переговоры по строительству линии электропередач Белосток - Рось-Нарев напряжением 400 кВ со вставкой постоянного тока. Республика Беларусь успешно ведет внешнеторговую политику, что способствует наращиванию объемов экспорта, насыщению внутреннего рынка энергоресурсами и установлению новых экономически выгодных контактов.

УДК 621.515

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИМИДЖА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В 2013 ГОДУ**

Лонская Г. В.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Нагорнов В.Н.

Имидж энергетики как отрасли формируется восприятием следующих групп: населением страны, предприятиями частного и государственного сектора, правительством, иностранным сообществом (чаще всего инвесторами). Повышается рост конкурентного давления со стороны крупных промышленных предприятий страны, путём создания собственных источников электро- и теплоснабжения, например, заводских ТЭЦ и котельных. Данные потребители в условиях свободного рынка оборудования, строительных материалов и работ, могут, если это им выгодно, создать собственные источники электро- и теплоснабжения, например, заводские ТЭЦ и котельные. Имеет место косвенная конкуренция с поставщиками альтернативных энергоносителей, особенно природного газа. Стратегическое управление призвано обеспечить конкурентоспособность предприятия в быстро меняющейся внешней среде. Под конкурентоспособностью предприятия понимается способность создавать такое превосходство над конкурентами, которое позволяет достичь поставленных целей. Следует создавать специальные программы на привлекательных условиях для категории крупных промышленных предприятий. Энергоснабжающие организации должны осуществлять контроль за использованием электроэнергии у потребителей, причем не столько с целью энергосбережения у потребителя и снижения тем самым его расходов, сколько с собственной целью - оптимизации использования установленной мощности. Вводы мощностей сегодня обходятся существенно дороже мероприятий по энергосбережению, поэтому сбытовые структуры энергоснабжающей организации должны контролировать, и проводить консультации потребителей по организации наиболее эффективного энергопотребления. При составлении программы «демаркетинга» обычно используются такие методы стимулирования как реклама и пропаганда..

В соответствии со Стратегией развития энергетического потенциала Республики Беларусь на 2010 – 2015 гг от 9.08.2010 г. введение новых мощностей должно производиться при помощи активного привлечения крупных инвесторов. Энергокомпании вступают в конкуренцию во внешней среде на рынке капитала для получения инвестиционных ресурсов. Эффективность производства в отрасли предопределяется прошлыми капитальными вложениями, в то время как на действующих электростанциях снижение издержек ограничено. Поэтому при вводе новых мощностей следует использовать прогрессивные дорогие технологии, а, следовательно, проводить мероприятия по привлечению крупных инвесторов: разрабатывать рекламный материал. Необходимо создание образа отрасли, повышающего инвестиционную привлекательность. На деятельность предприятий влияют проблемы экологического аспекта. Существует так называемое "общественное движение против энергетики", прежде всего атомной. Под воздействием этого фактора прекращается строительство энергетических объектов. При решении вышеуказанных проблем необходимо применение специфических форм маркетинга: позиционирование предприятия в сознании потребителей с помощью создания надёжного благоприятного имиджа бренда. Отражение в рыночных коммуникациях важнейшей общественной миссии строительства АЭС: создание специальных рекламных роликов, плакатов, брошюр, публикации в СМИ, проведение специальных занятий в образовательных

учреждениях Республики Беларусь. Необходимо выделить те особенности отрасли, которые действительно нужны потребителю. В случае рынка энергетики это может быть выгодное энергоснабжение и экологически чистое производство энергии. В СМИ поднимается вопрос о недовольстве потребителями повышением тарифов на энергию. Необходимы специальные публикации, объясняющие механизм формирования тарифов в доступном изложении для граждан страны.

Концерн «Белэнерго» – интегрированная энергокомпания, в рамках которой осуществляется централизованное хозяйственное и оперативно-технологическое управление всеми стадиями энергоснабжения в стране. Концерн «Белэнерго» и Министерство энергетики выполняют ещё и важнейшую общественную миссию, являясь базовым элементом инфраструктуры и системы жизнеобеспечения региона. В связи с этим необходимо учитывать, что применение социально-этичного маркетинга становится инструментом обеспечения общественных интересов. Согласно данной маркетинговой концепции, главной задачей является установление нужд, потребностей и интересов целевых рынков и обеспечение желаемой удовлетворенности более эффективными и более продуктивными (чем у конкурентов) способами с одновременным сохранением или укреплением благополучия потребителя и общества в целом.

УДК 314.02

## ОБЗОР СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ О РОЖДАЕМОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Пичуев А.Д.

Научный руководитель – к.э.н, доцент Манцерова Т.Ф.

Нынешний уровень рождаемости в РБ обеспечивает воспроизводство поколений только на 70%. Об этом свидетельствуют и данные переписи населения. Каждая женщина довоенных и послевоенных лет родила в среднем 2,2 ребенка, 1960-х годов — 1,7 ребенка, для женщин поколения 1980-х годов этот показатель сегодня едва превышает 0,6 ребенка. В качестве одной из причин низкого уровня рождаемости можно отметить высокую занятость женщин в общественном производстве, а также достаточно высокий уровень их образования и квалификации. По данным переписи, среди населения, имеющего высший уровень образования, 57% составляют женщины. Среди специалистов высшей квалификации женщин 69%.

За 2011 год в РБ родилось 109 тыс. детей — 56 тыс. мальчиков и 53 тыс. девочек. Последнее время в стране наблюдается незначительная положительная динамика в рождаемости населения. В 2011 году родилось на 1000 детей больше, чем в 2010-м. Общий коэффициент рождаемости увеличился с 11,4 на 1000 населения в 2010 году до 11,5 в 2011 году. Если сравнивать по уровню рождаемости в областях, то традиционно лидирует Брестская область - коэффициент рождаемости составляет 12,7 на 1000 населения.

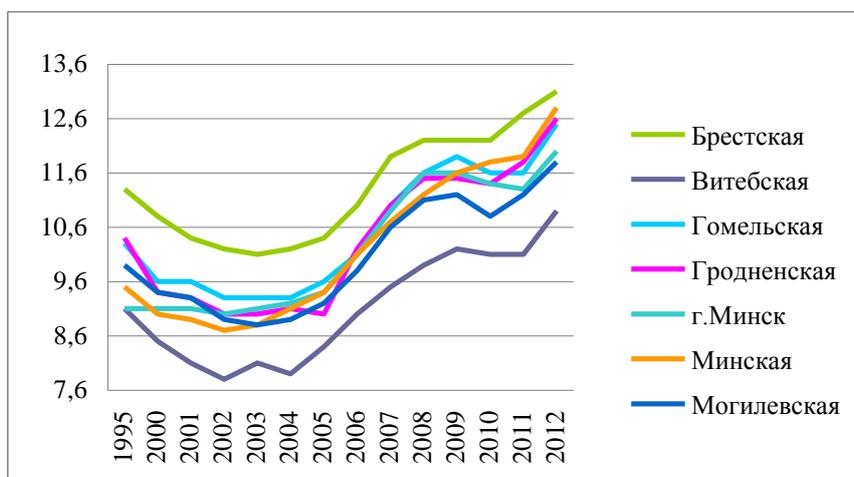
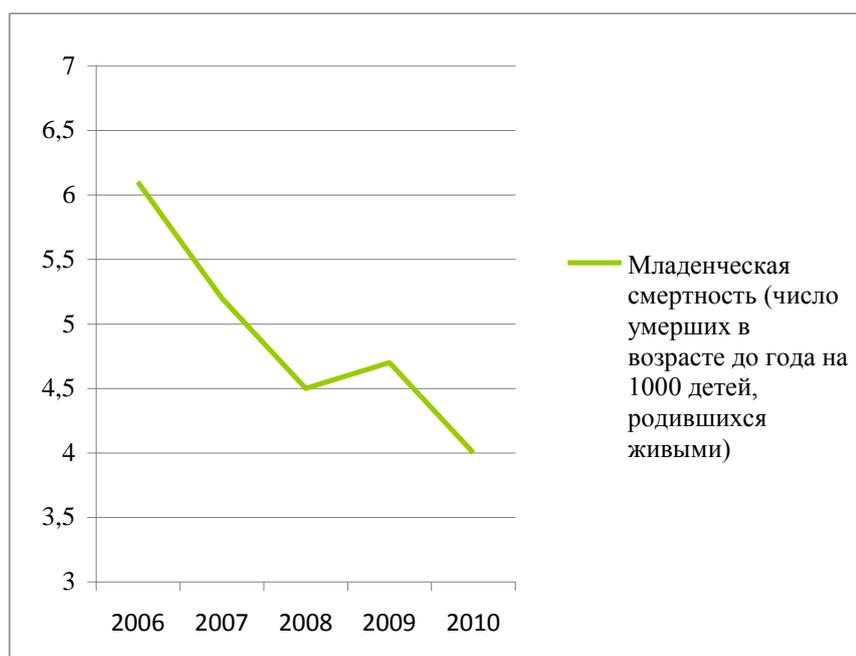


Рисунок 1 – Уровень рождаемости в областях

Наименьший уровень рождаемости в Витебской области, которая представлена на рисунке 1, — 10 родившихся на 1000 населения. Рост рождаемости обусловлен увеличением как численности женщин в активном детородном возрасте (20—34 года), так и количеством повторных родов. В 2011 году почти половина родов была связана с рождением 2-го, 3-го и последующих детей. Среди регионов по рождению 3-го и 4-го ребенка лидирует Брестская область, 2-й ребенок чаще всего рождается в Минске. В 2011 году продолжилось сокращение числа аборт. Если в 2000 году на 1000 женщин в возрасте 15—49 лет приходилось 46,2 аборта, то в 2011-м — 13,2. Так же

статистические данные о младенческой смертности приведены на рисунке 2, которая



также играет не маловажную роль.

Рисунок 2 – Данные по младенческой смертности

Рост рождаемости продолжается и в 2012 году. В январе—феврале в Республике Беларусь родилось 17,8 тысяч детей. Это на 1.200 детей больше, чем за первые два месяца прошлого года.

УДК 338.33

## РЕСТРУКТУРИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Добрян А.П., Корх Е.Ю.

Научный руководитель – к.э.н., доцент МАНЦЕРОВА Т.Ф.

На сегодняшний день существует несколько вариантов структурных преобразований энергетики Республики Беларусь.

Основная особенность развития энергетики всех постсоветских стран состоит в том, что подходит к исчерпанию рабочий ресурс генерирующих мощностей, введённых в советское время, и уже в ближайшее время необходимо будет на их основе создать новую энергетику, соответствующую условиям и техническому уровню 21 века.

В последнем десятилетии в Республике Беларусь остро встала необходимость резкого повышения энергетической безопасности. С этой целью на государственном уровне был принят ряд важных решений. Основные из них:

- Сооружение Белорусской АЭС электрической мощностью 2,4 ГВт;
- Реструктуризация топливно-энергетического баланса республики по видам топлива и диверсификации его по поставщикам;
- Повышение доли использования местных и возобновляемых энергоресурсов;
- Принятие курса на строительство электростанций, работающих на угле;
- Активизация энергосбережения во всех отраслях экономики;
- Развитие электроэнергетических связей с соседними странами, прежде всего с Россией.

В условиях рыночной экономики, жёсткой конкуренции и присутствия, наряду с государственными, частных и ведомственных интересов важную задачу определения оптимальной структуры генерирующих мощностей необходимо решать в интересах народного хозяйства по экономическому критерию минимума суммарных приведённых затрат путём комплексной их оптимизации.

С вводом АЭС в Беларуси появится проблема прохождения минимума электрической нагрузки, прежде всего в отопительный период.

Расчётами по критерию минимума суммарных приведённых затрат было показано, что при использовании всей электрической мощности Белорусской АЭС в базовом режиме для электроснабжения республики около четверти мощности действующих КЭС, работающих на природном газе, должны быть выведены из работы, и значительная часть мощности всех действующих электростанций должна быть переведена из базового в маневренный режим.

Наиболее эффективное решение проблем прохождения минимума нагрузки и покрытия переменной части нагрузки энергосистем с АЭС — строительство гидроаккумулирующих электрических станций (ГАЭС). В часы минимума электропотребления агрегаты ГАЭС работают как насосы с потреблением электроэнергии из энергосистемы, а в часы максимума — как гидроэнергетические гидроагрегаты с генерацией пиковой мощности в энергосистему.

В то же время сооружение ГАЭС в равнинной Беларуси — крайне дорогостоящий проект. Поэтому экономически целесообразно рассмотреть проект комплексного использования АЭС Беларуси и Круонисской ГАЭС (Литва).

Использование Круонисской ГАЭС при вводе в эксплуатацию Белорусской АЭС позволит увеличить технический минимум электрической нагрузки объединённой энергетической системы (ОЭС) Беларуси на 868 МВт, а также снизить генерацию энергии на 900 МВт её собственными генерирующими источниками в часы минимума

нагрузок. Всё это в конечном итоге позволит решить проблемы прохождения суточного минимума и максимума нагрузок ОЭС Республики Беларусь без сооружения собственной ГАЭС.

Исследования системной экономической эффективности использования АЭС в Белорусской энергосистеме показали, что наибольший эффект достигается при условии экспорта части произведённой на ней электроэнергии в соседние страны в масштабе, позволяющей эксплуатировать действующие электрогенерирующие агрегаты, располагающие рабочим ресурсом.

Сейчас на рынке складывается благоприятная ситуация для реализации проектов по транзиту, а также экспорту электроэнергии из Беларуси в Европу – потребность в этом существует, растёт цена, а кроме того ширится движение «зеленых» по закрытию атомных электростанций. Беларусь могла бы пожинать дивиденды, если бы смогла активно транспортировать российскую электроэнергию на Запад и, помимо этого, приступить к самостоятельному экспорту электроэнергии. Такие попытки она предпринимает, однако, по мнению экспертов, вряд ли они могут стать масштабными – Европа не хочет связывать себя какими-то обязательствами с Беларусью по политическим мотивам.

УДК 002.2:004

## ПРОБЛЕМА УТИЛИЗАЦИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ЛАМП В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Цукрова М.В., Кудравец Ю.В.

Научный руководитель – к.э.н., доцент МАНЦЕРОВА Т.Ф.

Энергосберегающая лампа — электрическая лампа, обладающая существенно большей светоотдачей (соотношением между световым потоком потребляемой мощностью), например в сравнении с наиболее распространёнными сейчас в обиходе лампами накаливания. Благодаря этому замена ламп накаливания на энергосберегающие способствует экономии электроэнергии.

Энергосберегающие лампы, имея другую конструкцию и принципиально иной принцип работы, служат гораздо дольше ламп накаливания в среднем 5-15 раз. Это примерно от 5 до 12 тысяч часов работы лампы. Учитывая экономию на электроэнергии при использовании этих ламп и с их сроком службы, применение энергосберегающих ламп станет более выгодным, несмотря на цену в 10-20 раз больше обычной лампочки накаливания.

Энергосберегающая лампа наполнена внутри парами ртути. Ртуть считается опасным ядом. По этой причине энергосберегающие лампы можно отнести к экологически вредным, и поэтому они требуют специальной утилизации, а выбрасывать такие лампы, по сути, запрещено.

Мировой рынок энергосберегающих ламп сегодня делят три производителя: General Electric, Siemens (в форме подразделения Osram) и Philips. Однако монополия этих брендов оказалась под угрозой из-за роста конкуренции на рынке светодиодов со стороны азиатских компаний.

В стране существует 4 предприятия, занимающихся обезвреживанием отслуживших лампочек. Их станет еще больше, когда на Брестском электроламповом заводе заработает специальный участок по утилизации люминесцентных и других ртутных ламп с целью вторичного использования материалов. Реальной проблемой остается собрать энергосберегающие лампы у населения. Специалисты отмечают, что ситуация с приемом неисправных энергосберегающих ламп у частных лиц в Беларуси, мягко говоря, непростая. Один из самых эффективных шагов для упрощения сбора ртутьсодержащих приборов — организация пунктов приема на базе ЖЭС и ЖРЭО. Впрочем, существует ряд организаций, которые на безвозмездной основе принимают от населения неисправные и неповрежденные лампы и ртутные термометры, к примеру, ОАО «Белцветмет». Координаты пунктов приема энергосберегающих ламп в Минске и Гродно можно также найти на интерактивной Зеленой Карте.

С января по август 2012 года жители столицы и предприятия сдали на обезвреживание и переработку более 22 800 таких ламп. Это на 6200 больше, чем за аналогичный период прошлого года.

А вообще, проблема утилизации люминесцентных ламп в современном мире стоит достаточно остро. В том числе и в связи с ростом использования ртутных ламп в производстве и быту. Правда, учитывая постоянный рост стоимости мировых энергоресурсов, легко понять, что в ближайшее время альтернативы таким лампам не будет.

Пока на мировом рынке электроламп доминируют люминесцентные. Однако растет и доля более экономичных, хотя пока что дорогих светодиодов. По мнению аналитиков, скоро именно светодиоды превратятся в основной источник промышленного и городского освещения. Вот и Национальная академия наук, по

словам заместителя председателя президиума НАН Сергея Чижика, планирует освоить производство светодиодных приборов для автомобилей и тракторной техники. Сегодня уже ряд улиц Минска освещен такими видами светильников, экономия по энергии составляет 30%.

УДК 330.15

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

Соленик И.А., Гончарова М.О.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Унукович А.В.

Важным направлением в улучшении охраны природы и использовании природных ресурсов является определение адекватной цены или экономической оценки природных ресурсов и природных услуг.

Учет цены или оценки ресурсов позволит более обоснованно определить экономическую эффективность альтернатив развития. Применение оценок может существенно повлиять на выбор варианта капитального строительства.

Для экономической оценки месторождений полезных ископаемых в Республике Беларусь разработаны и утверждены «Правила стоимостной оценки месторождений полезных ископаемых».

Под стоимостной оценкой месторождений калийных солей понимается определение их экономической значимости для государственного регулирования отношений недропользования и решения задач развития минерально-сырьевой базы страны в целом.

Для стоимостной оценки в качестве основной исходной информации используются данные о промышленных запасах калийных солей по месторождениям, выявленным на территории Беларуси и числящимся на Государственном балансе запасов. Анализ производится на основе показателей годовой производительности горнодобывающего предприятия, общих капитальных вложений (инвестиций) в строительство добывающего и перерабатывающего предприятия, объемов производства конечной продукции на основе калийных солей, годовых производственных затрат, отпускной цены единицы товарного продукта. В данной работе приведены показатели оценки рыночной стоимости запасов калийных солей месторождения «Старобинское» Минской области.

Среди имеющихся подходов к определению экономической ценности природных ресурсов и природных услуг, которые позволяют получить конкретную оценку, можно выделить такие подходы, которые базируются на:

- рыночной оценке;
- ренте;
- затратном подходе;
- альтернативной стоимости;
- общей экономической ценности (стоимости).

**Актуальность** данной работы обусловлена тем, что Беларусь играет существенную роль в формировании мирового рынка калийных удобрений, обеспечивая 39% мирового экспорта калийных удобрений.

В Беларуси выпуск хлористого калия осуществляется на 4-х шахтах ОАО «Беларуськалий», располагающего 15,5 % мировых мощностей. Добыча и переработка калийных солей в высококачественные минеральные удобрения обеспечивают стране не только прирост урожайности сельскохозяйственных культур, но и является одним из источников валютных поступлений за счет экспорта продукции.

Для Беларуси добыча и использование калийных солей не только инструмент собственной продовольственной безопасности, но и важнейший экономический ресурс

развития. Средства, полученные от экспорта калийных удобрений, составляют 25 % валового национального продукта.

Калийные соли имеют широкое применение в различных отраслях народного хозяйства, являются основным сырьём для получения калийных удобрений, металлического калия и его соединений.

К основным вопросам, исследуемым в данной работе, можно отнести:

- Анализ экономической оценки месторождений калийных солей;
- Основные критерии определения экономической ценности калийных солей;
- Оценка рыночной стоимости запасов калийных солей месторождения «Старобинское» Минской области.

В настоящее время встаёт вопрос о «экологической неполноценности» современной экономики. Весьма распространено занижение цены природного блага или даже его нулевая оценка. Поэтому реальные цены природных ресурсов могут стать эффективными рычагами в рыночном механизме.

На сегодняшний день проведение стоимостной оценки минерально-сырьевых ресурсов является одной из самых актуальных задач. Ее решение позволит не только планомерно подойти к вопросу рационального, экономически обоснованного освоения имеющейся минерально-сырьевой базы, но и значительно усовершенствовать налоговую политику в части взимания налогов и других платежей за добычу полезных ископаемых с целью увеличения доходной части республиканского бюджета.

УДК 339.137.2

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ КОНКУРЕНЦИИ

Лапинский Я.А.

Научный руководитель - ст. преподаватель Кравчук Е.А.

Несмотря на крики о пользе конкуренции, никто ее не любит. А некоторые прямо маскируют борьбу с конкуренцией защитой чьих-нибудь прав. Профессиональные объединения и некоммерческие организации любят говорить о высоком качестве услуг. И тем самым создавать у клиентов впечатление, что качество является следствием членства в их объединении. То есть современная конкуренция — это борьба за право стать монополистом. Пусть временно, но иметь возможность диктовать свои условия или выбирать клиентов. А уж современных методов конкуренции используется очень много. О них и пойдет речь.

1. Ценовая конкуренция. Самый тупиковый путь развития бизнеса. Причин много. Например, если клиенту важны небольшие деньги, он постоянно будет давить в этом направлении или его в любой момент могут легко переманить. Хороша как способ быстро зайти на рынок и потом все равно поднять цены, но сейчас на это мало кто ведется.

2. Конкуренция качеством. Позволяет удерживать клиента вечно. Из минусов — много потенциальных клиентов уходит из-за высоких цен. Из плюсов — много убежавших клиентов потом возвращается, понимая, что деньги не свои, чего их жалеть.

3. Конкуренция себестоимостью. Когда все финансовые схемы оптимизированы, все скидки из поставщиков выбиты, а бизнес-процессы отлажены, остается только снижать качество или увеличивать риски.

4. Технологическая конкуренция. То есть использование технологий, которые есть не у всех. Недолговечная.

5. HR-конкуренция. То есть наличие человеческих ресурсов, которых нет у конкурентов. Дорогой способ, но очень эффективный. Возможно, за ним будущее. Чем больше работы будут делать роботы, тем больше будет цениться человек. А роботы заменят большинство линейного персонала (водителей, продавцов, рабочих, администраторов, официантов, вахтеров, охранников) уже через 10-15 лет.

6. Документарная конкуренция. Защита своего продукта патентами, лицензиями и прочими юридическими приемами. Метод умирающий, но все еще действенный. Любой закон можно обойти или «нарушить» его в другой юрисдикции.

7. Использование административного ресурса. Бизнес, основанный на связях или ресурсе, не будет вечным, но за короткий период можно заработать очень много.

УДК 502.51:311

## СТАТИСТИКА ПО СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОДЫ В ГОРОДЕ МИНСКЕ

Лапинский Я.А.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Манцерова Т.Ф.

Вклад в экологическую обстановку города вносит и качество водопроводной воды. Здесь важно добывается ли она из артезианской скважины или поверхностного источника. В последнем случае питьевая вода трижды хлорируется, и это приводит к снижению ее качества. Потребление воды на одного жителя в Минске — 380 литров в сутки, что выше, чем в большинстве стран Европы. Сегодня 30% питьевой воды в Минске поступает из наружных источников и 70% - из подземных.

Север и восток столицы, включающие Центральный, Советский, Первомайский, Партизанский и Заводской районы, кроме микрорайонов Чижовка, Шабаны, Малый Тростенец, получают воду из подземных источников. Эта вода соответствует гигиеническим требованиям и не имеет особенностей. Юг города - Ленинский, Октябрьский район, микрорайоны Чижовка, Шабаны, Малый Тростенец имеют водоснабжение из подземных источников "Острова", "Фелицианово". В этой воде присутствует повышенное содержание железа. Запад и Юго-Запад города – Московский, Фрунзенский районы и Октябрьский район в границах с Московским потребляют воду с поверхностного водоисточника Вилейско-Минской водной системы.

Наибольшее количество жалоб минчан связано с проблемами мутности, привкуса и запаха питьевой воды, к которому приводит повышенное содержание железа. Являясь безопасной для здоровья человека, концентрация на уровне 0,3 мг/куб. дм вызывает рост «железобактерий» на внутренней поверхности труб. При изменении водопотока гидроокись со стенок поступает потребителю, повышая мутность.

На водозаборах Минска наблюдаются высокие уровни нитратного загрязнения подземных вод. Нитраты в подземных водах достаточно устойчивы и способны распространяться на значительные расстояния. На одном из самых старых водозаборов г. Минска - "Новинки", нитратное загрязнение фиксируется до глубины 200м. Аналогичная ситуация складывается и на другом групповом водозаборе г. Минска — "Зеленовка", в пределах западного крыла которого (район Севастопольского парка), во многих скважинах наблюдается загрязнение вод нитратами.