Администрация городского округа – город Волжский
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
Филиал МЭИ в г. Волжском
ООО «ЛУКОЙЛ-Волгоградэнерго»
ПАО «Россети»
Филиал АО «СО ЕЭС» «Объединенное диспетчерское управление энергосистемами Юга»
АО «Волжский трубный завод»
Филиал ПАО «Россети Юг» – «Волгоградэнерго»
Филиал ПАО «РусГидро» – «Волжская ГЭС»
Филиал ПАО «ФСК ЕЭС» – «Магистральные электрические сети Центра»

ИННОВАЦИИ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, ПОСВЯЩЕННАЯ 25-ЛЕТИЮ ФИЛИАЛА МЭИ В Г. ВОЛЖСКОМ

г. Волжский
18–19 мая 2020 года

Сборник материалов конференции

ВОЛЖСКИЙ МЭИ 2020

УДК 620.9+621+681.5
ББК 31

Организационный комитет:
Султанов М.М. (председатель), Драгунов В.К., Аракелян Э.К., Шестопалова Т.А., Кульков В.Г., Одоевцева М.В., Зенина Е.Г., Болдырев И.А., Курьянов В.Н., Трохимчук М.В., Кущ Л.Р.

Инновации и цифровизация в энергетике: Международная научно-практическая конференция, посвященная 25-летию филиала МЭИ в г. Волжском, г. Волжский, 18–19 мая 2020 г.: сборник материалов конференции. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2020. – 223 с.

ISBN 978-5-94721-150-4

Сборник материалов международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию филиала МЭИ в г. Волжском, освещает актуальные проблемы в области инновационного развития и цифровой трансформации в тепло- и электроэнергетике. Сборник предназначен для студентов, аспирантов, преподавателей вузов и специалистов энергетических предприятий, интересующихся указанными выше направлениями науки и техники.

Тексты материалов, представленные авторами, сверстаны и при необходимости сокращены. Как правило, сохранена авторская редакция.

Печатается по решению Учебно-методического совета филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском.

УДК 620.9+621+681.5
ББК 31

ISBN 978-5-94721-150-4

© Авторы, 2020
© Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2020

СЕКЦИЯ № 1

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Председатель: ***Курьянов В.Н.*** – канд. техн. наук, доцент
Секретарь: ***Милитонян Ш.М.*** – ассистент

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМА РАБОТЫ НЕЙТРАЛИ

Гладков В.А. – магистрант
Науч. рук. ***Зенина Е.Г.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлены расчетные значения коэффициентов перенапряжения, полученные в результате моделирования однофазных замыканий на землю в электрической сети и снятия осциллограмм поведения параметров в зависимости от режима работы нейтрали.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: однофазные замыкания на землю, перемежающаяся дуга, перенапряжение, режимы работы нейтрали.

ABSTRACT. The article presents the calculated values of the overvoltage coefficients obtained as a result of modeling single-phase earth faults in the electric network and taking oscillograms of the behavior of the parameters depending on the operating mode of the neutral.

KEYWORDS: single-phase earth fault, alternating arc, overvoltage, neutral operating modes.

Виды однофазных замыканий на землю и режима работы нейтрали влияют на алгоритм устройства защиты распределительных электрических сетей и уровень перенапряжений при возникновении повреждений. Для исследования зависимости режима работы нейтрали на уровень перенапряжения в сети необходимо промоделировать поведение параметров электрической сети при устойчивом и дуговом ОЗЗ, и произвести оценку полученных коэффициентов перенапряжения для каждого исследования.

Исследование поведения параметров электрической сети при устойчивых и дуговых ОЗЗ с изолированной, компенсационной и резистивной нейтралью будет производиться по схеме электрической сети, показанной на рис. 1.

Модель исходной схемы электрической сети составлена в программном комплексе *Simulink* с интегрируемой средой *MATLAB* по методическим рекомендациям [1, 2] и представлена на рис. 2. Данная модель включает в себя систему

System, представляющую собой трехфазный источник с возможностью подсоединения к нейтрали различного оборудования, секцию шин КТП, от которой отходят кабельные линии *KL1*, *KL4*, к которой подключена *Внешняя сеть* и *Трансформатор напряжения*. Блок *Модель ОЗЗ* моделирует однофазное замыкание на землю. Также имеется возможность подключения ДГР *L* и низкоомного резистора *RN* к нейтрали сети. На осциллограф выводятся ток замыкания *Iz*, напряжения трех фаз и напряжение на нейтрали. С помощью блока RMS вычисляется действующее значение тока ОЗЗ.

Всего в модели исследуется пять видов ОЗЗ: устойчивое, однократное по теории Петерсена, ДПОЗЗ по теории Петерсена, однократное по теории Петерса-Слепяна, ДПОЗЗ по теории Петерса-Слепяна. Каждый из видов ОЗЗ моделируется для четырех различных режимов заземления нейтрали: изолированная нейтраль, заземление через ДГР, заземление через ДГР в режиме недокомпенсации, высокоомное заземление нейтрали.

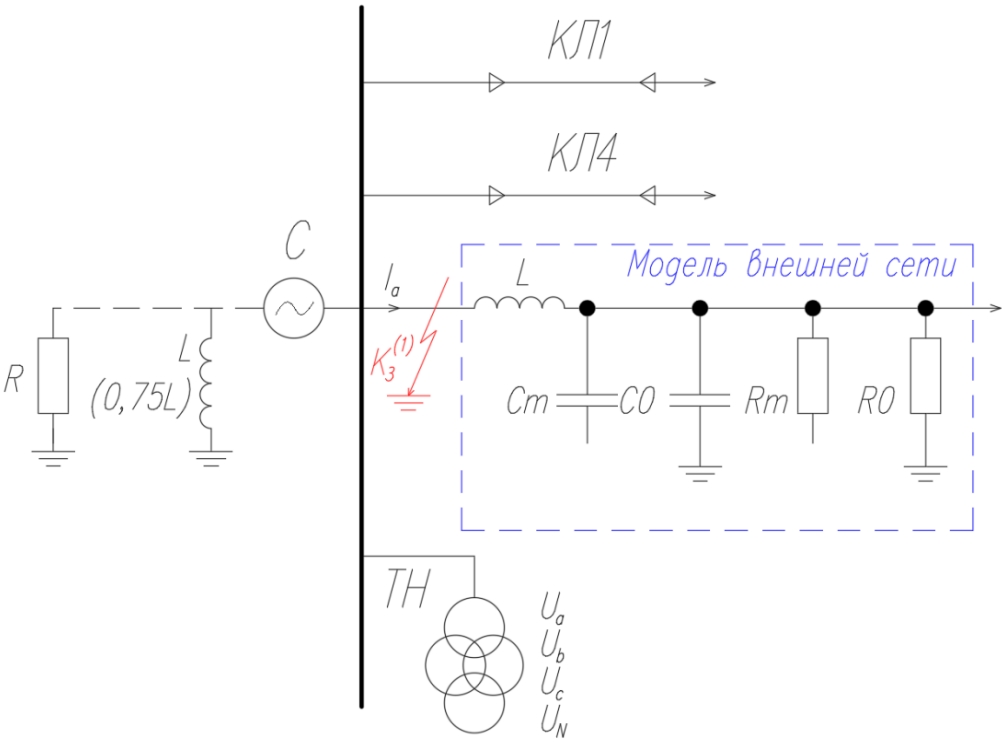

Рис. 1. Исходная схема электрической сети

В режиме изолированной нейтрали при устойчивом ОЗЗ напряжение поврежденной фазы падает до 0 в установившемся режиме, а напряжения на неповрежденных фазах возрастают до линейных значений, при этом напряжение на нейтрали равно номинальному напряжению на поврежденной фазе, взятому с обратным знаком. Демонстрация поведения параметров сети при устойчивом ОЗЗ показана на рис. 3. При этом действующее значение тока в месте замыкания равно 24,24 А, согласно рис. 4.

Коэффициент перенапряжения находится по формуле

$$K_{\text{п}} = \frac{U_m}{U_{\text{ф.ном}}}, \qquad (1)$$

где U_m – наибольшее значение напряжения за время контроля, В; $U_{\text{ф.ном}}$ – номинальное напряжение сети, В.

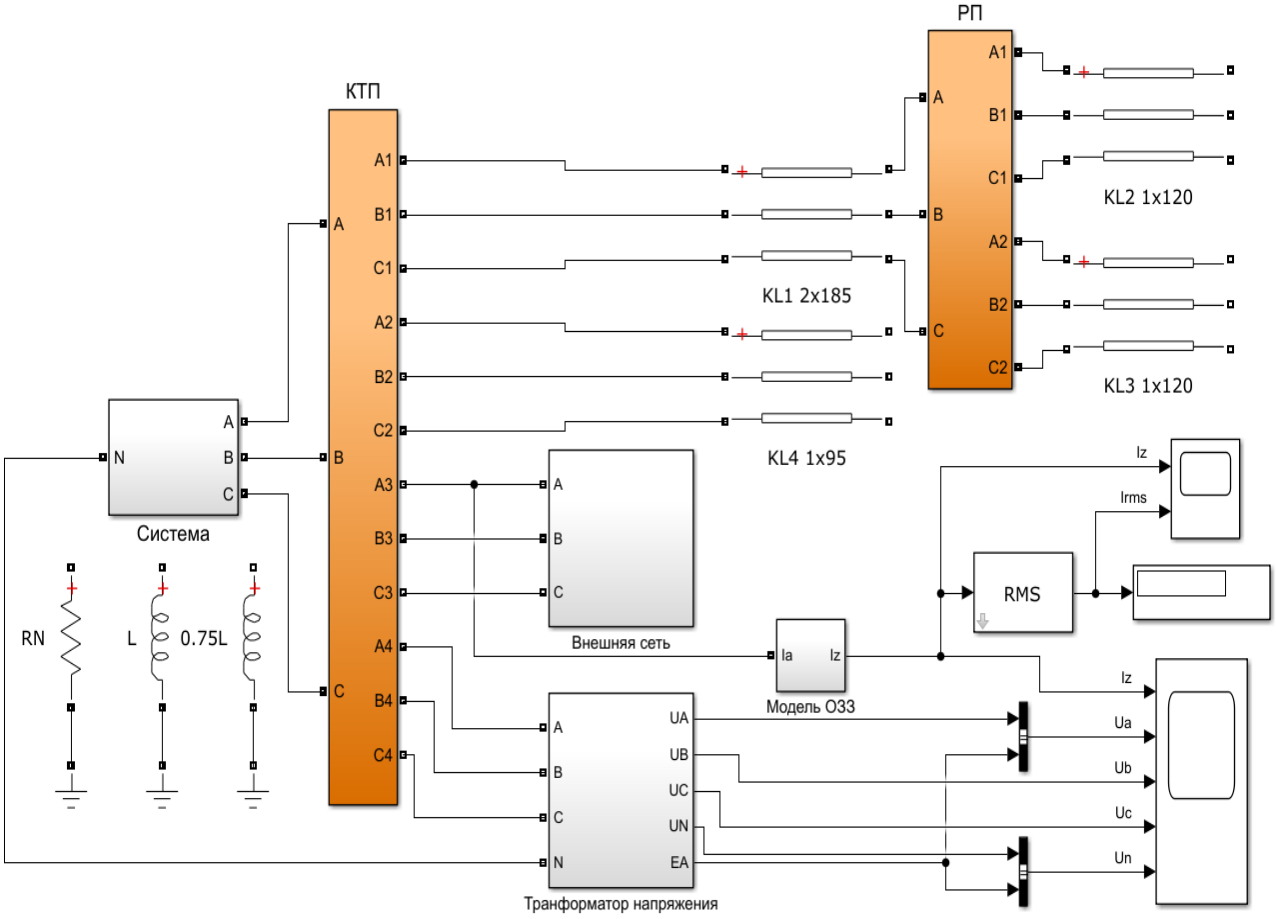

Рис. 2. Схема модели исследуемой сети

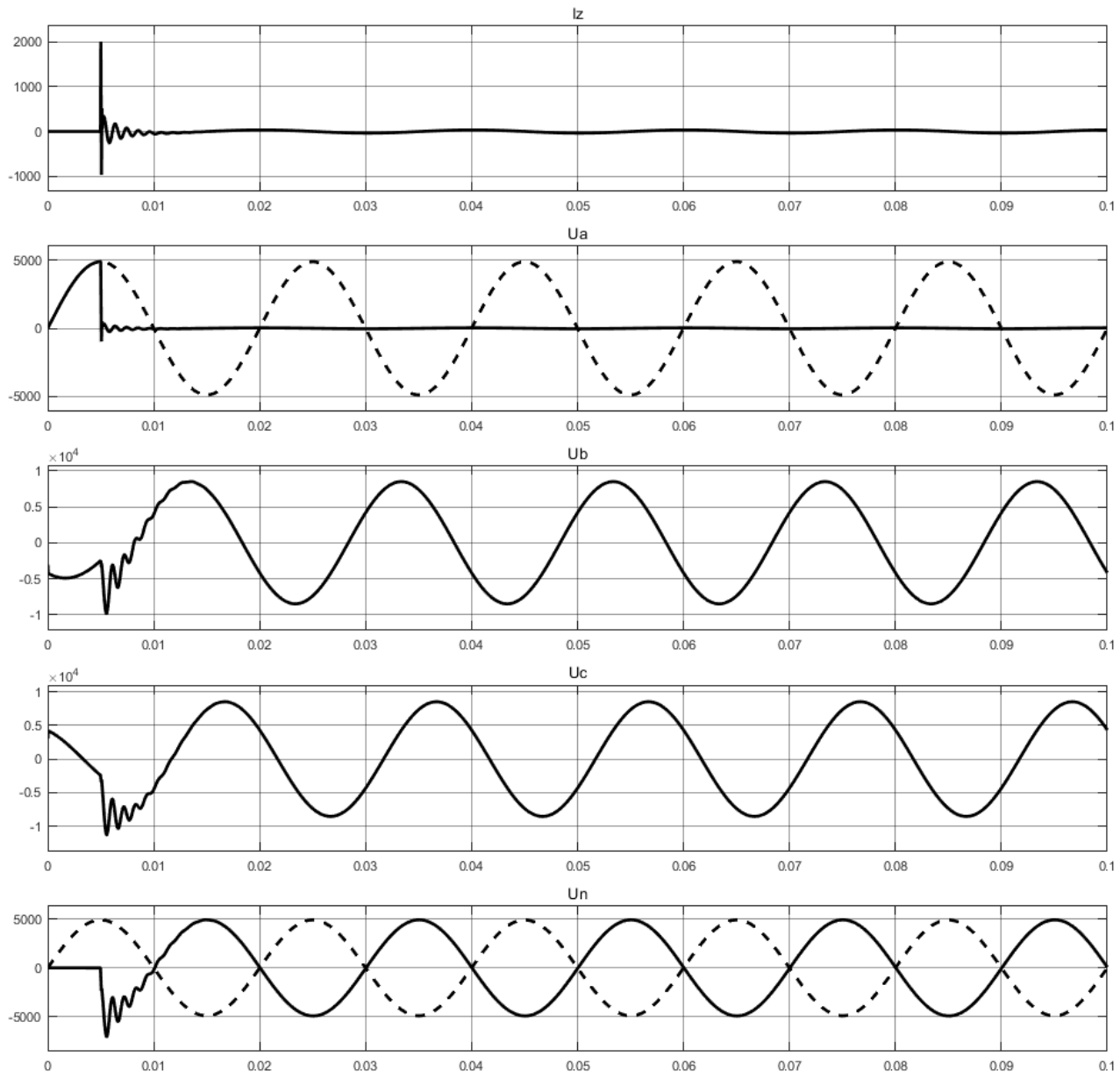

Рис. 3. Демонстрация поведения параметров сети
с изолированной нейтралью при устойчивом ОЗЗ

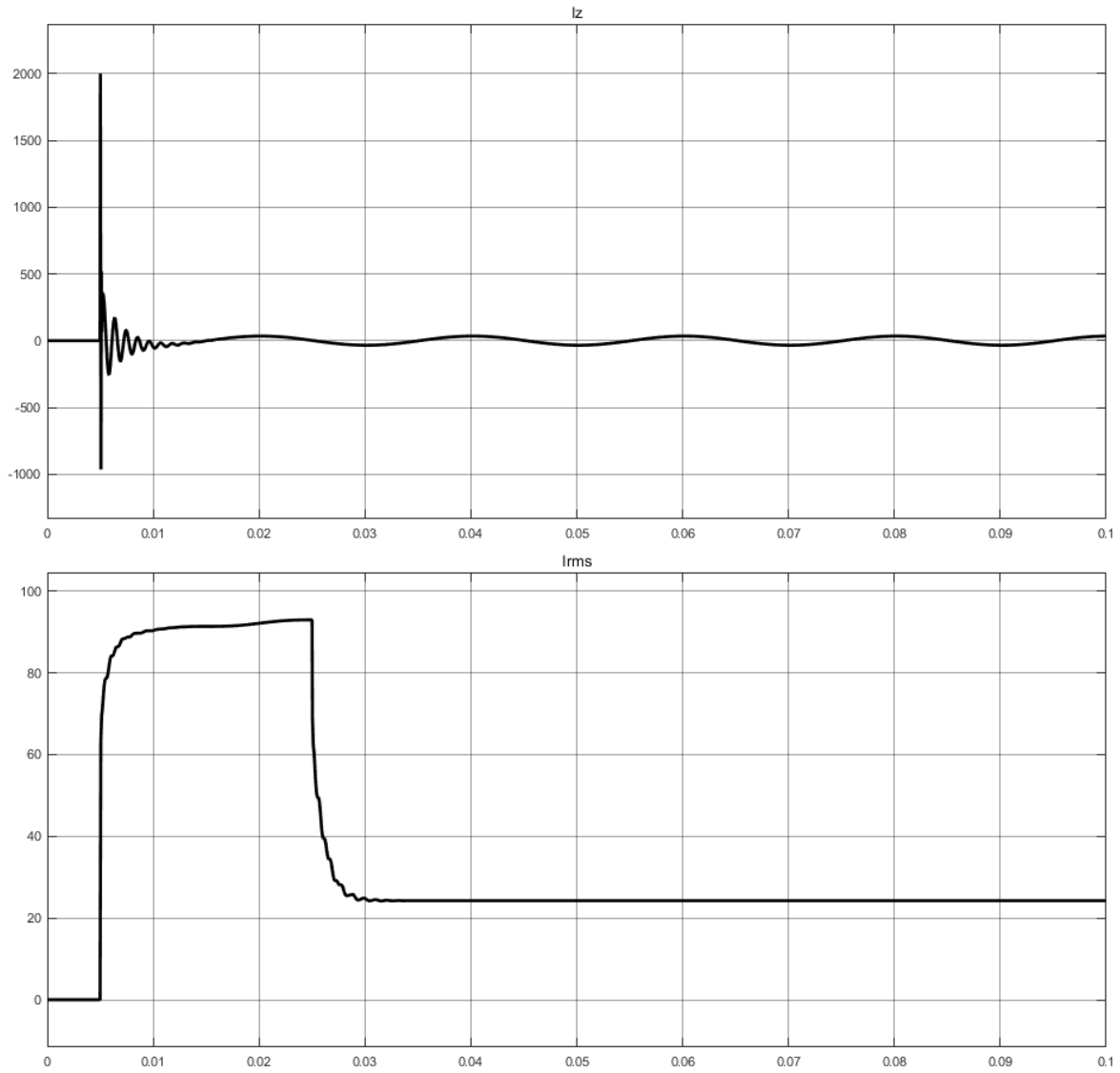

Рис. 4. Мгновенное и действующее значения тока замыкания при устойчивом ОЗЗ

В этом случае коэффициент перенапряжения при устойчивом ОЗЗ по формуле (1) составляет

$$K_{\text{п}} = \frac{U_m}{U_{\text{ф.ном}}} = \frac{U_{\text{В}}}{U_{\text{ф.ном}}} = \frac{8470}{\sqrt{2} \cdot 6000/\sqrt{3}} = 1{,}728.$$

При переходном процессе определяем аналогично:

$$K_{\text{П В}} = \frac{U_{\text{В}}}{U_{\text{ф.ном}}} = \frac{9850}{\sqrt{2} \cdot 6000/\sqrt{3}} = 2{,}01;\ K_{\text{П С}} = \frac{U_{\text{С}}}{U_{\text{ф.ном}}} = \frac{11300}{\sqrt{2} \cdot 6000/\sqrt{3}} = 2{,}31.$$

На фазе *C* коэффициент перенапряжения получился больше, в дальнейших опытах коэффициент перенапряжения будем оценивать по фазе *C*.

Таким образом, для изолированной нейтрали

$$K_{\text{П уст.}} = 1{,}728; \quad K_{\text{П проб.}} = 2{,}31.$$

Аналогичные исследования проводим для каждого вида ОЗЗ и режима работы нейтрали, полученные значения коэффициентов перенапряжения сводятся в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты перенапряжения для каждого из исследований

Вид повреждения	**Изолированная нейтраль**	**Заземление через ДГР**	**Заземление через ДГР при расстройке компенсации**	**Заземление нейтрали через высокоомный резистор**
$К_{\text{П уст.}}$	$\sqrt{3}$	$\sqrt{3}$	$\sqrt{3}$	$\sqrt{3}$
$К_{\text{П проб.}}$	2,31	2,30	2,30	2,25
$К_{\text{П Пет. 1 кр.}}$	2,49	2,33	2,33	2,25
$К_{\text{П Пет. ДПОЗЗ}}$	3,74	2,33	3,20	2,3
$К_{\text{П П-С 1 кр.}}$	2,31	–	–	2,25
$К_{\text{П П-С ДПОЗЗ}}$	2,90	–	–	2,29

По данной таблице можно сделать выводы, что в установившемся режиме работы сети режим работы нейтрали не влияет на коэффициент перенапряжения. При переходном процессе коэффициенты токораспределения для каждого из опытов примерно равны.

Наибольшие значения перенапряжений при различных видах ОЗЗ наблюдаются для сети с изолированной нейтралью. Для данного режима заземления нейтрали наблюдается высокая вероятность возникновения ДПОЗЗ, сопровождающегося большим током замыкания, так как на максимуме напряжения мгновенное значение будет высоким из-за высокой апериодической составляющей.

При резонансном заземлении нейтрали наблюдаются наименьшие коэффициенты перенапряжений. Ток устойчивого замыкания такого режима близок к нулю, так как ДГР настроен в резонанс с суммарной емкостью. В данном режиме напряжение на поврежденной фазе восстанавливается очень медленно, что значительно уменьшает вероятность повторных пробоев изоляции. При расстройке компенсации коэффициенты перенапряжений возрастают.

При высокоомном заземлении нейтрали ток устойчивого замыкания возрастает в 1,41 раза. Данный режим заземления можно применять в сетях с небольшим суммарным емкостным током. Напряжение на поврежденной фазе достаточно быстро восстанавливается. При ДПОЗЗ значения перенапряжений

повторных пробоев не превышают значение первого пробоя. Это является основным достоинством такого способа заземления нейтрали. Значения перенапряжений при этом наименьшие из всех вариантов заземления нейтрали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяконов, В.П. Matlab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании / В.П. Дьяконов // Серия «Библиотека профессионала». – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 576 с.

2. Лазарев, Ю. Моделирование процессов и систем в Matlab: учебный курс / Ю. Лазарев. – СПб.: Питер, 2005. –512 с.

АНАЛИЗ СРЕДСТВ И СПОСОБОВ ОБНАРУЖЕНИЯ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ 110 КВ И ВЫШЕ

Фирсов Ю.В.[1] – магистрант
Норов Дж. Ш.[2] – магистрант
Науч. рук. ***Курьянов В.Н.***[2] – канд. техн. наук, доцент
[1]ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
[2]Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье проведен анализ средств и способов обнаружения мест повреждений на воздушных линиях электропередачи напряжением 110 кВ и выше. Выявлены недостатки и причины малого применения. Предложены характеристики для разработки нового устройства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: линии электропередачи, место повреждения, индикаторы перекрытия.

ABSTRACT. The article analyzes the means and methods of detecting places of damage on overhead power lines with voltage of 110 kV and higher. Deficiencies and causes of small use are identified. Characteristics for developing a new device are proposed.

KEYWORDS: power lines, damage location, overlap indicators.

Введение

Транзит электроэнергии в масштабах страны происходит по воздушным линиям (далее ВЛ) напряжением 110 кВ и выше. Для потребителей Волгоградской области основным является транзит по сети 110 кВ. Анализ сети 110 кВ Волгоградской области указывает на то, что 98 % всех ВЛ было построено в прошлом столетии и имеет срок эксплуатации более 25 лет.

Основными причинами аварийности являются следующие факторы: повреждение провода и грозозащитного троса (15 %), грозовая активность (8 %), отключения в результате жизнедеятельности птиц (14 %), перекрытие изоляции

и воздушного промежутка между проводом и траверсой (вдоль изоляции) (56 %) и другие причины (7 %).

До 2017 года ситуация по причинам аварийных отключений ВЛ напряжением 110 кВ сильно отличалась, и основной формулировкой являлась «Причина не установлена» – это составляло 70–80 % от аварийных отключений с успешным АПВ. В большей степени это было вызвано тем, что при перекрытии изоляции зачастую остаются крайне незначительные следы в виде тонких отслоений стекла на верхней части изолятора и мелких крапинок – меток кратковременного термического воздействия электрической дуги на траверсе и проводе, которые с земли даже в бинокль не всегда возможно разглядеть.

С 2017 года усилена работа в направлении снижения аварийных отключений ВЛ, в том числе с неустановленными причинами, что послужило стимулом к более тщательному обследованию ВЛ, но также привело к увеличению внепланового вывода оборудования в ремонт.

Дистанционное определение мест повреждения

Для определения места повреждения большинство ВЛ оснащены разного вида приборами. Как правило, эти приборы установлены на подстанциях и зона их действия перекрывает несколько линий, включая оборудование подстанций.

Работа этих приборов направлена на определение расстояния от места короткого замыкания до места их установки, при этом используются следующие основные методы.

1. *Импульсный метод*. В основе его лежит измерение временных интервалов при распространении электромагнитных волн по проводам ВЛ.

2. *Индукционный метод*. Он основан на фиксации параметров магнитного поля токов, которые протекают по проводам и в почве вдоль трассы ВЛ.

Точность вышеуказанных приборов снижает ряд факторов, таких как: состояние проводов ВЛ и их соединений, состояние оборудования промежуточных подстанций, режимы сети и др. Учитывая эти факторы, а также «паспортно-допустимую» погрешность, показания приборов определения мест повреждения, установленных на подстанции, могут отличаться от фактических на несколько сот метров и даже на несколько километров.

В тех случаях, когда явных следов короткого замыкания не выявлено, необходимо внепланово ВЛ выводить в ремонт и производить верховой осмотр нескольких опор, а иногда – несколько десятков опор. Это приводит к снижению надежности сети, причем на тупиковых ВЛ к отключению потребителя на время поиска места короткого замыкания.

Современные разработки приспособлений для определения места повреждения на ВЛ, устанавливаемых на опорах

Для определения путей прохождения токов короткого замыкания непосредственно на месте (на опоре) разработан ряд устройств и приспособлений. Работа ведется и в настоящее время, что указывает на актуальность проблемы.

Так, Иванисенко А.А. в 2019 году предложил модель индикатора перекрытия изолятора [1], состоящую из кронштейна, сигнализирующего устройства и плавкой вставки. Согласно полезной модели, представленной на рис. 1, сигнализирующее устройство состоит из двух частей, соединенных посредством шарнирного соединения, снабженного пружиной. Такое выполнение индикатора, кроме того что позволяет при визуальном осмотре с земли определить изолятор, требующий обслуживания, также дает возможность повторно ввести индикатор в эксплуатацию без демонтажа, вернув сигнализатор в исходное положение.

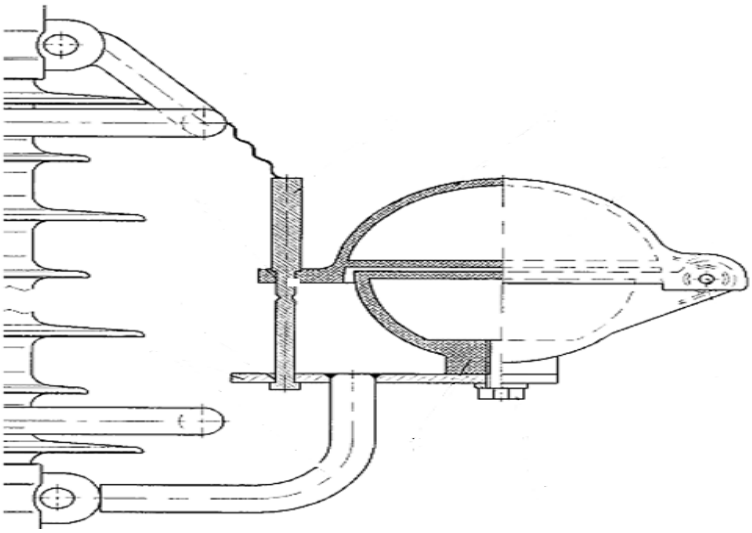

Рис. 1. Индикатор перекрытия Иванисенко А.А.

Однако оно также имеет существенные недостатки:

– крепление индикатора предусмотрено в нижней части подвески, что значительно затрудняет его монтаж и обслуживание на повышенных опорах, где повышена вероятность прямого попадания молнии;

– наличие кронштейна и вынос устройства за габариты подвески способствует зацепке и аккумуляции мусора принесенного ветром или птицами, что, в свою очередь, приведет к перекрытию изоляторов.

Огромная работа проведена Дзюбиным А.С. Он за последние два года (2018–2019 гг.) разработал и запатентовал несколько индикаторов перекрытия и пробоя изоляторов.

В патенте RU № 189816 U1 [2] представлен индикатор перекрытия и пробоя изолятора, включающий в себя элемент крепления (в виде выносного кронштейна), сигнальный элемент, разрушаемый элемент и дугоприемный элемент, причем разрушаемый элемент включает в себя разрядную камеру, имеющую диэлектрические стенки и снабженную электродами, соединенными с элементом крепления и дугоприемным элементом, и механически соединяет сигнальный элемент и элемент крепления (рис. 2). В принципе работы индикатора заложено разрушение разрядной камеры и падение сигнального элемента.

Недостатки конструкции:

– разрядная камера разрушаемого элемента должна быть герметичной, что не представляется возможным поддерживать длительное время в условиях эксплуатации ВЛ (перепады температур, суховеи, прямые солнечные лучи и т. д.);

– падение сигнального элемента приводит не только к его потере, но и может нанести ущерб;

– наличие кронштейна, габариты сигнального устройства и его вынос за габариты подвески способствуют зацепке и аккумуляции мусора, принесенного ветром или птицами, что в свою очередь приведет к перекрытию изоляторов;

– учитывая сложность конструкции, она будет иметь значительную себестоимость.

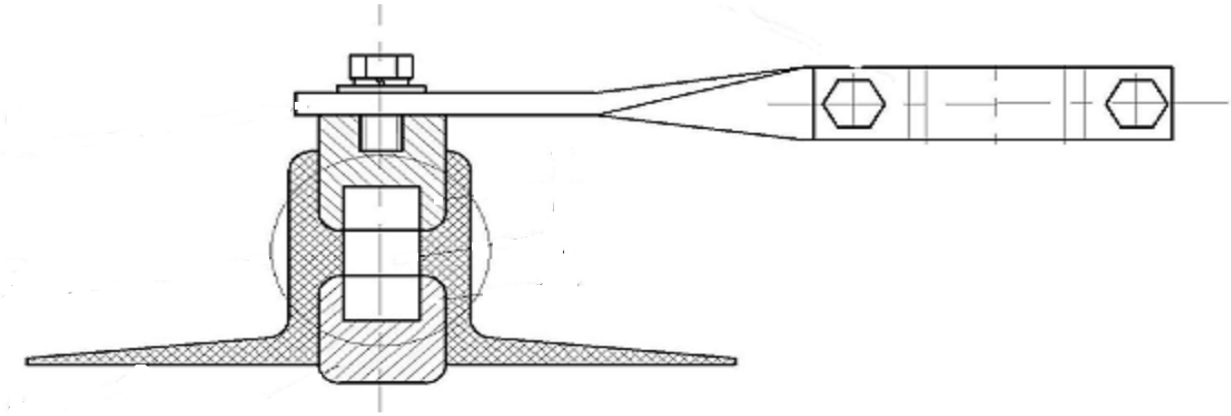

Рис. 2. Индикатор перекрытия и пробоя изолятора

Дзюбин А.С. в двух патентах [3, 4] представляет индикатор пробоя изолятора (рис. 3), выполненный в виде экрана для защиты от коронного разряда и выравнивания напряженности электрического поля, который имеет сигнальный элемент и как минимум один разрушаемый под действием электрического тока элемент. Причем сигнальный элемент (или его часть) закреплен на изоляторе через разрушаемый элемент (спицы) с обеспечением возможности изменения положения сигнального элемента в результате разрушения разрушаемого элемента. При срабатывании индикатора в результате пробоя или перекрытия изолятора сигнальная часть падает вниз или меняет свое пространственное положение.

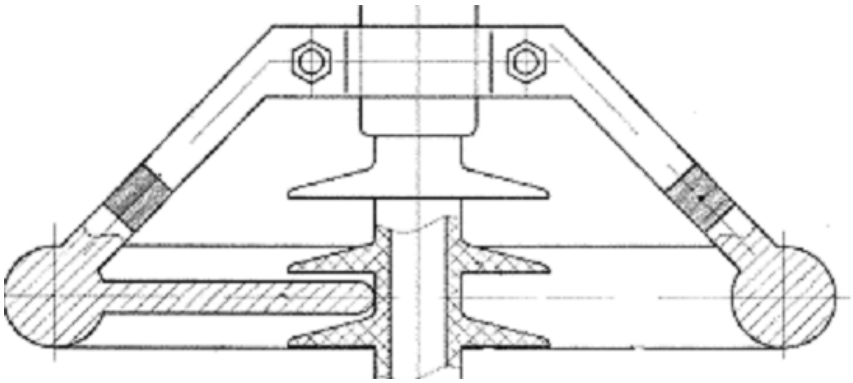

Рис. 3. Индикатор пробоя изолятора

Данное устройство просто, надежно, крепится без разбора существующих конструкций. Автор считает возможным его применение не только на полимерных изоляторах, но и на стеклянных и фарфоровых.

Однако в процессе эксплуатации полимерных изоляторов, с закрепленными на них посредством болтового соединения экранами, зафиксированы случаи откручивания болтов и падения колец экранов (что и предлагает Дзюбин А.С.). При этом в некоторых случаях кольца падали до нижних экранов, а в некоторых – цеплялись за ребра и повисали на теле изолятора, шунтируя значительную его часть. Следует полагать, что если использовать такой индикатор на гирляндах стеклянных или фарфоровых изоляторов, где ребра не будут эластичными и будут выступать гораздо сильнее, частота зависания сигнального элемента будет очень высокой.

У гирлянды изоляторов может выйти из строя несколько штук (например, на ВЛ-110 кВ разрушится 3–4 стеклянных изолятора из 9 шт.), оставшаяся часть (5–6 шт.) будет исправно работать, исключая повторное отключение. При установке индикатора такого принципа действия имеется большая вероятность, что сигнализатор зацепится за первый целый изолятор, при этом перекрыв следующий за ним и создав тем самым устойчивое повреждение и отключение ВЛ.

Вывод

Несмотря на значительное количество разработок, широкого применения подобные изобретения не находят. Основными причинами, препятствующими внедрению изобретений, являются: сложность монтажа, высокая себестоимость, недостатки конструкции, неспособность длительное время сохранять работоспособность, невозможность повторного использования.

Решением проблемы может стать модель, основанная на имеющихся разработках, или принципиально новая, которая будет проста в конструкции и будет длительное время выдерживать условия эксплуатации. Так как основная масса ВЛ эксплуатируется продолжительный срок, значительные вложения в них маловероятны. Важную роль во внедрении модели будет играть себестоимость изделия и возможность установки эксплуатирующим персоналом.

При проектировании новых линий необходимость установки устройств индикации пробоя и перекрытия изоляторов необходимо предусматривать на стадии выдачи технического задания. В целом на стоимости проекта и строительстве воздушных линий электропередачи это не скажется, но на эксплуатации ВЛ скажется крайне положительно и снизит потери на недоотпуск электроэнергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Патент RU № 190784 U1, МПК H01H 71/00 (2006.01), СПК H01H 71/00 (2019.02).** Индикатор перекрытия полимерного изолятора / Иванисенко А.А.; опубл. 12.07.2019.

2. **Патент RU № 189816 U1, МПК H01B 17/46(2006.01), СПК G01R 31/08(2019.05), H01B 17/46 (2019.05).** Индикатор пробоя и/или перекрытия изолятора с разрядной камерой / Дзюбин А.С.; опубл. 05.06.2019.

3. **Патент RU № 187994 U1, МПК G01R 31/08 (2006.01), СПК G01R 31/08 (2018.08).** Изолятор с индикатором пробоя изолятора / Дзюбин А.С.; опубл. 26.09.2019.

4. **Патент RU № 187995 U1, МПК G01R 31/08 (2006.01), СПК G01R 31/08 (2018.08).** Индикатор пробоя изолятора / Дзюбин А.С.; опубл. 26.03.2019.

ИНТЕРНЕТ ЭНЕРГИИ. MICROGRID

Агринский А.Е.[1] – ученик 11-го класса
Науч. рук. ***Агринская С.А.***[2] – канд. техн. наук
[1]МОУ СШ № 30 г. Волжского
[2]Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье рассмотрены вопросы, связанные с применением такой технологии, как «Интернет энергии». Кроме того, исследована эффективность использования микроэнергосистем Microgrid для удаленных энергопотребителей, использующих различные комбинации альтернативных источников энергии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: цифровизация, распределенная энергетика, интернет энергии, микрогрид, возобновляемая энергия, ветрогенератор.

ABSTRACT. The article deals with issues related to the use of such technology as "Internet energy". In addition, the efficiency of using Microgrid micro-energy systems for remote energy consumers using various combinations of alternative energy sources has been studied.

KEYWORDS: digitalization, distributed energy, the Internet of energy, Microgrid, renewable energy, wind generator.

Изменения, которые в настоящее время происходят в современной энергетике, уже через несколько лет существенным образом изменят и саму отрасль, и нашу жизнь.

Архитектура электроэнергетической системы, которая, в отличие от традиционной, является децентрализованной системой и в которой производители и потребители энергии могут свободно обмениваться энергией, получила название «Интернет энергии».

Ключевой тенденцией развития глобального рынка является рост спроса на энергию, особенно в менее развитых странах. Согласно прогнозу, к 2035 году человечеству понадобится электричества на 60 % больше, чем сегодня. А благодаря развитию «Интернета энергии» рынок сформируется таким образом, что электроэнергетическая система станет более распределенной и доступной, как сотовая связь и Интернет. Появятся более эффективные системы накопления энергии, поэтому энергия станет дешевле. Кроме того, к участникам рынка присоединятся «умные вещи» и будет создана инфраструктура распределительных сетей 110 кВ и ниже.

Технологии «Интернета энергии» хорошо подходят для малой энергетики, или микрогрид (англ. microgrid). Это микроэнергосистемы, которые формируются для снабжения электроэнергией локальных групп электропотребителей и которые испытывают затруднения с обеспечением надежного и качественного электроснабжения. Как правило, это потребители в обособленных поселках, не имеющих связей с большой энергосистемой, либо имеющих слабые связи (удаленный поселок, фермерское хозяйство, лагерь полярников, геологов, археологов и др.).

Microgrid – это система, которая, как правило, работает при подключении к глобальной сети, однако в любой момент Microgrid может отключиться от нее и работать за счет выработки своей собственной энергии. Кроме того, эти «умные» электросети способны успешно использовать возобновляемые источники энергии (ВИЭ), которые в настоящее время становятся все популярнее.

В состав Microgrid может входить любая комбинация генерирующих источников электроэнергии и ее потребителей (рис. 1). Генерирующие объекты могут быть представлены как традиционными источниками, так и малыми гидростанциями и ВИЭ (в основном ветроустановками и солнечными станциями).

Рис. 1. Типичная сеть Microgrid

Основным драйвером для продвижения Microgrid на рынке электроэнергии стала задача обеспечения энергоэффективности. С самого начала ее решением считался целенаправленный поиск потенциальных источников энергосбережения. В области генерирующих мощностей инвесторы активно поддерживали подход к возобновляемым источникам как логическому дополнению к существующему традиционному топливу – в основном углю, газу и ядерному

топливу. Такая локальная энергосистема, включающая разные типы производителей и потребителей электроэнергии, требует применения нового типа систем управления и защиты, которые должны обеспечить их гибкую интеграцию в общую инфраструктуру «Интернета энергии».

Однако особенностью альтернативной энергетики является, с одной стороны, независимость от транспортной инфраструктуры, а с другой – непостоянность генерации.

А так как одним из важнейших факторов, оказывающих существенное влияние на экономические показатели энергокомплексов страны, является надежность в эксплуатации электрооборудования систем электроснабжения, то прогнозирование надежности объектов энергетических систем, а также разработка стратегий и планирование, модернизация и ремонт электрооборудования становятся приоритетными задачами государства. Современный подход к решению этих вопросов основывается на применении методов теории надежности и оптимизации работы сложных технологических объектов.

С этой целью энергокомпании измеряют индексы надежности IEEE, которыми являются:

– SAIFI (System Average Interruption Frequency Index – средняя частота появления повреждений в системе) – характеризует среднее число раз в год, когда потребители теряли электроснабжение;

– SAIDI (System Average Interruption Duration Index – средняя продолжительность отключения) – характеризует в среднем продолжительность одного отключения в системе в год;

– CAIFI (Customer Average Interruption Frequency Index – средняя частота отключения одного потребителя) – характеризует в среднем количество отключений одного потребителя;

– CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index – средняя продолжительность отключения одного потребителя) – характеризует в среднем время восстановления питания одного потребителя.

Первые два показателя характеризуют надежность системы электроснабжения в целом, остальные два – надежность электроснабжения отдельно взятого потребителя.

Разработка алгоритма и программного обеспечения, позволяющих автоматически определять конфигурацию Microgrid на основе заданных критических значений индексов надежности энергосистемы и диапазона ее мощности, приведет к повышению качества и надежности энергораспределения. Ценностью такого алгоритма для пользователей также будет являться возможность принятия решения о целесообразности и эффективности создания локальной энергосистемы.

Таким образом, в качестве входных данных для такой программы можно принять требования к надежности энергоснабжения, параметры потребления конкретного объекта, вероятность их несоблюдения, а в качестве выходных

данных – рекомендации по количеству солнечной, ветровой и гарантированной традиционной генераций в энергоснабжении объекта (рис. 2).

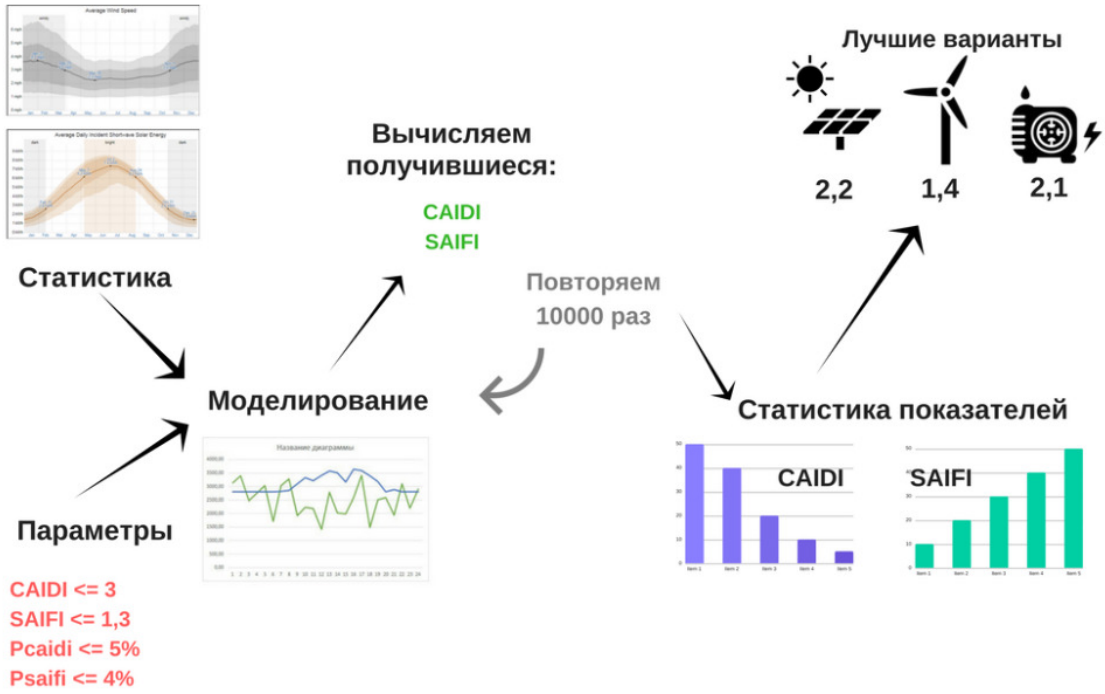

Рис. 2. Определение конфигурации Microgrid для обеспечения энергетической безопасности снабжаемого объекта

Вывод

С одной стороны, растущее население Земли и растущее производство, цифровизация жизни требуют все больше и больше энергии, с другой – мы хотим, чтобы современная энергетика была экономичной, не наносила вреда окружающей среде и была доступной в любом уголке Земли. Вот почему наряду с традиционной энергетикой мы начинаем использовать локальные энергосистемы с возобновляемыми источниками энергии, малые генерирующие установки, интеллектуальные системы управления, адаптивные сети. Ключевой вызов энергетики будущего – стать более экономной и эффективной, гибко управляемой, экологичной, роботизированной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биллинтон, Р., Аллан, Р. Оценка надежности электроэнергетических систем: пер. с англ. / Р. Биллинтон, Р. Аллан. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.

2. Роль микрогенерации на основе ВИЭ в развитии распределенной энергетики России, 13.12.2017 [Электронный ресурс] // М.: МШУ «Сколково», 2017. URL: htpps:// events. vedomosti. ru / media / materials / materials_0-41324120353862437 / download.

ELECTRIC POWER ENGINEERING

Gunter Carster
MPEI – TU Ilmenau

This article deals with topical topics of research in the field of electric power engineering, in such advanced countries as Germany and Russia. At TU Ilmenau, the research group "High Voltage Technologies" is working on the following projects:

1. "Energy transformation" schemes for the integration of renewable energy sources (solar energy, biomass, wind energy) and energy storage;
2. Medium and high voltage distribution systems (planning, design, operation mode, stability, power electronics circuits);
3. HV DC cable lines (design, headsets, tests, damage detection, materials (aging, volumetric charge effects, cable line activation...);
4. Switches and switchgears with alternative insulating and arc-extinguishing gas media; vacuum switches up to 145 kV, as well as for DC;
5. Smart power grids (power metering and regulation, error monitoring, power generation optimization).

The total installed capacity of renewable energy facilities in Germany was 56.5 GW in 2010 and 119.4 GW in 2018.

Germany produced 46 % of its electricity from renewable sources in April-June 2019, compared with 41 % for the same period in 2018.

Between 2010 and the first half of 2019, Germany invested $179 billion in renewable energy. Investments in renewable energy in 2018 in Germany decreased by 32 % to $10.5 billion.

Electricity production from renewable sources in Germany will exceed 82 % by 2030. By 2050, this figure will rise to 92 %, but further growth seems difficult, since the power system needs a certain number of gas-based power plants to balance peak production periods and stop electricity generation. Since 2005, the chancellor of Germany is Angela Merkel, it was she who made the policy of the "Energy Revolution" (Energiewende) – the transition from nuclear and hydrocarbon energy to renewable energy – a national idea.

Merkel's unprecedented turn toward renewable energy has sharply reduced the margins of coal and gas power plants, with electricity prices for consumers rising. The increase in clean energy production has also put heavy pressure on the electricity grid, so that the country is already considering excluding some regions from future auctions for the construction of land-based wind farms, since local power grids cannot cope. The German government's goal is 65 % of electricity from renewable sources by 2030.

The Institute of Electric Power and Automated Control Systems is located in TU Ilmenau, which has the following departments, namely: Power Electronics, headed by Prof. Petzoldt; Electrical devices and installations operated under the guidance of Prof. Berger; Power supply managed by Prof. Westermann; Protection against

thunderstorms and internal surges, which is managed by Prof. Rock; Industrial Electronics, led by Professor Prof. Reimann; Micromachines, which is led by the interim head of the department of PD Prof. Möckel; High Voltage Technologies – Dr. Leu. Teachers and students explore the following topics: high-voltage DC and AC power transmission and distribution systems (planning, design, operation mode, stability); Electric arc detection in electrical installations (AC and DC); Electric vehicles; Electrochemical accumulators; Solid-state transformer for medium voltage, passive and active filters, drives, power electronics current sources; Insulation materials for mixed stress; Headsets for high voltage DC and AC cable lines (connection and end couplings); Electric precipitators; Protection devices for DC and AC voltage (shorts, switches, etc.). The research team studies the measurement of currents and transient voltages at substations, controlled switching, switch contact load, DC voltage in the terminal coupling and cable. At TU Ilmenau there is a "Center for Power Engineering," which is engaged in the creation of decentralized 20 kV AC networks. When connecting two test networks and changing the network configuration, transients may occur, so switch switching modes should be monitored. The purpose is to connect DC and AC voltage networks. Parameters: 100 A = long-term mode, electrical circuit for DC currents up to 70 kA (20 ms). Connection of DC and AC networks to form ratios in the mixed voltage network. The group examines accidents, load discharges, switching processes.

СЕКЦИЯ № 2

ЦИФРОВИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Председатель: ***Болдырев И.А.*** – канд. техн. наук, доцент
Секретарь: ***Луненко В.С.*** – ассистент

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Луненко В.С.[1] – аспирант
Меньшиков П.Д.[2] – магистрант
Науч. рук. ***Болдырев И.А.***[2] – канд. техн. наук, доцент
[1]ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
[2]Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлен анализ систем диагностики энергетического оборудования. Предложена единая система диагностики, охватывающая генерацию, передачу и распределение электрической энергии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: диагностика, надежность, датчик, отказ.

ABSTRACT. The article presents an analysis of diagnostics systems for power equipment. A unified diagnostic system covering generation, transmission and distribution of electrical energy is proposed.

KEYWORDS: diagnostics, reliability, sensor, failure.

Оценка фактического состояния энергетического оборудования по результатам диагностических измерений является на сегодняшний день очень сложной и актуальной задачей. Большая часть оборудования станций, подстанций системы генерации, передачи и распределения электроэнергии выработала свой ресурс, но продолжает эксплуатироваться, так как требуются большие финансовые средства на его замену.

Диагностика энергетического оборудования дает возможность повышения достоверности правильного функционирования объектов, увеличения срока их службы и наработки на отказ.

Одной из особенностей сегодняшнего этапа развития энергетики является то, что предприятия вкладывают значительные средства на ремонт оборудования. Но замена, ремонт или реконструкция основного технологического оборудования невозможна без модернизации систем управления этим оборудованием. Очевидно, что современная энергетика не может существовать без автоматизации технологического процесса.

В современном мире системы автоматизации позволяют производить оценку износа различного оборудования, основываясь на данных, полученных с датчиков, установленных на оборудовании. Такие системы производятся различными фирмами, как отечественными, так и зарубежными.

Автоматизированная система контроля напряженно-деформированного состояния (АСК-НДС) предназначена для осуществления контроля состояния трубопроводов, позволяет измерять статические и динамические напряжения, возникающие в трубопроводах в режиме реального времени, контролирует превышение допустимых уровней напряжений путем сравнения текущих значений измеренных напряжений с предельно допустимыми и выдачей соответствующей информации оперативному персоналу.

Система мониторинга роторных агрегатов ИС АСУ ТП «Вектор-М» является стационарной системой непрерывного действия и предназначена для измерения и контроля параметров механического состояния паровых и газовых турбин.

Анализатор «Вектор-П» – многофункциональное многоканальное микропроцессорное устройство, осуществляющее измерение параметров вибрации и предназначенное для организации защиты, мониторинга и диагностики вращающегося промышленного оборудования.

Датчик состояния масла «Вектор-Т» представляет собой онлайн-систему для обнаружения в режиме реального времени частиц износа и воды в масле. Эта технология обеспечивает улучшенную диагностику работы механизмов, позволяет оптимизировать интервалы технического обслуживания и уменьшить время простоя оборудования.

Система «Вектор-ЭС» представляет собой решение по мониторингу производительности, состояния и энергопотребления оборудования, устанавливается на критически важном оборудовании, где важен мониторинг электрических параметров, в опасных или экстремальных условиях, когда датчики мониторинга невозможно установить непосредственно на оборудование.

Помимо датчиков для диагностики оборудования, существует программное обеспечение, позволяющее разработать высококачественные стратегии и программы надежности, гарантирующие, что производственные активы обеспечивают оптимальную стоимость, максимизируют безопасность и повышают соответствие нормативным требованиям.

Программное обеспечение для обеспечения надежности активов AssetWise дает возможность проводить расширенную прогнозную аналитику с использованием методов обработки данных и машинного обучения, определять стратегию надежности активов, управлять процессами контроля и программами надежности.

Платформа для эффективного управления производственными активами предприятия IBM MAXIMO нацелена на поддержку всего комплекса активов предприятия на протяжении жизненного цикла его эксплуатации и связывает управление активами с общей стратегией бизнеса [1].

Поскольку предприятия стремятся к повышению производительности и эффективности операций техобслуживания, необходимо создавать решения, облегчающие сбор данных с оборудования. Это и движет спросом на беспроводные датчики, монтаж которых проще и дешевле монтажа обычных проводных устройств [2]. Данные, собранные с подобных датчиков, можно контролировать либо с локального сервера или любого удаленного устройства, которое имеет доступ к «облачному» серверу. Операторы и персонал техобслуживания могут контролировать параметры оборудования всего предприятия (рис. 1).

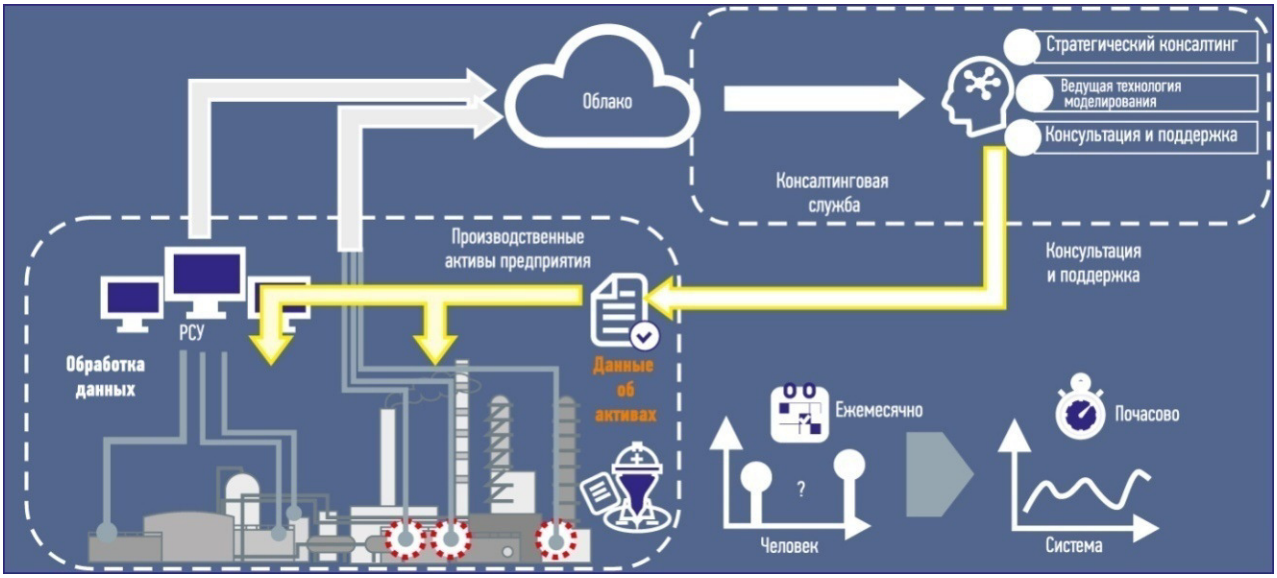

Рис. 1. Интеграция данных в «облако»

После анализа существующих систем диагностики было выявлено, что на данный момент не существует единой системы, охватывающей генерацию, передачу и распределение электрической энергии. Текущий контроль состояния оборудования может быть осуществлен лишь по ограниченному множеству показателей, в то время как принятие решения по продлению ресурса требует текущей оценки по всему множеству представительных показателей.

Для достоверной оценки текущего состояния оборудования в процессе эксплуатации предлагается реализация как полномасштабных АСУ ТП, так и осуществление поэтапного внедрение подсистем АСУ ТП для обеспечения управления технологическим процессом выработки и распределения энергии в зависимости от финансирования.

Автоматизированная система управления энергооборудованием должна обеспечивать сбор, обработку и хранение информации с различных датчиков и систем мониторинга отдельных видов оборудования генерации и распределения электрической энергии, данные с которых получают в режиме реального времени. Такие комплексы обеспечивают определение контролируемых параметров, на основе которых можно было бы принимать достоверные решения по планированию ремонтных работ.

Комплексный подход к ранней диагностике изнашиваемых узлов, старению материалов и электрической изоляции с отслеживанием скоростей развития признаков дефектов в процессе эксплуатации вплоть до опасного состояния позволяет перейти на ремонт оборудования по состоянию [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семинар «Классификация по классам критичности», Астрахань, 23–27.06.2015, Fortum Power Solutions.

2. Дурнева, Е.Н. Разработка и внедрение комплексной системы мониторинга финансово-экономического состояния предприятия / Е.Н. Дурнева // Известия ТулГУ. Экономические и юридические науки. – 2012. – № 1–1.

3. Химическая техника. – 2016. – № 4.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЕАЭРАТОРОМ НА ВОЛЖСКОЙ ТЭЦ

Баранников Д.И. – студент
Науч. рук. ***Горбань Ю.А.*** – ст. преподаватель
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В настоящей статье раскрыта проблема автоматического регулирования деаэратора ДСП-400. Разработана система автоматического управления деаэратором. Представлена программа для контроллера ОВЕН ПЛК-160, реализованная в среде CoDeSys.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: регулирование, система автоматического управления, деаэратор, химически обессоленная вода.

ABSTRACT. This article deals with the problem of automatic control of the DSP-400 deaerator. A deaerator automatic control system has been developed. The program for the OWEN PLC-160 controller, implemented in the CoDeSys environment, is presented.

KEYWORLDS: regulation, automatic control system, deaerator, chemically desalinated water.

Объектом регулирования является деаэратор ДСП-400. Деаэрационная установка предназначена для:

– удаления из питательной воды коррозионно-активных газов, кислорода, свободной двуокиси углерода, а также связанной двуокиси углерода путем термического разложения бикарбонатов, растворенных в питательной воде;

– создания рабочего резерва питательной воды в баке-аккумуляторе для компенсации небаланса между расходом питательной воды в котел и основного конденсата турбины с учетом добавочной воды;

– подогрева питательной воды.

Деаэратор ДСП-400 является 6-атмосферным (Д-6ата). Деаэрированная

вода из Д-6ата подается на всас питательных насосов. Деаэрированная вода из атмосферных деаэраторов подается на всас насосов перекачки химобессоленной воды (НПХВ) и этими насосами подается на Д-6ата. На турбогенераторах № 1, 2, 8 (ТГ-1, ТГ-2, ТГ-8) имеются линии, подающие воду с напора НПХВ в рассечку основного конденсата. Эта схема позволяет повысить тепловую экономичность цикла за счет подогрева химически обессоленной воды (ХОВ) паром из отборов турбины перед подачей ее на деаэраторы 6ата. Также имеется возможность подать в рассечку основного конденсата ТГ-1 ХОВ, идущую на Д № 4.

Главной проблемой и недостатком существующей системы управления деаэратором является отсутствие цифровой информации и ее архивации в электронном виде. Также второй немаловажной проблемой является отсутствие автоматической системы подачи химобессоленой воды в рассечку основному конденсату при работающем ТГ-1, с помощью которой можно повысить тепловую экономичность цикла за счет подогрева хозпаром из отборов турбины перед подачей ее на деаэратор.

Для решения проблемы отсутствия цифровой информации и ее архивации следует заменить технические средства: регулятор РП-4-П-М1 на контроллер ПЛК-160 фирмы ОВЕН, преобразователь давления МП22518 для измерения давления в деаэраторе на «Элемер-100-ДИ-1150» и датчик дифференциального давления ДМ3583М для измерения уровня в баке-аккумуляторе на «Элемер-100-ДД-1450Е». При замене регулятора контроллером создается возможность осуществления мониторинга и диспетчерского контроля.

Проблема отсутствия автоматического регулирования подачи воды в деаэратор решается путем написания программы в среде CoDeSys. Программа, написанная на языке CFC, для контура регулирования уровнем воды в деаэраторе представлена на рис. 1. На рис. 2 представлены переменные первого контура.

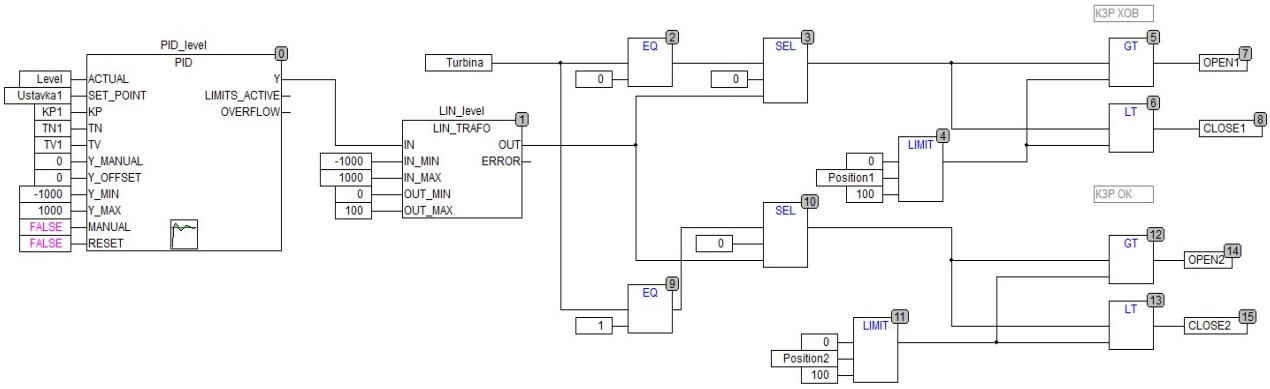

Рис.1. Программа для контура регулирования уровнем воды в деаэраторе

Блок PID принимает входной сигнал с датчика и находит разницу с уставкой (находит ошибку регулирования). Далее происходит регулирование для

уменьшения этой ошибки. Полученная переменная Y идет на вход блока LIN_TRAFO для линейного преобразования значения выхода Yблока PID в значение, приемлемое (0…100) для входа IN_VAL блокаVALVE_REG. Требуемый диапазон регулирования уровня в баке-аккумуляторе деаэратора должен находиться в пределах от 1000 до 1800 мм.

```
0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003     (* КОНТРОЛЬ УРОВНЯ*)
0004     PID_level: PID; (* ПИД-регулятор уровня*)
0005     Level: REAL; (* Данные с Датчика*)
0006     Ustavka1: REAL; (* Требуемый уровень*)
0007     LIN_level: LIN_TRAFO;  (*Блок преобразования сигнла*)
0008     OPEN1: BOOL; (*Клапан ХОВ открыть*)
0009     CLOSE1: BOOL; (*Клапан ХОВ закрыть*)
0010     Position1: REAL; (* Аналоговый вход контроллера (на положение клапана ХОВ*)
0011     Position2: REAL; (* Аналоговый вход контроллера (на положение клапана ОК*)
0012
0013     KP1: REAL; (*Коэффициент Пропорциональности*)
0014     TN1: REAL; (*Коэффициент Интегрирования*)
0015     TV1: REAL; (*Коэффициент Диффиренцирования*)
0016     Turbina: BOOL; (* Турбина-1*)
0017     OPEN2: BOOL; (*Клапан ОК открыть*)
0018     CLOSE2: BOOL; (*Клапан ОК закрыть*)
0019
0020 END_VAR
```

Рис. 2. Список переменных первого контура

При нерабочей турбине (Turbina=FALSE) идет нулевой сигнал на два блока EQ. Блок EQ предназначен для сравнения и выбора. Результатом выполнения операции на выходе является лог. «1», если входные числа равны. Следовательно, логическая единица на выходе блоков EQ появится там, где на вход приходит либо «0–0», либо «1–1». Так как в первом случае турбина выключена (0), значит, сигнал будет на верхнем блоке равенства. После чего этот сигнал попадает на функциональный блок SEL. Блок SEL выполняет функцию «выбора из двух».

Соответственно, при рабочей турбине (Turbina = TRUE) сигнал проследует через блок EQ, где будет выполняться равенство «1=1», а следовательно, второй блок SEL пропустит сигнал на регулирование клапаном основного конденсата.

В результате осуществления диспетчерского контроля и мониторинга системы появляется возможность контролировать необходимые параметры и предотвращать аварийные ситуации. Написанная программа, в свою очередь, позволяет осуществлять автоматическое регулирование подачи химически обессоленной воды в рассечку основного конденсата при работающей турбине.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 34.40.502-92. Типовая инструкция по обслуживанию деаэрационных установок энергоблоков мощностью 150-800 МВт КЭС и 110-250 МВт ТЭЦ. – Взамен ТИ 34-70-020-83. – Введ. 01.01.93. – 118 с.

2. Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys 2.3 [Электронный ресурс]. URL: https://owen.ru/uploads/134/codesys_v23_ru.pdf (дата обращения: 12.05.2020).

ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ И ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Меньшиков П.Д. – магистрант
Болдырев И.А. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлены рекомендации по обеспечению безопасности при внедрении технологии «Интернет вещей».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: интернет вещей, безопасность, цифровая экономика.

ABSTRACT. This article provides security recommendations for implementing IoT Technology.

KEYWORDS: IoT, safety, digital economy.

С каждым годом развитие и внедрение в энергетику цифровых технологий, таких как «Интернет вещей», все увеличивается, так как без цифровизации энергетической отрасли будет невозможно в полной мере реализовать национальный проект «Цифровая экономика». В связи с общей цифровизацией также остро встает вопрос обеспечения безопасности таких систем. В работе рассмотрены вопросы безопасности и предложены варианты их решения.

Промышленный «Интернет вещей» – объединение компьютерных сетей и производственных объектов, включающих в себя датчики, программируемые контроллеры, средства передачи данных их визуализации, анализа и интерпретации, а также исполнительные механизмы и программное обеспечение, позволяющее удаленно контролировать и управлять производством в автоматизированном режиме.

Структура таких сетей изображена на рисунке. Обмен данными осуществляется посредством различных сетей и протоколов транспортировки и обмена данными.

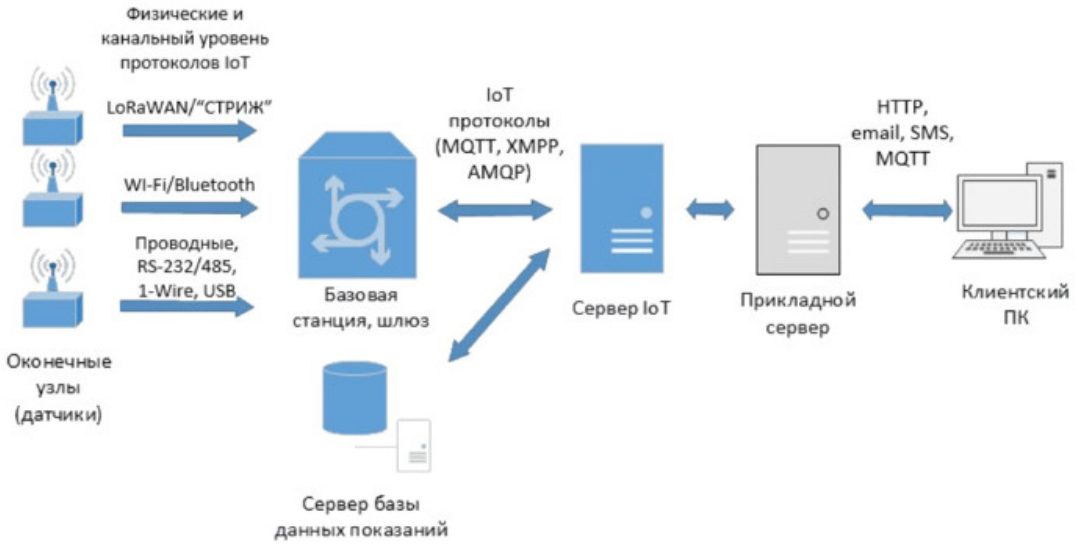

Рисунок. Структура технологии «Интернет вещей»

Основные протоколы «Интернета вещей»[6]:

– MQTT – протокол для сбора данных устройств и передачи их серверам (D2S);

– XMPP – протокол для соединения устройств с людьми. Предоставляет данные в текстовом формате XML;

– DDS – быстрая шина для интегрирования интеллектуальных устройств (D2D);

– AMQP – система организации очередей для соединения серверов между собой (S2S).

При внедрении таких технологий, как «Интернет вещей», появляется ряд проблем, связанных с их внедрением на предприятии. Зачастую не всегда имеется возможность интеграции таких технологий в уже существующие системы АСУ ТП. Также, даже при внедрении в уже действующую АСУ, необходимо обеспечить меры по защите данной системы от возможных неблагоприятных воздействий.

Такими воздействиями могут быть нацеленные атаки извне посредством проникновения в сеть предприятия по незащищенным линиям связи или же неверные действия в результате халатности работников. Основные риски связаны с тем, что зачастую системы собираются из устройств различных производителей, которые в свою очередь в угоду совместимости пренебрегают нормами безопасности.

Для уменьшения возникающих опасностей необходима разработка мер защиты. Основными являются технические меры.

1. Сегментирование и выделение АРМ управления в отдельный сегмент.
2. Управление настройками и конфигурацией.
3. Контроль мобильных устройств точек доступа.
4. Контроль отсутствия на АРМ конфигурационных файлов сетевого оборудования.

А также меры, направленные на обеспечение информационной безопасности на уровне программного обеспечения.

1. Выявление и реагирование на инциденты ИБ.
2. Разделение полномочий системного администратора и администратора ИБ.
3. Своевременное обновление ПО.
4. Исключение слабых паролей.
5. Исключение паролей по умолчанию.

Риски, связанные с внедрением технологии «Интернет вещей», не ограничиваются информационным пространством, атака на такую систему может повлечь за собой, как финансовые убытки, так и возникновение чрезвычайных ситуаций, влекущих за собой физический ущерб предприятию и персоналу, а также окружающей среде.

Таким образом, обеспечение безопасности систем «Интернета вещей» является крайне важной задачей, без этого злоумышленники смогут проводить атаки и не просто похищать данные, но и наносить прямой вред отдельным

компаниям или даже целым странам, ставя под угрозу жизни людей и экономику в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Страшун, Ю.П. Технические средства автоматизации и управления: учебное пособие / Ю.П. Страшун. – М.: Издательский дом «МИСиС», 2015. – 154 с.

2. Крылова, Е.А. Система IIoT как эффективный инструмент развития промышленности / Е.А. Крылова // Молодой ученый. – 2019. – № 43 (281). – С. 179–181.

3. Промышленный интернет вещей в России [Электронный ресурс]. URL: https://fastsalttimes.com/sections/obzor/1875.html (дата обращения: 10.05.2020).

4. Новости Интернета вещей [Электронный ресурс]. URL: https://iot.ru/ (дата обращения: 10.05.2020).

5. Перспективы развития «Интернета вещей» в России. URL: https://www.pwc.ru/ru/communications/assets/the-internet-of-things/2019-internet-of-things-russian.pdf (дата обращения: 10.05.2020).

6. Протоколы «Интернета вещей»: основные сведения. URL: http://rtsoft.su/press/23432/protokoly-interneta-veshchey-osnovnye-svedeniya/ (дата обращения: 10.05.2020).

ПРИМЕНЕНИЕ РЕКЛОУЗЕРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ ОТ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

Насратшоев Ф.Х. – студент
Науч. рук. ***Зенина Е.Г.*** – доцент, канд. техн. наук
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье проведен анализ применения реклоузеров для электрических сетей высокого напряжения. Показана методика их установки, принцип работы и параметры эксплуатации. Кроме того, рассмотрено их взаимодействие с другой высоковольтной аппаратурой.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: реклоузер; разъединитель; выключатель; трансформатор; опора; автоматическое включение; автоматическое отключение; устройство; терминал защиты; диспетчерское управление;

ABSTRACT. The paper analysis the use of reclosers for high voltage power networks.The methodology of their installation, the principle of operation and operation parameters are shown. In addition, their interaction with other high-voltage equipment is considered.

KEYWORDS: recloser, disconnector, switch, transformer, support, automatic shutdown, device, security terminal, dispatch control.

Реклоузер SMART35 – это комплекс, функционирующий на программно-аппаратной основе. Он служит для нахождения неисправностей в линии путем постоянного мониторинга параметров сети. При обнаружении аварии данный

прибор определяет ее характер, записывает данные и отправляет их в диспетчерскую службу. Реклоузеры, как правило, устанавливают в комплектных распределительных устройствах (КРУН).

Принцип работы реклоузера схож с принципом работы автоматического выключателя, размыкающего линию в случае изменения ее параметров до недопустимых величин. Реклоузер несет отличия от выключателя лишь классом напряжения – 10 кВ, 35 кВ.

Данный аппарат работает автономно, он автоматически отключает цепь переменного тока и включает ее повторно по заданному алгоритму с сохранением включенного состояния или с фиксацией разрыва сети. Он состоит из элементов управления, которые позволяют обнаружить короткое замыкание, после чего воздействовать на привод реклоузера.

Одним из преимуществ реклоузера является возможность исключения длительного перерыва в энергоснабжении при кратковременных самоустраняющихся нарушений в линии (схлестывание проводов, присутствие птиц на линии, перекрытие изолятора вследствие грозовых воздействий и т. д.), число которых составляет около восьмидесяти процентов от всех повреждений.

Эти устройства позволяют производить коммутации в линии в аварийных ситуациях без участия человека, тем самым заменяют собой станции секционирования, строительство которых требует значительных вложений и регулярного обслуживания квалифицированным персоналом. Эти и другие факторы подтверждают рациональное, экономически оправданное использование реклоузеров.

Реклоузер предназначен для работы в следующих условиях:

– высота установки над уровнем моря не больше 1000 м;

– окружающая среда невзрывоопасная, без пыли в концентрациях, которые понижают параметры изделия;

– максимальное допустимое значение относительной влажности воздуха 100 % при температуре +25 °С;

– температура окружающего воздуха от –60° до +40 °С (соответствует климатическому исполнению УХЛ категории размещения 1 по ГОСТ 15150-69);

– скорость ветра не более 40 м/с при отсутствии гололеда, скорость ветра до 15 м/с при допустимой стенке гололеда не более 25 мм;

– интенсивность грозовой активности до 40 часов [2].

Реклоузер состоит из шкафа управления (ШУ) и высоковольтного модуля (ВМ), которые между собой соединены соединительным кабелем. ШУ – это современное устройство нового поколения с использованием последних технологических достижений в области электроники и защиты программного обеспечения коммутации.

В верхней части опоры установлен высоковольтный модуль, который подключен к линии через проходные изоляторы. Внутри высоковольтного модуля находятся: трансформаторы тока, вакуумный выключатель и трансформатор собственных нужд.

В нижней части опоры на высоте человеческого роста устанавливается шкаф управления, в котором находятся ручное управление для реклоузера и микропроцессорное защитное устройство [3], рис. 1.

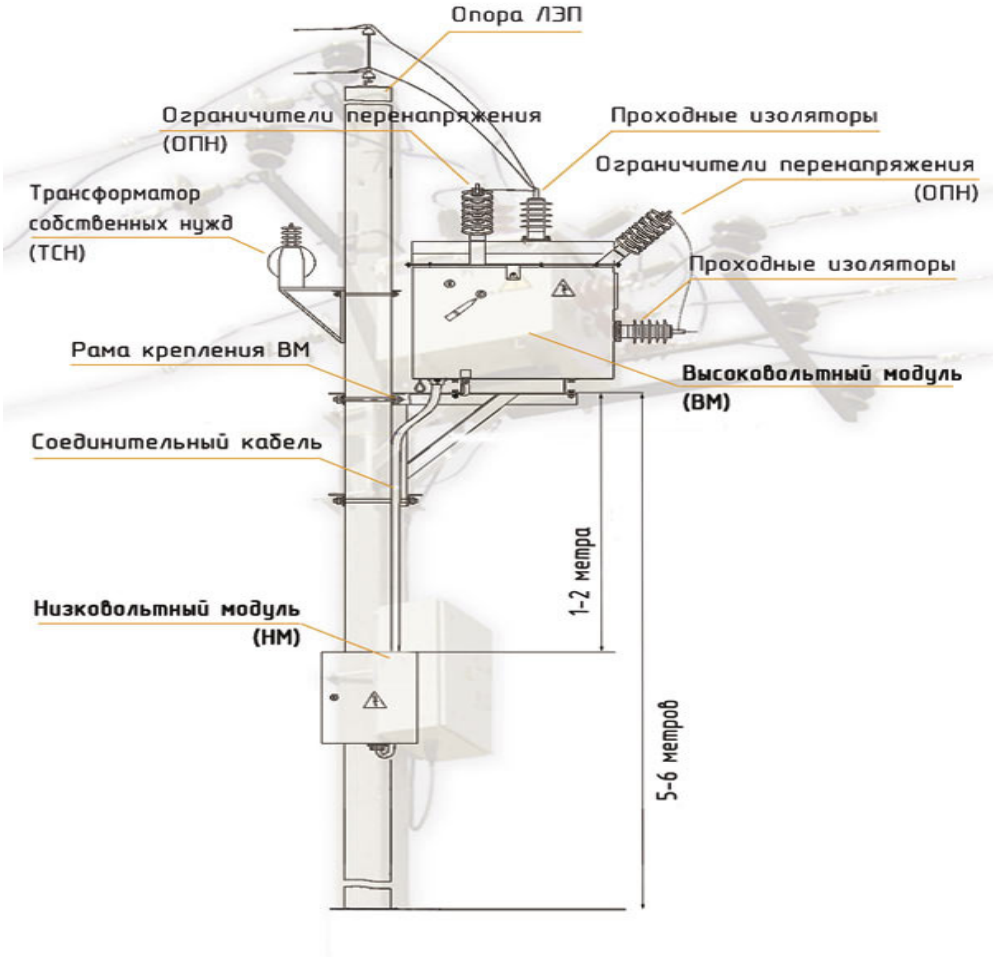

Рис. 1. Реклоузер и шкаф управления, установленные на опоре

Реклоузер-разъединитель – это одно из применений столбового пункта секционирования. Установка такого устройства позволяет повысить надежность снабжения потребителей, организовать резервирование и секционирование электросетей среднего напряжения с односторонним и двусторонним питанием, выполнить удаленное отключение потребителей [2].

Алгоритм работы реклоузера и разъединителя следующий. В высоковольтном модуле установлены трансформаторы тока, которые передают сигнал на терминал защиты, расположенный в электрическом шкафу управления, а также измеряют ток в линии.

Микропроцессорный защитный терминал сравнивает ток в линии и, возможно, другие параметры с заданными настройками. Если за пределами указанного диапазона выходят текущие параметры линии, то терминал защиты выдает команду на отключение вакуумного выключателя, и тогда через несколько

секунд реклоузер автоматически отключает разъединитель, и появляется видимый разрыв цепи.

Терминал защиты может выдерживать заданный период времени, например одну секунду, и отправляет на повторное включение вакуумного выключателя. Если после отключения неисправность на линии не устранилась, то на терминал снова приходит «тревожный сигнал» с трансформаторов тока, и защита снова отключает линию. Так повторяется от одного до двух-трех раз, и это зависит от настроек реклоузера. Реклоузер и разъединитель на опоре У35-1 представлены на рис. 2.

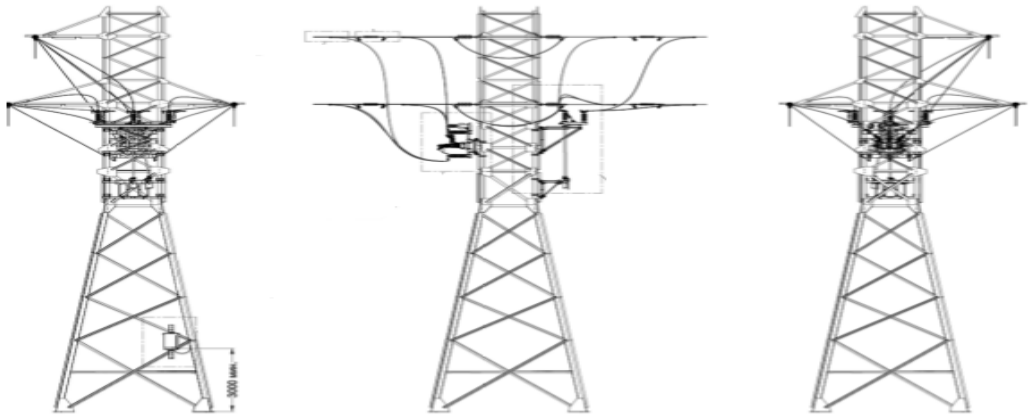

Рис. 2. Реклоузер и разъединитель на опоре У35-1

В том случае, если устранить неисправность не помогло автоматическое повторное включение, реклоузер отсоединяет линию, отправляет сигнал по линии связи в диспетчерскую и ожидает прибытия ремонтной бригады, которая, устранив неисправность на линии, включает реклоузер вручную [1].

На рис. 3, 4 показаны особенности сети с реклоузерами и без, при коротком замыкании.

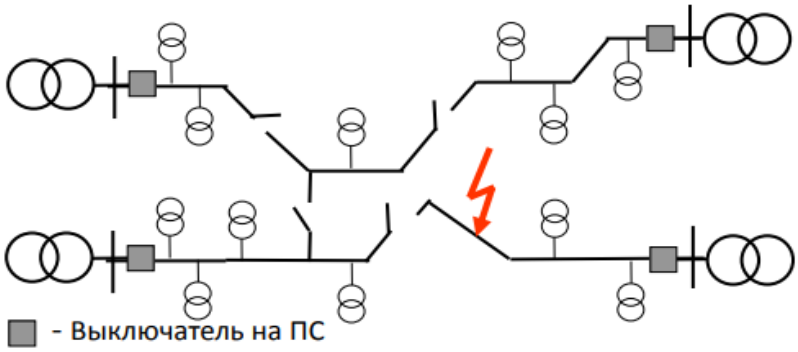

Рис. 3. Сеть без реклоузеров

Если сеть будет работать без реклоузеров, можно столкнуться со следующими трудностями:

– низкая надежность электроснабжения;

– сеть неуправляема;
– трудоемкое обслуживание;
– все потребители теряют электроснабжение;
– операции выполняются вручную;
– для устранения повреждений задействуется большое количество персонала и техники;
– необходима надежная связь с диспетчерским пунктом;
– время поиска и локализации повреждения – до десятков часов;
– значительное время перерыва в электроснабжении (в ущерб потребителям).

Если сеть будет работать с реклоузерами, то можно избежать всех вышеперечисленных проблем; также есть и другие достоинства.

Сеть с реклоузерами:
– высокая надежность электроснабжения;
– сеть управляема;
– визуализация сети.
– питание теряют потребители только поврежденного участка;
– все реконфигурации происходят автоматически;
– полностью устраняется человеческий фактор;
– информация о повреждении обрабатывается в реклоузере;
– выделение повреждения происходит за секунды [3].

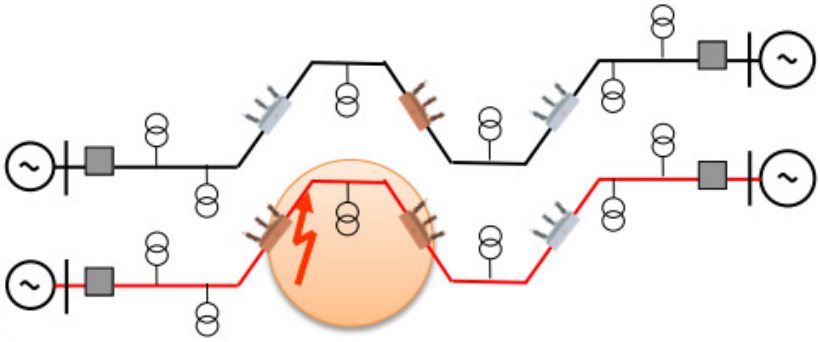

Рис. 4. Сеть с реклоузерами

Таким образом, нами были проанализированы общие принципы работы реклоузеров в сетях высокого напряжения, рассмотрены методики их установки и эксплуатации, а также их взаимодействие с другими высоковольтными приборами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузин, С.А. Современная релейная защита и автоматика для целей автоматизации воздушных электрических сетей 6 до 10 кВ / С.А. Бузин, В.В. Воротницкий. – СПб.: ООО «РК Таврида Электрик», 2010. – 4 с.

2. Сазыкин, В.Г. Критерии оптимизации места установки реклоузера в распределительной сети 6-10 кВ / В.Г. Сазыкин, А.Г. Кудряков, А.А. Багметов.

3. Инструкция по монтажу вакуумного реклоузера. – СПб.: ООО «РК Таврида Электрик».

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ НЕИЗОЛИРОВАННЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОВОДОВ 220 КВ

Норов Дж. Ш.[1] – магистрант
Фирсов Ю.В.[2] – магистрант
Науч. рук. ***Курьянов В.Н.***[1] – канд. техн. наук, доцент
[1]Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском
[2]ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

АННОТАЦИЯ. В статье представлены материалы о новых неизолированных высокопрочных, высокотемпературных проводах для воздушных линий электропередачи. Приведена классификация проводов по геометрии сечения и представлены марки неизолированных проводов с длительно-допустимой температурой нагрева от 70 ºС до 90 ºС для воздушных линий (ВЛ) 220 кВ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: воздушные линии электропередачи, малогабаритные провода, проволока, сердечник, токопроводящие повивы, алюминиевые сплавы, композитные материалы.

ABSTRACT. The article presents material on new uninsulated high-strength, high-temperature wires for overhead power lines. The classification of wires according to the geometry of the section is given and brands of bare wires with a long-permissible heating temperature from 70 ºC to 90 ºC for overhead lines 220 kV are presented.

KEYWORDS: overhead power lines, small wires, wire, core, conductive powders, aluminum alloys, composite materials.

Неизолированные провода, их приватно еще называют «голыми» проводами, используют на воздушных линиях для передачи электроэнергии. Неизолированные провода изготовляют из прочных и крепких материалов, стойких к коррозии: алюминия, меди, стали, сплавов (сталеалюминий, термообработанный алюминиевый сплав марки АВЕ и др.). Функцию изоляции для неизолированных проводов выполняют атмосфера и изоляторы.

Неизолированные провода представляют собой закрученные проволоки многообразного диаметра с основным сердечником или без. Спектр сечений неизолированных проводов составляет от 10 до 500 мм^2. Температура эксплуатации не должна превосходить 90 С.

В настоящее время неизолированные провода уступают самонесущим изолированным проводам, однако продолжают пользоваться спросом. К их дефектам относят: электропотери из-за большого реактивного сопротивления, необходимость отключения питания у действующих абонентов при подключении новых, возможность короткого замыкания при схлестывании фазных проводников и во время гроз, обширные просеки для установки опорных столбов. На воздушных линиях электропередачи напряжением выше 1000 В используют

неизолированные провода и тросы. Находясь на открытом воздухе, они подвергаются влияниям атмосферы (ветер, гололед, модифицирование температуры) и вредных примесей окружающей атмосферы (сернистые газы химических заводов, морская соль) и поэтому должны соответственно обладать необходимой механической прочностью и быть устойчивыми к коррозии (ржавлению).

Классификация неизолированных проводов для ВЛЭП представлена на рис. 1 и составлена на основе их функциональности и свойств: провода устойчивы к обледенению, провода с повышенной механической прочностью и термостойкие провода с высокой пропускной способностью.

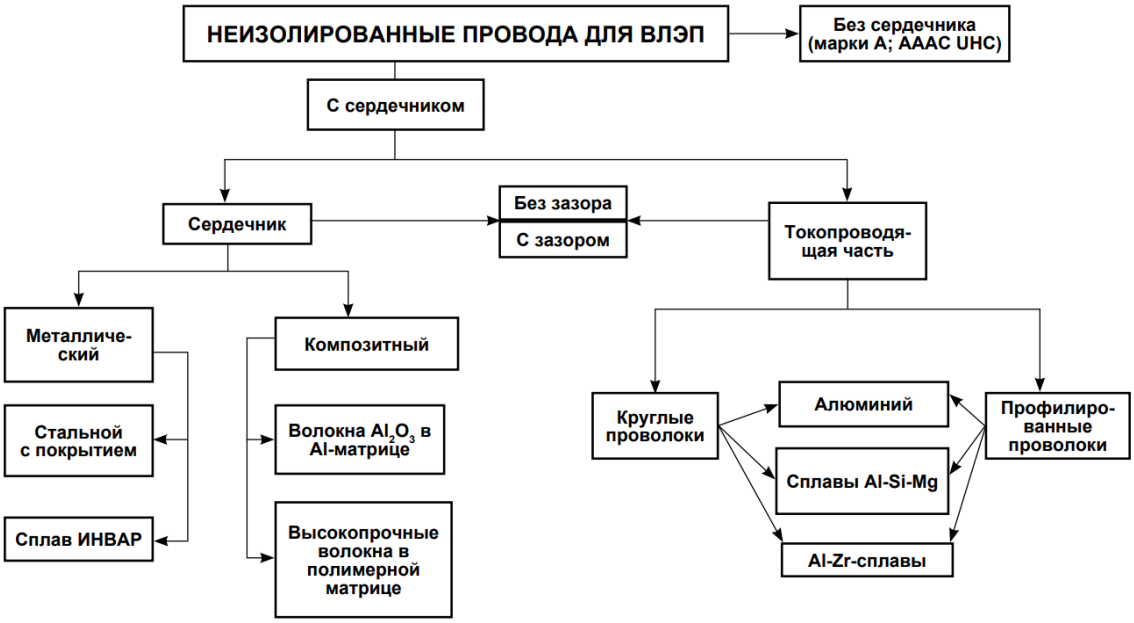

Рис. 1. Классификация неизолированных проводов для ВЛЭП

Значимой особенностью современных неизолированных проводов для ВЛЭП является возможность их многовариантной реализации за счет применения допустимых сочетаний вышеназванных составляющих. Этим и разъясняется существование на рынке не менее двух десятков многообразных конструкций проводов. Несомненно, сложность конструкции проводов отражается на их стоимости.

Марки неизолированных проводов
с длительно-допустимой температурой
нагрева от 70 ºС до 90 ºС

Рассмотрим марки неизолированных проводов с длительно-допустимой температурой нагрева от 70 ºС до 90 ºС для воздушных линий (ВЛ) 220 кВ.

В технической политике ОАО «ФСК ЕЭС» и ОАО «Россети» предусмотрено внедрение новых, совершенных технологий. Это позволяет применять лучшие разработки, в том числе провода из Z-образной проволоки, при строительстве новых и реконструкции существующих воздушных линий электропередачи, что повышает их пропускную способность [1].

Конечно, при этом не стоит забывать о необходимости предоставления требуемой степени надежности электроснабжения потребителей, и об экономической действенности таковых решений. Одно из них состоит в использовании нестандартных типов проводов, позволяющих достигнуть повышения в 1,6–3 раза длительно допустимой по условиям их нагрева подаваемой по ВЛ мощности посредством увеличенной рабочей температуры провода. За такими проводами в прогрессивной промышленной литературе закрепился термин «высокотемпературные» (ВТП), впрочем, сами по себе эти температуры не слишком высокие – более 250 °С. Их термические свойства значительно превышают свойства классических сталеалюминиевых проводов марки АС [3, 4].

Провод AACSRZ из алюминиевого сплава с высокопрочным металлическим сердечником (рис. 2). Токопроводящая часть – из одного, двух либо трех повивов профилированных Z-образных проволок, сделанных из алюминиево-магниевого сплава по стандарту МЭК 60104, МЭК 60889.

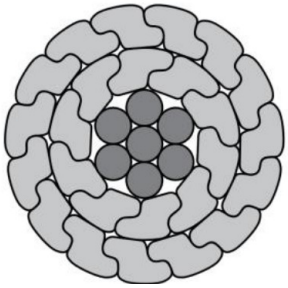

Рис. 2. Поперечное сечение провода AACSRZ

Проволоки сердечника сделаны из стальной оцинкованной проволоки по стандарту МЭК 60888. Возможно изготовление на заказ сердечника из высокопрочной, сверхпрочной или алюминиевой (алюминированной) стали. Длительно допустимая температура нагрева провода 90 ºС при аварийно-допустимой температуре 95 ºС. Завод изготовления проводов – ООО «Ламифил» (Россия).

Провод AAAC-Z из термообработанного алюминиевого сплава (не менее одного слоя Z-образных проволок), рис. 3. Длительно допустимая температура нагрева провода 90 ºС при аварийно-допустимой температуре 95 ºС. Завод изготовления проводов – ООО «Ламифил» (Россия).

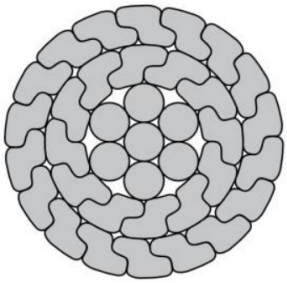

Рис. 3. Поперечное сечение провода AAAC-Z

Особенностью новой конструкции сталеалюминевого провода является повышенная прочность и токопроводящая способность (рис. 4). Стальной сердечник провода изготавливается из оцинкованных проволок, плотность цинкового покрытия по группе ОЖ, с временным сопротивлением разрыву не менее 1960 (200) Н/мм^2 (кгс/мм^2) по ГОСТ 7372-79 «Проволока стальная канатная. Технические условия».

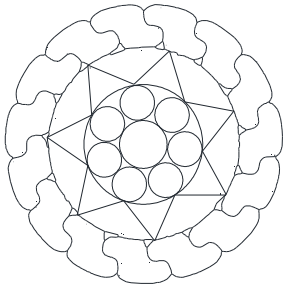

Рис. 4. Поперечное сечение провода 242/43

Провод АСВП сталеалюминиевый высокопрочный одинарной свивки с прямолинейным касанием проволок типа ЛК-0, ЛК-Р с пластически сдавленными стальной и алюминиевой частями (рис. 5). Длительно допустимая температура нагрева провода 70 ºС при аварийно-допустимой температуре 90ºС. Завод изготовления проводов – ОАО «Северстальметиз», филиал «Волгоградский» (Россия).

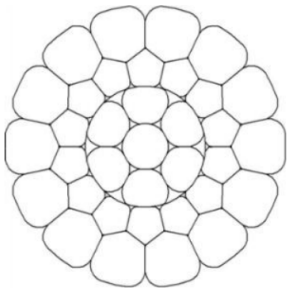

Рис. 5. Поперечное сечение провода АСВП

Провод АСку (АСк2у) компактированный с токоведущими алюминиевыми проволоками трапецеидального сечения, навитых покровами поверху высокопрочного стального сердечника, где: АСку сечением до 240 мм^2 включительно, АСк2у сечением выше 240 мм^2 АСку (АСк2у), рис. 6.

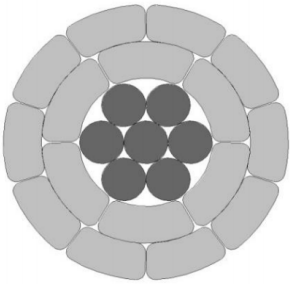

Рис. 6. Поперечное сечение провода АСку (АСк2у)

Длительно допустимая температура нагрева провода 90 ºС при аварийно-допустимой температуре 95 ºС. Завод изготовления проводов – ОАО «Кирскабель» (Россия).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, Б.А. Оценка нагрузочной способности воздушных линий и методы ее повышения / Б.А. Алексеев // Энергоэксперт. – 2010. – № 4. – С. 80–83.

2. СТО 56947007- 29.060.50.268-2019. Указания по проектированию ВЛ 220 кВ и выше с неизолированными проводами нового поколения. – ПАО «ФСК ЕЭС», 2019.

3. ГОСТ 839-80. Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1980.

4. Электротехнический справочник: в 4 томах. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии. – 8-е изд. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – Раздел 50. Конструкции воздушных линий электропередачи.

5. Двадцать пятая межвузовская научно-практическая конференция молодых ученых и студентов, г. Волжский, 22–31 мая 2019 г.: тезисы докладов. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2019. – 136 с.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ САУ ЦТП 23/1 В Г. ВОЛЖСКОМ

Щербаков А.С. – студент
Науч. рук. ***Болдырев И.А.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлены исследование центрального теплового пункта 23/1 в г. Волжском, а также возможный вариант улучшения и модернизации системы автоматизированного управления для контура отопления в ЦТП.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: контур отопления, подача, обратный трубопровод, давление.

ANNOTATION. The article presents studies of the Central heating point 23/1 in Volzhsky, as well as a possible option for improving and modernizing the automated control system for the heating circuit in the Central heating station.

KEYWORDS: heating circuit, supply, return pipeline, pressure.

Центральный тепловой пункт (ЦТП) – тепловой пункт, обслуживающий два и более зданий. ЦТП обеспечивает жителей горячей и холодной водой круглогодично и теплом в отопительный сезон.

Основным недостатком существующей системы является устаревшее оборудование контрольно-измерительных приборов учета давления на подающем и обратном трубопроводах контура отопления. Устаревший уровень автоматизации и неэффективная работа автоматики ведут к неоправданному износу технологического оборудования и нерациональному расходованию

всех видов производственных ресурсов, негативному психофизиологическому воздействию обслуживающего персонала, ввиду того что основная нагрузка по принятию решений о переключениях регулирующих органов, исполнительных механизмов, контроля за средствами КИПиА падает на операторов, что может привести к ошибкам операторов, к нарушениям технологического процесса и выводу оборудования из строя.

В соответствии со всем вышесказанным существует необходимость разработки новой автоматизированной системы управления технологическими процессами, внедрение более совершенных и эффективных контрольно-измерительных приборов учета давления на подающем и обратном трубопроводах контура отопления.

Тепловая сеть – система трубопроводов (теплопроводов) централизованного теплоснабжения, по которым теплоноситель (горячая вода или пар) переносит тепло от источника (теплоэлектроцентрали ТЭЦ) к потребителям и возвращается обратно к источнику.

Закрытая водяная система теплоснабжения – водяная система теплоснабжения, в которой вода, циркулирующая в тепловой сети, используется только как теплоноситель и из сети не отбирается.

Открытая водяная система теплоснабжения – водяная система теплоснабжения, в которой вода, циркулирующая в тепловой сети, частично или полностью отбирается из системы потребителями теплоты. Теплоснабжение и горячее водоснабжение имеют следующие основные этапы.

1. Теплоэлектроцентраль – предприятие, производящее электрическую и тепловую энергии.

2. Центральный тепловой пункт – тепловой пункт, обслуживающий два и более зданий.

3. Жилой дом является основным потребителем тепловой энергии, а также горячего и холодного водоснабжения.

Автоматизация ЦТП предполагает:

– автоматическое поддержание графика температуры теплоносителя в пределах санитарных норм, с учетом температуры наружного воздуха, времени суток и рабочего календаря;

– обеспечение необходимого давления теплоносителя и циркуляции в сетях потребителей;

– измерение и контроль параметров теплоносителя, а также защита систем отопления и горячего водоснабжения ГВС от превышения значений параметров теплоносителя (давления, температуры) сверх допустимых норм, от гидроударов и перегрева;

– повышение надежности, экономичности и долговечности работы оборудования за счет оптимизации режимов и точного регулирования параметров технологического процесса, снижение эксплуатационных затрат на техническое обслуживание и ремонт;

– повышение оперативности работы обслуживающего персонала за счет получения своевременной и достоверной информации о протекании технологического процесса и режимах работы оборудования;

– обеспечение работы ЦТП без постоянного присутствия оператора за счет контроля и управления от центрального АРМ (автоматизированного рабочего места) диспетчера.

Целью управления является поддержание заданных параметров отопления и ГВС. На вход подающего трубопровода Т1 поступает вода с ТЭЦ. Температура в подающем трубопроводе изменяется в зависимости от температуры наружного воздуха, по режимным картам, и составляет от 60 до 115 °С. Температура в обратном трубопроводе отопления Т2 составляет от 45 до 55 °С. Температура горячей воды у водоразборных приборов жилых, общественных и промышленных зданий предусматривается: не выше 70 °С, так как выше этой температуры человек может получить ожоги; не ниже 50 °С, так как при более низкой температуре не растворяются растительные и животные жиры.

Поддержание нужной температуры ГВС осуществляется с помощью подмешивания части более холодной воды из обратного трубопровода в прямую воду. Температура в обратном трубопроводе горячего водоснабжения ГВС составляет 50 ± 2 °С.

Давление в подающем трубопроводе: 0,65 МПа в летний период; 0,85 МПа в зимний период.

Давление в обратном трубопроводе: 0,4 МПа в летний период; 0,3 МПа в зимний период.

Система автоматизации построена на серийно выпускаемом оборудовании фирмы ОВЕН. В рамках решения данной задачи разработана система автоматизированного управления на базе контроллеров ОВЕН серии ПЛК160, которые осуществляют контроль необходимых параметров, обеспечивают автоматическое управление механизмом и безопасность обслуживания технологического оборудования.

Решением недостатков данной ЦТП будет являться повышение точности измеряемых параметров посредством установки дополнительных датчиков давления на подающий и обратный трубопроводы отопительной системы.

Для датчиков давления диапазон измеряемых величин лежит в пределах от 0,2 до 4 МПа. В качестве проектного решения выбран датчик давления ОВЕН ПД100И-ДИ1,6-111-0,5. Преобразователь повышенного качества избыточного давления на диапазон 0…1,6 МПа с мембраной из нержавеющей стали присоединительной резьбой М20х1,5 с электроразъемом DIN43650 выходным сигналом 4-20 мА и основной погрешностью 0,25 % ВПИ.

Датчики предназначены для непрерывного преобразования значений давления жидких, газообразных, в том числе агрессивных, сред, в унифицированный выходной токовый сигнал и (или) цифровой сигнал на базе протокола обмена данными ModBus.

ВЫЯВЛЕНИЕ РИСКОВ, СВЯЗАННЫХ С ЦИФРОВИЗАЦИЕЙ В СФЕРЕ ЭНЕРГЕТИКИ

Кузнецов А.С. – студент
Михайлова О.В. – студент
Науч. рук. ***Болдырев И.А.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлен анализ негативных последствий, которые могут возникнуть при внедрении цифровых технологий в энергетику.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: риски развития, цифровизация, энергетика.

ABSTRACT. The paper presents an analysis of the negative consequences that may arise when introducing digital technologies in the energy sector.
KEYWORDS: development risks, digitalization, energy.

Одним из основных условий роста и усовершенствования мировой экономики являются цифровые технологии. Применение цифровых технологий обеспечивает весомое влияние на производство и бизнес-процессы, укрепляет места компаний среди конкурентов и повышает эффективность управления.

За рубежом все основные организации энергетического рынка проводят разработки в сфере интегрирования современных цифровых технологий. В России также существуют компании, предлагающие решения в области цифровой энергетики.

Совет директоров ПАО «Россети» утвердил новую стратегию холдинга, которая определяет цели и направления развития группы компаний. Основным отличием от предыдущей стратегии является переход к бизнес-модели современной инновационной инфраструктуры.

НПП «Экра» предлагает комплексные решения для перехода на технологии цифровых подстанций на базе оборудования собственного производства.

В энергетике России можно выделить следующие тренды.

• *Цифровизация*.

• *Электрификация транспорта*. Еще пару лет назад мировые автогиганты не рассматривали электромобили как явление, способное поменять отношение к производственной программе. Сегодня же электромобили – это новая и актуальная стратегия развития. Это, в свою очередь, ведет к тому, что характер нагрузки на энергосистемы существенно меняется: появляется новый потребитель, которому необходима зарядная инфраструктура. Эта тенденция дает весомый импульс к развитию энергетики, догрузив существующие генерирующие мощности.

• *Децентрализация*. Относительная доступность технологий по локальному производству и хранению электроэнергии приводит к созданию микроэнергосистем, или microgrids. По своей сути, эти системы являются уменьшенной

копией традиционных централизованных энергосистем, сочетая в себе инфраструктуру по производству, передаче и распределению электроэнергии.

• *CapEx-to-OpEx*. Электроэнергия представляет из себя ресурс, необходимый для производства конкретной продукции. Любой производственный менеджмент сталкивается с выбором того, куда инвестировать средства: в расширение основного производства или во вторичный производственный процесс, например в энергоснабжение. Чтобы решить эту проблему, компании, которые реализуют сложные и затратные проекты в области энергоснабжения, обращаются к энергосервисным компаниям, которые продают им конечный продукт: электрическую, тепловую энергии или холод.

Существуют различные риски, возникающие при внедрении цифровых и интеллектуальных систем в электроэнергетику.

Социальные риски. «Умные» технологии с огромной скоростью охватывают и внедряются почти во все ключевые сферы. Меняя существующую структуру экономики, инновации создают предпосылки для исчезновения определенных отраслей с большой численностью занятых, в первую очередь низкоквалифицированных. Однако, учитывая темпы научно-технического прогресса, нельзя исключать, что в ближайшем будущем автоматизация непременно затронет и более квалифицированный труд. Это влечет за собой еще больший масштаб изменений в социальной сфере и экономике. В результате могут наблюдаться огромные масштабы высвобождения рабочих мест.

Различные города и регионы обладают неравнозначным потенциалом приспособления к подобным переменам. Возможности перепрофилирования и создания новых рабочих мест в России не соответствуют темпам ускорения цифровой трансформации. Определенные перспективы для сохранения занятости связываются с переобучением по специальностям, которые менее других подвержены автоматизации. Однако далеко не все россияне смогут переквалифицироваться [3].

Технологические риски. При цифровизации производства каждая энергокомпания будет внедрять более удобные для себя электронное оборудование и программное обеспечение. Разрозненное информационное, программное обеспечение, оборудование, отсутствие объединяющей их целостной энергетической экоплатформы – все это способно привести к несовместимости энергоузлов и нарушению целостности единой энергосистемы [1].

Также внедрение цифровых устройств на станции и подстанции может привести к нехватке мощности трансформаторов собственных нужд, что повлечет за собой их дорогостоящую и долгосрочную замену.

Цифровизация заостряет внимание на риске еще большего «распада» ТЭК как единого межотраслевого комплекса. Прослеживается, что цифровизация ТЭК в настоящее время сосредоточена именно на электроэнергетике. Это нарушает общесистемный принцип цифровизации экономики, предполагающий новую систему взаимодействия элементов – распределенную. Ни один из секторов не должен доминировать, они должны развиваться во взаимосвязанном

единстве. Наличие подобного фокуса абсолютно нивелирует уже достигнутые успехи нефтегазового комплекса, а также угольной промышленности в сфере цифровизации.

Кибербезопасность – один из самых больших рисков цифровизации энергетики. Любое оборудование с удаленным доступом может быть взломано, при этом с него можно считать данные всех подключенных устройств и вывести данное оборудование из строя, что повлечет за собой нарушение нормальной работы энергосистемы. Полная цифровизация подразумевает переход на умные счетчики для конечного потребителя с автоматической оплатой счетов и передачей показателей, при этом потребителю необходимо будет указывать свои личные данные и данные своих денежных счетов, которые также могут быть украдены злоумышленниками при кибератаке.

Экономические риски. Дефицит источников финансирования, кроме финансов конечных потребителей. Данный аспект прогнозирует повышение цен на электроэнергию для конечного потребителя в России. Цены рискуют приблизиться к ценам на электроэнергию в странах Европейского союза, что может негативно сказаться на конкурентоспособности всей российской экономики. Однако необходимость масштабных инвестиций при этом не отпадает. Вместе с тем существует также риск роста уровня энергопотребления [2].

Образование новых видов экономической деятельности внутри ТЭК: внедрение сквозных технологий и управление цифровой платформой требует становления отдельных подразделений в структуре крупных компаний ТЭК, а также создания профильных предприятий, которые были бы способны обеспечить развитие точечных прогрессивных аспектов цифровизации ТЭК с учетом отраслевой спецификации. Данные изменения производственных отношений и технологической структуры ТЭК в конечном счете приведут к изменениям в структуре себестоимости продукции и степени конкурентоспособности большинства субъектов отраслей.

Экологические риски. Повышение технологических требований и ужесточение экологических стандартов неизбежно. Цифровизация всех аспектов жизни предъявляет жесткие требования не только к качеству, но и надежности поставок электроэнергии. Существует необходимость снижения антропогенной нагрузки на природу и соблюдения растущих экологических требований к процессу добычи электроэнергии.

Правовые риски. В связи с тем, что нормативно-правовая документация (НТД) для сооружения и работы цифровых подстанций находится только на этапе разработки, возникают риски несоответствия российской НТД некоторых уже сооруженных цифровых подстанций.

Также при широком распространении Microgrid и при участии частного сектора в производстве и продаже электрической энергии возникнет потребность в разработке новых правовых документов и доработке старых.

Коммерческие риски. В настоящее время российское производство сложного электронного оборудования и соответствующего программного

обеспечения малоразвито и не готово конкурировать с зарубежными технологиями. Для развития необходима поддержка государства, в том числе и финансовая.

Новые технологии – неотъемлемая часть развития, позволяющая улучшить системы производства, передачи и потребления электрической энергии, но их внедрение всегда сопровождается различными рисками, которые необходимо учитывать и заранее прорабатывать меры их предотвращения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Arntz, M., Gregory, T., Zierahn, U. Revisiting the risk of automation / M. Arntz, T. Gregory, U. Zierahn // Economics Letters. – 2017. – Vol. 159. – P. 157–160.

2. Абдрахманова, Г.И. Цифровая экономика: краткий статистический сборник / Г.И. Абдрахманова, Л.М. Гохберг, А.В. Демьянова и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: НИУВШЭ, 2018. – 96 с.

3. Зоргнер, А. Автоматизация рабочих мест: угроза для занятости или источник предпринимательских возможностей? / А. Зоргнер // Форсайт. – 2017. – Т. 11. – № 3. – С. 37–48.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РОУ

Олимпиев С.А. – студент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В данной статье представлены расчетные результаты определения надежности системы автоматического управления редукционно-охладительной установкой на базе программируемого логического контроллера.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: САУ, РОУ, ПЛК, надежность.

ABSTRACT: The article presents the calculated results of determining the reliability of the automatic control system of a pressure-reducing desuperheating station based on a programmable logic controller.

KEYWORDS: ACS, PRDS, PLC, reliability.

Для оценки поведения автоматической системы в эксплуатационных условиях используется понятие надежности системы. При эксплуатации автоматическая система может подвергаться воздействию: механических нагрузок (вибраций, ударов, постоянного ускорения); электрических нагрузок (напряжения, электрического тока, мощности); окружающих условий (температура, влажность, давление).

Законом, описывающим прогнозирование надежности, является экспоненциальный закон распределения. Часто этот закон называют основным законом надежности, описывая наработки на отказ сложных систем.

В системе автоматического управления РОУ рассматриваются несколько контуров регулирования, а именно давления, температуры и расхода. Однако контур расхода учитывает взаимное влияние контура температуры и давления и вырабатывает корректирующие сигналы для обоих контуров. Исходя из этого, контур расхода разбивается на два контура, один из которых вырабатывает сигнал на регулирование перегретого пара, другой – на регулирование охлаждающей воды.

В табл. 1 сведены характеристики элементов, составляющих систему автоматического управления РОУ. Данные параметры взяты непосредственно из паспортов устройств.

Таблица 1

Характеристики элементов САУ РОУ

Устройство	Количество	λ_i, 10^{-6}	λ_p, 10^{-6}	P (2160)
ПЛК	1,0	16,66667	16,66667	0,96464029
Датчик температуры	1,0	6,66667	6,66667	0,98570318
Датчик давления	1,0	5,00000	5,00000	0,98925811
Расходомер	1,0	6,66667	6,66667	0,98570318
ПБР	2,0	11,36364	22,72728	0,97575333
Электрический механизм	2,0	2,86000	5,72000	0,99384144

Схема надежности системы автоматического управления РОУ для любого из контуров показана на рисунке.

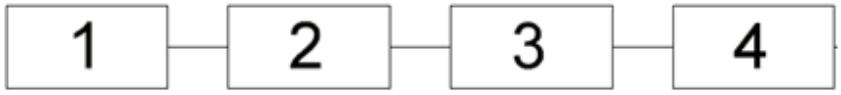

Рисунок. Схема надежности системы автоматического управления РОУ

Каждый контур представляет собой совокупность элементов, а именно:

– элемент 1 – первичный преобразователь для каждого контура;

– элемент 2 – программируемый логический контроллер;

– элемент 3 – пускатель бесконтактный реверсивный;

– элемент 4 – электрический механизм.

Схема каждого контура имеет последовательное соединение, то есть выход из строя одного какого-либо элемента повлечет за собой выход из строя всей системы.

Интенсивность отказов каждого элемента составляет:

$$\lambda_i = \frac{1}{t_н}, \text{ 1/ч.} \quad (1)$$

Интенсивность отказов в целом контура – это сумма интенсивностей отказа каждого элемента,находящегося в данном контуре:

$$\lambda_i = \sum \lambda_i. \quad (2)$$

Средняя наработка на отказ каждого элемента составляет

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_0}, \text{ ч.} \quad (3)$$

По требованиям, прописанным в РД 153-34.1-35.127-2002, для контуров высокой надежности средняя наработка на отказ должна быть выше 20 000 часов.

Вероятность безотказной работы контура составляет

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (4)$$

Значения времени наработки на отказ, интенсивность отказов и вероятность безотказной работы элементов системы автоматического управления сведены в общую табл. 2.

Таблица 2

Показатели надежности САУ РОУ

Параметры	**Контур давления**	**Контур температуры**	**Контур расхода**
Интенсивность отказов	$35{,}89031 \cdot 10^{-6}$	$37{,}55698 \cdot 10^{-6}$	$37{,}55698 \cdot 10^{-6}$
Средняя наработка	27862,674	26626,209	26626,209
Вероятность безотказной работы	0,92540568	0,9220802	0,9220802

Каждый контур обладает высокой надежностью и соответствует требованиям руководящего документа, на этом основании можно сделать вывод, что вся система автоматического управления РОУ также имеет высокую надежность и соответствует требованиям руководящего документа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плетнев, Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов вузов / Г.П. Плетнев. – М., 2005. – 350 с.

2. Клименко, А.В., Зорин, В.М. Тепловые и атомные электростанции: справочник / А.В. Клименко, В.М. Зорин. – М., 2003. – 648 с.

3. Основина, О.Н. Диагностика и надежность автоматизированных систем: метод. пособие / О.Н.Основина. – Старый Оскол: СТИ МИСиС, 2006. – 132 с.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛЭП, ПС

Федяшова Ю.С. – студент
Науч. рук ***Кущ Л.Р.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье рассматривается эффективность применения беспилотных летательных аппаратов для обследования ЛЭП, ПС.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: беспилотный летательный аппарат, дрон, коптер, мониторинг, воздушная линия электропередач.

Одним из важнейших аспектов, характеризующих развитие общества, является потребление им электроэнергии. При повреждении воздушной линии (ВЛ) нарушается весь процесс производства, распределения и потребления электроэнергии. Для принятия мер и устранения неисправностей на ВЛ производится диагностика элементов и выполняются ежегодные осмотры, а также проводятся модернизация и реновация существующих линий электропередачи (ЛЭП).

В настоящее время силовые линии осматриваются преимущественно пешим способом или с использованием вертолета, что очень трудоемко, затратно и занимает много времени. При работе с труднодоступными участками ЛЭП наземное обследование может затянуться на несколько дней или неделей. А при аварии один из решающих факторов осмотра – скорость обнаружения повреждения. Сократив время на поиск повреждения, можно уменьшить показатель недоотпуска электроэнергии.

Значительная экономия времени на поиск повреждения может быть достигнута с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), так как данный аппарат способен покрыть расстояние до нескольких десятков километров в день, что при пешем осмотре является практически невозможным.

Анализ возникших проблем с передачей электроэнергии в России показывает, что в последнее время массовые повреждения ВЛ вызваны в определяющей мере старением основных фондов. Основная масса ВЛ была построена в 60–70 гг. прошлого столетия. При их проектировании исходили из срока службы 30 лет.

Таким образом, на сегодняшний день при существующем моральном и физическом износе оборудования в сфере энергетики и нехватки финансирования для его обновления мониторинг воздушных линий при помощи БПЛА является перспективной задачей для энергетической промышленности [1].

В зависимости от решаемых задач и величины зоны использования (дальности полета) могут применяться БПЛА самолетного и вертолетного типов, а также мультироторные БПЛА вертолетного типа (коптеры).

Основным преимуществом применения БПЛА любых типов является возможность интегрирования с БПЛА различных видов аппаратуры и целевого оборудования: фотовидеокамеры, УФ-камеры (дефектоскопы или пеленгаторы), лазерные сканеры (лидары), инфракрасные камеры (управляемые тепловизоры) и т. д.

Осмотр воздушных линий электропередачи с помощью БПЛА поможет выявить следующие неисправности ЛЭП: недопустимое провисание провода в пролете, повреждение провода, в том числе и обрыв провода, образование коррозии на металлических опорах, дефекты железобетонных опор, отклонение опоры от вертикали, проседание грунта вокруг опоры, загрязнение и разрушение изоляторов, разворот траверсы на опоре [2].

Изображения в ультрафиолетовом спектре при обследовании ЛЭП могут быть получены с помощью УФ-камеры, которая работает в диапазоне 240–280 нм. В этом диапазоне солнечная радиация поглощается атмосферным озоном, что делает возможным наблюдение частичных поверхностных разрядов (короны) при естественном освещении. Некоторые виды дефектов могут быть выявлены только в ходе съемки УФ-камерой (рисунок).

Рисунок. Коронные разряды в УФ-спектре

Основными БПЛА для обследования ВЛЭП, используемые в России: Геоскан 101 и Геоскан 201 (ГК «Геоскан», Санкт-Петербург), Суперкам 100F, Суперкам 250F и Суперкам 350F («Финко», Ижевск) и Птеро G0 («АФМ-Серверс», Москва), а среди БАС мультироторного типа – Геоскан 401 (ГК «Геоскан»), Суперкам X8 («Финко»). В табл. 1 приведены их технические характеристики.

Таблица 1

Основные характеристики БПЛА самолетного типа

Марка	«Геоскан 401» «Суперкам X8M»	«Геоскан 101» «Суперкам 100F»	«Геоскан 201» «Суперкам 250F»	«Суперкам 350F» «Птеро G0»
Класс	Мульти-роторные	Самолетный, малого радиуса действия	Самолетный, среднего радиуса действия	Самолетный большого радиуса действия
Время полета	До 1 часа	До 1 часа	До 3 часов	До 8 часов
Максимальная длина маршрута	24 км	70 км	210 км	До 800 км
Скорость полета	До 50 км/ час	До 125 км/ час	До 140 км/ час	До 115 км/ час
Вид двигателя	Электрический	Электрический, бесколлектор-ный	Электрический, бесколлекторный	Двигатель внутреннего сгорания
Стоимость, тыс. руб.	1650	1370	1540	4100

Выполнен расчет экономической эффективности на примере БПЛА самолетного типа «Геоскан 201». В табл. 2 приведено сравнение затрат на мониторинг ЛЭП наземными методами и с помощью БПЛА «Геоскан 201».

Таблица 2

Затраты на мониторинг ЛЭП наземными методами и с БПЛА «Геоскан 201»

Наименование параметра	Наземные методы	БПЛА «Геоскан 201»
Количество исполнителей в рабочей группе	3	2
Заработная плата,[1] руб.: – сотрудника в месяц – группы в день	 30 000 3913	 45 000 3913
Количество рабочих часов в день	8	8
Скорость обследования: – км/ч – км/день[2]	 2 16	 85 191
Заработная плата сотрудников на обследование 1 км ЛЭП, руб.	245	20
Стоимость БПЛА,[3] руб.	–	1 540 000
Стоимость эксплуатации БПЛА, руб.: – 500 взлетов/посадок – в течение 1 дня[4] – при обследовании 1 км ЛЭП[4]	 –	 500 000 4000 21
Общая стоимость обследования 1 км ЛЭП, руб.	245	41
Время обследования 1 тыс. км ЛЭП, дней	63	5
Стоимость обследования 1 тыс. км ЛЭП, руб.	244 565	41 375

Примечания

[1] Данные по заработной плате взяты с сайта Росстата [2].

[2]Общее расстояние полета предусматривает полет БАС в одну и другую сторону (в нем не учтено расстояние на маневры над ЛЭП, которое зависит от кривизны ЛЭП и частично от скорости ветра). При углах поворота около 12–150 БАС вынужден пролететь этот участок, совершив маневр (петлю). При экстремальных температурах и сильном ветре полетное время снижается. Использование в дождь не вредит БАС, однако может негативно сказаться на качестве получаемых фотоматериалов.

[3] Цены взяты с сайта [3] и актуальны на начало 2020 г.

[4] Полная амортизация оборудования рассчитана на эксплуатацию в течение трех лет при следующих условиях: 2 взлета/посадки в день в течение 250 дней.

Средняя цена аварий на ВЛ за 2019 год от «МРСК Юга» составляет 225,0632 тыс. руб. Экономический эффект будет выражаться в уменьшении количества аварий за счет своевременного обнаружения мелких повреждений:

$$C_F = 180\,050 \text{ руб./мес.}$$

Простой срок окупаемости рассчитывается по формуле

$$PP = \frac{K}{C_F}, \tag{1}$$

где K – капиталовложения для покупки БПЛА, тыс. руб.; C_F – суммарный экономический эффект, тыс. руб.

Простой срок окупаемости для «Геоскан 201»:

$$PP_1 = \frac{1\,540\,000 + 40\,000}{180\,050 \cdot 12} = 0{,}73 \text{ года.}$$

Дисконтированный срок окупаемости рассчитывается по формуле

$$DPP = \frac{K}{\sum_{i=1}^{n} \frac{C_F}{(1+r)^t}}, \tag{2}$$

где K – капиталовложения для покупки БПЛА, тыс. руб.; C_F – суммарный экономический эффект, тыс. руб; r – ставка дисконта (r = 0,0775 на 2020 год); t – период времени кратный году.

Дисконтированный срок окупаемости для «Геоскан 201»:

$$DPP_1 = \frac{1\,580\,000}{\frac{180\,050 \cdot 12}{(1+0{,}0775)}} = 0{,}79 \text{ года.}$$

Согласно расчетам затрат на мониторинг воздушных ЛЭП, использование БПЛА эффективнее по сравнению с наземными методами по следующим показателям:

– общая стоимость обследования 1 км ЛЭП сокращается в 6 раз;

– время на обследования 1 тыс. км ЛЭП сокращается на 58 дней.

Таким образом, использование беспилотных летательных аппаратов позволяет существенно увеличить оперативность мониторинга и сократить сроки проведения обследований и ремонтно-профилактических работ. Применение БПЛА может дать экономию средств в размере десятков и сотен миллионов рублей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арбузов, Р.С. Современные методы диагностики высоковольтных линий электропередачи / Р.С. Арбузов, А.Г. Овсянников. – Новосибирск: Наука, 2009. – 136 с.

2. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: http://www.gks.ru (дата обращения: 10.05.2020).

3. ГК Геоскан. Беспилотные технологии для профессионалов Geoscan производитель беспилотников в России [Электронный ресурс]. URL: https://www.geoscan.aero/ (дата обращения: 10.05.2020).

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ УЧЕТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ И РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Давыденко В.Л.[1] – магистрант

Науч. рук. ***Болдырев И.А.***[2] – канд. техн. наук, доцент

[1]ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

[2]Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлены результаты исследования систем учета тепловой энергии, их типы и особенности. Произведен анализ систем учета тепловой энергии, проведены эксперименты с изменением режима работы. Разработана лабораторная установка для изучения систем учета тепловой энергии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: системы учета, тепловычислитель, тепловые узлы, счетчик.

Имеются разные подходы к подсчету тепловой энергии, потребляемой жителями города: существуют как способы подсчета вручную, так и автоматизированные. Автоматизированные информационно-измерительные системы контроля и учета тепловой энергии – это современный способ подсчета и контроля тепловой энергии, он позволяет не затрачивать время на расчеты и измерения, также передает данные автоматически в учетные центры.

АИИС КУ ТЭ измеряют и контролируют параметры теплоносителя, такие как давление, расход и температуру, данные параметры принимает и обрабатывает тепловой вычислитель, в нем заложен алгоритм и формулы вычисления тепловой энергии.

Уравнение, которое используется в тепловых вычислителях для расчета потребленной тепловой энергии:

$$Q = G_{\text{п}}(h_{\text{п}} - h_{\text{хв}}) - G_0(h_0 - h_{\text{хв}}), \quad (1)$$

где Q – тепловая энергия, расходуемая потребителем; G_n – расход воды, проходящей в подающем трубопроводе; $h_{\text{п}}$ – энтальпия воды, проходящей в подающем трубопроводе; G_0 – расход воды, проходящей в обратном трубопроводе; h_0 – энтальпия воды, проходящей в обратном трубопроводе; $h_{\text{хв}}$ – энтальпия воды, поступающей на генерацию тепловой энергии.

Энтальпия является функцией давления и температуры теплового носителя. Следовательно, тепловая энергия зависит от текущих значений параметров теплоносителя: давления, расхода и температуры. Используя уравнение (1), как правило, и строят уравнения для расчета тепловой энергии, потребляемой жителями города [2].

В соответствии с терминологией, используемой для тепломеханического оборудования, все системы теплосетей можно разделить на открытые и закрытые.

Закрытая система теплоснабжения характеризуется тем, что вода, которая циркулирует в трубопроводе, используется только для системы отопления. Из системы не забирается вода для системы горячего водоснабжения. Такая система закрыта от окружающей среды.

Открытая система – это система, в которой горячая вода поступает как для системы отопления, так и для горячего водоснабжения. Таким образом, в жилой дом подходит один подающий трубопровод, который в тепловом узле разделяется на горячее водоснабжение и систему отопления.

Существуют зависимые и независимые системы теплоснабжения. Зависимые системы – это системы, в которых теплоноситель попадает сразу к потребителю и не имеет промежуточных теплообменников, такая система не позволяет регулировать теплоснабжение и приводит к теплопотерям. В независимых системах теплогенерирующее оборудование гидравлически изолировано от потребителя и имеет дополнительные теплообменники, такая система имеет ряд преимуществ, более высокую надежность и снижает теплопотери.

Уравнение (1) универсально, потому что оно применимо как для закрытых, так и для открытых систем теплопотребления [1].

Алгоритм измерения любого правильно работающего счетчика тепловой энергии должно реализовывать уравнение (1) либо эквивалентное ему. Для этого на прямом и обратном трубопроводах измерению подлежат давление, температура и расход теплоносителя. Алгоритм расчета содержит определение энтальпии для каждого потока (по измеренным температуре и давлению) и

вычисление разницы по (1) в каждый *i*-й момент времени, в который регистрируются текущие параметры и вычисляется потребляемая тепловая мощность [1].

По алгоритму вычисления, заложенному в конструкцию узла учета, и принципиальной схеме следует различать комплекты, предназначенные для работы только в закрытых системах, и универсальные, которые будут правильно работать как в закрытых, так и в открытых системах. Так как в западных странах распространены только закрытые системы теплопотребления (индивидуальные), то почти все приборы, производимые западными фирмами, применимы только для закрытых систем. Попытки применять комбинированные схемы либо дополнять западный комплект дополнительными расходомерами на обратном трубопроводе незаконны, и на практике означают практический отказ от приборного учета и возвращение к приборно-расчетному методу оплаты потребленной тепловой энергии.

Другая классификация счетчиков тепловой энергии – по типу прибора в их составе, измеряющего расходы теплоносителя в трубопроводах. По физическому принципу действия эти расходомеры могут быть:

1) расходомером на сужающем устройстве (диафрагме, сопле, трубе Вентури);

2) ротационным (крыльчатым) расходомером;

3) электромагнитным расходомером;

4) ультразвуковым расходомером;

5) шариковым расходомером;

6) вихревым расходомером.

Было проведено 20 экспериментов замера характеристик расхода, давления и температуры теплоносителя. Эксперименты № 1–15 проведены при нормальном режиме работы. Эксперименты № 16–20 были сымитированы при резком понижении, а затем резком повышение давления в трубопроводе. Все эксперименты проводились с равным интервалом в 10 минут. Результаты экспериментов приведены на рис. 1–3. На рис. 1 изображены результаты экспериментов по изменению давления воды.

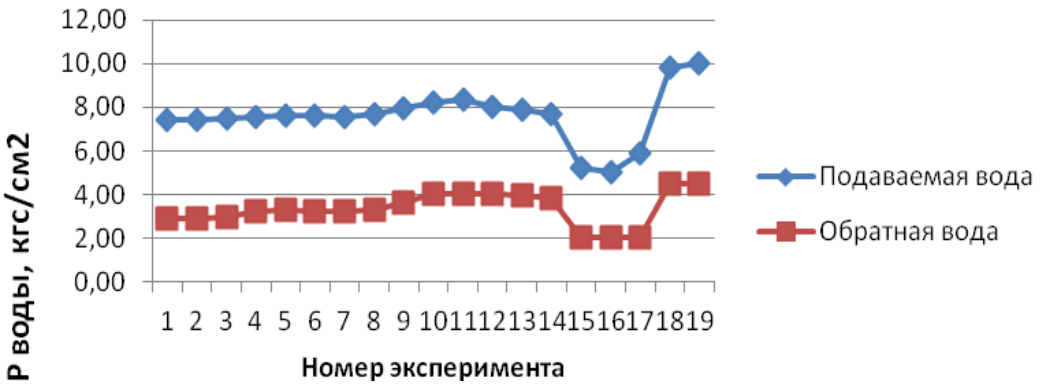

Рис. 1. Изменение давления в трубопроводе

На рис. 2 изображены результаты экспериментов по изменению температуры воды, а на рис. 3 – результаты экспериментов по изменению расхода воды.

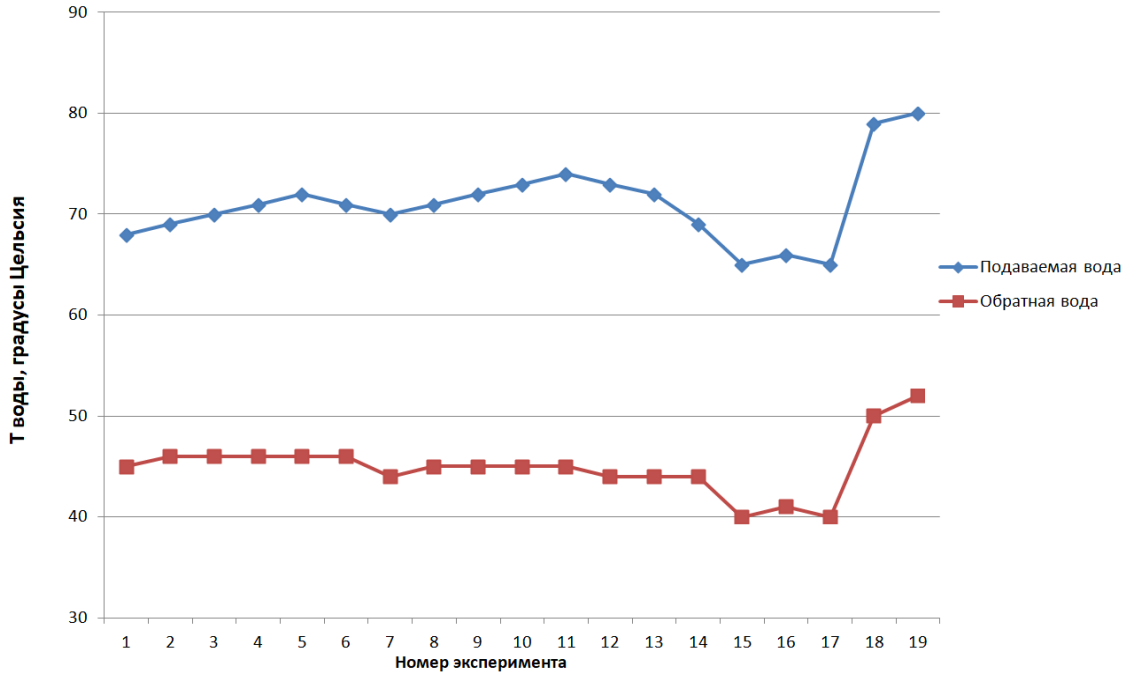

Рис. 2. Изменение температуры в трубопроводе

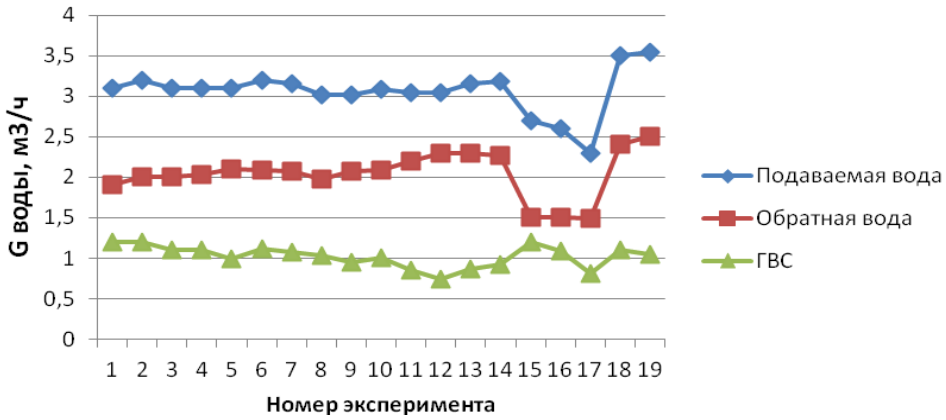

Рис. 3. Изменение расхода воды в трубопроводе

Лабораторный стенд разрабатывается с целью обучения студентов быстрому и точному обнаружению дефектов в системах учета. Для этого будет создана установка с имитацией сигналов датчиков. Датчик давления и расходомеры возможно реализовать с помощью регулятора тока и блока питания, датчик термосопротивления – с помощью реохорда. Такие сигналы подаются в тепловычислитель, тем самым имитируя показания. Сбор и хранение параметров реализуются с помощью интерфейса RS-485.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергосбережение на промышленных предприятиях: учебное пособие / под ред. проф. М.И. Яворского. – Томск: Изд-во ТПУ, 2000. – 134 с.
2. ГОСТ Р ЕН 1434-1-2011. Теплосчетчики. Часть 1. Общие требования. 2013-03-01.
3. ГОСТ Р 56942-2016. Автоматизированные измерительные системы контроля и учета тепловой энергии. Общие технические условия. 2017-01-01.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ ВОЛЖСКОЙ ТЭЦ-2

Курбанов В.В. – студент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АНОТАЦИЯ. В статье представлено исследование действующей системы автоматического регулирования тепловой нагрузки Волжской ТЭЦ-2, один из вариантов ее модернизации, а также программа для новой системы регулирования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: регулирование, давление пара, тепловая нагрузка, расход топлива.

ABSTRACT. The paper present a study of the current system of automatic regulation of the heat load of the Volzhskaya TPS-2, one of the options for its modernization, as well as a program for a new regulation system.

KEYWORDS: regulation, steam pressure, heat load, fuel consumption.

За счет увеличения нагрузки станции повышается количество пара, необходимое для работы турбин, что приводит к уменьшению давления пара в паровой магистрали и барабанах котлоагрегатов. Поэтому для корректной работы станции и поддержания необходимого давления пара в паровой магистрали и барабане котла используют регулятор тепловой нагрузки (РТН).

В рассматриваемой системе имеется три паровых котла БКЗ-420-140 НГМ, и регулирование может осуществляться различно, в зависимости от необходимых требований, в том числе погодных условий.

На данный момент на Волжской ТЭЦ-2 в качестве регулятора тепловой нагрузки на каждом из котлоагрегатов БКЗ-420-140НГМ установлен регулятор Р-27, который является морально устаревшим и подлежит замене на более новое и модернизированное устройство, такое как контроллер. К недостаткам регулятора Р-27 можно отнести следующие: величина, которая регулируется, может выходить за пределы уставок; сам регулятор не имеет прямой передачи данных на ЭВМ. Также большим плюсом модернизации является то, что можно заменить сразу три регулятора Р-27 на один котроллер, с помощью которого будет регулироваться тепловая нагрузка сразу на трех котлах.

В качестве замены регулятора Р-27 был выбран многофункциональный и высокопроизводительный микропроцессорный контроллер «МИК-52Н-00», который предназначен для автоматического регулирования и логического управления технологическими процессами в различных отраслях (в том числе и в энергетической отрасли). Также с помощью данного контроллера возможно подключение к ЭВМ для передачи данных о состоянии системы управления с помощью интерфейса RS-485 по протоколу ModBus, что делает его более усовершенствованным и удобным по сравнению с регулятором Р27, который не имеет связи с ЭВМ. В совокупности с данным контроллером используется модуль расширения МР-51Н-13, необходимый для подключения всех датчиков рассматриваемой системы.

Программирование контроллера осуществляется при помощи функциональных кнопок передней панели или по интерфейсу с использованием визуального редактора FBD-программ «Альфа». Язык программирования в данной системе основан на языке функциональных блоковых диаграмм Function Block Diagram (FBD). Система программирования соответствует требованиям стандарта Международной электротехнической комиссии (МЭК) IEC 1131-3. Входы и выходы данного котроллера приведены в табл.

Таблица

Входы и выходы контроллера МИК-52Н-00

Наименование входа/выхода	Аналоговый вход	Дискретный вход	Аналоговый выход	Дискретный выход
Количество входов/выходов	8	3	1	5

Само регулирование осуществляется следующим образом: с помощью датчика «ЭЛЕМЕР-АИР-30М» измеряется давление пара в барабане котла, а с помощью датчика «Метран 350» отслеживается расход газа. При повышении давления пара в барабане или недостаточном давлении с ПЛК «МИК-52Н-00» отправляется сигнал для восстановления нормального режима работы путем изменения количества подаваемого топлива.

Программа для выбранного контроллера была написана на языке FBD. Основой данной программы является ПИД-регулятор, или же регулятор расхода газа, который отвечает за автоматическое регулирование тепловой нагрузки. Данный функциональный блок изображен на рис. 1.

На вход регулятора, который обозначен как PV приходит значение давления с датчика давления пара в барабане котла. На вход прм(15) данного блока приходит сигнал задания регулятору расхода газа. Также в сам блок вводятся данные о пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих ПИД-регулятора, соответственно KP, TI и TD. С дискретных выходов данный регулятор отправляет сигнал на устройство, корректирующее расход газа, где

dUP – выход регулятора и сигнал «Больше», а dDN – выход регулятора и сигнал «Меньше».

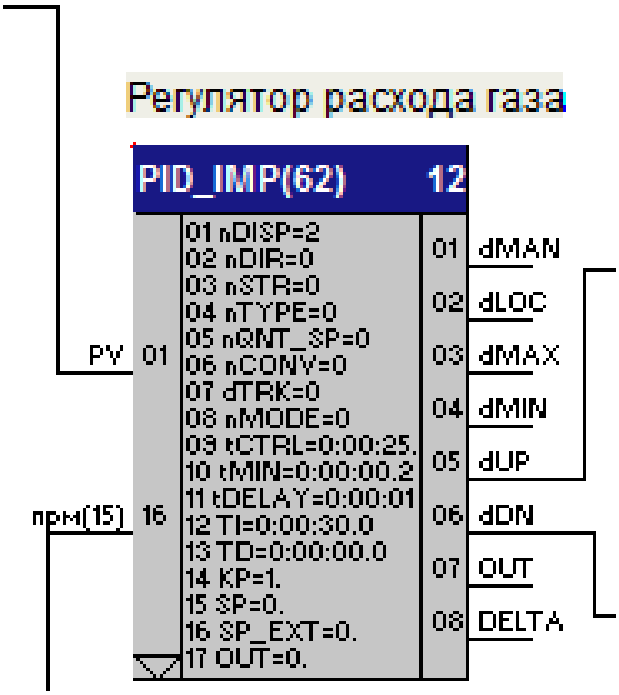

Рис. 1. Функциональный блок ПИД-регулятора
(регулятор расхода газа)

Функциональный блок, отвечающий за датчик давления пара в барабане котла, изображен на рис. 2.

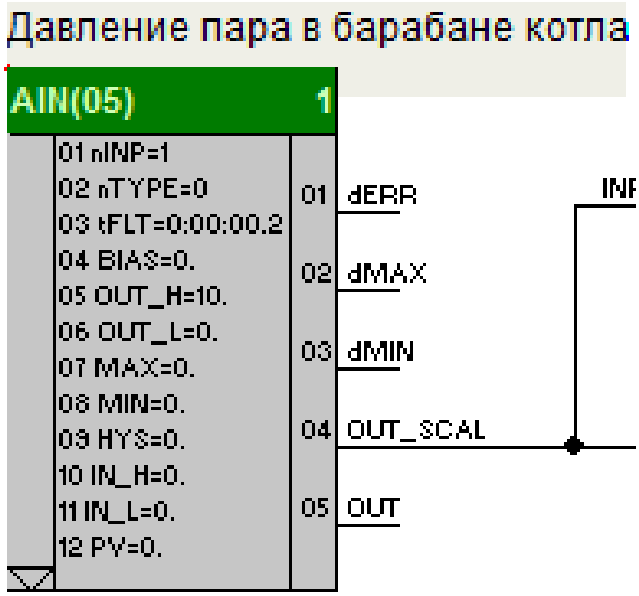

Рис. 2. Функциональный блок датчика
давления пара в барабане

Данные с функционального блока датчика давления пара в барабане котла отправляются на блок, корректирующий расход газа по давлению пара в барабане котла, который изображен на рис. 3.

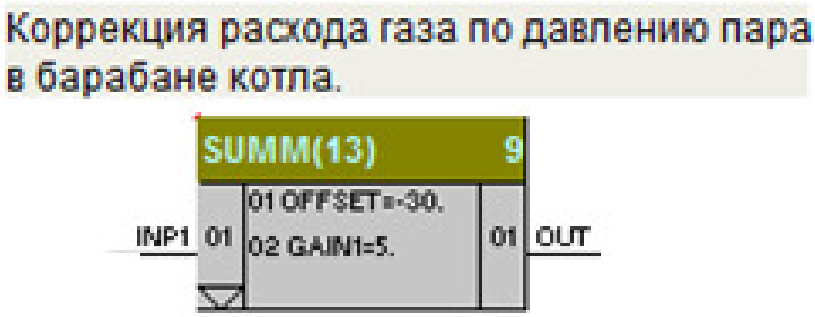

Рис. 3. Функциональный блок, корректирующий расход газа по давлению пара в барабане котла

По имеющимся данным формируется сигнал, задающий регулятору расход газа в соответствующем блоке, изображенном на рис. 4.

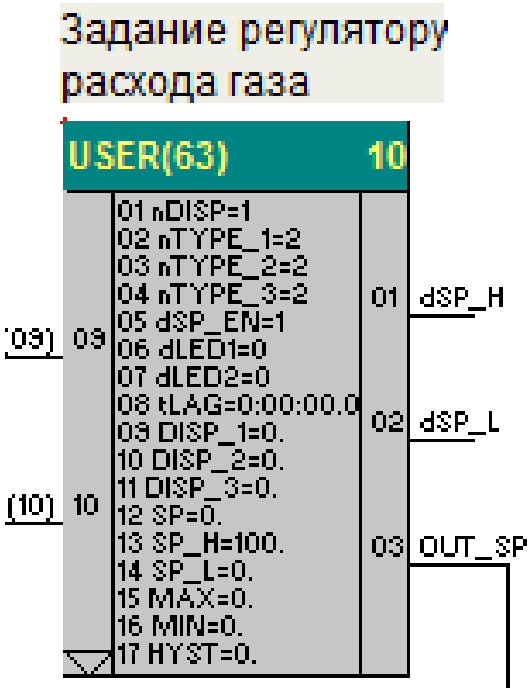

Рис. 4. Функциональный блок задания ПИД-регулятору расхода газа

Общий вид программы для автоматического регулирования тепловой нагрузки приведен на рис. 5.

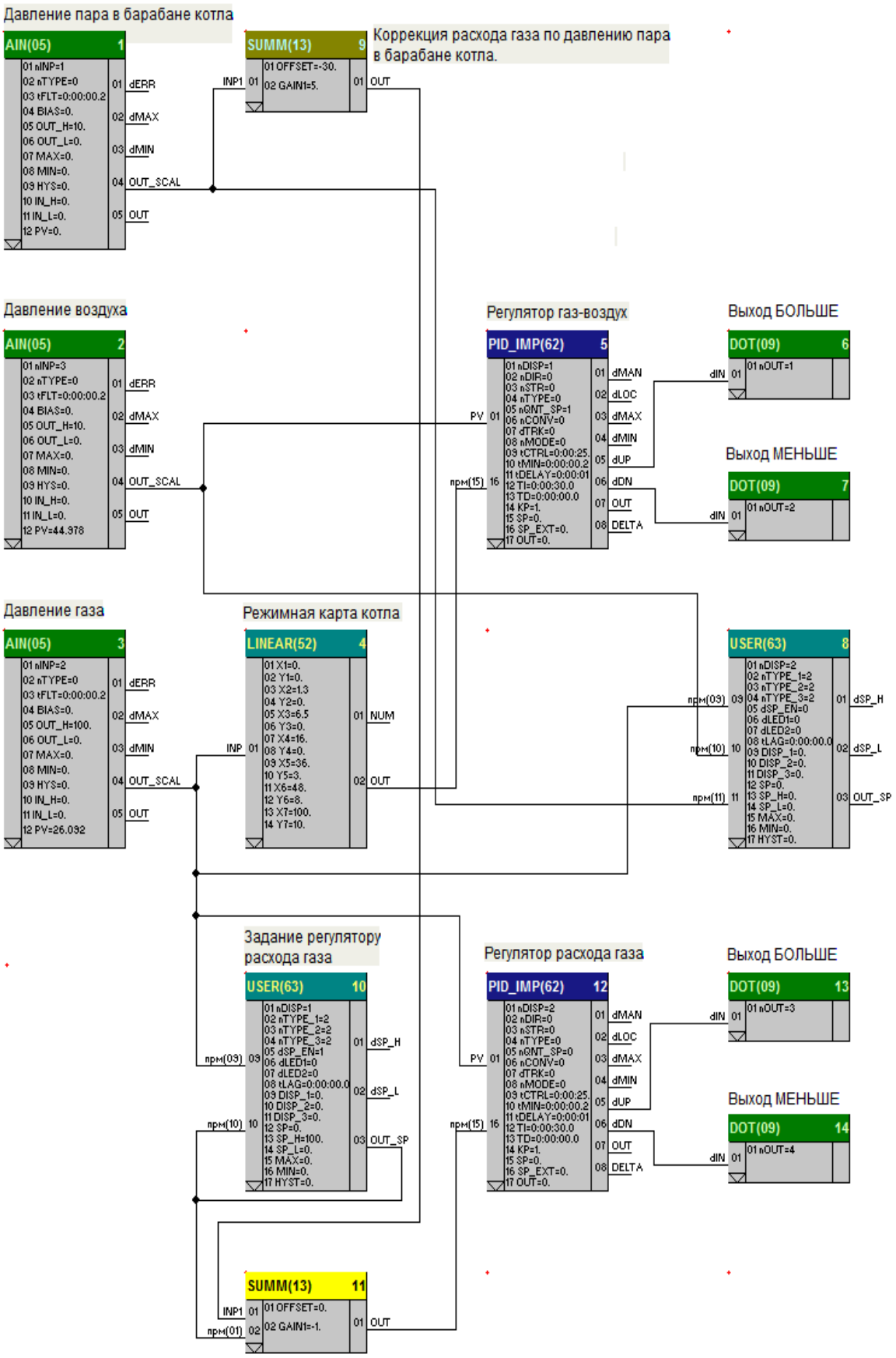

Рис. 5. Программа для автоматического регулирования тепловой нагрузки

Таким образом, при изучении системы автоматического регулирования тепловой нагрузки был проведен ее анализ и в качестве модернизации предложен микропроцессорный контроллер «МИК-52Н-00», а также разработана программа для функционирования новой системы регулирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шарапов, В.И., Ротов, П.В. Технологии регулирования нагрузки систем теплоснабжения / В.И. Шарапов, П.В. Ротов. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 160 с.

2. Патент РФ 3563524/24-06. Система автоматического регулирования тепловой нагрузки парогенератора / В.И. Жиляков; заявл. 11.02.83; опубл. 15.12.84, Бюл. № 46.

3. Регулирование тепловой нагрузки котла [Электронный ресурс] // Лекции.Ком. URL: https://lektsii.com/2-65507.html (дата обращения 13.05.2020).

4. Промматика / Регулирование нагрузки котла котельной [Электронный ресурс]. URL: http://prommatika.ru/staty/111-regylirovanienagryzki (дата обращения 14.05.2020).

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЕАЭРАТОРОМ ДСП-500М

Чернышов Е.Д. – студент
Науч. рук. ***Болдырев И.А.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлен алгоритм системы автоматического управления деаэратором ДСП-500М, показана принципиальная схема деаэратора, структурная схема регулятора.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: деаэратор, ПЛК, программа.

ABSTRACT. The article presents an algorithm for automatic control of the DSP-500-M deaerator, shows the schematic diagram of the deaerator, the block diagram of the automatic control system.

KEYWORDS: deaerator, PLC.

Деаэратор – это устройство для удаления из питательной воды коррозионно-активных газов, кислорода, свободной двуокиси углерода, а также связанной двуокиси углерода путем термического разложения бикарбонатов, растворенных в питательной воде.

Воздух, растворенный в конденсате, питательной и добавочной водах, содержит агрессивные газы, вызывающие коррозию оборудования и трубопроводов электростанции. Для проведения деаэрации воды в цикле паросиловой установки предназначена деаэрационная установка. Принципиальная схема деаэрационной установки ДСП-500М представлена на рис. 1.

Кроме того, она служит для подогрева питательной воды в схеме регенерации турбоустановки и создания постоянного резерва питательной воды для компенсации небаланса между расходами воды на котел и на деаэратор.

Вода поступает в верхнюю часть колонки на водораспределительное устройство, из которого сливается тонкими струйками на дырчатый лист с отверстиями 5 мм. Стекая сверху вниз тонкими струйками навстречу греющему пару, поступающему в нижнюю часть колонки, питательная вода, нагревается до температуры насыщения из нее, выделяются растворенные газы.

Большая часть греющего пара конденсируется при нагревании воды, а небольшой избыток его вместе с выделившимися из воды газами (выпаром) отводится из верхней части колонки в атмосферу или охладитель выпара, в котором пар конденсируется, подогревая воду, поступающую в деаэратор, а газы отводятся в атмосферу.

Деаэрированная вода поступает в бак-аккумулятор, где происходит дополнительное выделение пузырьков газов, которые не успели выделиться в деаэраторной колонке или были захвачены струями воды. Из бака-аккумулятора вода поступает к питательным насосам.

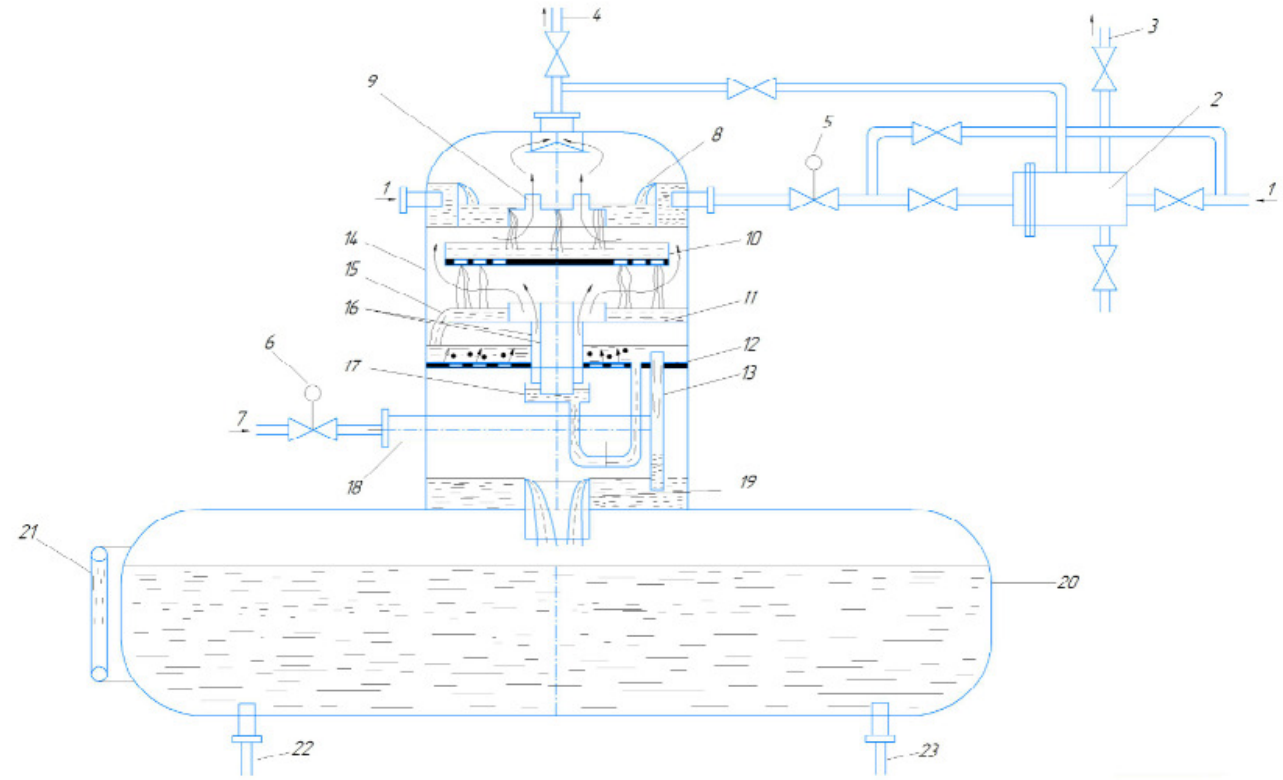

Рис. 1. Принципиальная схема ДСП-500М

Система автоматического управления (САУ) деаэратором предназначена для обеспечения безаварийного и эффективного управления деаэратором с целью стабилизации параметров на заданном уровне в различных режимах работы основного оборудования.

На деаэраторной установке автоматические регулируются следующие параметры:

– давление пара в деаэраторе;

– уровень воды в баке-аккумуляторе.

Колебание уровня при включенном регуляторе не должно превышать 1800 ± 10 мм. Избыточное давление должно поддерживаться в пределах 6 ± 0,1 кгс/см^2.

Регулирование деаэрационной установкой осуществляется с помощью программируемого логического контроллера (далее – ПЛК), который учитывает сигналы с первичных преобразователей давления с дальнейшим воздействием на регулирующие органы.

Давление пара регулируется по одноконтурной системе регулирования. Датчик избыточного давления связан с контроллером, в котором по ПИ-закону формируется управляющий сигнал. Дискретный выход контроллера связан с электроприводом клапана подачи пара. Преобразователь давления передает сигнал значения давления в ПЛК. ПЛК обрабатывает полученное значение от преобразователя давления и сравнивает с заданным значением давления. В зависимости от установленного значения в ПЛК производится регулирование исполнительным механизмом. Если полученное значение с первичного преобразователя давления и установленное значение в ПЛК совпадают или разница в пределах допуска, то ПЛК не подает сигнал на вход привода исполнительного механизма.

Контур регулирования уровня воды представляет собой одноконтурную систему регулирования. По показаниям дифференциального датчика давления ПЛК формирует управляющее воздействие по ПИ-закону регулирования для электрического привода исполнительного механизма подачи воды. Дифференциальный датчик давления измеряет уровень воды в деаэраторе и передает сигнал в ПЛК. Программируемый логический контроллер сравнивает полученное значение с заданным, и в зависимости от установленного значения производится регулирование исполнительным механизмом.

Рассмотрим контур регулирования уровня. Структура регулятора показана на рис. 2, где L и $L_{зад}$ – текущее и заданное значения уровня; ПИ – регулятор; Огр – ограничение сигнала регулятора; УпрКл – блок формирования импульсных сигналов для управления клапаном; ЦДП – цифро-дискретный преобразователь.

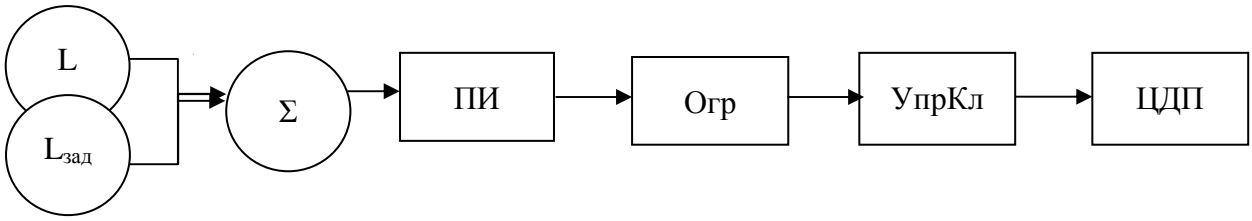

Рис. 2. Структура регулятора

На вход регулятора приходит значение с аналогового входа контроллера, к которому подключен дифференциальный датчик давления, информирующий о текущем значении уровня воды. На другом входе задается уставка для уровня воды, которая должна поддерживаться регулятором. Регулятор обрабатывает эти сигналы и выдает управляющее воздействие, которое поступает на вход линейного преобразователя, где преобразуется в значение положения регулирующего клапана.

Внедрение САУ деаэратором обеспечивает:

– контроль уровня воды в деаэраторе;

– контроль давления пара в деаэраторе;

– автоматическое поддержание заданного давления пара в деаэраторе;

– автоматическое поддержание заданного значения уровня воды в деаэраторе;

– сигнализации о превышения уставок;

– регистрация и архивирование параметров деаэратора и нештатных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клименко, А.В., Зорина, В.М. Тепловые и атомные станции: справочник / А.В. Клименко, В.М. Зорина. – М., 2003. – 320 с.

2. Липатников, Г.А., Гузеев, М.С. Автоматическое регулирование объектов теплоэнергетики / Г.А. Липатников, М.С. Гузеев. – Владивосток, 2007. –128 с.

3. Плетнев, Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике / Г.П. Плетнев. – М., 2007. – 273 с.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ РОСТОВСКОЙ АЭС

Морозов А.С. – студент

Науч. рук. ***Болдырев И.А.*** – канд. техн. наук, доцент

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлена система автоматического управления вентиляцией вспомогательных помещений, приборы, необходимые для ее реализации, и программа в CoDeSys.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вентиляция, программа, приборы, Ростовская АЭС.

ABSTRACT. The article presents an automatic ventilation control system for auxiliary rooms, devices necessary for implementation and a program in CoDeSys.

KEYWORDS: ventilation, program, devices, Rostov NPPs.

В настоящее время одной из проблем Ростовской АЭС является вентиляция вспомогательных помещений (помещение щита управления, кабинеты

ведущих инженеров и др.). На данный момент показатели работы вентиляции не соответствуют требуемым, таким как температура и влажность воздуха.

Вентиляционная установка необходима в любом промышленном помещении. Особенность АЭС – недопустимость перерыва в работе вентиляционной системы для помещений постоянного пребывания персонала (щиты и пункты управления, операторские и т. п.), в которых требуется поддержание стабильных метеорологических условий.

По требованию СанПин 2.6.1.24-03 «Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций СП АС-03» на атомной станции вентиляционные системы в помещениях должны рассчитываться на обеспечение температуры воздуха не выше 33 градусов Цельсия с относительной влажностью не более 75 % во время пребывания персонала.

Использование предложенной ниже автоматической системы вентиляции позволит выполнить требования, указанные в СанПин 2.6.1.24-03, и обеспечить метеорологические условия для постоянного пребывания персонала.

Главным элементом управления данной системы является сенсорный панельный контроллер (СПК) «Овен СПК110». Он представляет собой устройство класса «человеко-машинный интерфейс» со встроенными функциями свободно программируемого контроллера. Его особенности:

– панель оператора и программируемый логический контроллер в одном корпусе;

– графический экран с диагональю 10 дюймов;

– количество цветов 65 535 (16 бит);

– сенсорное управление экраном;

– два независимых последовательных интерфейса RS-232/RS-485;

– встроенная операционная система Linux;

– поддержка протоколов Modbus/Owen.

Программирование контроллеров осуществляется в профессиональной распространенной среде CoDeSys v.3.5. Для подключения приборов к СПК используются модуль ввода «Овен МВ110-224.8А» и модуль вывода «Овен МУ110-224.16Р».

Для измерения влажности и температуры воздуха непосредственно в помещении используется промышленный датчик влажности и температуры «Овен ПВТ100». Для измерения температуры воздуха, подаваемого в вентиляцию из атмосферы, используется термопреобразователь сопротивления «Овен ДТС015М-50М.0,5.60.И» [1].

В системе присутствуют два вентилятора Vents TT125. Первый работает в постоянном режиме, второй является вспомогательным.

Для подогрева воздуха, поступаемого в вентиляцию (при необходимости), установлен электрический воздухонагреватель ЭНК125/2,0.

Заслонка АЗД-125-ЭП предназначена для направления потоков воздуха. Для управления ею используется электропривод RWE02-24P.

Дополнительными элементами являются два контактора КМЭ-0910 для включения и отключения вентилятора и нагревателя.

На рис. 1 представлена структурная схема системы, собранной из приведенных выше приборов.

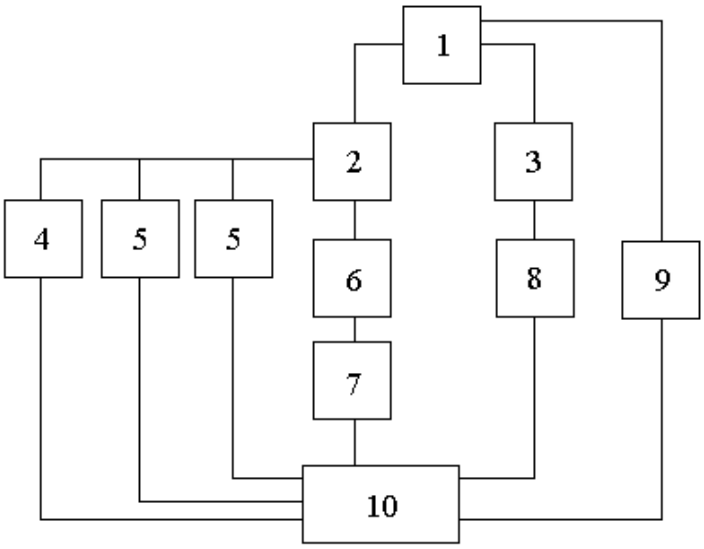

Рис. 1. Упрощенная структурная схема:
1 – «Овен СПК110»; 2 – «Овен МУ110-224.16Р»; 3 – «Овен МВ110-224.8А»;
4 – воздухонагреватель ЭНК 125/2,0; 5 – Vents ТТ125; 6 – электропривод
RWE02-24P; 7 – заслонка АЗД-125-ЭП; 8 – «Овен ПВТ100»;
9 – «Овен ДТС015М-50М.0,5.60.И» [1]; 10 – помещение

Программа для данной системы написана в среде CoDeSys на языке CFC (непрерывные функциональные схемы).

Описание переменных:

– Active – включение и выключение системы;
– Tcurrent – текущая температура в помещении;
– Tset – установленная температура;
– Pcurrent – текущая влажность в помещении;
– Pset – установленная влажность;
– Tmin – минимальная температура нагревателя;
– Tmax – максимальная температура нагревателя;
– Kp – коэффициент ПИД регулятора;
– Ti – коэффициент ПИД регулятора;
– Td – коэффициент ПИД регулятора;
– Vheater – напряжение, подаваемое на нагреватель;
– Vmax – максимальное напряжение;
– Vmin – минимальное напряжение;
– VventMain – напряжение, подаваемое на основной вентилятор;
– VventAdd – напряжение, подаваемое на дополнительный вентилятор;
– Vzasl – напряжение, подаваемое на заслонку.

Контуры регулирования в программе представлены на рис. 2, 3 и 4.

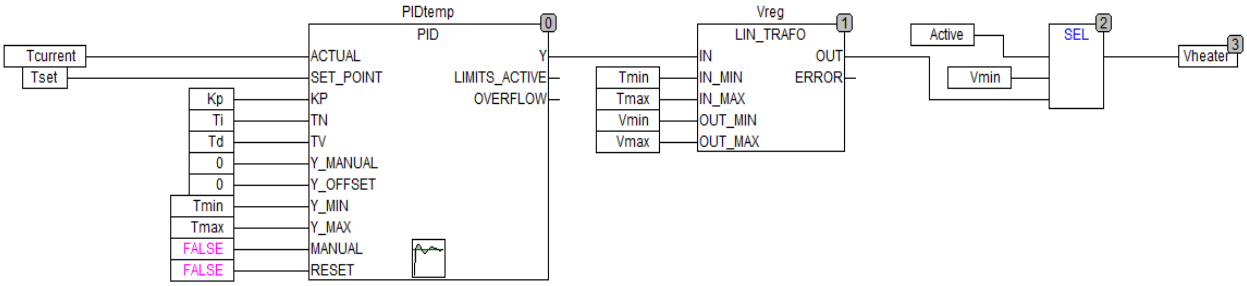

Рис. 2. Контур регулирования температуры в помещении

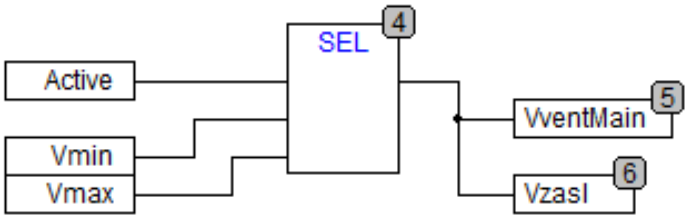

Рис. 3. Контур открытия заслонки и включения основного вентилятора

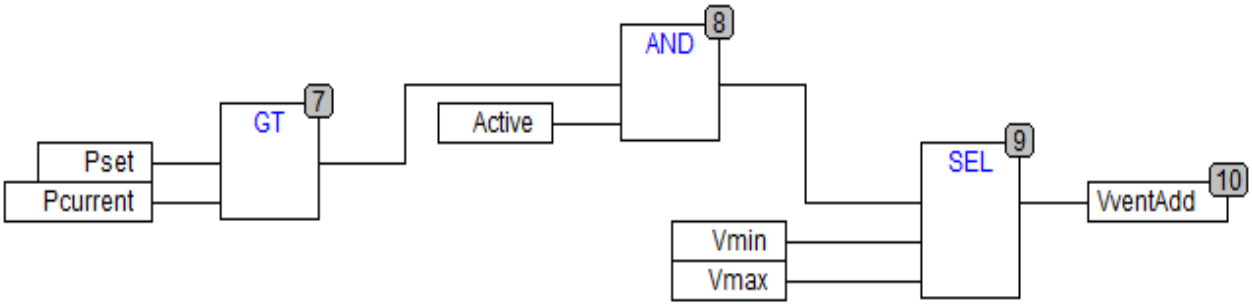

Рис. 4. Контур включения дополнительного вентилятора

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров, И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования; под ред. проф. В.П. Дьяконова / И.В. Петров. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 256 с.

2. СанПин 2.6.1.24-03. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций СП АС-03. – М.: Минюст РФ, 2003.

АЛГОРИТМ РАБОТЫ МОДУЛЯ «ЦИФРОВАЯ БИБЛИОТЕКА»

Иванов Ф.А. – магистрант
Науч. рук. ***Султанов М.М.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлен алгоритм работы модуля «Цифровая библиотека». Рассмотрен эффект от внедрения данного модуля в рабочий процесс библиотеки филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: библиотека, цифровизация, штрихкодирование, пользователи.

ABSTRACT. The article presents the algorithm of the Digital library module. The effect of implementing this module in the workflow of the library of the branch of the Federal state budgetary educational institution "NRU "MEI" in Volzhsky is considered.

KEYWORDS: library, digitization, barcoding, users.

Современная вузовская библиотека – это, во многом, хранилище и источник электронных ресурсов. Кроме традиционных книжных фондов, в последние годы появились фонды изданий на электронных носителях, фонды полнотекстовых удаленных ресурсов. Поэтому современные читатели являются не только таковыми в привычном понимании этого слова, они в значительной степени становятся пользователями [1].

Раньше основными функциями библиотеки были просветительская и образовательная, на современном же этапе обществом востребована информационная функция [2]. Именно поэтому в библиотеку филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском вошли изменения, вызванные цифровизацией. Был запущен проект «Цифровая библиотека».

Сотрудниками филиала была разработана специализированная программа, позволившая сократить по времени и упростить процессы выдачи и приема литературы у пользователей библиотеки.

Если до введения в библиотечную деятельность модуля «Цифровая библиотека» студент или сотрудник вуза заполнял все формуляры вручную, то теперь за счет штрихкодов, присвоенных пользователям и книгам, данная программа автоматически выдает литературу авторизованному пользователю и выводит автоматически заполненный формуляр на печать. Посетителю остается только поставить свою подпись и расшифровку на формуляре.

До цифровизации пользователь в процессе возвращения литературы в библиотеку после очередного модуля мог принести книгу, не указав, чья это книга, и сотрудник библиотеки вынужден был искать ее в картотеке вторых формуляров, либо, если не находил данную книгу в этой картотеке, вынужден был искать ее по всем студенческим формулярам. Теперь же ее можно легко

разыскать по штрихкоду, присвоенному каждой книге и каждому читателю, поэтому стало возможно быстро определить, чья это была книга.

Дополнительно в программу разработчиками была введена функция распознавания литературы по модулям. Если пользователю необходимо иметь на руках литературу двух модулей, то эти книги разграничиваются программой по дате их выдачи. Далее для подписи студенту предоставляется формуляр с текущим модулем, а не со всем списком на руках за два модуля.

Алгоритм работы сотрудника библиотеки с программой включает следующие шаги.

1. Авторизация сотрудника.
2. Появление студента в библиотеке.
3. Опознавание его программой (штрихкодирование).
4. Выдача/прием книг с помощью модуля «Цифровая библиотека».
5. Печать формуляра пользователя.
6. Внесение студентом своей подписи и ее расшифровки.

Результатами введения модуля «Цифровая библиотека», который прошел период апробации в вузовской библиотеке в течение полугода, стали:

– сокращение времени процедуры приема/выдачи книг;

– упрощение и ускорение поиска принадлежности данной книги к конкретному пользователю;

– разграничение по модулям литературы, находящейся на руках у пользователей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов, Ф.А. Электронные библиотечные системы как инструмент и продукт цифровизации в современной библиотеке / Ф.А. Иванов, М.М. Султанов, Е.Н. Целуйко // Архитектура университетского образования: современные университеты в условиях современного пространства: сборник трудов III Национальной научно-методической конференции с международным участием. Часть II. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2019. – С. 47–54.

2. Степина, Н.А. Сервисные технологии в практике вузовской библиотеки (на примере социологического исследования Научной библиотеки ОГУ им. И.С. Тургенева) / Н.А. Степина // Научные и технические библиотеки. – 2019. – № 2. – С. 42–51.

СЕКЦИЯ № 3

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ ПРОЦЕССОВ

Председатель: ***Зенина Е.Г.*** – канд. техн. наук, доцент
Секретарь: ***Стрижиченко А.В.*** – канд. техн. наук

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В РАСТЯЖКАХ АНКЕРНО-УГЛОВЫХ ОПОР ЛЭП

Попов С.В. – студент
Тышкевич В.Н. – канд. техн. наук, доцент
Курьянов В.Н. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлены результаты анализа расчетной схемы конструкции анкерно-угловой опоры ЛЭП с растяжками. Получены расчетные формулы для определения усилий в растяжках.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: опоры ЛЭП, усилия в растяжках.

ABSTRACT. The article presents the results of the analysis of the design diagram of the design of the anchor-angle support of power lines with extensions. Calculation formulas for determining the forces in extensions are obtained.

KEYWORDS: power transmission poles, stretching efforts.

При проектировании, сооружении и эксплуатации сетей электрических систем приходится решать вопросы конструктивного выполнения воздушных линий электропередачи (ЛЭП). Выбор конструкций воздушных линий, в первую очередь опор и проводов, оказывает значительное влияние на технико-экономические показатели и надежность работы сетей электроэнергетических систем [1]. Обоснованный выбор конструкций опор ЛЭП и их расчеты по условиям механической прочности являются важными задачами проектирования сетей электроэнергетических систем. Анкерно-угловые опоры могут быть свободно стоящими, с подкосами или оттяжками. Оттяжки опор могут прикрепляться к анкерам, установленным в земле, или к каменным, кирпичным, железобетонным и металлическим элементам зданий и сооружений. Сечение оттяжек определяется расчетом. Они могут быть многопроволочными или из круглой стали. Сечение однопроволочных стальных оттяжек должно быть не менее 25 мм^2 [2]. Для обоснованного выбора вида и размера сечения оттяжек (растяжек) необходимы методики и расчетные формулы для определения величины усилий в растяжках.

Цель исследований – получение расчетных формул для определения величины усилий в растяжках анкерно-угловых опор ЛЭП в зависимости от нагружения опоры и конструктивных параметров расчетных схем опор.

Определим расчетные формулы для определения усилий в растяжках R_3, R_2 и силы вертикального давления на опору R_1 для расчетной схемы, представленной на рис. 1. Опора нагружена тяжением проводов в горизонтальной плоскости: T_1 – под углом γ к оси *Oy*, T_2 – параллельно оси *Ox*. Другими нагрузками пренебрегаем. Растяжки *AB* и *AC* образуют с опорой равные углы α. Угол между плоскостями *AOB* и *AOC* равен φ (рис. 1).

Рассматривая равновесие узла *A*, к которому прикреплены провода и растяжки, имеем пространственную систему сходящихся сил [3].

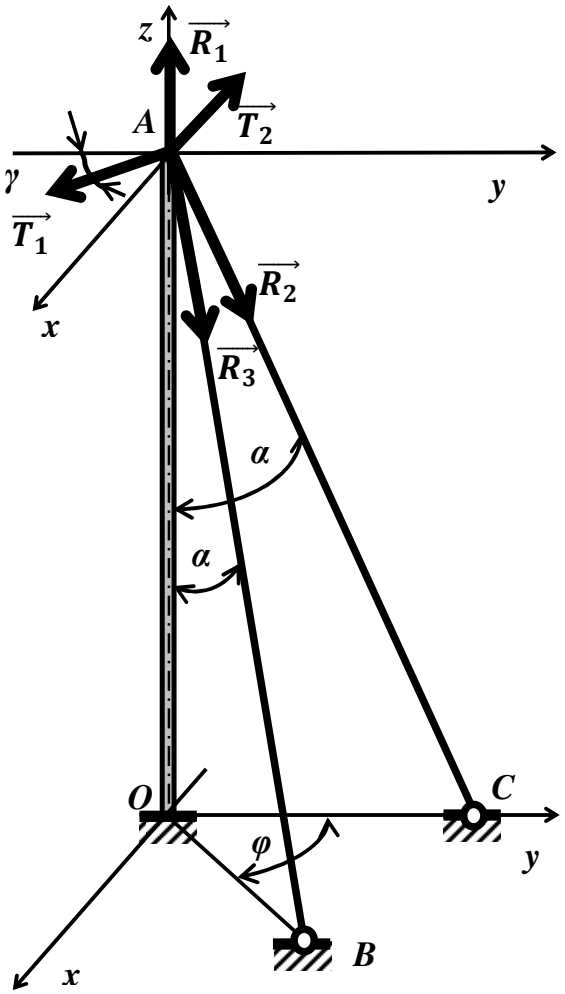

Рис. 1. Расчетная схема опоры с растяжками

Составляя уравнения равновесия

$$\sum F_{kx} = 0; \quad \sum F_{ky} = 0; \quad \sum F_{kz} = 0,$$

получим:

$$T_1 \sin\gamma - T_2 + R_3 \sin\alpha \sin\varphi = 0;$$

$$-T_1\cos\gamma + R_2\sin\alpha + R_3\sin\alpha\cos\varphi = 0;$$

$$R_1 - R_2\cos\alpha - R_3\cos\alpha = 0.$$

Решение этих уравнений:

$$R_3 = (T_2 - T_1\sin\gamma)\big/(\sin\alpha\sin\varphi);\ R_2 = [T_1\cos\gamma - (T_2 - T_1\sin\gamma)\cot\varphi]\big/\sin\alpha;$$

$$R_1 = [T_1(\cos\gamma + \sin\gamma\cot\varphi - \sin\alpha\big/\sin\varphi) + T_2(1\big/\sin\varphi - \cot\varphi)]\cot\alpha.$$

Анализируя решение, получим при

$$(T_2 - T_1\sin\gamma)\cot\varphi > T_1\cos\gamma$$

или

$$\tan\varphi < (T_2 - T_1\sin\gamma)\big/(T_1\cos\gamma),$$

имеем $R_2 < 0$, что невозможно, так как растяжка не может работать на сжатие.

При $T_1 = T_2$ и $\gamma = 0^\circ$ это ограничение – $\tan\varphi < 1$ и $\varphi < 45^\circ$. Это значит, что при проектировании конструкции опоры для исключения работы растяжки на сжатие угол φ должен быть больше или равен 45 градусам.

На рис. 2 показан график изменения величины усилия в растяжках *AB* и *AC* при варьировании угла α в пределах 30…70 градусов при $\varphi = 90^\circ$ и $\gamma = 0^\circ$.

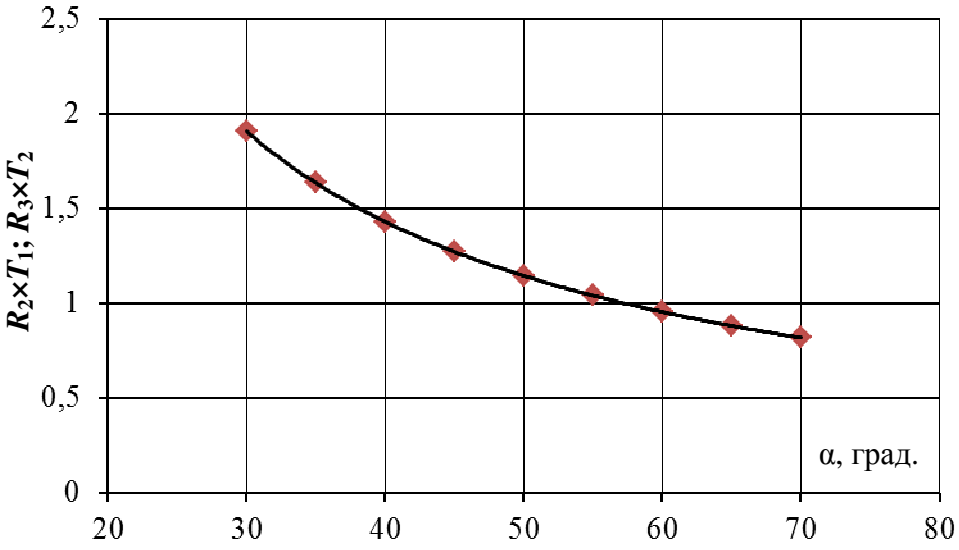

Рис. 2. Изменение величины усилий R_2, R_3
при варьировании угла α ($\varphi = 90^\circ$ и $\gamma = 0^\circ$)

Таким образом, получены расчетные формулы для определения величин усилий в растяжках анкерно-угловых опор ЛЭП в зависимости от нагружения опоры и конструктивных параметров расчетных схем опор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров, В.С., Дубровская, Т.И. Механический расчет проводов и тросов воздушных линий как основа расчета надежности конструкций [Электронный ресурс] / В.С. Петров, Т.И. Дубровская // Науковедение. – Том 7. – № 6 (2015). URL: http://naukovedenie.ru/ PDF/ 99TVN615.pdf.

2. Правила устройства электроустановок ПУЭ. Седьмое издание. [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98464.

3. Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики / С.М. Тарг. – М.: Высшая школа, 2010. – 416 с.

АНАЛИЗ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Жалнин А.Ю. – магистрант
Юрина В.Ю. – студент
Науч. рук. ***Зенина Е.Г.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В настоящее время ведутся работы по созданию улучшенных систем диагностики и прогнозирования технического состояния оборудования станций и подстанций. Для успешного их продвижения необходимо глубокое изучение и систематизация причин, процессов возникновения и развития дефектов и их признаков. Целью работы является обоснование актуальности применения систем диагностики основного оборудования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оборудование, надежность, система диагностики, техническое состояние.

ABSTRACT. Currently, work is underway to create improved systems for the diagnosis and forecasting of the technical condition of the equipment of stations and substations. For their successful promotion, a deep study and systematization of the causes, processes of the appearance and development of defects and their signs is necessary. The aim of the work is to justify the relevance of the use of diagnostic systems for the main equipment.

KEYWORDS: equipment, reliability, diagnostic system, technical condition.

Одной из главных задач эксплуатации основного оборудования на станциях и подстанциях является обеспечение надежности их работы. Существующие системы технической диагностики и мониторинга позволяют контролировать

работу оборудования в непрерывном режиме, что помогает выявлять многие дефекты на ранних стадиях.

Статистический анализ технологических нарушений в работе основного оборудования показал, что количество аварий и инцидентов у машин не зависит от срока эксплуатации. Степень износа функциональных узлов и их параметров основного технологического оборудования, определяемая во время плановых ремонтов, иногда оказывалась значительной. Тем не менее запасов прочности оборудования оказывается достаточно, чтобы машины безаварийно работали в течение межремонтных периодов продолжительностью 5–7 лет [1].

Однако совершенствование ныне существующих систем диагностики и мониторинга основного оборудования в процессе их работы, а также при остановках для осмотров, испытаний, средних и капитальных ремонтах закончится созданием систем технической диагностики и прогнозирования, позволяющих анализировать динамику изменения показателей надежности оборудования.

Это должно снизить вероятность и длительность вынужденных простоев машин, а также уменьшить объемы и стоимости восстановительных ремонтов за счет выявления дефектов на более ранней стадии развития, чем это достигается существующими методами и средствами [2]. Следующим этапом развития АСУ ТП в части повышения надежности эксплуатации оборудования может стать автоматизированная система технической диагностики (АСТД), которая предполагает диагностику состояния основного и вспомогательного оборудования, систем автоматики и защиты на основе существующего сбора данных АСУ ТП.

Для эффективного функционирования АСТД необходимо совершенствование существующих методов и средств диагностики и мониторинга, а также уточнение взаимосвязи дефектов между собой и признаков их проявления. Также необходимо улучшение выявления наиболее значимых дефектов и прогнозирование возможного изменения состава и вероятности появления различных дефектов. Проблема создания и совершенствования АСТД-оборудования на станциях и подстанциях является сложной и многоплановой, требующей сплоченной работы научно-исследовательских, проектно-конструкторских и промышленных организаций.

Рассмотрим системы диагностики на примере комплекса систем непрерывного мониторинга гидрогенераторов Iris Power компании Qualitrol.

FluxTracII – это непрерывный мониторинг для сбора и анализа данных о потоках от любого измерителя магнитного потока в реальном времени, предоставляет пользователю данные об обмотке ротора укороченными поворотами. Мониторинг потока основан на измерениях локального магнитного поля, исходящего от каждого полюса ротора. Факторы, влияющие на магнитное поле каждой катушки, включают:

– изменение размера воздушного зазора;
– ротор вне круга или центра;
– свободный полюс – ключевая миграция;

– миграция статора;

– естественные вариации физического положения полюса;

– укороченные повороты на полюсе.

Технология EVTracII обеспечивает непрерывный онлайн-мониторинг вибрации обмотки статора. Вибрация лобовых частей обмотки статора становится все более распространенной причиной ухудшения состояния и отказа как генераторов, так и двигателей большой мощности. Главной особенностью является то, что акселерометры производятся на базе волоконно-оптических технологий и, таким образом, невосприимчивы к сильным магнитным и электрическим полям в лобовых частях обмотки статора.

SMTracII – система обеспечивает непрерывное измерение напряжения и тока на валу с помощью щетки напряжения и щетки заземления вала.

AGTracII и емкостный воздушный зазор обеспечивают непрерывный мониторинг воздушного зазора между ротором и обмоткой статора на гидрогенераторах.

IrisPowerGuardII+ – непрерывный онлайн-мониторинг технологий с несколькими датчиками.

Данный комплекс систем позволяет максимизировать время между простоями в работе: используя техническое обслуживание на основе условий, оборудование удаляется из службы реже (это делается только в случае ухудшения состояния машины) по сравнению с другими схемами обслуживания. Затраты на ремонт при обнаружении проблем на ранней стадии часто составляют только 1 % от стоимости, возникшей в случае возникновения сбоя. Также системы позволяют снизить риск катастрофических сбоев: максимизировать прибыль от генератора, уменьшая риск катастрофических сбоев активов и планируя мероприятия по техническому обслуживанию, чтобы минимизировать затраты на простои в работе.

Крайне важно ускорить разработку и внедрение в эксплуатацию более совершенных, чем существующие, методов и средств выявления дефектов. Это позволит снизить аварийные выходы из строя основного оборудования, оказывающее существенное негативное воздействие на работу энергосистем и соответственно на надежность и качество электроснабжения потребителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самородов, Ю.Н. Дефекты генераторов / Ю.Н. Самородов. – М.: ЗАО «Энергетические технологии», 2005. – 350 с.

2. Мамиконянц, Л.Г., Элькинд, Ю.М. Обнаружение дефектов гидрогенераторов / Л.Г. Мамиконянц, Ю.М. Элькинд. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 231с.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОРСКИХ ПЛАВУЧИХ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ МОРСКИХ И ПРИБРЕЖНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Ванифатьев Р.В. – магистрант
Науч. рук. ***Трохимчук М.В.*** – канд. геол.-минерал. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Основной проблемой использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является их низкая экономическая конкурентоспособность по отношению к централизованной системе электроснабжения. Перспективной областью применения ВИЭ являются изолированные и удаленные энергорайоны, а также резервирование системы электроснабжения особо ответственных потребителей (повышенной категории надежности).

Применение энергии ветра в морских и прибрежных районах имеет высокий потенциал для сбережения энергоресурсов, экологической безопасности и сокращения издержек на сооружение и техническое обслуживание традиционных электростанций. Плюсом плавучей конструкции является высокая маневренность и скорость ввода в эксплуатацию на месте использования.

Разработки плавучих морских электростанций представлены в патентах RU № 2483968 и RU № 2258633 [1, 2]. Данные разработки имеют свои преимущества и недостатки. С учетом предыдущих разработок предложена новая конструкция платформы, представленная на рис. 1.

Морская плавучая ветроэлектростанция (ВЭС) включает в себя корпус с формой полого равностороннего шестигранника, по углам и в центре которого расположены ветровые энергоагрегаты. Система удержания – якорная, с применением всасывающих кессонов, свай или гравитационных якорей с применением камня, песка, бетона, в зависимости от наиболее доступного и подходящего материала [3]. Окончательный выбор осуществляется в зависимости от характеристики морского дна в месте использования. Высота надводного борта ВЭС составляет не менее 0,01 наружной длины ее борта. Также существует возможность объединить несколько платформ в одну благодаря их гибкому соединению кабелями и стальными тросами с помощью подготовленных на корпусе проушин. Проушины также применяют для крепления транспортировочных тросов при спуске на воду и буксировке до места установки. Энергия, полученная от ветровых генераторов, передается по кабелю в береговую сеть или морскому потребителю.

Для выработки электроэнергии применяются вертикально-осевые ветровые энергоагрегаты, так как они требуют меньшей высоты установки, что оптимально для плавучего энергоагрегата по условиям устойчивости и нагрузкам на корпус. При применении вертикально-осевых энергоагрегатов (30 kw Vertical Axis Wind Turbine) компании Nanjing Willgain Power Equipment Co. Ltd. суммарная номинальная мощность установки из семи агрегатов составит 210 КВт [4].

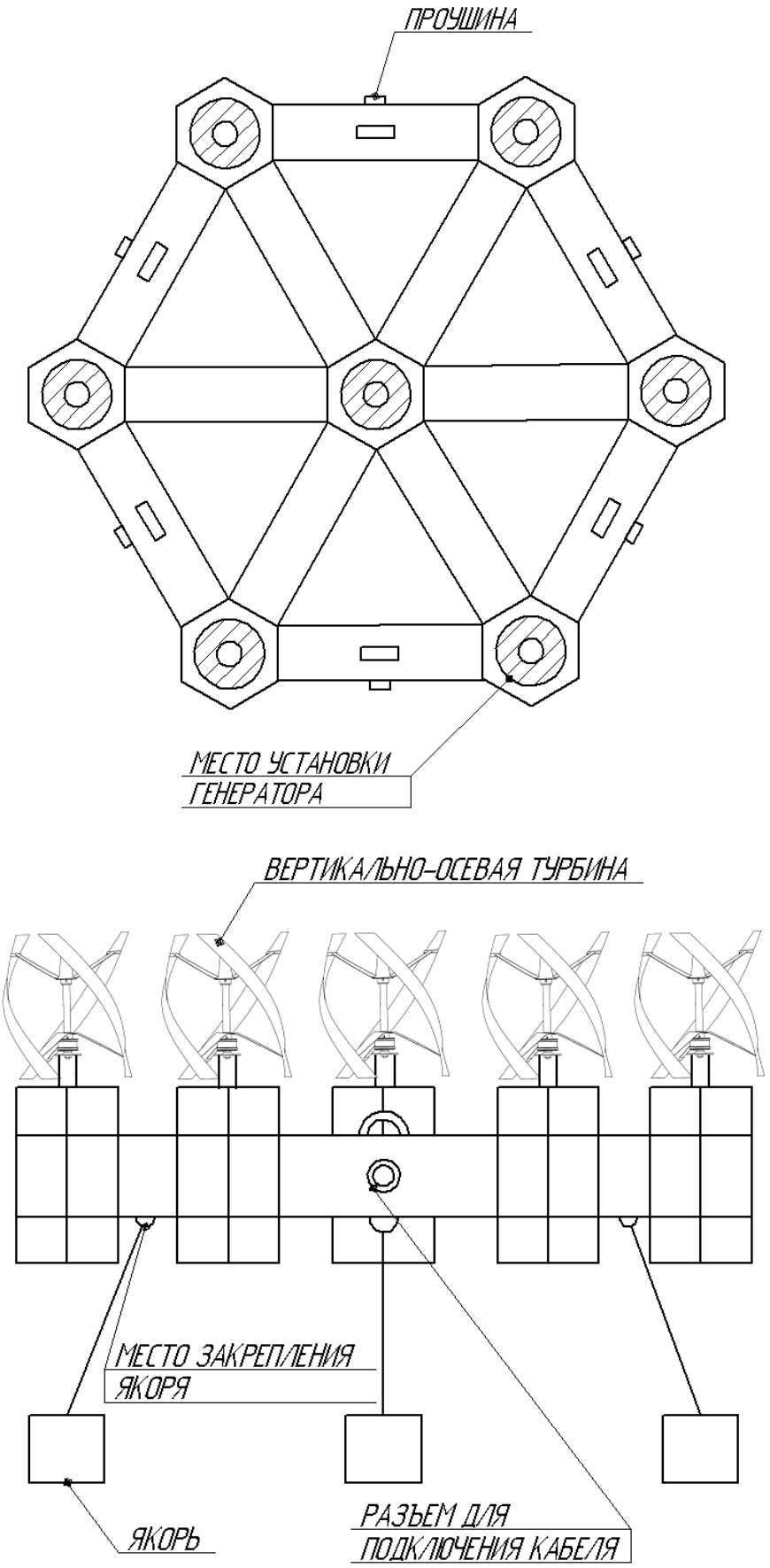

Рис. 1. Конструкция морской ветроэлектростанции (общий план)

Для облегчения конструкции аккумуляторные батареи и прочее оборудование находятся вне данной системы (рис. 2).

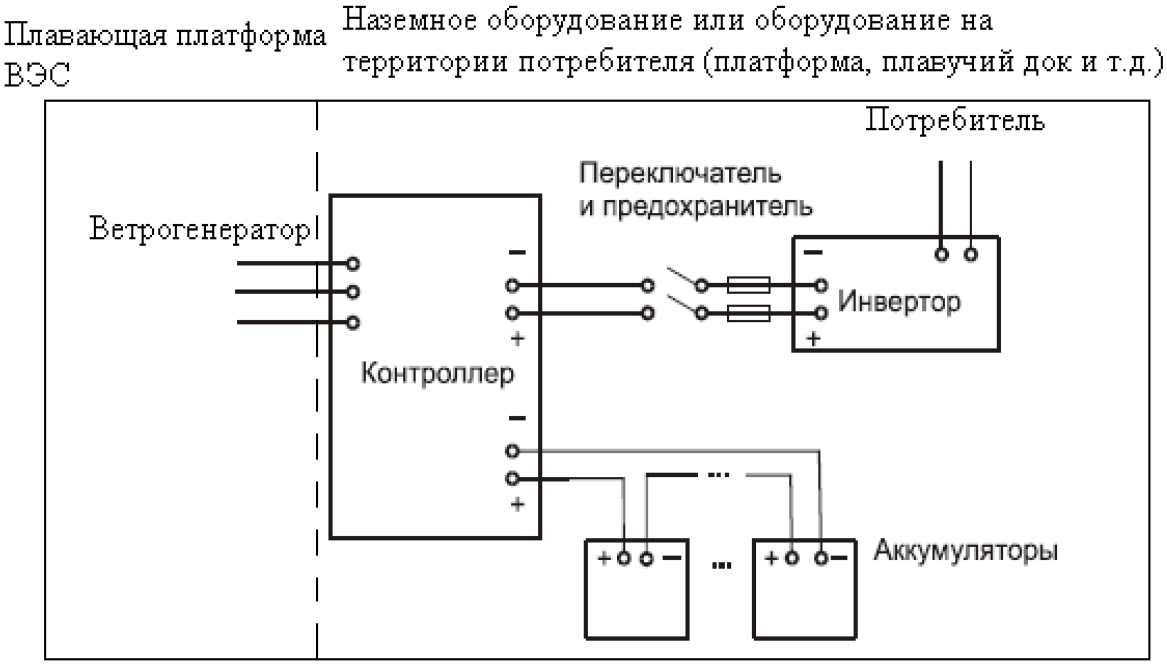

Рис. 2. Распределение основного оборудования

Передача электроэнергии наземным потребителям на большие расстояния потребует сооружения дополнительных промежуточных морских подстанций, что повлечет за собой дополнительные затраты, такой вариант будет целесообразен при большой генерируемой мощности (рис. 3).

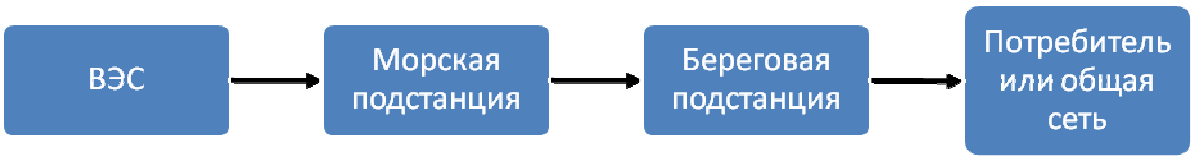

Рис. 3. Схема снабжения наземных потребителей электроэнергии плавучей ВЭС

Вариант с подключением к морскому стационарному потребителю имеет меньшие потери на передачу и не требует больших мощностей генерации. При снабжении электроэнергией нефтегазовой платформы можно использовать аккумуляторные батареи, установленные на ней для накопления энергии в комбинации с отдачей энергии в сеть для потребления (рис. 4).

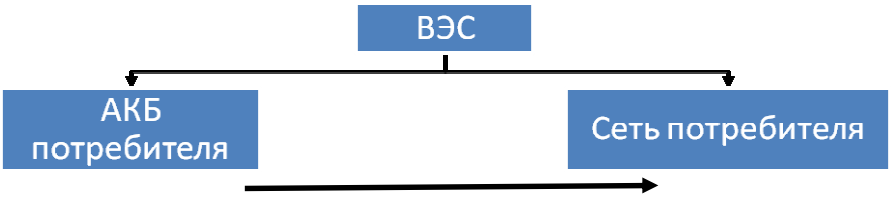

Рис. 4. Схема снабжения морских потребителей электроэнергии плавучей ВЭС

Существует возможность замены генерации одного из основных генераторов платформы на энергию данной ВЭС при достижении достаточной мощности, однако это нецелесообразно на таком ответственном объекте из-за нестабильности производства энергии на ВЭС. Экономия топлива и снижение загрязнения окружающей среды – основная задача данной ВЭС.

Данные установки могут быть установлены как на морских нефтегазовых платформах, так и автономно на точечных причалах. Применение ВИЭ для снабжения изолированных и удаленных энергорайонов уже сейчас является перспективным направлением. С развитием технологий, уменьшением стоимости производства и возведения электростанций на возобновляемых источниках энергии и снижением нормированной стоимости электроэнергии на них данные станции могут стать одними из основных объектов генерации. Использование данных установок послужит повышению добычи нефти и газа на морских нефтегазовых сооружениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент RU № 2483968 МПК B63B 35/44 (2006.01). Морская плавучая электростанция / Апполонов Евгений Михайлович (RU), Бородин Валерий Викторович (RU), Тимофеев Олег Яковлевич (RU), Обидин Юрий Иванович (RU), Труб Михаил Семенович (RU), Карташев Анатолий Борисович (RU), Платонов Виктор Георгиевич (RU), Кильдеев Равиль Исмаилович (RU); опубл. 10.06.2013.

2. Патент RU № 2258633 МПК B63B 35/44. Многоагрегатная плавучая прибрежная ветроферма / Радченко П.М. (RU) ; опубл. 20.08.2005.

3. Trevor M. Letcher. Wind Energy Engineering / M. Trevor. – ACADEMIC PRESS, 2017. – 624 p.

4. Nanjing Willgain Power Equipment Co., Ltd. 30kw Vertical Axis Wind Turbine [Электронный ресурс]. URL: https://willgainpower.en.made-in-china.com/print/tSJmukVOvEUc/China-30kw-Vertical-Axis-Wind-Turbine.html.

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОВОДОВ НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ПРИМЕРЕ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ «САРАТОВСКАЯ ГЭС – КУБРА»

Карпенко И.А. – студент
Науч. рук. ***Стрижиченко А.В.*** – канд. техн. наук
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННТОТАЦИЯ. В данной статье представлен сравнительный анализ применения на воздушных линиях проводов новых конструкций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: высокопрочный провод, высокотемпературный провод, стрела провеса, габарит.

ANNOTATION. This article presents a comparative analysis of the use of new wire structures on overhead lines.

KEYWORDS: high-strength wire, high-temperature wire, sag arrow, size.

В настоящее время на линии электропередачи от Саратовской ГЭС используются провода марки АСО-500. Анализ механических характеристик линии показал, что в режимах максимальной температуры и максимальной внешней нагрузки не всегда обеспечивается требуемый габарит линии ВЛ 220 кВ «Саратовская ГЭС – Кубра». Задача обеспечения требуемого габарита может быть решена путем замены существующих опор или применения проводов с улучшенными физико-механическими характеристиками.

В качестве замены для провода АСО-500 рассмотрены провода марок АСВТ-197/56 и АСВП-461/64, а для провода АСО-480 – АСВТ-190/54 и АСВП-371. При техническом сравнении характеристик провод АСО уступает АСВП и АСВТ по разрывной нагрузке и модулю упругости.

Использование провода АСВП позволит снизить риск обрыва проводов в пролете в период максимальных внешних механических нагрузок, а использование провода АСВТ – полностью отказаться от вывода в ремонт ВЛ на период проведения плавки гололеда на фазных проводах, так как нормальная температура работы провода значительно превышает температуру образования гололедно-изморозевых отложений. Учитывая меньшую массу провода АСВТ, при увеличении разрывной нагрузки в сравнении с используемыми ранее проводами использование данного провода позволит уменьшить стрелу провеса в пролете.

Расчет механических характеристик линии произведен для двух наиболее нагруженных участков существующей трассы в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Механические характеристики линии

№ опор трассы	Марка опор	Марка провода	Длина пролета
378-379	У220-2+9	АСО 500	316
147-148	ПБ 220-2	АСО 480	475

Монтаж проводов проводится в отсутствие сильного ветра и гололеда, но при любой температуре воздуха, поэтому предельно важно выбрать стрелы провеса для реальных условий монтажа. Если реальная стрела провеса при монтаже будет занижена по сравнению с расчетной, то в режиме низших температур напряжение может превысить допустимое, и провод разрушится, а при завышении стрелы провеса в режиме высших температур или при гололеде могут нарушиться габариты до земли или пересекаемых сооружений [2].

Был выполнен расчет стрелы провеса для выбранных марок проводов, результаты расчета представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета стрелы провеса

Параметр	Марка провода		
	АСО-500/54	АСВТ-197/56	АСВП-461/64
$f_{\max}$, м	13,32	4,47	9,12

Уменьшение стрелы провеса позволяет обеспечить требуемый габарит при всех возможных сочетаниях внешних погодных условий.

Из уравнения состояния провода было найдено механическое напряжение в проводе при соответствующем климатическом режиме. Были определены механические нагрузки для расчетных климатических условий [1].

Погонная (единичная) нагрузка от собственного веса провода:

$$P_1 = g \cdot G_{\text{П}}. \tag{1}$$

Погонная нагрузка от веса гололеда определяется исходя из того условия, что гололедные отложения имеют цилиндрическую форму:

$$P_2 = \pi \cdot b \cdot g(d + b) g_0 \cdot 10^{-6}, \tag{2}$$

где b – нормативная толщина стенки гололеда; d – диаметр провода или троса, мм.

$$g_0 = 0{,}9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{даН}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2} = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Полная вертикальная нагрузка при гололеде определяется как арифметическая сумма единичных нагрузок от собственного веса провода и веса гололеда (рис. 1):

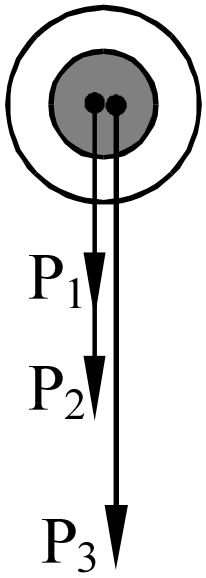

Рис. 1. Полная вертикальная нагрузка на провод при гололеде

$$P_3 = P_1 + P_2. \tag{3}$$

Погонная нагрузка от давления ветра, действующего перпендикулярно проводу, при отсутствии гололеда – γ_4 (рис. 2):

$$P_4 = q_{\max} \cdot C_X \cdot d \cdot 10^{-3}, \tag{4}$$

где q_{max} – скоростной напор ветра, даН/м^2; C_X – коэффициент лобового сопротивления.

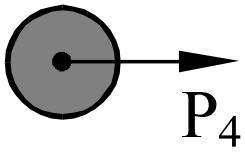

Рис. 2. Погонная нагрузка на провод от давления ветра

Временно действующая горизонтальная нагрузка от давления ветра на провод, покрытый гололедом (рис. 3).

$$P_5 = q_{\max} \cdot C_X \cdot (d + 2b) \cdot 10^{-3}. \quad (5)$$

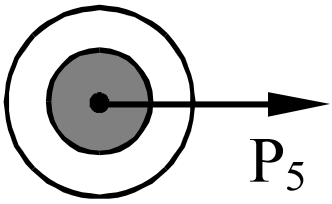

Рис. 3. Горизонтальная нагрузка от давления ветра

Результирующая нагрузка от собственной массы и давления ветра (рис. 4).

$$P_6 = \sqrt{P_1^2 + P_4^2}. \quad (6)$$

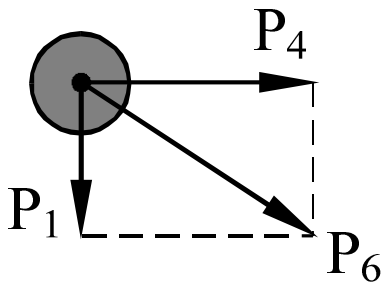

Рис. 4. Результирующая нагрузка от собственной массы провода и давления ветра

Максимальная стрела провеса в расчетном режиме определяется по формуле, м:

$$f_{\max} = \frac{l_p^2 \cdot \gamma_p}{8 \cdot \sigma_p}, \quad (7)$$

где l_p – расчетная длина пролета, м; γ_p – удельная нагрузка на провод при соответствующем режиме, даН/м·мм^2; σ_p – механическое напряжение в проводе при соответствующем климатическом режиме, даН/мм^2.

Необходимым условиям для расчета максимальной стрелы провеса является следующее соотношение:

$$f_{\max} \le H - (C + 0{,}4), \tag{8}$$

где H – активная высота опор (высота подвески нижнего провода), м; C – нормируемое расстояние провод – земля.

Схематичное изображение стрел провеса рассматриваемых проводов приведено на рис. 5.

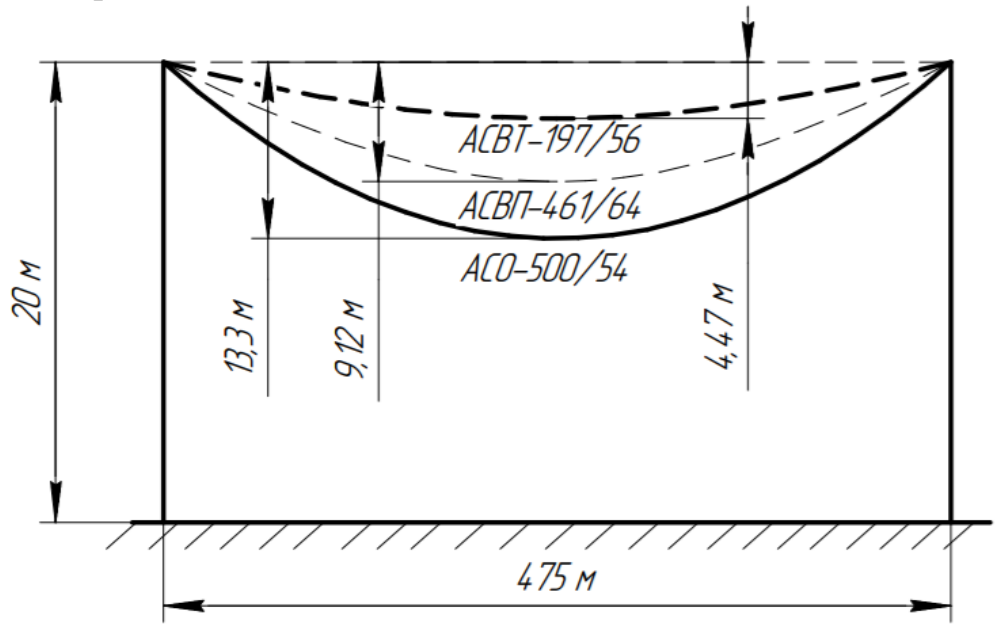

Рис. 5. Схематичное изображение стрел провеса проводов АСО-500/54, АСВП-461/64 и АСВТ-197/56

Сравнение проводилось для марок проводов, способных обеспечивать одинаковую токовую нагрузку, но обладающих различными физико-механическими свойствами. По результатам сравнения можно сделать вывод, что провод марки АСВТ-197/56 способен обеспечить наименьшую стрелу провеса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костин, В.Н. Электропитающие системы и электрические сети: учебно-методический комплекс: учебное пособие / В.Н. Костин. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2007 – 154 с.

2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 7-е и 6-е изд. – СПб.: Издательство ДЕАН, 2011. – 1168 с.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ МОЛНИЕЗАЩИТЫ СЛОЖНЫХ ВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Косенко Е.А.– магистрант
Науч. рук. ***Зенина Е.Г.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. Рассмотрены преимущества использования активных молниеотводов в отличие от обычных стержневых молниеотводов, конструктивные особенности и способы установки молниеотвода. Описаны плюсы и минусы использования активных молниеотводов. Данное устройство имеет более высокую степень надежности по сравнению с используемыми «пассивными» молниеотводами и может самостоятельно использоваться при устройстве систем молниезащиты сложных взрывоопасных объектов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: молниезащита, надежность молниезащиты, безопасность эксплуатации, активный молниеотвод, ионизация.

ABSTRACT. The advantages of the use of active unlike conventional lighting rods, design features and methods of installation of lighting rod. We describe the pros and cons of the use of active lighting conductors. This device has a higher degree of reliability compared to the «passive» lighting rods used and can be used independently when installing lighting protection systems for complex explosive objects.

KEYWORDS: lighting protection, reliability lighting protection, safe use, active lighting rods, ionization.

Введение

Молния является мощным поражающим опасным фактором. Электрический искровой разряд в атмосфере, сила тока которого достигает до 500 тысяч ампер, напряжение до миллиарда вольт. Следствием попадания молнии в здания, сооружения, энергетическое оборудование на открытой части, нефтяные резервуары являются значительный ущерб и большая вероятность образования пожара. Все это приводит к значительному материальному ущербу, а также к многочисленным жертвам. Помимо этого, мощное электромагнитное поле тока молнии при прямом попадании приводит к механическим разрушениям, перебоям в работе и отключению электрических устройств.

Степень защиты сложных взрывоопасных объектов от воздействия атмосферного электричества зависит от степени пожароопасности данного объекта и обеспечивается правильным выбором категории устройства защиты и вида территории защиты объекта от сильных ударов молнии. Традиционные средства защиты от перенапряжений являются, как правило, пассивными методами. К ним относится использование стержневых или тросовых молниеотводов, а также различного рода ограничителей перенапряжений.

Цель работы

Проанализировать современные методы молниезащиты, определить наиболее эффективный метод молниезащиты сложных взрывоопасных объектов.

Задачи

Рассмотреть преимущества и недостатки использования современных устройств молниезащиты, в том числе активных молниеотводов.

Анализ современных методов молниезащиты, надежность их использования

Сегодня ни у кого не вызывает сомнения тот факт, что все промышленные объекты – здания, сооружения, открытые электрические установки, сложные взрывоопасные объекты – необходимо оборудовать средствами защиты от прямого попадания молнии. Защита от прямых попаданий молний таких опасных промышленных объектов, как нефтебазы и электрические подстанции, является обязательной системой безопасности, которая предотвращает значительный материальный ущерб и потенциальные человеческие жертвы.

Регулярное развитие средств и устройств молниеприемников возможно в современных условиях благодаря ученым и современным достижениям и применению новейших средств изучения атмосферных явлений, а именно молнии. Существует две группы воздействия молнии: первичные и вторичные. Прямое попадание молнии приводит к сильнейшим разрушениям зданий, открытых электрических установок, сложных взрывоопасных объектов. К вторичным проявлениям молнии относятся:

– электростатическая индукция возникает в результате перемещения зарядов в канале молнии и проявляется в виде возникновения опасного напряжения на незаземленных металлических конструкциях, величина которого зависит от тока молнии, расстояния до места удара и может достигать несколько сотен киловольт;

– электромагнитная индукция возникает в результате изменения тока молнии во времени и проявляется в виде наведения ЭДС в металлических контурах (электрически связанные трубопроводы, коммуникации и пр.), что приводит к появлению высокого напряжения в них и искрению в местах сближения и разрывах контуров;

– занос высоких потенциалов по вводимым в объект коммуникациям при близких ударах молнии.

Образовавшийся электрический заряд облака вызывает заряд противоположного знака на объектах. Этот заряд релаксирует обычно путем электрического разряда на ближайшие заземляющие объекты, что может привести к возгоранию топлива и взрывам на объектах. С первичным воздействием молнии вполне справляются пассивные молниеотводы: стержневые, тросовые и металлические сетки. Но для защиты от вторичного воздействия этих средств недостаточно.

В инструкции по устройству молниезащиты зданий и сооружений РД 34.21.122-87 [1], сформулированы основные принципы защиты от вторичных воздействий молнии электрических систем с учетом рекомендаций МЭК, которые заключаются в том, чтобы безопасно отвести индуцируемые статические заряды в землю, присоединив металлические установки, расположенные внутри и вне зданий, к защитному заземлению оборудования или специальному заземлителю.

Но данная традиционная система не гарантирует полной защиты. Соединения подвержены механическому и химическому воздействиям, из-за чего они становятся непригодными к эксплуатации. Так, создатели систем молниезащиты ставят перед собой задачу полностью устранить прямое попадание молнии на защищаемый объект, что возможно в следующих случаях: 1) отвести молнию в безопасное место, где она не принесет вреда; 2) спровоцировать удар молнии на безопасном расстоянии от объекта.

Таким образом, с конца XX века стала внедряться современная методика – активная система молниезащиты. В отличие от традиционных методов, реагирующих на возникновение грозового разряда в радиусе их действия, активный молниеотвод самостоятельно захватывает молнию и отводит ее в безопасное место. Таким образом, новая система защиты оказывает предотвращающее действие.

Современное устройство молниезащиты выполнено в виде стержня, по внешнему облику напоминающего обычный стержневой молниеотвод. Однако оно оборудовано активным молниеотводом. Вмонтированное электронное устройство на конце стержня облегчает генерацию высоковольтных импульсов. Во время грозы импульсы распространяются, притягивают молнию и направляют ее в безопасное место. Применение современного устройства молниезащиты обеспечивает максимальной и эффективной защитой здания, сооружения и сложные взрывоопасные объекты от прямого попадания молнии, а также от вторичных воздействий молнии.

С конца XX века проводятся значительные эксперименты по принудительному инициированию удара молнии посредством применения активных молниеотводов. Больших успехов добились в институте электроэнергетики во Франции, где объектом стал активный молниеприемник с упреждающей стриммерной эмиссией Prevectron 2 (рис. 1).

Они представляют собой улучшенную версию одиночного молниеприемника, воплотившую в себе самые последние разработки в области молниезащиты. Работу Prevectron 2 можно распределить на два этапа: 1) устройство ионизации заряжается через нижние электроды от окружающего электрического поля; 2) Prevectron 2 обнаруживает изменения в поле, благодаря чему он является единственным молниеприемником с упреждающей стриммерной эмиссией, реагирующим точно в момент прохождения нисходящего лидера от тучи к земле [2].

Это означает, что Prevectron 2 – полностью автономная система, не требующая внешнего источника питания. Способность Prevectron 2 инициировать

восходящий лидер прежде любой другой доминирующей над местностью точки в защищаемой зоне дает гарантию того, что именно молниеотвод будет наиболее вероятной точкой удара разряда молнии. Зона действия такого молниеотвода в 10 раз больше, чем у традиционного стержневого молниеотвода Франклина. Активная система молниезащиты уже известна и применяется в Европе – Франции, Греции, Англии и других странах.

Рис. 1. Активный молниеприемник Prevectron 2

Еще один развивающийся метод вызвать молнию – лазерное инициирование молнии. Он разработан на создании в воздухе ионизированного канала с помощью лазерного излучения.

Возможны две основные схемы, в одной из которых плазменный канал создается лазером около вершины объекта, и это способствует более раннему возбуждению восходящего лидера, который перехватывает молнию. В другой схеме предполагается с помощью лазера создать плазменный канал в свободной атмосфере, с тем чтобы от его концов возбудились лидеры, провоцирующие молнию. Такой путь лазерного инициирования молнии более сложный, однако представляет наибольший интерес и для науки о молнии, и в перспективе – для молниезащиты.

Гораздо более необычные исследования были проведены в Америке известным физиком Джеромом Каспаряном. Он вызывал искусственные молнии в грозовом облаке, воздействуя на него специальным лазерным лучом. Луч лазера был нацелен на грозовое облако, расположенное на расстоянии 4 км от земли, и применялся как канал для отвода электрического заряда молнии в безопасное место. Такой способ был избран потому, что, как известно, лазер, облучая, способен ионизировать воздух и тем самым увеличивать его электропроводность и уменьшать диэлектрическое сопротивление [3].

В ходе изучения в результате ионизации регулярно возникали пробои воздуха исследуемой области, на основании чего была выдвинута гипотеза о возможности использования лазера как современного устройства активной молниезащиты наземных объектов. После детального исследования этих свойств лазера появилось преимущество защитить от попадания молний любой объект. Одна из основных трудностей – сфокусировать лазерное излучение на возможно большей высоте, но так, чтобы воздух по пути транспортировки излучения не ионизировался. Этот вид защиты относится к активной системе молниезащиты.

Во многих странах Европы данный вид защиты используется в качестве первоочередной защиты от прямых попаданий молний. Так, во Франции на его основе разработали национальный стандарт NFC 17-102. Этот стандарт также с успехом применяется в России и других странах мира. В испытательных центрах в Институте электроэнергетики (Франция) провели испытания с двумя молниеприемниками – стержневым и активным, – и вывод был очевиден: стабильное преимущество оказалось за активным молниеприемником. Таким образом, было доказано, что активные устройства молниезащиты способны принять на себя более сильный заряд и тем самым защитить большую территорию.

Среди явных преимуществ новой системы молниезащиты можно отметить, прежде всего, существенно бóльшую зону защиты, которая относительно пассивной охватывает площадь бóльшую в 10 раз [4]. Это было одним из убедительных преимуществ. Вторым же можно назвать то, что на установку активной молниезащиты расходуется очень мало материалов. В перспективе лазерное инициирование молнии могло бы стать системой молниезащиты номер один для наиболее ответственных и уязвимых объектов – например, атомные электростанции, промышленные узлы, нефтяные резервуары, военные объекты. Предполагаемое устройство является надежным и может обеспечить большую безопасность сложных взрывоопасных объектов от ударов молнии [5]. Поэтому, с точки зрения технико-экономических расчетов, для каждого объекта следует выбирать ту систему молниезащиты, надежность которой была бы достаточной, а стоимость – оправданной.

Выводы

Проанализировав современные методы молниезащиты, можно сделать вывод, что среди явных преимуществ новой системы молниезащиты необходимо отметить, прежде всего, существенно бóльшую зону защиты, которая относительно пассивной охватывает площадь бóльшую в 10 раз. Это одно из убедительных преимуществ. Другим преимуществом можно назвать то, что применение активной молниезащиты требует установки меньшего количества устройств, чем при использовании пассивных. Соответственно, необходимо меньшее число токоотводов, а также меньше затрат требуется на монтаж устройств молниезащиты.

Активная молниезащита выгодна еще и тем, что на зданиях и на сложных объектах допустимо без особых затрат установить именно ее шпиль, вместо того чтобы устанавливать молниеотводы по всей территории. Единственным недостатком активной молниезащиты можно назвать ее сравнительно высокую стоимость, а также то, что эта система все еще нова для нашего населения, в то время как пассивная уже давно проверена временем.

Применение активной системы молниезащиты является наиболее эффективным методом защиты от молнии и гарантирует надежность эксплуатации зданий, сооружений, электроустановок и сложных взрывоопасных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений.

2. Паненко, П.В., Рой, В.Ф. Анализ современных систем молниезащиты / П.В. Паненко, В.Ф. Рой. – Харьков, Харьковская национальная академия городского хозяйства.

3. Современные технологии молниезащиты [Электронный ресурс]. URL: www.mzke.ru.

4. Ершов, С.В., Костяновский, Д.А. Надежность работы установок с активным молниеотводом / С.В. Ершов, Д.А. Костяновский // Известия ТулГу. – 2015. – Вып. 12. Ч. 2.

5. Мухортов, М.Ю. Молниезащита резервуарных парков нефти и нефтепродуктов: проблемы и перспективы / М.Ю. Мухортов, М.А. Дьяченков, М.Н. Соколов // Наука, техника и образование. – 2015.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ

Михайлова О.В. – студент
Попов Е.И. – студент
Науч. рук. ***Зенина Е.Г.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлены возможные причины нарушения сроков выполнения технологического присоединения, а также рекомендации по оптимизации данного процесса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: технологическое присоединение, оптимизация, сетевая организация, электрическая энергия.

ABSTRACT. The paper includes possible reasons for increasing the timing of technological connection, and recommendations for optimizing this process.

KEYWORDS: technological connection, optimization, electric grid organization, electric energy.

Технологическое присоединение (ТП) – это услуга, оказываемая сетевой организацией для подключения энергопринимающих устройств юридических, физических лиц и индивидуальных предпринимателей к электрическим сетям.

Порядок технологического присоединения энергопринимающих устройств определен правилами технологического присоединения энергопринимающих устройств к электрическим сетям, утвержденными постановлением Правительства РФ от 27.12.2004 г. № 861 [3].

Существуют так называемые «узкие места», при прохождении через которые процедура технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электроэнергии, объектов по ее производству замедляется. В целях выявления потенциала оптимизации ознакомимся с деятельностью структурных подразделений филиалов ПАО «МРСК Юга», задействованных в процедуре, и рассмотрим порядок и процесс реализации объектов ТП в одном из филиалов данной организации.

В качестве примера приведем процесс реализации технологического присоединения объекта до 15 кВт (ЛЭП 0,4-10кВ); проектно-изыскательские работы (ПИР) – подрядным способом; строительно-монтажные работы – хозяйственным способом (льготная категория ТП).

Данный процесс начинается с приема заявки на осуществление технологического присоединения. Заявка включает в себя копии документов и технические параметры, необходимые для заключения договора. Далее рабочей группой прорабатываются и утверждаются варианты исполнения технологического присоединения.

Сетевая организация в течение 30 дней с даты получения документов обязана их рассмотреть и направить заявителю подписанный сетевой организацией проект договора или мотивированный отказ от его заключения либо протокол разногласий к проекту договора в установленном порядке.

В случае отсутствия в представленных документах необходимых сведений сетевая организация в течение 6 рабочих дней уведомляет об этом заявителя и в 30-дневный срок с даты получения недостающих сведений рассматривает заявление [3].

После проведенной подготовки договора ТП договор и технические условия (ТУ) направляются на подпись заявителю. Осуществляются согласование задания на технико-экономические показатели в филиале ВЭ ИА ОАО «МРСК Юга» посредством системы электронного документооборота (СЭД), рассылка приглашений для участия в простой закупке и получения ответа, затем согласование участников простой закупки в ИА ОАО «МРСК Юга». Далее – утверждение победителя на постоянно действующей закупочной комиссии (ПДЗК), затем организация заключения договора подряда и передача заключенного договора подряда для исполнения заинтересованным службам.

Проводится исполнение заключенного договора на ПИР, затем организация и проведение внутриведомственной экспертизы ПСД, устранение замечаний.

Далее следует подготовка экспертного заключения на ПИР, организация подготовки и выпуск распоряжения на выполнение работ хозяйственным способом, затем оформление акта о выполнении работ МРЮ-25. Оформление актов РК и КС-14, оформление актов ОС-1 постановка объекта на бухгалтерский учет.

Следующий этап заключается в проведении осмотра электрических установок (ЭУ). Затем происходит подготовка и выдача акта осмотра, акта о выполнении ТУ, актов разграничения балансовой принадлежности, акте об осуществлении ТП. Подготовка пакета документов для получения разрешения и направления заявления (уведомления) на получение разрешения на допуск в эксплуатацию ЭУ, проверка пакета документов.

Финальный этап – проведение осмотра ЭУ, выдача разрешения на допуск в эксплуатацию ЭУ, проверка пакета документов. И непосредственно включение потребителя в электрическую сеть.

Проанализировав все этапы выполнения технологического присоединения, выделим следующие причины, в связи с которыми возможно увеличение сроков его выполнения:

– подача заявления в письменной форме;

– неполный пакет документов, направляемых в сетевую организацию;

– самостоятельное заключение заявителем договора с энергосбытовой организацией;

– нарушение условий договора подрядными организациями, выполняющими строительные работы.

В ходе проведенного анализа можно прийти к следующему выводу. Весь процесс технологического присоединения жестко регламентирован правилами технологического присоединения энергопринимающих устройств, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 27.12.2004 г. № 861 [3]. И на практике сетевая компания в исключительных случаях нарушает регламентированные сроки на различных этапах процесса ТП. Зачастую увеличение сроков ТП является следствием халатной работы сторонних организаций, осуществляющих строительные работы.

Для оптимизации работы сетевых компаний по осуществлению технологического присоединения можно предложить следующие решения:

– ввести процедуру приема заявок на технологическое присоединение к электрической сети через официальный сайт сетевой организации или иной официальный сайт в сети Интернет с возможностью отслеживания исполнения заявки в режиме реального времени, что позволит получать исчерпывающую информацию о правилах перераспределения и правах потребителя, а также осуществлять контроль над ходом исполнения заявки;

– не принимать неполный пакет документов от заявителей, тем самым экономить время, которое тратится на их оповещение и ожидание недостающих документов;

– ввести процедуру параллельного заключения договора энергоснабжения со сбытовой организацией через сетевую организацию до завершения мероприятий по технологическому присоединению.

– ввести более строгую ответственность для сторонних подрядных организаций за несоблюдение сроков выполнения строительных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Минэнерго России от 15.04.2014 № 186 «О Единых стандартах качества обслуживания сетевыми организациями потребителей услуг сетевых организаций».
2. Постановление Правительства РФ от 24.09.2010 № 759 «О совершенствовании порядка технологического присоединения потребителей к электрическим сетям».
3. Постановление Правительства РФ от 27.12.2004 № 861 (ред. от 01.04.2020) «Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам по оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам администратора торговой системы оптового рынка и оказания этих услуг и Правил технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, к электрическим сетям».
4. Федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике».

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ПОЛЕЗНОЙ МОЩНОСТИ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШИМ-НАГРУЗКИ

Ерофеев Д.А. – студент
Науч. рук. ***Шамигулов П.В.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. Предлагается устройство, использующее принцип поисковой оптимизации для определения величины омической нагрузки солнечной батареи, обеспечивающей наибольшую активную мощность. Приводятся результаты проверки работоспособности устройства на лабораторном стенде, имитирующем солнечную батарею, находившуюся в различных положениях относительно солнца.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: полезная мощность, альтернативная энергетика, оптимизация, ШИМ.

ANNOTATION. A device is proposed that uses the principle of search engine optimization to determine the ohmic load of a solar battery, which provides the greatest active power. The results of checking the operability of the device at a laboratory stand simulating a solar battery located in different positions relative to the sun are presented.

KEYWORDS: active power, alternative energy, optimization, PWM.

В наше время растут популярность и необходимость в использовании нетрадиционных источников энергии, таких как солнечные батареи и ветрогенераторы. Но в зависимости от условий среды, в которых они работают, их мощность может меняться. Производители, как правило, указывают максимальную

мощность, которая достижима в идеальных условиях. При этом мощность, достижимая в конкретных реальных условиях, может быть существенно ниже заявляемой производителем. Поэтому оптимизация расхода энергии, выработанной такими источниками, является актуальной задачей.

Вольт-амперная характеристика солнечной батареи зависит от ее положения относительно солнца. На рис. 1, с точки зрения эквивалентного источника, красная линия соответствует источнику напряжения с бóльшим внутренним сопротивлением.

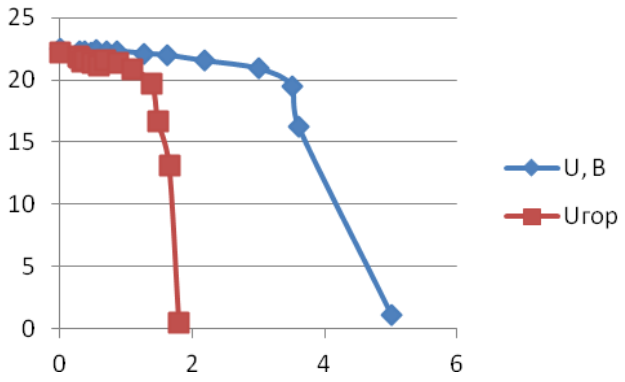

Рис. 1. Зависимость напряжения солнечной батареи от потребляемого тока (ВАХ) в двух положениях (синяя – перпендикулярно солнечным лучам, красная – горизонтально земле)

Из формулы

$$P = \frac{\varepsilon^2 \cdot R_н}{(R_и + R_н)^2}, [1],$$

где P – мощность; ε – ЭДС источника; $R_и$ – внутреннее сопротивление источника и $R_н$ – сопротивление нагрузки, следует, что максимальная мощность достижима при $R_и = R_н$ [1]. На практике внутреннее сопротивление неизвестно и меняется в зависимости от ориентации солнечной батареи и постоянно меняющихся факторов среды. В последнем случае изменение $R_и$ носит случайный, плохо прогнозируемый характер. Но $R_и$ можно определить на практике, в ходе эксперимента, при котором сопротивление нагрузки автоматически изменяется до тех пор, пока мощность, выделяющаяся в нагрузке, возрастает. Такой способ называется методом поисковой оптимизации.

Разработано устройство, которое имеет два режима работы: снятие ВАХ и зависимости мощности от $R_н$ и определение оптимального значения $R_н$. Устройство имеет два варианта исполнения. Первый – это набор нагрузочных резисторов с релейной схемой, обеспечивающей максимально количество возможных комбинаций параллельного и последовательного включения резисторов, обеспечивающих различные сопротивления нагрузки (рис. 2, 3). Во втором

варианте устройства нагрузочное сопротивление одно (образуемое параллельным соединением резисторов мощностью 5 Вт сопротивлением 1 Ом), а различные значения эквивалентного сопротивления достигаются за счет применения ШИМ-режима управления силовым транзистором (рис. 4). Управление как релейным модулем, так и силовым транзистором осуществляется микропроцессорным устройством управления на основе платы Arduino Uno. Для удобства использования устройства предусмотрена связь с мобильным устройством (смартфоном или планшетом) посредством Bluetooth и разработана соответствующая управляющая программа для мобильного устройства под управлением Android.

Рис. 2. Первое исполнение устройства

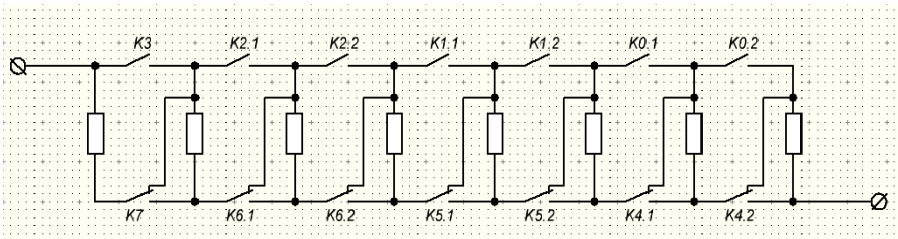

Рис. 3. Принципиальная схема нагрузочного модуля
для первого исполнения устройства

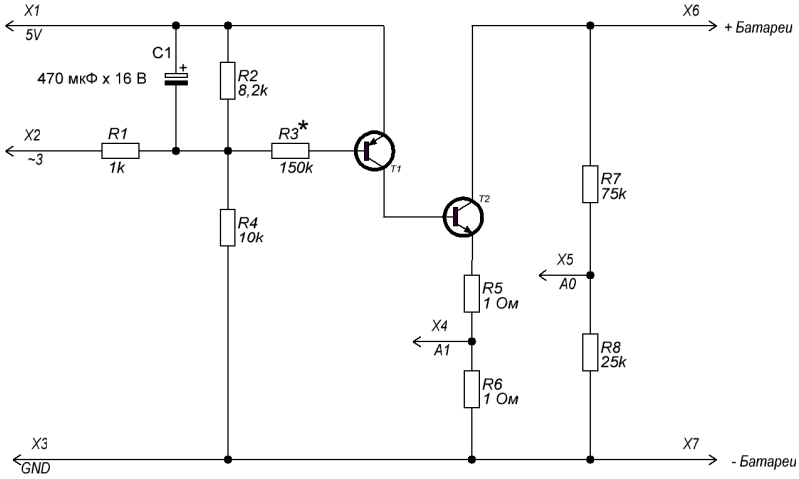

Рис. 4. Принципиальная схема нагрузочного модуля
для второго исполнения устройства

Результаты работы устройства приведены на рис. 5, из которого видно, что в различных условиях работы наибольшая величина потребляемой от солнечной батареи мощности достигается при различных значениях сопротивлениях нагрузки.

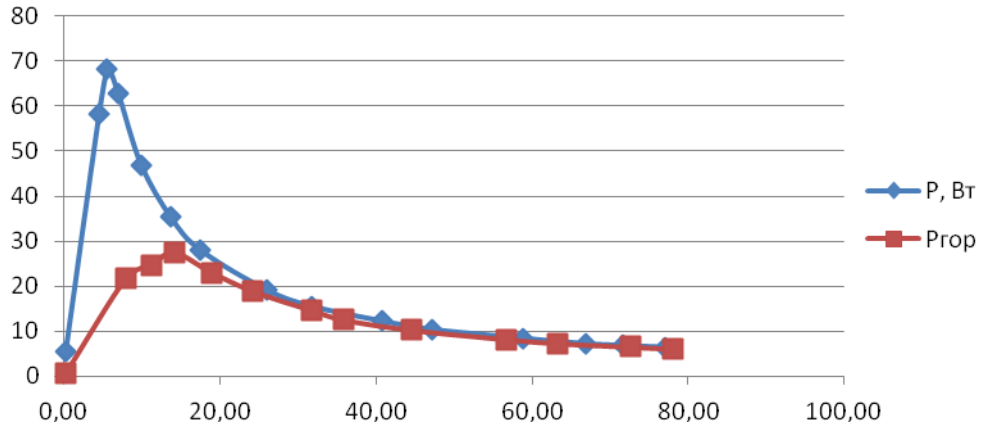

Рис. 5. Зависимость мощности солнечной батареи от сопротивления нагрузки (синяя – перпендикулярно солнечным лучам, красная – горизонтально земле)

Применение вышеописанного устройства в альтернативной энергетике позволит оптимизировать расход энергии и использовать солнечные батареи и ветрогенераторы на оптимальной нагрузке, достигая на ней максимальной мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хоровиц, П., Хилл, У. Искусство схемотехники: пер. с англ. / П. Хоровиц, У. Хилл. – М.: Издательство БИНОМ, 2014. – 704 с.: ил.

ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИЧНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК ПО ФАЗАМ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ 0,4 КВ

Ефимов В.В. – студент
Науч. рук. ***Стрижиченко А.В.*** – канд. техн. наук
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННТОТАЦИЯ. Представлен анализ влияния несимметричного распределения нагрузок по фазам на потери электрической энергии в сетях 0,4 кВ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: несимметрия нагрузок, потери электроэнергии.

ANNOTATION. An analysis of the effect of asymmetric phase load distribution on the loss of electrical energy in 0.4 kV networks is presented.

KEYWORDS: asymmetry of electric power, power losses.

В настоящее время актуальными являются вопросы энергоэффективности и снижения потерь электроэнергии в электрических сетях, которые часто связаны с проблемой обеспечения качества электроэнергии, так как наличие высших гармонических составляющих напряжения и искажение симметрии напряжений обуславливает появление дополнительных потерь в элементах системы электроснабжения. В большей степени это относится к сетям 0,4 кВ, так как большинство однофазных электроприемников, а также потребителей с нелинейной вольт-амперной характеристикой – сварочные аппараты, оргтехника, люминесцентные лампы и светодиодные светильники – запитаны от сетей данного класса напряжения.

Наиболее характерно для таких нагрузок искажение симметрии. Несимметрия напряжения основной частоты является нормируемым показателем качества электроэнергии и оценивается по отношению напряжений обратной или нулевой последовательности к напряжению прямой последовательности. Основная причина несимметрии напряжений – несимметрия токов в сети, обусловленная неравенством нагрузок по фазам из-за применения однофазных и двухфазных электроприемников.

В качестве математического аппарата для оценки несимметрии токов и напряжений применяется метод симметричных составляющих. Рассмотрим векторную диаграмму токов и напряжений во время утреннего пика потребления, представленную на рис. 1.

Смещение тока нейтрали (I_0) свидетельствует о несимметрии нагрузок в четырехпроводной системе, что приводит к появлению токов обратной и нулевой последовательности, ухудшению качества электроэнергии и увеличению потерь электроэнергии.

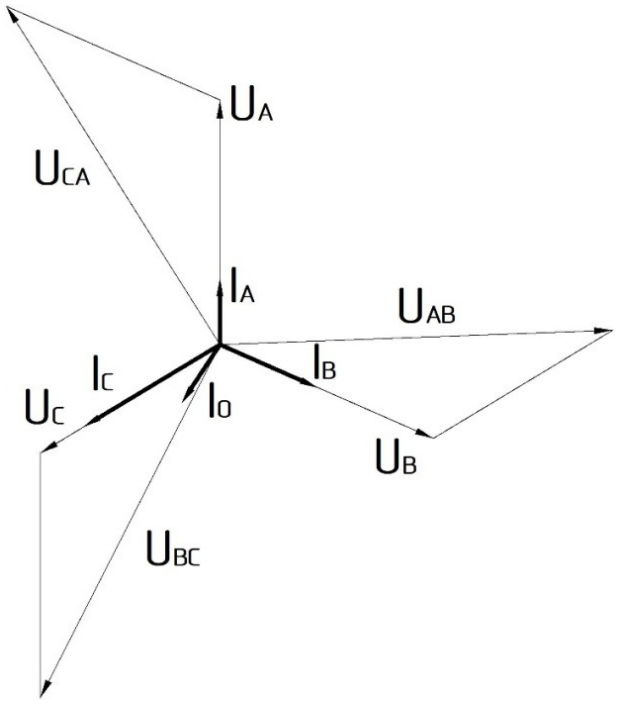

Рис. 1. Векторная диаграмма токов и напряжений

Потери мощности, кВт, и энергии, кВт·ч, в сети 0,4 кВ при несимметричном режиме нагрузок рассчитывались следующим образом:

$$P = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} (I_{ij}^2 \cdot \frac{\rho_i l_i}{F_i}), \quad (1)$$

где I_{ij} – ток в j-й фазе i-го проводника, А; ρ_i – удельное сопротивление материала i-го проводника, Ом·мм^2/м; l_i – длина i-го проводника, м; F_i – площадь поперечного сечение i-го проводника, мм^2;

$$Q = t \cdot \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} (I_{ij}^2 \cdot \frac{\rho_i l_i}{F_i}), \quad (2)$$

где t – расчетное время.

Потери мощности и энергии в сети 0,4 кВ при симметричном режиме нагрузок:

$$U_{\text{ср}} = \frac{U_A + U_B + U_C}{3}, \text{ В}. \quad (3)$$

$$P_{\text{срФ}} = \frac{P_A + P_B + P_C}{3}, \text{ Вт}. \quad (4)$$

$$I_{\text{срФ}} = \frac{P_{\text{срФ}}}{U_{\text{срФ}}}, \text{ А}. \quad (5)$$

$$Q = t \cdot 3 \sum_{i=1}^{n} (I_i^2 \cdot \frac{\rho_i l_i}{F_i}), \text{ кВт·ч}. \quad (6)$$

В качестве примера рассмотрены результаты измерения энергопотребления объекта, принципиальная электрическая однолинейная схема питания которого приведена на рис. 2.

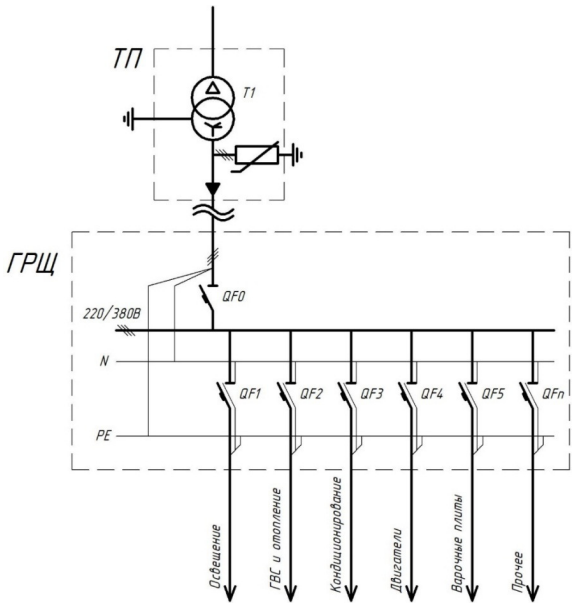

Рис. 2. Схема электрическая принципиальная однолинейная

Измерения проводились с помощью анализатора качества электроэнергии «Энергомонитор 3.3Т1» (рис. 3).

Рис. 3. Внешний вид анализатора качества электроэнергии «Энергомонитор 3.3Т1»

Результаты изменения потребления мощности представлены на диаграмме (рис. 4).

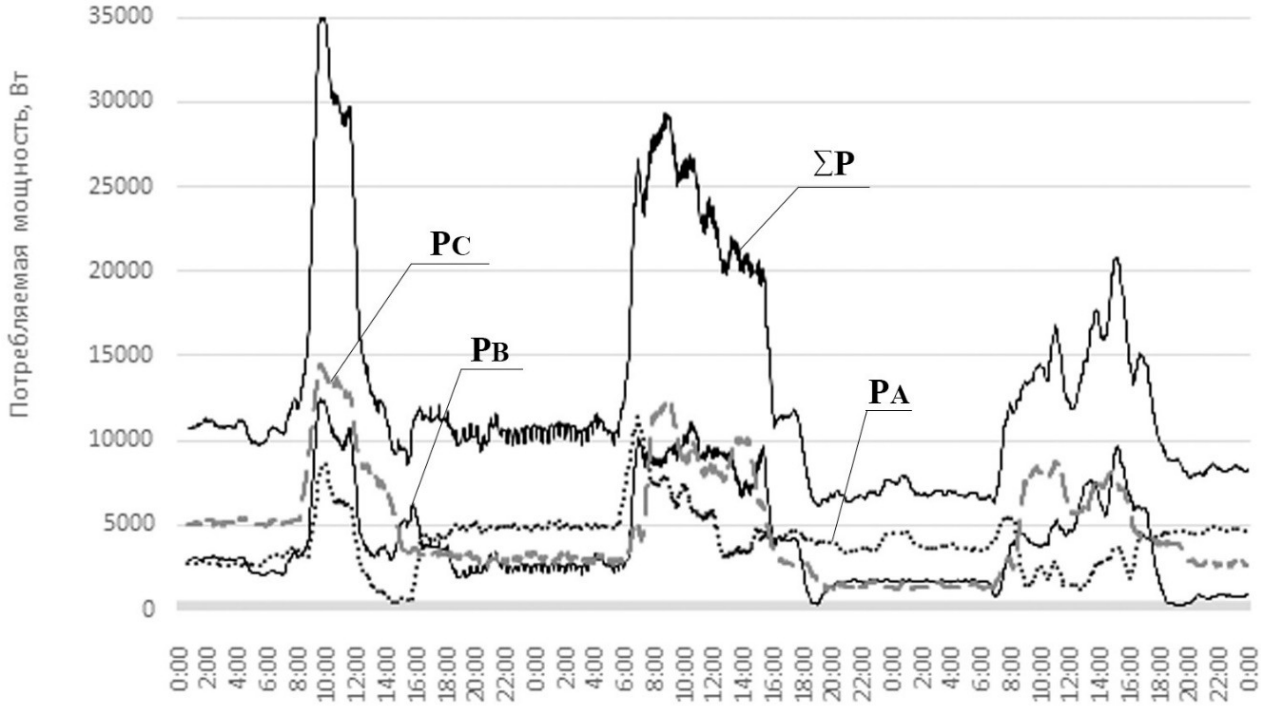

Рис. 4. Изменение потребления мощности во времени

Результаты изменения токовых нагрузок представлены на диаграмме (рис. 5). Из графика видно, что распределение нагрузки по фазам несимметрично, что приводит к ухудшению качества электроэнергии и увеличению потерь.

На гистограмме (рис. 6) представлены потери электроэнергии в сети 0,4 кВ для несимметричной и симметричной загрузок.

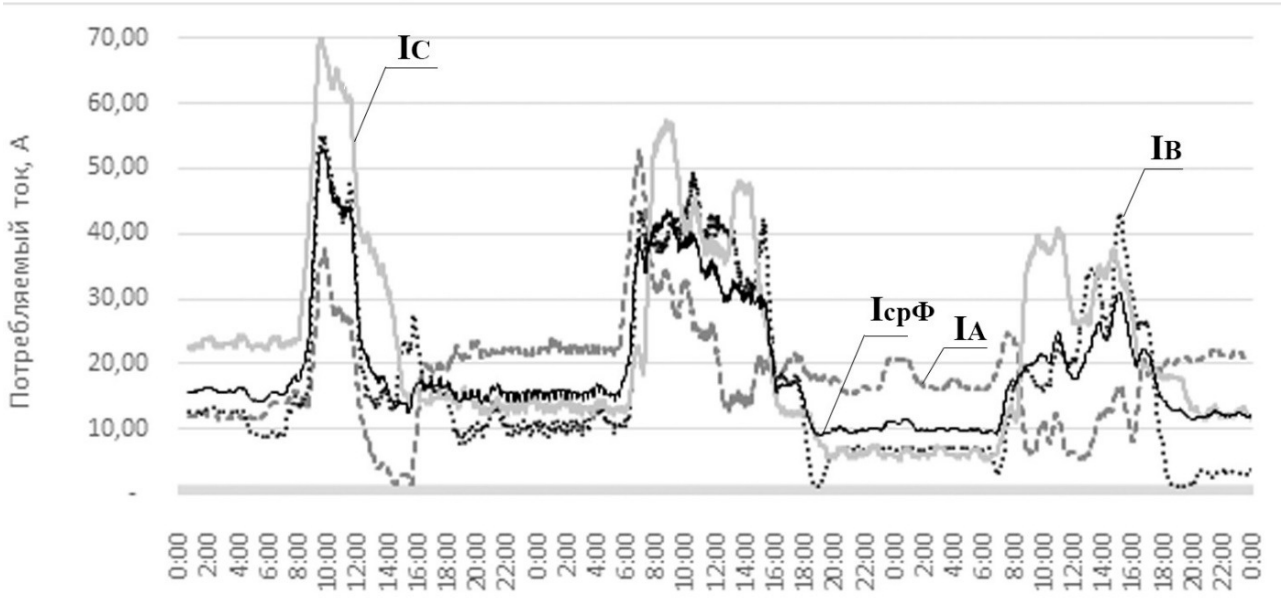

Рис. 5. Изменения токовых нагрузок во времени

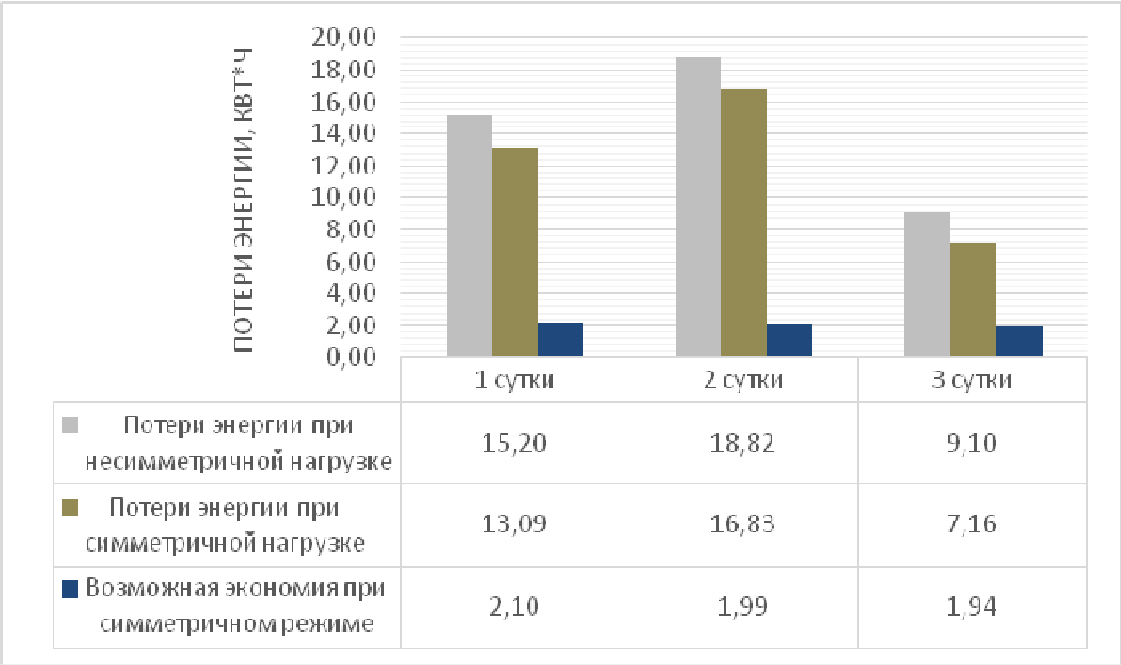

Рис. 6. Потери электроэнергии в сети 0,4 кВ

Таким образом, равномерное распределение нагрузки по фазам позволяет снизить потери электроэнергии на величину до 15 % и не требует применения дополнительных технических средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Утвержден и введен в действие Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 25.03.2013 г. [Электронный ресурс]. URL: https://files.stroyinf.ru/Data/ 548/54884.pdf (дата обращения 13.05.2020).

2. РД 153-34.0-15.501-00. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Часть 1. Контроль качества электрической энергии. Утвержден и введен в действие заместителем руководителя Госэнергонадзора В.Н. Белоусовым от 27.12.2000 г. [Электронный ресурс]. URL: https://files.stroyinf.ru/Data1/ 39/39606/ (дата обращения 13.05.2020).

3. РД 153-34.0-15.502-2002. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения Часть 2. Анализ качества электрической энергии. Утвержден и введен в действие заместителем руководителя Госэнергонадзора В.Н. Белоусовым от 15.07.2002 г. [Электронный ресурс]. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/ 4294813 /4294813025.htm (дата обращения. 13.05.2020).

4. Карташев, И.И. Управление качеством электроэнергии: учебное пособие / И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др.; под ред. Ю.В. Шарова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2017. – 347 с.: ил.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕАХТУБИНСКОГО РЭС

Яковлев Р.А. – магистрант
Науч. рук. ***Жилина В.И.*** – д-р экон. наук, профессор
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. Рассмотрены основные режимы работы силового масляного трансформатора.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: силовой масляный трансформатор, номинальный режим, аварийный режим; перегрузочный режим, холостой режим, режим параллельной работы.

ABSTRACT. The main operating modes of a power oil transformer are considered.

KEYWORDS: power oil transformer, rated mode, emergency mode, overload mode, idle mode, parallel operation mode.

Силовые масляные трансформаторы в Среднеахтубинском РЭС за время эксплуатации работают в различных режимах, так как их нагрузка в сети непостоянна. Однако влияние режимов не всегда одинаково сказывается на сроке службы оборудования. Данные изменения зависят в первую очередь от нагрузки трансформатора, напряжения и температуры обмоток, температуры масла, условий окружающей среды и многих других факторов.

Среднеахтубинский РЭС выделяет в своей деятельности несколько видов режимов работы трансформаторов, которые, в свою очередь, обладают определенными свойствами.

Первый вид режима работы называют «нормальным». Он подразделяется на четыре подвида: номинальный, оптимальный, режим холостого хода и режим параллельной работы.

Номинальный режим – это соответствие тока и напряжения на первичной обмотке к номинальным показателям. Однако данный режим используется редко, так как в сети происходят постоянные колебания нагрузки. И, несмотря на то что при таком режиме трансформатор работает исправно, коэффициент полезного действия (КПД) оборудования не достигает максимума.

Оптимальный режим – это режим, при котором трансформатор имеет максимальный КПД. Как правило, максимальные КПД трансформатор показывает под нагрузкой 50–70 % от номинальной. Современные силовые трансформаторы работают с КПД 90 % и выше.

Номинальный и оптимальный режимы иногда называют рабочими, так как при них напряжение и ток близки к номинальным (рабочим) условиям, по которым рассчитано оборудование.

Холостой режим трансформатора – это режим, при котором на первичную обмотку трансформатора поступает напряжение, а вторичная обмотка не подключена к сети потребителя электроэнергии. В таком режиме КПД равен нулю.

На холостом ходу силового трансформатора определяют коэффициент трансформации, мощность потерь в металле и параметры намагничивающей ветви схемы замещения. Для таких измерений на первичную обмотку трансформатора пускают электрический ток номинального напряжения. Для трансформатора напряжение при режиме холостого хода является рабочим.

Режим параллельной работы заключается в том, что два трансформатора устанавливаются в сетях, питающих энергией потребителей первой и второй категории. Сложность данного режима заключается в том, чтобы ни один из задействованных трансформаторов не испытывал перегрузки.

Для того чтобы не происходила перегрузка, в работе трансформаторов необходимо соблюдать следующие условия:

– должны быть одни и те же группы соединений обмоток;

– коэффициенты трансформации не должны отличаться больше чем на 0,5 %;

– номинальные мощности должны соотноситься не более чем один к трем;

– напряжения короткого замыкания должны различаться не более чем на 10 %;

– должна выполняться фазировка трансформаторов.

Второй вид режима работы трансформаторов называют перегрузочным режимом. При данном режиме трансформатор испытывает перегрузки при воздействии нагрузок и температур выше допустимой нормы. Для каждой модели эти показатели свои.

Производители силовых трансформаторов предусматривают возможность работы оборудования в условиях перегрузки. Однако если устройство испытывает их продолжительное время или регулярно – это уменьшает срок службы оборудования. Допустимые перегрузки описаны в стандартах. Например, для масляных трансформаторов разработан ГОСТ 14209-85.

Третьим и последним видом режима работы трансформаторов является аварийный режим. Он заключается в воздействии на трансформатор электрического тока, который намного превосходит номинальное значение. Данное влияние приводит к аварийному режиму, при котором дальнейшая эксплуатация оборудования запрещена. Как правило, в трансформаторах существуют автоматические выключатели, которые прекращают питание оборудования при возникновении аварии.

Также выделяют несколько признаков аварийного режима:

– громкий и неритмичный шум и треск в баке трансформатора;

– повышение температуры рабочей части трансформатора;

– утечка трансформаторного масла.

Часто аварийный режим возникает из-за короткого замыкания во вторичной обмотке. Но есть и исключения – это трансформаторы тока и сварочные трансформаторы. Для данного оборудования режим короткого замыкания является рабочим.

Напряжение во время короткого замыкания (КЗ) является важным показателем, который влияет на эксплуатацию трансформатора. Его измеряют в процентах. Для трансформаторов со средним показателем мощности напряжение КЗ составляет 5–7 %, а для более мощных – 6–12 %.

Важно не допускать работы трансформатора в аварийном режиме, следует ограничивать его перегрузки. При соблюдении этого правила оборудование прослужит заявленный производителем срок.

Для Среднеахтубинского РЭС предлагается замена силового масляного трансформатора на масляный трансформатор с аморфным магнитоприводом. При данных режимах трансформатор с аморфным магнитоприводом достигает наиболее выраженного энергосбережения. В результате замены трансформатора сокращаются потери электрической энергии, что в свою очередь дает возможность не только снизить температуру нагревания трансформаторов, но и уменьшить износ витковой изоляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ерошенко, Г.П. Эксплуатация электрооборудования / Г.П. Ерошенко, А.П. Коломиец, Н.П. Кондратьева и др. – М.: КолосС, 2008. – 344 с.

2. Режимы работы и эксплуатация электрооборудования электрических станций: учебное пособие / Н.В. Коломиец, Н.Р. Пономарчук, Г.А. Елгина. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 80 с.

3. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Губанов Л.С. – магистрант
Науч. рук. ***Зенина Е.Г.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В работе представлен метод диагностики силовых трансформаторов, отличающийся от существующих комплексным подходом диагностики. На трансформатор устанавливаются следующие датчики: датчик измерения тока и напряжения, датчик положения РПН, датчик частичных разрядов, датчик температуры воздуха, датчик включения вентилятора, датчик включения маслонасоса, датчик вибрации, газохроматографический анализатор (ГХА) масла, датчик температуры верхних и нижних слоев масла, датчик давление масла, датчик уровня масла. Сигналы с датчиков поступают на вход контроллера, где обрабатываются. Результаты обработки отображаются на мониторе оператора, где в режиме реального времени можно диагностировать исправность силового трансформатора.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: диагностика, силовой трансформатор, информационно-измерительная система, метод диагностики.

ABSTRACT. The paper presents a method for diagnosing power transformers, which differs from the existing comprehensive approach to diagnostics. The following sensors are installed on the transformer: current and voltage measurement sensor, RPN position sensor, partial discharge sensor, air temperature sensor, fan switch-on sensor, oil pump switch-on sensor, vibration sensor, gas chromatographic oil analyzer, upper and lower oil layer temperature sensor, oil pressure sensor, oil level sensor. Signals from the sensors are sent to the controller input, where they are processed. The results of processing are displayed on the operator's monitor, where you can diagnose the serviceability of the power transformer in real time.

KEYWORDS: diagnostics, power transformer, information and measurement system, diagnostic method.

В основу методов диагностики силовых трансформаторов под рабочим напряжением входят:

– физико-химический анализ масла;

– тепловизионное обследование узлов и элементов конструкций трансформатора;

– контроль влажности и температуры в трансформаторе;

– измерение вибропараметров.

Наиболее крупные энергокомпании нашли широкое применение ГХА масла, при этом используют различные системы оценки и определения типа дефекта трансформатора. Обычно анализируется концентрация следующих растворенных в масле газов: водорода H_2, метана CH_4, этана C_2H_6, этилена C_2H_4,

ацетилена C_2H_2, окиси углерода CO, диоксида углерода CO_2. В настоящее время известно, что данные о растворенных в масле газах сами по себе не всегда дают необходимую информацию для полной оценки состояния трансформатора. Поэтому применять только метод ГХА для диагностики трансформатора недостаточно.

Тепловизионное диагностирование силовых трансформаторов является довольно сложной процедурой, так как при образовании локальных дефектов в трансформаторах они «заглушаются» естественными тепловыми потоками от магнитопровода и обмоток. К тому же функционирование охлаждающих устройств, которое помогает ускоренной циркуляции масла, сглаживает распределение температур в месте дефекта.

При анализе результатов компьютерной диагностики нужно учитывать конструктивные особенности трансформаторов: тип используемой системы охлаждения обмоток и магнитопровода, условия и продолжительность эксплуатации, технологию изготовления и множество других факторов. Также на погрешность измерения воздействуют массивные металлические части трансформаторов, в том числе бак, прессующие кольца, экраны, шпильки и т. п., в которых тепло выделяется за счет добавочных потерь от вихревых токов, наводимых полями рассеяния.

Традиционные косвенные способы определения температуры обмотки трансформатора (по температуре верхних слоев масла трансформатора, измеряемой с помощью термометров, либо термометрического сигнализатора с электроконтактным манометром, либо дистанционного термометра сопротивления, устанавливаемых в карманах (гильзах) крышки бака) имеют существенные недостатки и не могут определить настоящую температуру в обмотке трансформатора.

Недостатком вибродиагностики является отсутствие одобренных общероссийских нормативных документов. Диагностика основана на накопленном опыте других организаций. Таким образом, все известные методы диагностики силовых трансформаторов имеют недостатки.

В работе предлагается метод диагностики, основанный на использовании всех известных методик. Для этого на трансформаторе нужно установить следующие датчики: датчик измерения тока и напряжения, датчик положения РПН, датчик частичных разрядов, датчик температуры воздуха, датчик включения вентилятора, датчик включения маслонасоса, датчик вибрации, газохроматографический анализатор масла, датчик температуры верхних и нижних слоев масла, датчик давление масла, датчик уровня масла. Установка датчиков представлена на рис. 1.

Сигналы с датчиков поступают на вход контроллера, где обрабатываются. В дальнейшем обработанные сигналы поступают на монитор оператора. В режиме настоящего времени оператор может диагностировать неисправность трансформатора. Информационно-измерительная система диагностирования силового трансформатора представлена на рис. 2.

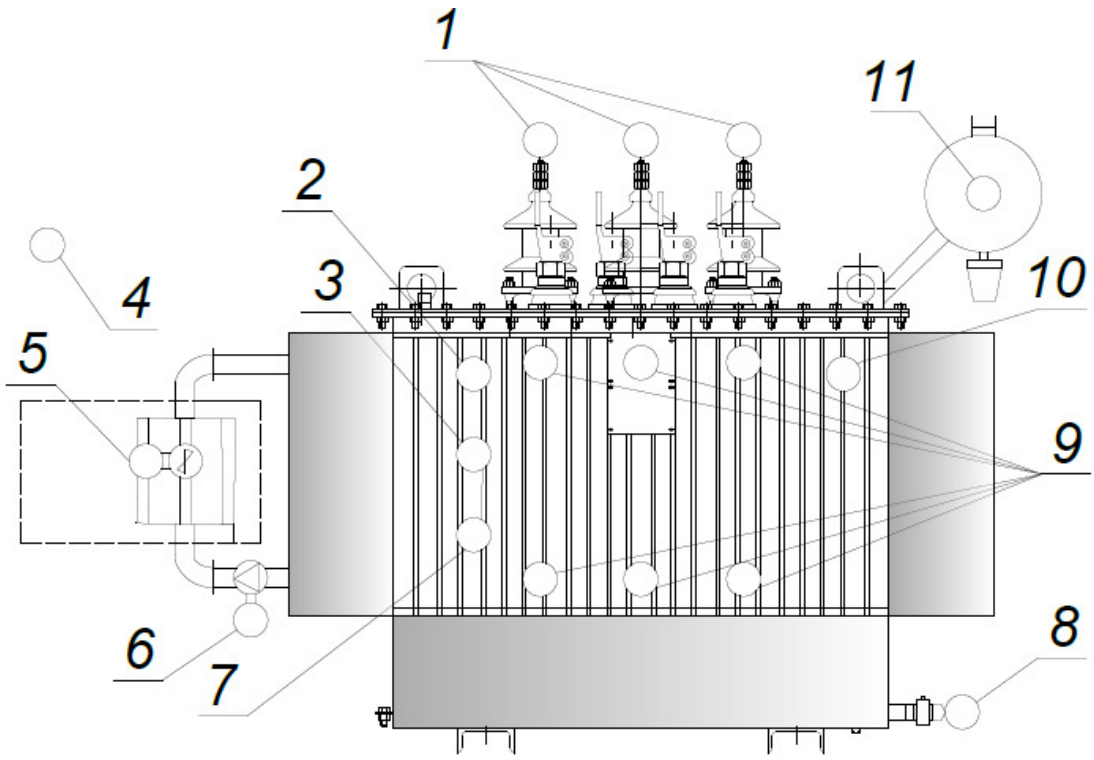

Рис. 1. Установка датчиков для диагностики силового трансформатора:
1 – измерение тока и напряжения; 2 – датчики положения РПН; 3 – датчик ЧР;
4 – температура воздуха; 5 – включение вентилятора; 6 – включение маслонасоса;
7 – вибрация; 8 – ГХА; 9 –температура верхних и нижних слоев масла;
10 – давление масла; 11 – уровень масла

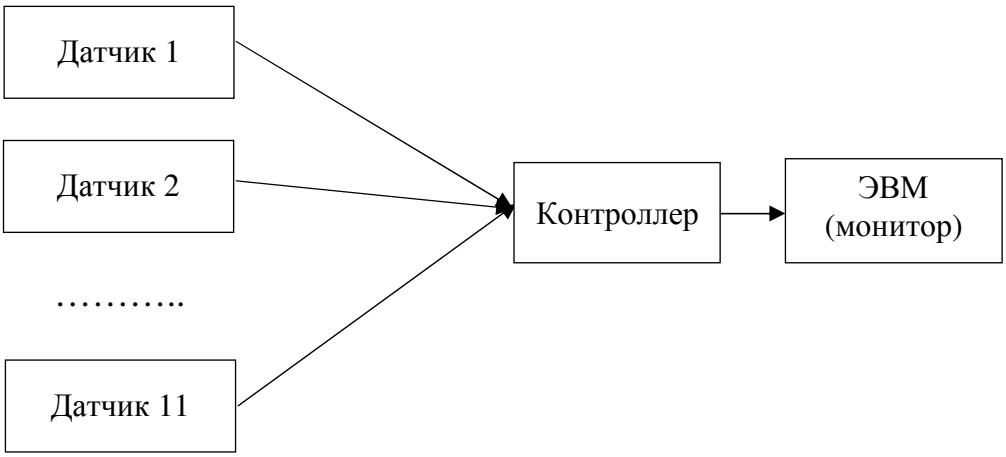

Рис. 2. Информационно-измерительная система
диагностирования силового трансформатора

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Константинов, А.Г. О тепловизионном контроле электротехнического оборудования / Д.С. Масленников, А.Г. Константинов, В.Н. Осотов и др. // Электрические станции. – 1985. – № 11. – С. 73–75.

2. Соколов, В.В. Повышение эффективности диагностики состояния мощных силовых трансформаторов / В.В. Соколов // Энергетика и электрификация. Сер. «Эксплуатация и ремонт электростанций» (Информэнерго). – 1985. – Вып. 3.

3. Алексеев, Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов / Б.А. Алексеев. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2002.

4. Алексеев, Б.А. Системы непрерывного контроля состояния крупных силовых трансформаторов / Б.А. Алексеев. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2003.

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Пестрецов Д.В., Индолова А.А. – магистранты
Науч. рук. ***Жилина В.И.*** – д-р экон. наук, профессор
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье рассмотрены мероприятия по оптимизации режимов работы силовых трансформаторов с целью максимальной минимизации потерь электрической энергии. Отображено влияние срока эксплуатации и фактического напряжения силовых трансформаторов на потери электроэнергии. Предложено определять экономическую мощность силовых трансформаторов с учетом указанных факторов, а также с учетом формы графика нагрузки и времени включения трансформатора в электрическую сеть.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *энергетическое оборудование, силовой трансформатор*, *мониторинг, энергоснабжение, диагностика.*

ABSTRACT. This article discusses measures to change the operating modes of power transformers in order to minimize the loss of electrical energy. Indicators of the impact of the life and actual voltage of power transformers on energy losses. It is proposed to determine the economic power of transformers in the electric network.

KEYWORDS: power equipment, power transformer, monitoring, power supply, diagnostics.

Пристальное внимание уделяется задачам оптимизации управления системами электроснабжения, начиная с первого момента появления автоматизированных систем проектирования и управления, основываясь на базе персональных компьютеров. Существующие в настоящее время программные системы позволяют проверять реальность осуществления и оптимальность проектных решений по отдельным объектам энергетического комплекса.

Кроме этого, выполняется функция проверки надежности уже функционирующих энергосистем в целом, с решением конкретных технологических задач. Помимо всего перечисленного, данное программное обеспечение может применяться для сравнительного анализа всевозможных стратегий проектирования, монтажа, а также оптимизации и эксплуатации оборудования комплекса.

Решения в такой ситуации принимаются на основании параметров режима электрической сети и технического состояния оборудования.

Всем известно, что основными элементами электрической сети классически являются линии электропередачи (ЛЭП) и силовые трансформаторы (СТ) подстанций. В любом аналитическом или синтетическом программном продукте данные элементы представляются своими математическими моделями, которые, в свою очередь, можно разделить на два основных вида, используемых в решении поставленных инженерных задач:

1) графическая схема – общепринятая модель электрической схемы энергосистемы, включающая в себя СТ и ЛЭП;

2) расчетные схемы – специализированные модели, которые описывают схему электрической сети энергосистемы на уровне требований, применяемых математических методов и конкретных технологических задач.

Нередко в связи со спецификой работы в энергетических установках встает вопрос о повышении энергоэффективности систем электроснабжения различных объектов. Данная задача требует выполнения мероприятий, связанных в основном с проведением инженерных расчетов. Основываясь на актуальности и востребовательности мероприятий по повышению энергоэффективности в отдельных регионах, а также и по Российской Федерации в целом, приведем пример необходимого расчета.

Первым шагом расчета является определение потерь мощности в силовом трансформаторе (СТ):

$$\Delta P = \Delta P_{xx} \cdot \left(\frac{U}{U_{\text{ном}}} \right)^2 + \Delta P_{\text{кз}} \cdot \kappa_3{}^2, \tag{1}$$

где U – фактическое напряжение на выводах обмотки высшего напряжения трансформатора, кВ; $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение обмотки высшего напряжения, кВ.

Потери электроэнергии в СТ зависят от времени включения трансформатора и формы графика электрических нагрузок. Поэтому потери электроэнергии в СТ определяются по формуле

$$\Delta W = \Delta P_{xx} \cdot \left(\frac{U}{U_{\text{ном}}} \right)^2 \cdot T_{\text{год}} + \Delta P_{\text{кз}} \cdot \kappa_3{}^2 \cdot \tau, \tag{2}$$

где $T_{\text{год}}$ – количество часов работы трансформатора в году, ч; τ – время наибольших потерь, которое определяется по фактическому графику нагрузки или через справочное значение количества часов использования максимума нагрузки, ч.

Проанализировав все показатели, а также множество внешних факторов, влияющих на работу трансформатора, приходим к выводу: минимум потерь

энергии в трансформаторе в течение года будет достигнут при равенстве потерь энергии холостого хода и энергии короткого замыкания.

Итогом проделанной работы является зависимость потерь мощности и электроэнергии в силовых трансформаторах двухтрансформаторной подстанции от мощности нагрузки на шинах низшего напряжения $S_н$, построенная на данных уравнений (1) и (2), рисунок.

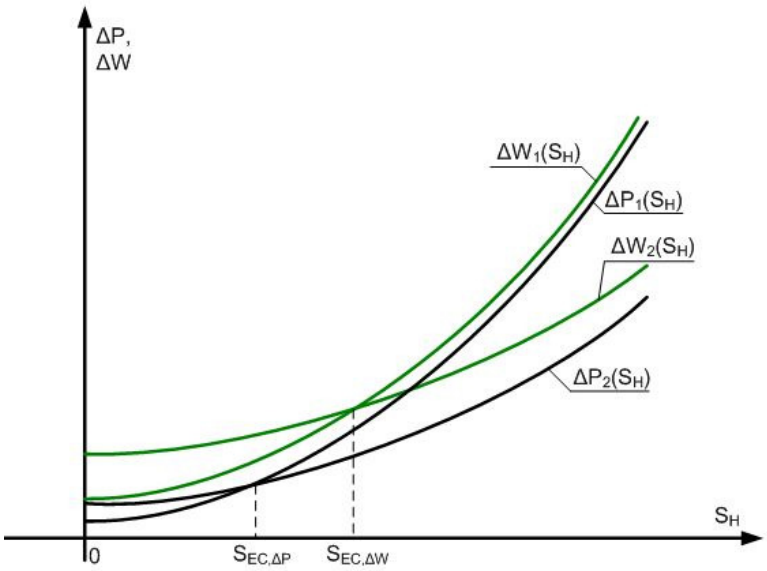

Рисунок. Зависимость потерь мощности
и электроэнергии от мощности нагрузки $S_н$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киреева, Э.А. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике (с примерами расчетов): справочное издание / Э.А. Киреева, С.Н. Шерстнев; под общ. ред. С.Н. Шерстнева. – 2-е изд., стереотип. – М.: Кнорус, 2013. – 864 с.

2. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.: ил.

3. Субетто, А.И. Системогенетика и теория циклов / А.И. Субетто. – Спб.: Наука, 1994. – 365 с.

4. ГОСТ 14209-97. Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов. – Введ. 2002.01.01. – Минск, 1998.

СЕКЦИЯ № 4

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Председатель: ***Байдакова Н.В.*** – канд. техн. наук, доцент
Секретарь: ***Афонин А.В.*** – доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ВМЕСТИМОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СТАНЦИИ ПОДЗЕМНОГО ХРАНЕНИЯ ГАЗА

Бондаренко Н.Е. – студент
Науч. рук. ***Байдакова Н.В.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлены основные положения по нормам и требованиям к нормальной эксплуатации гидротурбинного оборудования. Описаны требования к методам диагностики гидротурбин и составных узлов. Данная работа показывает важность мониторинга гидротурбинного оборудования на принципе устройства системы управления направляющего аппарата.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гидротурбинное оборудование, методы диагностики, мониторинг гидротурбины, нормы эксплуатации.

ABSTRACT. The article presents the basic provisions on the norms and requirements for the normal operation of hydroturbine equipment. Describes the requirements for diagnostic methods for hydraulic turbines and component assemblies. This work shows the importance of monitoring hydroturbine equipment on the principle of designing a control system for the guide apparatus.

KEYWORDS: hydroturbine equipment, diagnostic methods, monitoring of hydroturbines, operating standards.

Мониторинг – это диагностика состояния оборудования во время его работы для поддержания нормального режима эксплуатации. Всесторонний мониторинг оборудования всегда играл важную роль для нормальной эксплуатации и работы всего энергопредприятия. Регулярный сбор необходимой информации и ее тщательный анализ обеспечивают своевременное выявление ошибок и, соответственно, их исправление в кратчайшие сроки. Это позволяет сократить количество остановов основного и вспомогательного оборудования, затраты на ремонт и вывод оборудования из рабочего состояния, а также увеличить надежность его составляющих узлов. Эксплуатационный износ узлов гидроагрегата негативно сказывается на работе всего гидроагрегата, приводя к снижению работоспособности и точности открытия направляющего аппарата

или поворота лопастей рабочего колеса, КПД гидроагрегата. Также чрезмерный износ может привести к возникновению неисправности или к серьезной аварии.

Для того чтобы мониторинг осуществлялся качественно и в полной мере, необходимо знание составных частей оборудования. Это позволит выявить наиболее подверженные дефектам узлы для их усиленного контроля.

Этот вопрос продолжает активно развиваться, поэтому существует немало нормативных документов, регламентирующих порядок проведения оценки состояния гидротурбины, виды и объем контроля над составными узлами гидротурбинного оборудования [2].

Особый контроль на гидроэлектростанциях производится над гидротурбинным оборудованием. В инструкции [1] и стандарте организации [3] представлен перечень основных параметров и конструкций механического оборудования гидроагрегатов, рассмотрены вопросы и нормы эксплуатации гидротурбины при основных эксплуатационных режимах. В данных документах подробно описан состав гидротурбинной установки, графики по контролю и все ее составные части. Также немаловажным являются необходимые действия персонала при определенных неисправностях.

Направляющий аппарат (НА) и система, управляющая его открытием, являются одними из основных узлов гидроагрегата, по которым проводят глубокую диагностику. Главный элемент системы открытия НА – это электрогидравлический преобразователь (ЭГП), который, в свою очередь, состоит из главного золотника и сервомотора [6], рис. 1. При повреждении ЭГП или его составной части направляющий аппарат не сможет нормально функционировать. Также чрезмерный износ узлов способен повлечь за собой серьезные последствия, которые скажутся на поддержании вырабатываемой мощности гидроагрегата, точности управлением активной мощности, КПД, а самое опасное – это может привести к серьезной аварии.

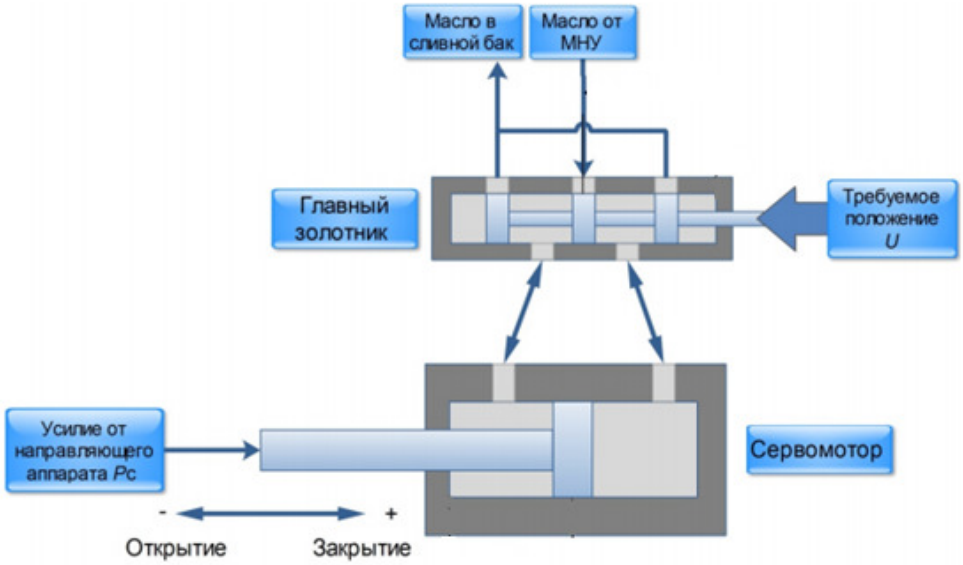

Рис. 1. Упрощенная схема ЭГП

После определения основной структуры гидротурбинного оборудования можно перейти к методикам оценки его технического состояния. Благодаря методикам оценки технического состояния оборудования, представленным в стандарте организации [4] возможно учесть потенциальные риски возникновения и сценарии развития опасных ситуаций с учетом требований безопасности.

Данный стандарт устанавливает требования к контролю и мониторингу состояния оборудования, определяет методики измерений контролируемых параметров и испытаний оборудования, которые необходимо применять при комплексных и индивидуальных технических обследованиях. Также в стандарте представлены процедуры оптимизации принятия решения при оценке технического состояния оборудования и методы мониторинга гидротурбин по энергетическим характеристикам, составленным заводами-изготовителями и полученным в ходе испытаний.

С помощью системы диагностики становится возможным своевременно информировать инженера о возникновении и развитии неисправностей в ЭГП, для устранения возникающих неисправностей, которые могут стать причинами аварии.

Весь процесс диагностирования любого гидротурбинного оборудования принято разделять на две стадии: обнаружение изменений в диагностируемом оборудовании и локализация этого изменения. Существует большое количество методов для каждой из этих стадий.

Например, в стандарте [5] описаны общие принципы построения системы мониторинга за оборудованием, ее состав, структура и другие регламентирующие документы локального применения, в том числе и для гидротурбин. Данный стандарт включает в себя нормы и требования для регулирования системы мониторинга технического состояния основного оборудования. Система мониторинга состоит из подсистем, которые подробно описаны в рассматриваемом стандарте: их состав, принцип действия и требования к эксплуатации. Важным в мониторинге является принцип калибровочных работ и методика определения погрешностей при наблюдениях.

Вторая стадия диагностики подразумевает под собой использование контрольных карт, которые представляют графические средства анализа, основанные на статистических данных. Например, контроль может осуществляться по верхнему и нижнему контрольным пределам. С помощью этих карт можно принять решение о том, находится ли оборудование в нормальном режиме работы. Пока показатели измерений и наблюдений попадают в интервал между двумя пределами, указанными на графике, процесс можно считать находящимся под статистическим контролем. Подобный вид диагностирования возможен для каждого узла гидротурбины.

Таким образом, диагностирование создает условия для значительного повышения срока эксплуатации составных узлов, а следовательно, и всей гидротурбинной установки. Уменьшаются затраты на эксплуатацию благодаря

сокращению времени на техническое обслуживание и ремонт оборудования, сокращению количества аварийных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по эксплуатации гидротурбинного оборудования и системы регулирования гидроагрегатов ИЭ-103-1/1-2018 ПАО «РусГидро». – 2018. – 77 с.

2. РД 153-34.0-20.642-98. Рекомендации по обследованию гидроэнергетического оборудования ГЭС РАО «ЕЭС России» при их реконструкции и техническом перевооружении. – 14 с.

3. СТО 70238424.27.140.005-2010. Гидротурбинные установки. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. – М., 2010. – 90 с.

4. СТО 70238424.27.140.001-2011. Гидроэлектростанции. Методики оценки технического состояния основного оборудования. – М., 2011. – 405 с.

5. СТО РусГидро 02.01.059-2011 (СТО 70238424.27.140.023-2010). Гидроэлектростанции. Мониторинг технического состояния основного оборудования. Нормы и требования. – М., 2011. – 47 с.

6. Браганец, С.А. Система диагностики технического состояния главного золотника и сервомотора электрогидравлического преобразователя системы управления открытием направляющего аппарата гидроагрегата Волжской ГЭС / С.А. Браганец, А.С. Гольцов, А.В. Савчиц // Инженерный вестник Дона (сетевое издание). – 2013. – № 4.

ВЫБОР НОМЕРОВ ОТВЕТВЛЕНИЙ ОТПАЕК ФАЗОПОВОРОТНОГО КОМПЛЕКСА В ФИЛИАЛЕ ПАО «РУСГИДРО» – «ВОЛЖСКАЯ ГЭС» ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ

Рябов А.Ю. – магистрант
Науч. рук. ***Стрижиченко А.В.*** – канд. техн. наук
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННТОТАЦИЯ. Представлено краткое описание ФПТ, произведен расчет параметров вольтодобавочного трансформатора и определено оптимальное значение отпаек регулировочных ответвлений автотрансформатора и вольтодобавочного трансформатора для различных режимов работы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фазоповоротный трансформатор, обмотки, отпайки РПН, режим работы.

ANNOTATION. The article provides a brief description of the PST (phase-shifting transformer), calculated parameters of the booster transformer, and defined the optimal combination of solders for a different operating mode.

KEYWORDS: phase-shifting transformer, windings, soldering, operating mode.

С целью регулирования загрузки сетей 220 кВ и 500 кВ целесообразно применение фазоповоротного трансформатора (ФПТ). В настоящее время ФПТ, установленный на филиале ПАО «РусГидро» – «Волжская ГЭС», относится к первому опыту применения ФПТ в России. Он установлен на существующем автотрансформаторе 10Т (со стороны обмотки 220 кВ 10Т в сторону ОРУ 220 кВ), что позволит перераспределить потоки мощности между ОРУ 500 кВ и ОРУ 220 кВ Волжской ГЭС и даст возможность более гибкого регулирования загрузки ВЛ 500 кВ и 220 кВ, отходящих от Волжской ГЭС. ФПТ совместно с 10Т представляет собой фазоповоротный комплекс (ФПК) [1].

Фазоповоротный комплекс состоит из трехфазной группы автотрансформаторов АОДЦТН-267000/500/220 и вольтодобавочного трансформатора ТДЦТНФ-195260/220-У1. Схема соединения устройств изображена на рис. 1.

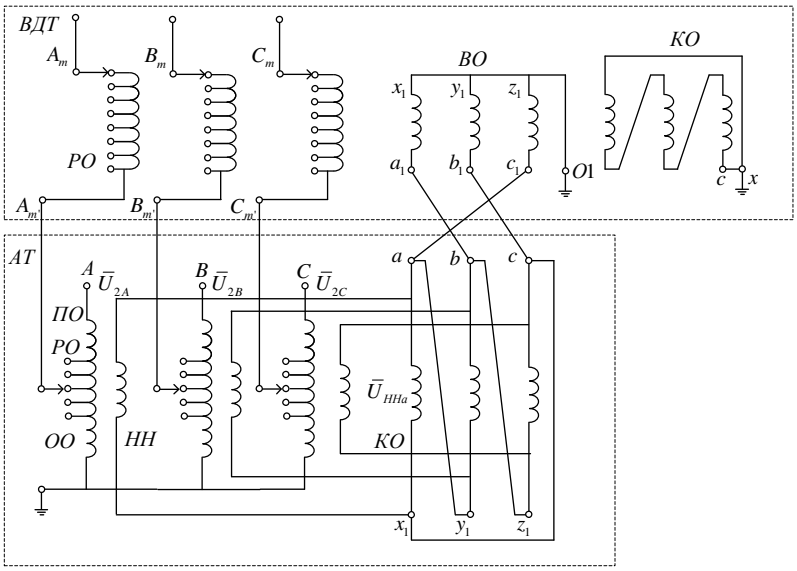

Рис 1. Трехфазная электрическая схема соединения АТ и ВДТ

На рис. 2 изображена векторная диаграмма фазных напряжений ФПК.

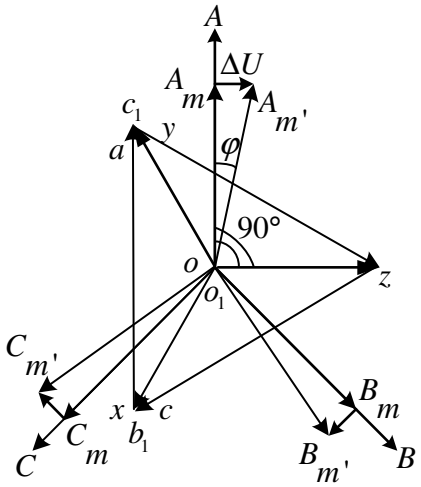

Рис. 2. Векторная диаграмма напряжений ФПК

ВДТ представляет собой электромагнитный трехфазный силовой трансформатор со следующими обмотками.

• Регулировочная (последовательная) обмотка (РО): $U_{ном}$ = 32,37 кВ; S_{min} = = 195,26 МВА. Предусматривается переключение числа витков данной обмотки устройством регулирования под нагрузкой (РПН) 16 ступеней в диапазоне от полного числа витков до нуля.

• Возбуждающая обмотка (ВО): $U_{ном}$ = 10,5 кВ; S_{min} = 195,26 МВА, схема соединения обмотки – звезда с изолированной нейтралью.

• Компенсационная обмотка (КО): $U_{ном}$ = 10,5 кВ; S_{min} = 29,29 МВА, схема соединения обмотки – треугольник.

Регулировочная обмотка подключается последовательно в сеть между обмоткой СН 10Т и ОРУ 220 кВ. Возбуждающая обмотка подключается к сборке НН 10Т по 90-градусной схеме.

Подключение обмоток РО и ВО ФПТ к ОРУ 220 кВ, обмоткам СН и НН 10Т осуществляется через разъединители с замеляющими ножами. Также предусматривается установка дополнительного автотрансформатора 10Т (с временным отключением автотрансформатора 10Т на период коммутации разъединителей) [2]. Расчет параметров вольтодобавочного трансформатора представлен в табл. 1.

Таблица 1

Паспортные данные ВДТ

$u^{\%}_{k\text{ВДТ}}$, %	13
$S_{тип}$, МВА	195,26
$W_{во}$, витков	22
$W_{ро}$, витков	122

Сопротивление короткого замыкания между обмотками ВН и СН автотрансформатора, приведенное к стороне высшего напряжения (500кВ) (1):

$$x_{\text{ВС}} = .\frac{u^{\%}_{k\text{ВС}}}{100} \cdot \frac{U^2_{ном}}{S_{ном}} = \frac{12{,}04}{100} \cdot \frac{500^2}{801} = 37{,}578 \text{ Ом}. \quad (1)$$

Сопротивление короткого замыкания между обмотками СН и НН автотрансформатора, приведенное к стороне низкого напряжения (10,5 кВ) (2):

$$x_{\text{СН}} = .\frac{u^{\%}_{k\text{СН}}}{100} \cdot \frac{U^2_{ном}}{S_{ном}} = \frac{24{,}33}{100} \cdot \frac{10{,}5^2}{801} \cdot \frac{267}{67} = 0{,}1335 \text{ Ом}. \quad (2)$$

Сопротивление короткого замыкания вольтодобавочного трансформатора, приведенное к стороне возбуждающей обмотки ВО (линейное напряжение равно 10,5 кВ) (3):

$$x_{\text{ВДТ}} = .\frac{u^{\%}_{k\text{ВДТ}}}{100} \cdot \frac{U^2_{ном}}{S_{ном}} = \frac{13}{100} \cdot \frac{10{,}5^2}{195{,}26} \cdot \frac{267}{67} = 0{,}0734 \text{ Ом}. \quad (3)$$

Оба трансформатора имеют устройства РПН, которые позволяют регулировать коэффициент трансформации по виткам.

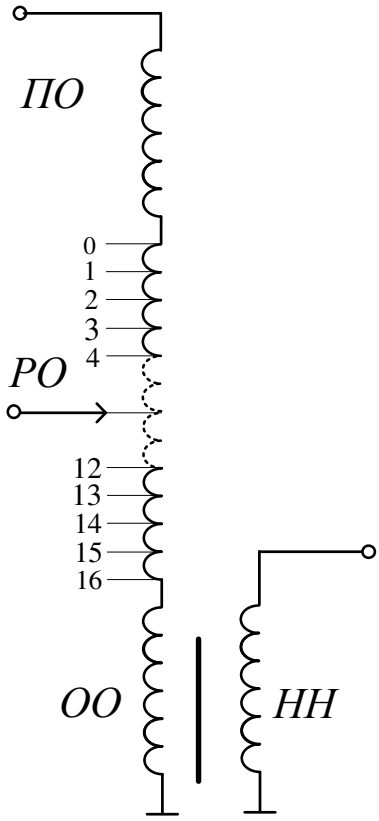

Рис. 3. Устройство РПН автотрансформатора

$$k_{\text{ВС}} = \frac{w_{\text{оо}} + 0{,}5 \cdot (16 - x) \cdot \Delta N_{\text{АТ}}}{w_{\text{по}} + w_{\text{оо}} + 0{,}5 \cdot 16 \cdot \Delta N_{\text{АТ}}},$$

где $w_{\text{оо}}$ = 344 витка; $w_{\text{по}}$ =412 витков; $\Delta N_{\text{АТ}}$ = 12 – число витков в одной ступени, приведенное к общему потоку; x = 0…16 (ступень отпайки).

$$k_{\text{ВС}} = \frac{344 + 0{,}5 \cdot (16 - x) \cdot 12}{412 + 344 + 0{,}5 \cdot 16 \cdot 12} = \frac{344 + (16 - x) \cdot 6}{852}.$$

$$k_{\text{СН}} = \frac{w_{\text{оо}} + 0{,}5 \cdot (16 - x) \cdot \Delta N_{\text{АТ}}}{w_{\text{нн}}},$$

где $w_{\text{нн}}$ = 31 виток; x = 0…16 (ступень отпайки).

$$k_{\text{СН}} = \frac{344 + (16 - x) \cdot 12}{31}.$$

Устройство РПН, установленное на АТ, предназначено для регулирования продольного напряжения на зажимах АТ. Устройство РПН, установленное

на ВДТ, предназначено для регулирования поперечного напряжения, которое влияет на величину потока мощности через ФПК [3].

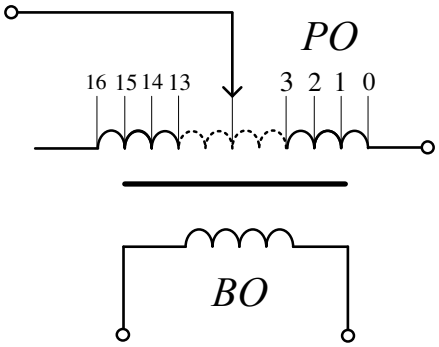

Рис. 4. Устройство РПН вольтодобавочного трансформатора

$$k_{\text{ВДТ}} = \frac{w_{\text{ро}}}{w_{\text{во}}} = \frac{\Delta N_{\text{ВДТ}} \cdot y}{w_{\text{во}}},$$

где $w_{\text{во}}$ = 22 витка; $\Delta N_{\text{ВДТ}}$ = 7–8 витков в одной ступени; y = 0…16 (ступень отпайки).

$$k_{\text{ВДТ}} = \frac{8 \cdot y}{22}.$$

Сопротивление нулевой последовательности $x_{\text{ко}}$ рассчитывается по следующей формуле:

$$x_{\text{ко(у=5)}} = \cdot \frac{u^{\%}_{k\ \text{ро-ко ВДТ}}}{100} \cdot \frac{U^2_{\text{ном}} \cdot w_{\text{ро}}(y=5)}{S_{\text{ном}} \cdot w_{\text{ро}}(16)} = \frac{51}{100} \cdot \frac{(\sqrt{3} \cdot 32{,}37)^2 \cdot 39}{195{,}26 \cdot 122} = 0{,}839 \text{ Ом}.$$

Схема замещения фазоповоротного комплекса для расчета внешних коротких замыканий представлена на рис. 5.

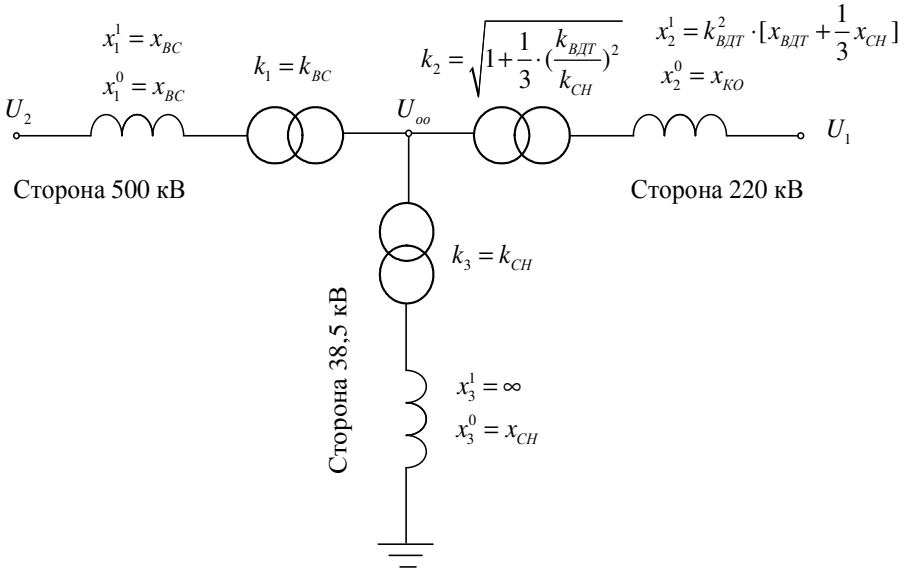

Рис. 5. Эквивалентная схема замещения фазоповоротного комплекса

На схеме U_2 = 500 кВ – сторона высокого напряжения; U_1 = 220 кВ – сторона среднего напряжения; x_1^1, x_2^1, x_3^1 – сопротивления прямой последовательности высокой, средней и низкой сторон ФПК; x_1^0, x_2^0, x_3^0 – сопротивления нулевой последовательности высокой, средней и низкой сторон ФПК; k_1, k_2, k_3 – коэффициенты трансформации высокой, средней и низкой сторон ФПК.

По результатам расчетов установившихся электроэнергетических режимов выбраны оптимальные номера ответвлений отпаек РПН АТ и ВДТ, табл. 2.

Таблица 2

Оптимальные номера ответвлений отпаек РПН АТ и ВДТ Волжской ГЭС

Режим	**АТ**		**ВДТ**	
	№ отпайки	$k_{\text{ФТП}}^{\text{Re}}$	№ отпайки	$k_{\text{ФТП}}^{\text{Im}}$
Зимние максимальные нагрузки рабочего дня	12	0,432	16	0,116
Летние максимальные нагрузки рабочего дня	12	0,432	16	0,116
Паводок	9	0,453	16	0,116

Таким образом, благодаря расчетам, выбрано оптимальное сочетание отпаек РПН АТ и ВДТ, что позволит системному оператору использовать на Волжской ГЭС максимальную мощность даже после того, как закончится программа комплексной модернизации и станция выйдет на новую мощность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов, В., Трипотень, Е. ФПТ. Трансформатор с большой буквы [Электронный ресурс] / В. Иванов, Е. Трипотень. URL: http://www.rushydro.ru/upload/iblock/5fd/Vestnik_Rusgidro06_2019.pdf.

2. Добрусин, Л.А. Тенденции применения фазоповоротных трансформаторов в электроэнергетике» / Л.А. Добрусин // Силовая электроника. – 2012. – № 4. – С. 60–66.

3. Бушуев, В.В. Применение фазоповоротных устройств для упрощения потокораспределением в энергосистемах / В.В. Бушуев, А.Х. Калюжный, Л.В. Кречмер, А.А. Шушуев // Электричество. – 1990. – № 11. – С. 6–11.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВОДОРОДНЫХ РЕАКТОРАХ ПРОТОЧНОГО ТИПА

Попова М.В. – студент
Науч. рук. ***Гусева Ю.В.*** – канд. физ.-мат. наук
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлен результат графического расчета каскада проточных водородных генераторов идеального смешения, работа которых осуществляется за счет протекания термохимической реакции с алюминиевой пудрой и гидроксидом натрия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: каскад проточных генераторов, гидролиз алюминия, скорость термохимической реакции, выделение водорода, гидроксид натрия, водородный реактор.

ABSTRACT. The article presents the result of a graphical calculation of a cascade of flow-through hydrogen generators of ideal mixing, whose operation is carried out by a thermochemical reaction with aluminium powder and sodium hydroxide.

KEYWORDS: cascade of flow generators, aluminum hydrolysis, thermochemical reaction rate, hydrogen release, sodium hydroxide, hydrogen reactor.

В условиях уменьшения запасов нефти и природного газа активное развитие получила водородная энергетика. Несмотря на то что водород считается вторичным энергоносителем, его применение в некоторых случаях экономически целесообразно уже сегодня. Экологические преимущества использования данного способа получения энергии очевидны, поэтому развитие этой отрасли энергетики относится к числу приоритетных задач экономики [1].

В работе рассматривается использование водорода в реакторе проточного типа термохимическим способом, с протеканием приведенной ниже реакции с алюминиевой пудрой.

$$2Al + 2NaOH + 6H_2O \rightarrow 2Na\,[Al(OH)_4] + 3H_2\uparrow. \quad (1)$$

Для удобства алюминиевая пудра вводится в реактор в виде суспензии. В качестве жидкой фазы используется глицерин, керосин, подсолнечное масло. Оптимальная концентрация NaOH составляет 1,5 моль-экв/л. Время такой реакции 6,67 мин.

Протекание реакции с момента распассивации алюминиевой пудры и до полного реагирования происходит в большом объеме камеры смешения, что осложняет протекание реакции. Потому рассматривается использование каскада реакторов. Каскад реакторов идеального смешения представляет собой несколько последовательно соединенных секций, через каждую из которых будет проходить реакционная смесь.

Для расчета каскадно соединенных проточных реакторов идеального смешения используется графический метод расчета [2]. Константа скорости реакции $k = 1{,}905 \cdot 10^{-3}$ 1/с. Скорость реакции описывается уравнением

$$Vr = kC^n, \tag{2}$$

где n – порядок реакции (в расчетах принят равным 2).

Предельно допустимая концентрация едкого натра составляет 4,41 моль-экв/л. На рис. 1 показана скорость протекания реакции в условиях изменения концентрации в секциях реактора.

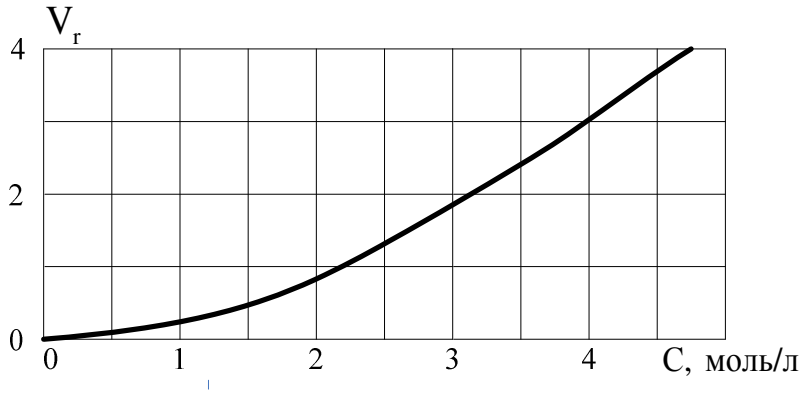

Рис. 1. Скорость протекания реакции при изменении концентрации в пределах 0,001–4,41 моль-экв/л

Стандартный КПД проточного реактора идеального смешения принят равным 80 %. Концентрации в первом, втором и третьем реакторах приведены в табл.

Расчетные параметры концентрации в секциях реакторах

Номер секции реактора	Концентрация C_i, моль-экв/л
1	1,50
2	0,30
3	0,06

При помощи калибровочного графика можно прогнозировать время нахождения реакционной смеси в каждой секции реактора, основываясь на соотношении

$$t = \frac{\Delta c}{\Delta Vr}, \tag{3}$$

здесь Δc – изменение концентрации реагирующего вещества в секции реактора, моль/л; ΔVr – изменение скорости реакции.

На рис. 2 представлен расчетный калибровочный график моделирования химических процессов получения водорода в реакторе проточного типа. Расчетные оценки, выполненные с помощью рис. 2 и уравнения (3), показывают,

что время нахождения в секции реактора соответствует значениям порядка 10–12 минут. В ходе расчетов установлено, что время нахождения смеси во второй секции реактора значительно возрастает, что объясняется значительным уменьшением концентрации реагирующих веществ.

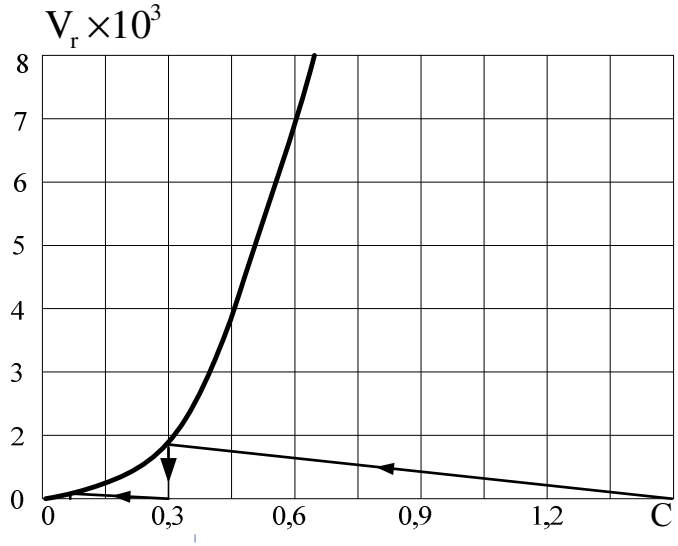

Рис. 2. Калибровочный график

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попова, М.В., Гусева, Ю.В. Моделирование физико-химических процессов в генераторе водорода / М.В. Попова, Ю.В. Гусева // Энергетика и цифровизация – факторы стабильного развития современного города: тезисы докладов международной научно-практической конференции, г. Волжский, 23–26 октября 2019 г. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2020. – С. 21–22.

2. Бутов, Г.М. Расчеты химических реакторов: учебное пособие / Г.М. Бутов, Г.Р. Гаджиев, К.Р. Саад // ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – 54 с.

МОДЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Васильев А.Р., Кострюков С.А. – учащиеся Предуниверситария
Науч. рук. ***Гусева Ю.В.*** – канд. физ.-мат. наук
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Перспективным способом развития водородных технологий является внедрение новых технических решений в существующие процессы. Поэтому научно-исследовательские работы в отрасли водородной энергетики в России считаются приоритетными направлениями развития техники и науки, поддерживаются финансами со стороны государства.

Водородная энергетика является одним из перспективных направлений, способных решать проблему создания более экологичных энергосистем, позволяющих снизить уровень удельных показателей загрязнения окружающей среды. Разработано множество физико-химических процессов по выделению водорода из смеси различных продуктов реакции. Ресурсы водорода, которые содержатся в воде и в органическом веществе, практически неисчерпаемы [1–3].

В работе [2] предложена модель генератора водорода, принцип работы которого основан на процессе получения водорода путем гидролиза алюминия в водном растворе едкого натра.

Алюминий используется в виде пудры, которую удобнее вводить в генератор как суспензию, что обеспечит равномерное дозирование алюминия и его пассивацию для исключения преждевременной реакции компонентов смеси. В качестве твердых частиц дисперсной фазы выбрана алюминиевая пудра ПАП-1, диаметр гранул 30 мкм, в качестве дисперсной среды – растительное масло. Количественное соотношение дисперсной фазы и среды определяется расчетом с учетом изменения условий опыта (температуры и давления) и времени пребывания в реакторе до полного выделения водорода [1–3].

Выбор алюминиевой пудры ПАП-1 обоснован ее производством в промышленных масштабах на Волгоградском алюминиевом заводе.

На рисунке представлена схема генератора водорода проточного типа.

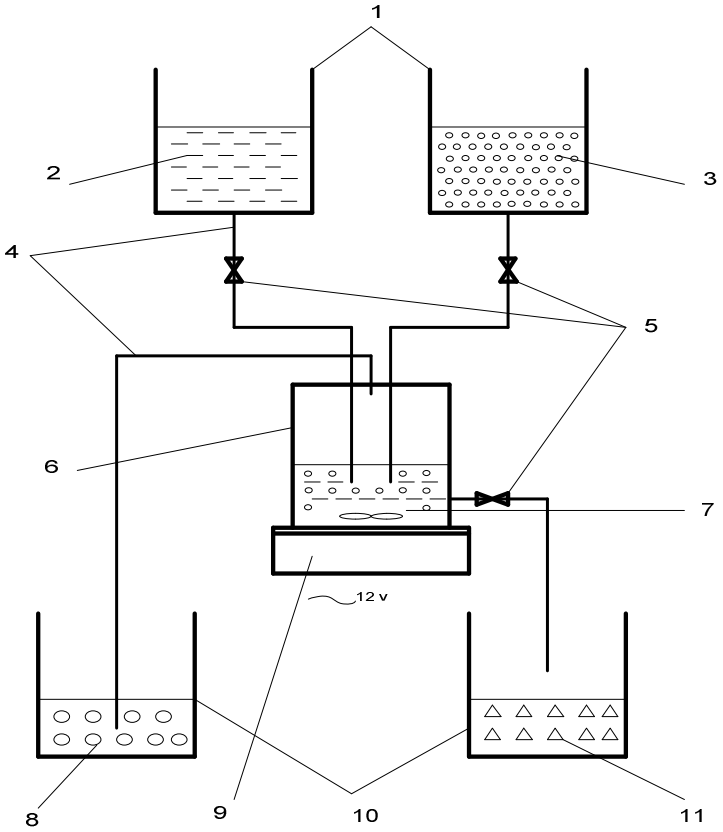

Рисунок. Схема генератора водорода проточного типа

Данная установка включает: 1 – баки для суспензии алюминия и раствора NaOH; 2 – суспензия алюминия; 3 – раствор NaOH; 4 – трубопроводы; 5 – регулирующая арматура; 6 – реактор смешения проточного типа, 7 – мешалка магнитно-вихревого типа; 8 – гидравлический затвор; 9 – аккумулятор (для автономной работы мешалки); 10 – отводящие емкости; 11 – резервуар для отведения солевого раствора.

Выбор концентрации едкого натра необходимо обосновывать экспериментальными исследованиями. Низкая начальная концентрация NaOH влечет за собой, с одной стороны, неоправданно большие размеры химического реактора, с другой – превышение определенного порога концентрации приводит к слишком бурной, трудно контролируемой реакции. Известно, что использование концентраций свыше 15 % нецелесообразно ввиду «взрывного» характера реакции [1, 2].

В реактор смешения проточного типа подается суспензия алюминия и раствор гидроксида натрия. Вещества взаимодействуют в эквивалентных количествах. Равномерное перемешивание реагирующих компонентов в реакторе происходит с помощью магнитной мешалки. Мешалка работает от сети 12 В, также имеется возможность работы автономно от элементов питания. Смесь водорода и водяного пара отводится через газоотводную трубку, находящуюся в верхней части реактора. Отделение водорода от паров воды происходит через водяной затвор, который также препятствует попаданию воздуха в генератор. Разработанная конструкция генератора проточного типа позволяет осуществлять проведение модельных реакций получения водорода в лабораторных условиях с применением алюминиевой пудры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Streicher, M.A. The dissolution of aluminum in sodium hydroxide solution. II / M.A. Streicher // Journal of The Electrochemical Society. – 1949. – № 3. – С. 179.

2. Сажин, Б.С. Экспериментальное исследование зависимости скорости выделения водорода от конценрации щелочи при взаимодействии алюминия с водным раствором щелочи / Б.С. Сажин, В.В. Козляков, А.Х. Хайри, В.С. Терещук, А.С. Панфилов, Б.В. Сажин // Успехи в химии и химической технологии. – 2011. – Том XXV. – С. 108–115.

3. Попова, М.В., Гусева, Ю.В. Моделирование физико-химических процессов в генераторе водорода / М.В. Попова, Ю.В. Гусева // Энергетика и цифровизация – факторы стабильного развития современного города: Международная научно-практическая конференция, г. Волжский, 23–26 октября 2019 г: тезисы докладов. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2020. – С. 21–22.

СЕКЦИЯ № 5

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ, РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Председатель: ***Султанов М.М.*** – канд. техн. наук, доцент
Секретарь: ***Иваницкий М.С.*** – канд. техн. наук, доцент

ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНАЯ УСТАНОВКА МОЩНОСТЬЮ 150 КВТ В СИСТЕМЕ КОМПЛЕКСНОЙ ГЕНЕРАЦИИ МИКРОГРИД

Полынкина А.Д. – студент
Султанов М.М. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье рассмотрена дизель-генераторная установка в системе комплексной генерации Микрогрид. Рассмотрены несколько установок с разными мощностями и характеристиками.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дизель-генераторная установка, Микрогрид, мощность.

ANNOTATION. The article deals with the diesel generator set in the system of complex generation of Microgrids. Several installations with different capacities and characteristics are considered.

KEYWORDS: diesel generator set, Microgrid, power.

Дизель-генераторная установка (ДГУ) – это электромеханическое устройство, состоящее из дизельного двигателя, электрогенератора и схемы управления.

ДГУ обеспечивают автономное питание (гарантированное электроснабжение) критичной нагрузки. Дизель-генераторные установки предназначены для работы в качестве постоянных или резервных источников электроэнергии, способных функционировать в течение длительного периода времени (от нескольких часов до нескольких суток в зависимости от емкости топливного бака).

Задача данного проекта состоит в реализации ДГУ 150 кВт в качестве одного из источников энергокомплекса Микрогрид филиала МЭИ в г. Волжском. Установка будет использоваться в резервном режиме или будет использоваться для исследовательских работ.

Необходимо заметить, что данная установка будет находиться на открытом пространстве, для нее требуется заказать специальный блок-контейнер, а также дополнительный бак для хранения топлива объемом 2 куб. метра.

В состав комплектации блок-контейнера входят: система пожарной сигнализации, система вентиляции, система газовыхлопа, система освещения, система обогрева, щит собственных нужд и управления.

Дизель-генераторную установку можно оснастить дополнительной комплектацией, например, автоматическим вводом резерва, автоматическим запуском, автоматической подкачкой маслосистемы и др.

Рассмотрены несколько вариантов установок с разными мощностями, ниже представлены характеристики данных вариантов.

Таблица 1

Варианты установок

Характеристика	ММЗ (Белоруссия), Marelli (Италия)	Cummins (США), Leroy Somer (Франция)	Doosan (Корея), Marelli (Италия)
Стоимость, руб.	2 364 444	2 726 567	2 970 867
Мощность, кВт	120	145	150
Номинальная мощность, кВт	120	163	199
Расход топлива, л/час	32,1	41,2	38,1
Номинальное напряжение	230/400	230/400	230/400
Экономичность, литр/кВт	0,268	0,284	0,254

ДГУ необходимо снабжать топливом, для этого были рассмотрены и выбраны несколько поставщиков с ценами за доставку и стоимость 1 т топлива.

Таблица 2

Сравнение поставщиков топлива

Поставщик	Плотность	Доставка	Цена, руб./т
ООО «Дизельоптторг», г. Волгоград	0,860	Бесплатно по области	36 000
ООО «Морион», г. Волгоград	0,835	Бесплатно по области	32 000
TransOil34, г. Волжский	–	Бесплатно	36 000
Спецпромторг, г. Волжский	0,835	Бесплатно	34 000

По данным стоимости топлива в предыдущие годы были сделаны предположения о стоимости топлива в дальнейшем, табл. 3.

Таблица 3

Прогнозируемая стоимость топлива

Год	Цена, руб./л
2020	36
2025	46
2030	56

Для обслуживания установок понадобится дежурный энергетик и контракт на сервисное обслуживание. Средняя стоимость технического обслуживания до капитального ремонта 700 тыс. руб.

Были выполнены расчеты стоимости 1 кВт·ч вырабатываемой электроэнергии для установки мощностью 150 кВт с двигателем DOOSAN (табл. 4) и ДГУ мощностью 120 кВт с двигателем ММЗ (табл. 5) со стоимостью дизельного топлива 38 руб./л и тарифом на имеющееся электричество (тариф на электроэнергию из сети, для сравнения) 7,8 руб./кВт·ч. Также был сделан расчет с учетом прогноза роста цен.

Таблица 4

Расчет стоимости кВт·ч установки 150 кВт

Характеристика	Ед. измерения	max	75 %
Мощность	кВт	150	112,5
Удельное потребление	л/кВт	0,28	0,26
Расход ДТ	л/час	40,00	29,25
Стоимость 1 кВт·ч/мес. (с учетом ТО – 0,9 руб.)	руб.	11,54	10,58

Таблица 5

Расчет стоимости кВт·ч установки 120 кВт

Характеристика	Ед. измерения	max	75 %
Мощность	кВт	120	90
Удельное потребление	л/кВт	0,28	0,26
Расход ДТ	л/час	32,100	24,075
Стоимость 1 кВт·ч/мес. (с учетом ТО – 0,9 руб.)	руб.	10,98	10,26

Изменение стоимости вырабатываемой энергии с учетом прогноза роста цен приведено в табл. 6.

Таблица 6

Изменение стоимости вырабатываемой энергии с учетом прогноза роста цен

Год	Прогноз цены, руб./л	Стоимость 1 кВт·ч, руб.
2020	36	10,26
2025	46	12,86
2030	56	15,46

Вывод

Режим работы ДГУ – краткосрочный, единичный агрегат без резервирования, контейнерное исполнение, максимальная комплектация системы автоматического управления, возможность установки дополнительных опций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мустафина, Р.М. Системы автономного электростанций: учебное пособие / Р.М. Мустафина, С.Г. Обухов, И.А. Плотников. – Павлодар: Кереку, 2012. – 82 с.
2. Шеховцов, В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. – 2-е изд. – М.: Форум, 2011. – 136 с.
3. Федеральный закон от 26.03.2003 г. № 35-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об электроэнергетике».

ПРОЕКТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КОМПЛЕКСНОЙ ГЕНЕРИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ МОЩНОСТЬЮ 1 МВТ НА БАЗЕ МИКРОГРИД

Полякова А.В. – студент
Науч. рук. ***Султанов М.М.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Цель проекта электрической части комплексной генерирующей системы мощностью 1 МВт на базе Микрогрид состоит в разработке схемы электроснабжения будущего энергетического парка на территории филиала МЭИ в г. Волжском.

Для достижения этой цели предстоит решить следующие задачи:

– сбор информации по территории и будущим энергообъектам;
– разработка вариантов схем электроснабжения;
– предварительный выбор оборудования;
– расчет технико-экономического обоснования для выбора наиболее приемлемого варианта схемы.

Данные, которые понадобились по будущим энергообъектам:

– номинальная мощность;
– расположение установок;
– класс напряжения;
– количество установок;
– коэффициент мощности.

Микрогрид – система, которая включает собственные источники генерации энергии и в кризисные ситуации способна взять на себя задачу удовлетворения спроса потребителей. Это своего рода уменьшенная версия централизованной системы электроснабжения.

Нами были разработаны несколько вариантов схем надежности. Различия этих схем только в подключении АВР (автоматический ввод резерва) (различие между первым и вторым вариантами) и мощностью будущих энергоустановок (различие между рис. 1 и рис. 2).

Второй вариант схемы – более надежный, по сравнению с первым вариантом. Также возможно питание как от сети (подстанция Городская-1), так и от будущих источников.

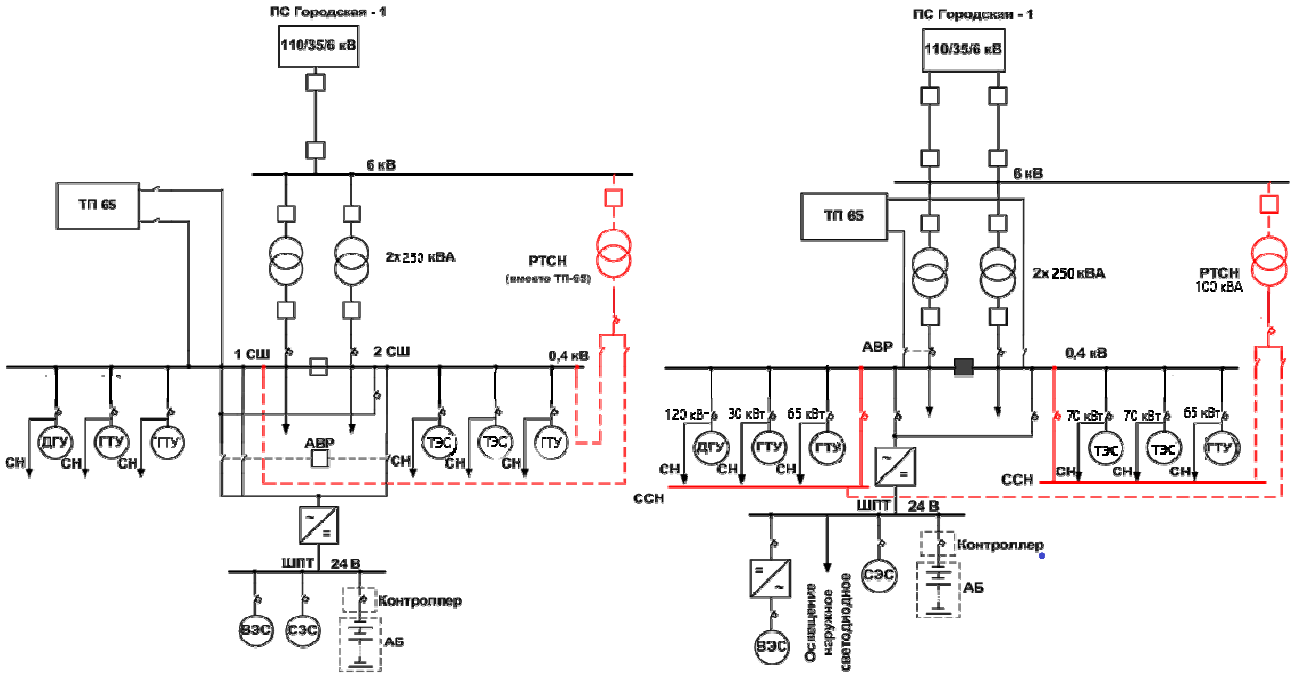

Рис. 1. Первый и второй варианты схем надежности

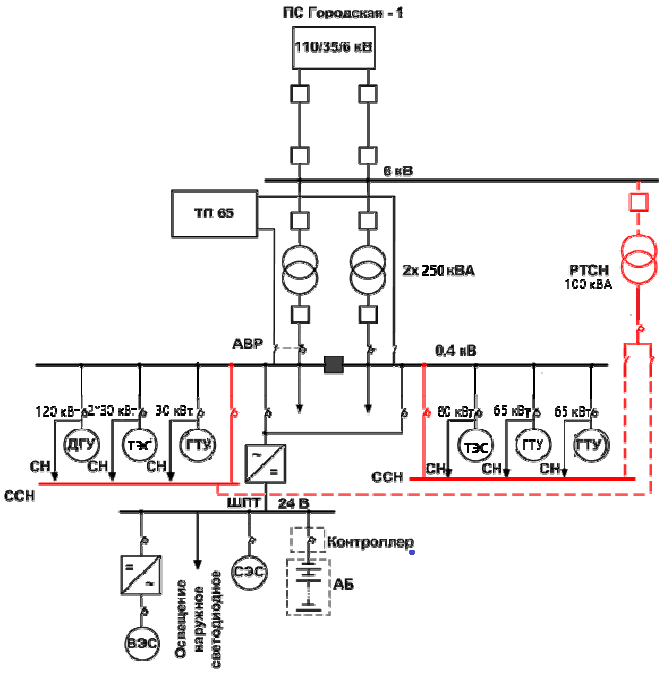

Рис. 2. Третий вариант схем надежности

Эти варианты схем позволяют не только покрывать нагрузку института, но и выдавать в сеть излишки электроэнергии, что будет приносить прибыль институту. Расстояние от здания института до ПС Г-1 представлено на рис. 3.

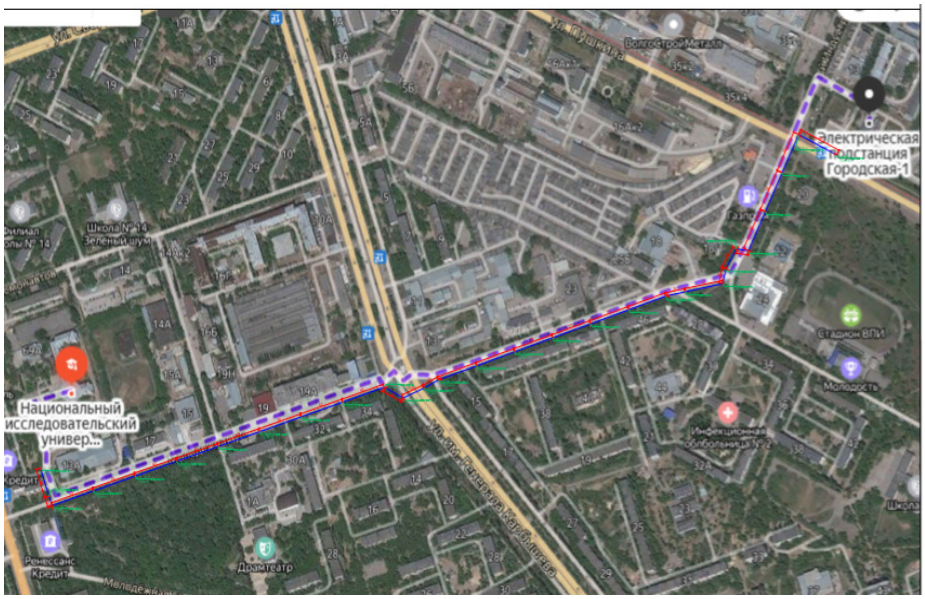

Рис. 3. Расстояние от здания института до ПС Г-1

Для этих схем мы подобрали два вида оборудования с современными моделями и улучшенными параметрами, также часто применяемые, табл.

Таблица

Варианты оборудования

Вариант оборудования (А)			Вариант оборудования (Б)		
Оборудование	**Кол-во**	**Цена за единицу /итого, руб.**	**Оборудование**	**Кол-во**	**Цена за единицу / итого, руб.**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Трансформатор ТМ 250/6/0,4 масляный	2 шт.	202 910 / 405 820	Трансформатор ТМ 250 кВА 6/10 0,4 кВ	2 шт.	135 000 / 270 000
Выключатель EVOLIS 25/145, 12 кВ, 1250 А	7 шт.	261 955 / 1 833 685	Выключатель ВБСК-Р-10	9 шт.	105 700 / 951 300
АВР-Б-25-2-1	1 шт.	40 900 / 40 900	АВР на авт. выкл. с выносн. блоком управления 10 А, 4Р, 25кА АВР-301	1 шт.	25 500 / 25 500
Контроллер напряжения аккумулятора 24В АКБК-02 (Техэнергощит)	20 шт.	2 500 / 50 000	Контроллер EPSolar EPIPDB-COM 20A, 12/24 V на 2 АКБ	10 шт.	3 154 / 31 540
Батарея аккумуляторная для ИБП SUA500PDRI	20 шт.	15 975 / 319 500	Батарея аккумуляторная для ИБП SUA500PDRI	20 шт.	15975 / 319 500 (руб.)
Инвертор Grid 50 К	3 шт.	345 500 / 1 036 500	Инвертор Grid 50 К	3 шт.	345 500 / 1 036 500

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
ПвПу 3×120/50	2 км	6·130 942 / 15 713 040	Кабель силовой ПвБШв 3×120 мс-1 Ч	2 км	2·291 235 / 11 649 400
АЭК-ДКУ43-090-001	25 шт.	8431 / 210 775	Уличный светильник с регулируемым углом наклона 106 Вт LL-ДКУ-100-124 КСС Ш	25 шт.	7072 / 176 800
ТМГСУ 100 КВА 6/0,4 кВ	1 шт.	112 980 / 112 980	ТМГСУ 100 КВА 6/0,4 кВ	1 шт.	112 980 / 112 980
Кабель ВВГнгLS 3×95 +2×50	750 м	1 109.07 / 776 349	Кабель ВВГнг-LS 3x150+1x70	300 м	1 430 / 429 000
Кабель ВВГнг-LS 3×150+1x70	300 м	1 430 / 429 000	Кабель ВВГнгLS 3×95 + 2×50	750 м	1 109,07 / 776 349
ИТОГО		**20 928 549**			**15 392 769**

Приблизительный расчет технико-экономического обоснования.
Мини-ТЭС 140 кВт (–10 % (15 %) на собственные нужды) ≈ 120 кВт в сеть.
ГТУ 160 кВт (на собственные нужды) ≈ 140 кВт в сеть.
ДГУ-резерв, выдавать в сеть убыточно.
СЭС – 0…150 кВт.
Итого ≈ 410 кВт.
На нужды филиала ≈ 60 кВт.
В среднем в сеть – 350 кВт.
Зададимся $T = 4000$ часов максимум нагрузки.
Прибыль за год:

$$П = 350 \cdot 4000 \cdot T - 60 \cdot 4000 \cdot 1{,}91 - 140 \cdot 4000 \cdot 2{,}5 -$$
$$- 150 \cdot 4000 \cdot 3{,}4 \approx 7007600 \approx 7 \text{ млн руб.}$$

Срок окупаемости:

$$Co = \frac{\sum К}{П} = \frac{К_{ГТУ} + К_{ТЭС} + К_{ДГУ} + К_{СЭС} + К_{эл.сх}}{П}.$$

Этот проект позволит не только покрывать свои нужды по электроэнергии и получать прибыль от продажи, но и будет служить площадкой для практик, лабораторных и научно-исследовательских работ. Это возможность организовать новые рабочие места для специалистов.

РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ С ИНФРАСТРУКТУРНОЙ SMART GRID «УМНЫЙ ЭНЕРГОРАЙОН БУДУЩЕГО»

Репин Г.С. – магистрант
Науч. рук. ***Султанов М.М.*** – канд. техн. наук
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлено изобретение, которое относится к системам теплоснабжения и электроснабжения жилых районов городов. Оно может быть использовано для автоматического учета расхода тепловой и электрической энергий, где подразумевается полный контроль эффективного применения энергоресурсов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: умный энергорайон, Smart Grid, интелектуальная система.

ABSTRACT. The article presents an invention that relates to heat supply and power supply systems for residential areas of cities; it can be used for automatic accounting of heat and electric energy consumption, which implies full control of the effective use of energy resources.

KEYWORDS: smart energy district, Smart Grid, intelligent system.

Технический результат – создание пилотной экосистемы проживания «Умный энергорайон будущего» с полным контролем эффективного использования энергоресурсов. Также происходит повышение энергоэффективности жилого фонда и оперативности и точности передаваемых показаний [1].

В качестве примера приведем 35 квартал г. Волжского Волгоградской области, который включает как жилые дома (МКД), так и объекты инфраструктуры (магазины, библиотека и т. п.) и промышленные объекты. Район может как потреблять, так и вырабатывать тепловую и электрическую энергии, которые в дальнейшем аккумулируются.

Система управления представляется в виде блока, собирающего информацию от электро- и теплосчетчиков (общих на вводах в район, вводах в дома и другие объекты, а также индивидуальные счетчики у потребителей и генераторов). Блок определяет перетоки внутри района, перераспределяет тепловую энергию между потребителями внутри, чтобы меньше закупать извне, по данным электросчетчиков строит профили потребления, тарифицирует, отключает неплательщиков. Также блок имеет функцию прогнозирования потребления и производства энергии для обеспечения при наличии возможности, предварительного запаса ЭЭ и ТЭ при более низких тарифах (например, по ночному тарифу заряжаются аккумуляторы, а днем от них идет потребление. Аналогично днем от солнца идет максимальный прогрев зданий, а ночью меньше требуется тепла закупать извне, так как здания имеют достаточно большую инерционность

по температуре) [2, 3]. Обобщенная схема системы автоматического регулирования представлена на рис. 1.

Рис. 1. Обобщенная схема системы автоматического регулирования

Блок управления также имеет интерфейсы для взаимодействия с расчетными центрами для биллинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логинов, Е.Л., Деркач, Н.Л. «Интеллектуальные сети» (Smart Grid) в электроэнергетике: проблемы управления и безопасности / Е.Л. Логинов, Н.Л. Деркач. – 2011.

2. Ильин, В.В. Козляков, В.В. Введение в Smart Grid / В.В. Ильин, В.В. Козляков. – 2015.

3. NIST (Национальный институт технологий и стандартизации, США), NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release / NIST – 2012. – 59 с.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН ТЭЦ

Луненко В.С.[1] – аспирант
Рекаева Л.А.[2] – магистрант
Скопова Е.М.[2] – инженер
Науч. рук. ***Курьянов В.Н.***[2] – канд. техн. наук, доцент
[1]ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
[2]Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлен обобщенный статистический анализ повреждений в системах регулирования паровых турбин Волжской ТЭЦ на основе данных статистики эксплуатации за период с 2006 по 2019 год с применением уникальной методики оценки показателей надежности систем регулирования паровых турбин Волжской ТЭЦ и моделирования процессов прогнозирования показателей надежности оборудования электростанции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: коэффициент рабочего времени, коэффициент технического использования, коэффициенты плановых и неплановых простоев, коэффициент готовности, среднее время восстановления.

ABSTRACT. The article presents a generalized statistical analysis of damage in the regulation systems of steam turbines of the Volzhskaya CHPP based on data from operation statistics for the period from 2006 to 2019. Using a unique methodology for assessing the reliability indicators of regulation systems for steam turbines of the Volzhskaya TPP and modeling processes for predicting the reliability indicators of power plant equipment.

KEYWORDS: coefficient of working time, coefficient of technical use, coefficients of planned and unplanned downtime, coefficient of availability, average recovery time.

В научно-исследовательской работе выполнен обобщенный статистический анализ повреждений в системах регулирования паровых турбин Волжской ТЭЦ на основе данных статистики эксплуатации за период с 2006 по 2019 год по уникальной методике с использованием алгоритма построения интерполяционного многочлена по методу Лагранжа и аппроксимационного многочлена по методу наименьших квадратов для оценки показателей надежности систем регулирования паровых турбин Волжской ТЭЦ и моделирования процессов прогнозирования показателей надежности оборудования электростанции.

На Волжской ТЭЦ используется энергооборудование с характеристиками, указанными в табл. 1, 2 и на рис. 1, 2.

Таблица 1

Краткая характеристика систем регулирования ВТЭЦ

Тип (марка) турбины	**ПТ-61(65)-115(130)/13**	**Т-48(50)-115(130)**	**Т-97(100)-115(130)**	**ПТ-133(135)-115(130)/15**
Ст. №	1,2	5	6,7	8
Завод-изготовитель	ЛМЗ	УТМЗ	УТМЗ	УТМЗ
Год ввода	2002/1998	1967	1971/1972	1974
Система регулирования	гидро-динамическая	гидро-динамическая	гидро-динамическая	гидро-динамическая
Регулятор скорости турбин	РС-3000-6	гидравлический мембранно-ленточный РС	гидравлический мембранно-ленточный РС	гидравлический мембранно-ленточный РС
Статизм регулятора скорости	4,5/4,5 %	4,7 %	4,6/4,7 %	4,7 %
Зона нечувствительности регулятора скорости	±0,1 / ±0,1	±0,15	±0,1/±0,1	±0,1

Таблица 2

Краткая заводская характеристика используемого паротурбинного оборудования ВТЭЦ ООО «Тепловая генерация г. Волжского»

Тип оборудования	Единичная мощность, производительность, МВт	Год изготовления	Год ввода в эксплуатацию	Регулятор скорости турбин	Суммарная наработка турбины (системы регулирования) на 10.12.2019 г.
ПТ-65/75-130/13	65	1999	2002	РС-3000-6	61 039
ПТ-65/75-130/13	65	1998	1998	РС-3000-6	99 473
Т-50-130	50	1967	1967	гидравлический мембранно-ленточный	246 364
Т-100-130	100	1970	1971	гидравлический мембранно-ленточный	251 757
Т-100-130	100	1971	1972	гидравлический мембранно-ленточный РС	255 722
ПТ-135-130	135	1972	1974	гидравлический мембранно-ленточный РС	252 663

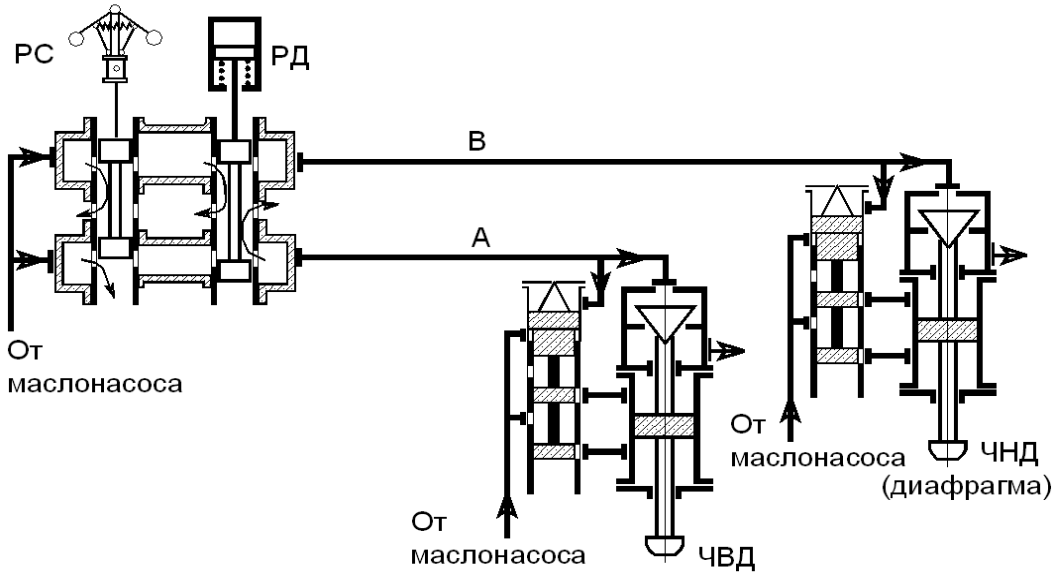

Рис. 1. Система регулирования турбины типа «Т» с одной регулирующей диафрагмой и гидравлическими связями (упрощенная)

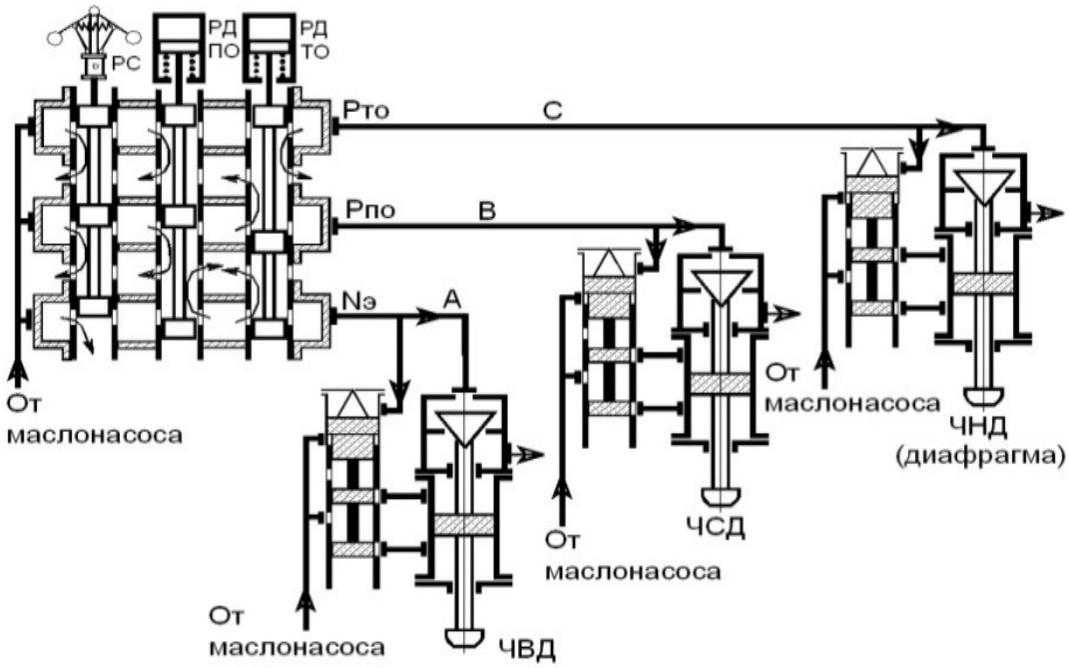

Рис. 2. Схема регулирования турбины типа ПТ
с гидравлическими связями (упрощенная)

Применяя методику, полиномиальную функциональную зависимость будем искать между количеством ежегодных коэффициентов неплановых простоев и ежегодным финансированием ремонтно-эксплуатационной программы.

В основе построения аппроксимирующих функций лежит метод наименьших квадратов, который позволяет определить коэффициенты уравнения регрессии таким образом, чтобы точки, построенные по исходным данным, лежали как можно ближе к точкам линии регрессии [11]. Наиболее эффективный метод для решения этой задачи – это итерационный метод Ньютона (метод касательных). Он дает высокую точность вычислений и быстрый процесс сходимости.

Основная расчетная формула для построения интерполяционного многочлена

$$F(t) = \sum_{i=0}^{n} Kt_i f_i(t), \tag{1}$$

где $f_i(t)$ – базисные полиномы, Kt_i и t – массивы узлов интерполирования.

Представим исходные данные в виде массивов:

$$t = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ \dots \\ t_n \end{bmatrix}, \tag{2}$$

$$Kt = \begin{bmatrix} Kt_1 \\ Kt_2 \\ \dots \\ Kt_n \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$Zt = \begin{bmatrix} Zt_1 \\ Zt_2 \\ \dots \\ Zt_n \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Новизной является получение взаимозависимости между элементами массивов коэффициентов неплановых простоев оборудования *Kt* (3) и финансирования ремонтных программ *Zt* (4). Построение аппроксимирующих функций позволит нам прогнозировать количество неплановых простоев в работе оборудования теплоэлектростанции, затрат на ремонтную деятельность.

По анализируемым данным были построены линейная $f(t)$, квадратичная $f_2(t)$ и кубическая $f_3(t)$ аппроксимирующие функции. Все определенные функциональные зависимости на примере статистических данных по системам регулирования паровых турбин Волжской ТЭЦ ООО «Тепловая генерация г. Волжского» за 13-летний период позволяют сделать предположение о том, что увеличение затрат на ремонты приведет к уменьшению количества неплановых простоев в работе паровых турбин, а также позволят сделать прогноз по коэффициенту непланового простоя [9], определить оптимальный вариант финансирования ремонтно-эксплуатационной деятельности, на основании которого можно будет минимизировать количество неплановых простоев в работе паровых турбин и иметь меньший экономический ущерб. На основе обработки обобщенных данных статистики для всех паровых турбин Волжской ТЭЦ установлено, что минимальное значение коэффициента непланового простоя будет соответствовать 84,677 %, или 338 708 руб. (в год), при этом количество неплановых простоев будет на уровне 1,07399 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 37 с.

2. ГОСТ 27625-88. Блоки энергетические для тепловых электростанций. Требования к надежности, маневренности и экономичности. – М.: Изд-во стандартов. 1988. – 11 с.

3. СТО 70238424.27.100.011-2008. Тепловые электрические станции. Методики оценки состояния основного оборудования. 2008. – 61 с.

4. Труханов, В.М., Тарнаева, А.Г. Надежность и диагностика сложных систем: учебник / В.М. Труханов, А.Г. Тарнаева; под общ. ред. В.М. Труханова. – М.: ИД «Спектр», 2016. – 175 с.: ил.

5. Труханов, В.М. Надежность изделий машиностроение: теория и практика / В.М. Труханов. – М.: Машиностроение, 1996. – 336 с.

6. Труханов, В.М. Методы обеспечения надежности изделий машиностроения / В.М. Труханов. – М.: Машиностроение, 1995. – 304 с.

7. Труханов, В.М. Надежность в технике / В.М. Труханов. – М.: Машиностроение, 1999. – 598 с.

8. Султанов, М.М. Оценка надежности, продление ресурса и оптимизация ремонта оборудования ТЭС и энергетических систем: учебное пособие / М.М. Султанов. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2016. – 100 с.

9. Султанов, М.М., Баландин, О.И., Скопова, Е.М. Повышение эффективности эксплуатации энергетического оборудования генерирующих систем: учебное пособие / М.М. Султанов, О.И. Баландин, Е.М. Скопова. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2018. – 85 с.

10. Бахвалов, Н.С. Численные методы / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.Н. Кобельков. – М.: Лаборатория базовых знаний, 1987. – 598 с.

11. Амосов, А.А. Вычислительные методы для инженеров: учебное пособие / А.А. Амосов, Ю.А. Дубинский, Н.П. Копченова. – М.: Высшая школа, 1994. – 544 с.

КРАТКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС

Рекаева Л.А. – магистрант
Науч. рук. ***Курьянов В.Н.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлен краткий обзор новых подходов, методов, математических моделей и методик проектирования и расчета, а также известные подходы, методы, математические модели и методики создания, производства и эксплуатации энергетического оборудования ТЭС, используемые для достижения высокого уровня надежности работы энергооборудования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, среднее время восстановления, вероятность восстановления, интенсивность восстановления.

ABSTRACT. The article provides a brief overview of new approaches, methods, mathematical models and design and calculation methods, as well as well-known approaches, methods, mathematical models and methods for creating, manufacturing and operating power equipment of thermal power plants used to achieve a high level of reliability of power equipment operation.

KEYWORDS: probability of uptime, failure rate, average recovery time, probability of recovery, recovery rate.

Вопросы надежности и безопасности работы теплоэнергетического оборудования тепловых электростанций [1, 3] в настоящее время особенно актуальны в связи с бурным развитием технического прогресса, реформированием

электроэнергетики и выходом на оптовый рынок по реализации электроэнергии генерирующих компаний.

Распределение норм надежности производится уже на этапах эскизного и рабочего проектирования ТЭС. Используются следующие основные методы и методики [14, 15, 17] достижения высокого уровня надежности энергооборудования ТЭС, основанные на теории вероятности и математической статистике.

Методы равномерного и пропорционального распределения

Предполагается, что система (оборудование) состоит из последовательно соединенных составных частей, имеющих одинаковую надежность. Требуемая вероятность безотказной работы оборудования рассчитывается с применением экспоненциального закона распределения отказов.

Метод распределения требований по надежности
с учетом относительной уязвимости элементов

Предполагается, что элементы (составные части) системы соединены последовательно и имеют постоянную интенсивность отказов, при этом отказ любого элемента (составной части) приводит к отказу системы в целом.

Метод распределения требований по надежности
с учетом важности подсистемы

Предполагается последовательное соединение взаимно независимых составных частей, имеющих экспоненциальное распределение времени работы. Показатель важности составной части определяется через вероятность отказа системы (оборудования), если эта составная часть выйдет из строя.

Метод распределения требований по надежности
на основе неравенства вероятностей

Методика сводится к следующему: используются различные представления рассматриваемых вероятностей в виде сумм и отдельной оценки слагаемых.

Рассмотрим также следующие методы, математические модели и методики достижения высокого уровня надежности на этапе испытаний [16, 18] опытных составных частей головного образца и головного образца в целом.

Модель расчета надежности,
учитывающая случайные отказы

Составляется структурная схема надежности для каждой составной части (системы) изделия в виде совокупности последовательно соединенных элементов. Взятые из справочной литературы интенсивности отказов пересчитываются с помощью расчетных формул или графиков, приведенных в этих справочниках.

Модель расчета надежности,
учитывающая неслучайные отказы

Под неслучайными отказами понимают отказы, причина которых известна и они устраняемы. Первый этап (до пяти лет эксплуатации) – суммарная интенсивность отказов:

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_i = \lambda_i. \quad (1)$$

Вероятность безотказной работы:

$$P_1(t) = \mathrm{e}^{-\sum_{i=1}^{n} \lambda_i t} = \mathrm{e}^{-\lambda_1 t}. \quad (2)$$

Второй этап эксплуатации (в течение 10 лет после приработки):

$$P_2(t) = \mathrm{e}^{-\sum_{i=1}^{n} (\lambda_i t + \lambda'_i) t} = \mathrm{e}^{-\lambda_2 t}, \quad (3)$$

где λ_i – интенсивность случайных отказов; $\lambda_i^{'}$ – интенсивность неслучайных отказов.

Третий этап эксплуатации (период старения и износа элементов):

$$P_3(t) = \mathrm{e}^{-\sum_{i=1}^{n} (\lambda_i t + \lambda''_i) t} = \mathrm{e}^{-\lambda_3 t}. \quad (4)$$

Модель расчета надежности
механических узлов и металлоконструкций

Вероятности безотказной работы механических узлов и металлоконструкций:

$$f_1(x) = \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \exp[\frac{-(x - m_1)^2}{2\sigma_1^2}]; \quad (5)$$

$$f_2(x) = \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \exp[\frac{-(x - m_2)^2}{2\sigma_{12}^2}], \quad (6)$$

где m_1, m_2 – математические ожидания соответственно прочности и нагрузки; σ_1, σ_2 – средние квадратические отклонения соответственно прочности и нагрузки.

$$P = \Phi(\frac{m_1 - m_2}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}), \quad (7)$$

где $\Phi(U_p)$ – нормированная нормальная функция распределения, U_p – квантиль функции нормального распределения.

$$U_p = \frac{m_1 - m_2}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}. \quad (8)$$

Методика расчета требуемого уровня надежности

Вероятность безотказной работы i-го элемента за один цикл:

$$P_i = 1 - \frac{m_i}{n_i}, \quad (9)$$

где P_i – вероятность безотказной работы i-го элемента; m_i – число отказов i-го элемента; n_i – число циклов испытаний (эксплуатации) i-го элемента.

Математическая модель расчета требуемого уровня надежности с учетом управляющих воздействий

Расчет основывается на допущениях и предпосылках.

Методика оценивания управляющих воздействий

Методика позволяет учесть активные управляющие воздействия при отработке систем и тем самым решает в активной постановке задачу управления процессом совершенствования изделия при направленном улучшении его характеристик.

В процессе эксплуатации энергооборудование ТЭС подвержено воздействию двух процессов – изнашиванию и восстановлению.

Среднее время восстановления:

$$T_{\text{в}} = \text{M}[t_{\text{в}}] = \int_0^{\infty} t_{\text{в}} f_{\text{в}}(t_{\text{в}})dt, \tag{10}$$

где $\text{M}[t_{\text{в}}]$ – математическое ожидание времени восстановления работоспособности; $f_{\text{в}}(t_{\text{в}})$ – плотность распределения времени восстановления.

Вероятность восстановления в заданное время:

$$P_{\text{в}}(t) = \text{Вер}\{t_{\text{в}} < t\} \tag{11}$$

Интенсивность восстановления:

$$\mu(t) = \frac{m_{\text{в}}(t + \Delta t)}{n_{\text{в}}(t + \Delta t)}, \tag{12}$$

где Δt – рассматриваемый промежуток времени; $m_{\text{в}}(t+\Delta t)$ – число восстановлений в интервал времени $t\ldots(t+\Delta t)$; $n_{\text{в}}(t+\Delta t)$ – число восстановленных изделий за тот же интервал времени.

Завершающим этапом жизненного цикла энергетического оборудования ТЭС является продление сроков эксплуатации с допустимым уровнем надежности. В качестве составляющих методов следует назвать расчетно-аналитический, экспериментальный и вероятностный [19].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон РФ от 26.03.2003 г. № 35-ФЗ «Об электроэнергетике».

2. Федеральный закон РФ от 27.07.2010 г. № 190-ФЗ «О теплоснабжении».

3. Федеральный закон РФ от 21.03.1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

4. СО 34.04.181-2003. Правила организации технического обслуживания и ремонта оборудования, зданий и сооружений электростанций и сетей РД 34.03.201-97. Правила техники безопасности.

5. СО 153-34.20.501-2003 (РД 34.20.501-95). Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ (приказ Минэнерго от 19.06.2003 г. № 229).

6. СО 153-43.1-17.421-98 (РД 153-34.1-17.421-98). Типовая инструкция по контролю металла и продление срока службы основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепловых электрических станций (постановление Госгортехнадзора от 18.06.2003 г. № 94).

7. СО 34.26.617-97. Методика оценки технического состояния котельных установок до и после ремонта.

8. РД 34.20.581-96. Методика оценки технического состояния паротурбинных установок до и после ремонта и в период между ремонтами.

9. СТО 70238424.27.060.01.001-2009. Котлы паровые стационарные. Общие технические условия на капитальный ремонт. Нормы и требования.

10. СТО 70238424.27.100.001-2008. Тепловые электрические станции. Методы оценки состояния основного оборудования СТО.

11. Трухний, А.Д. Основы современной энергетики. Т. 1 / А.Д. Трухний, М.А. Изюмов, О.А. Поваров, С.П. Малышко // Теплоэнергетика. – М.: Изд-во МЭИ, 2008.

12. Машков, А.В., Машкова, Л.В. Организация системы ремонтного обслуживания оборудования, зданий и сооружений ТЭЦ: учебное пособие / А.В. Машков, Л.В. Машкова. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2013.

13. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 39 с.

14. Труханов, В.М., Тарнаев, А.Г. Надежность и диагностика сложных систем: учебник / В.М. Труханов, А.Г. Тарнаев; под общ. ред. В.М. Труханова. – М.: Издательский дом «Спектр», 2016. – 175 с.

15. Труханов, В.М., Матвеенко, А.М. Надежность сложных систем на всех этапах жизненного цикла: монография / В.М. Труханов, А.М. Матвеенко; под общ. ред. В.М. Труханова. – М.: Издательский дом «Спектр», 2016. – 663 с.

16. Судаков, Р.С. Испытания систем: выбор объемов и продолжительности / Р.С. Судаков. – М.: Машиностроение, 1988. – 445 с.

17. Надежность и эффективность в технике: в 10 т. Т. 6. Экспериментальная обработка и испытания / под общ. ред. Р.С. Судакова, О.И. Тескина. – М.: Машиностроение, 1989. – 379 с.

18. Надежность и эффективность в технике: в 10 т. Т. 7. Качество и надежность в производстве/ под общ. ред. И.В. Апполонова. М.: Машиностроение, 1989. – 280 с.

19. Беляев, Ю.К. Непараметрические методы в задачах обработки результатов испытаний и эксплуатации / Ю.К. Беляев. – М.: Знание, 1984. – 65 с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДСЕПАРАЦИИ ПАРА В СИСТЕМЕ СПП ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС С РЕАКТОРОМ ВВЭР-1000

Крютченко А.А. – студент
Науч. рук. ***Султанов М.М.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. На атомных электростанциях используется система регенерации, в которую входит сепаратор-пароперегреватель. Данная система предназначена для удаления влаги и частичного нагрева пара, после чего пар поступает в цилиндр низкого давления. Для увеличения эффективности работы сепаратора-пароперегревателя предлагается установить модули предварительной сепарации пара. В ходе работы был проанализирован вариант центробежного сепаратора, в состав которого входят центробежные модули.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сепарация, центробежный сепаратор, атомная электростанция.

ABSTRACT. Nuclear power plants use a regeneration system that includes a superheater separator. This system is designed to remove moisture and partially heat the steam, after which the steam enters the low-pressure cylinder. To increase the efficiency of the superheater separator, it is proposed to install pre-separation modules for steam. In the course of our work, we analyzed a variant of the centrifugal separator, which includes centrifugal modules.

KEYWORDS: separation, centrifugal separator, nuclear power plant.

В системе сепарации и перегрева поток влажного пара отделяют от частиц влаги с последующим нагревом высушенного пара. Это позволяет уменьшить эрозионный износ проточных частей цилиндра низкого давления и повысить КПД цикла турбоустановки [1]. Для повышения эффективности работы как самой турбоустановки, так и сепаратора-пароперегревателя предлагается установить в паропровод перед пароперегревателем первой ступени центробежный сепаратор. Приведем общеизвестные преимущества предсепаратора:

– легко встраивается в трубопровод перед СПП и удаляет до 40–80 % влаги;

– снижение остаточной влажности на 1 % ведет к росту мощности турбины и увеличению сроков эксплуатации за счет снижения коррозии и эрозии [2].

Центробежный сепаратор (ЦС) представляет собой цилиндрический корпус, внутри которого расположены центробежные модули, закрепленные своими концами в трубные доски. На рис. 1 представлена конструкция модуля.

Влажный пар подается через патрубки входа во входную камеру центробежного сепаратора, откуда он направляется в сепарационные модули, где лопатки завихрителя придают потоку вращательное движение, в результате которого влага под воздействием центробежной силы выпадает на внутренние стенки, после чего через кольцевую щель удаляется в сепарационную камеру. Осушенный пар попадает в развихритель и в выходную камеру сепаратора.

Приведем расчеты эффективности использования предварительной сепарации до и после установки.

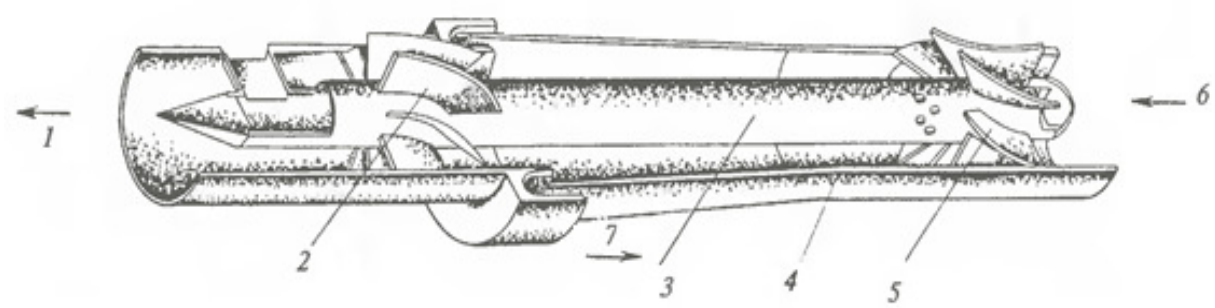

Рис. 1. Центробежный модуль: 1 – выход осушенного пара;
2 – лопатки развихрителя; 3 – вытеснитель; 4 – корпус модуля;
5 – лопатки завихрителя; 6 – вход влажного пара;
7 – выход отсепарированной влаги.

В качестве исходных данных были приняты значения первого отбора турбоустановки энергоблока № 1 Ростовской АЭС.

Таблица 1

Параметры первого отбора

Влажность пара в отборе, %	6
Давление пара в отборе, кгс/см^2	26
Расход пара на ПВД-7, кг/с	101,667
Расход пара на ПП-1, кг/с	44,667

Для расчета энтальпии греющего пара из первого отбора турбины использовалась данная формула:

$$H_i = Y \cdot h'_i + X \cdot h''_i, \quad (1)$$

где Y – степень влажности пара; h' – удельная энтальпия кипящей воды, кДж/кг; X – степень сухости пара; h'' – удельная энтальпия сухого насыщенного пара, кДж/кг.

После расчета были получены следующие значения. Энтальпия пара до установки ЦС равна 2692,4 кДж/кг, после установки ЦС – 2792 кДж/кг. Это повлияло на увеличение тепловой мощности отбора на 1,037.

За счет изменения энтальпии отбора произойдет уменьшение величины расхода пара в отборы на пароперегреватель первой ступени и подогревателя высокого давления. Воспользуемся формулой для определения уменьшения величины расхода:

$$\Delta D_i = D_i - \frac{D_i}{1{,}037}. \quad (2)$$

Полученные данные после установки ЦС приведены в табл. 2.

Таблица 2

Полученные данные после установки ЦС

Влажность пара в отборе, %	0,6
Энтальпия греющего пара, кДж/кг	2792
Расход пара на ПВД-7, кг/с	96,194
Расход пара на ПП-1, кг/с	44,154

Можно сделать следующий вывод. За счет установки центробежного сепаратора в отбор произошло перераспределение расхода пара между ступенями цилиндра высокого давления, это повлияло на увеличение вырабатываемой электроэнергии на 6,9 МВт. Также снизилась влажность пара в отборе до 0,6 %, благодаря чему повысится срок эксплуатации сепаратора-пароперегревателя.

Подтверждением полученного анализа является положительный опыт работы предварительной сепарации на энергоблоке № 1 Ростовской АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клименко, А.В. Тепловые и атомные электростанции: справочник / А.В. Клименко – изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 346 с.

2. Повышение эффективности эксплуатации энергоблоков АЭС с ВВЭР-1000 путем модернизации тепловых схем / В.А. Хрусталев, З.Ю. Новикова // Вестник СГТУ. – 2011. – № 1. – 166 с.

АНАЛИЗ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

Алкин Н.С. **–** магистрант
Науч. рук. ***Константинов А.А.*** **–** ст. преподаватель
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлены аналитические результаты рассмотрения нормативно-правовой базы системы оценки инвестиционных проектов, внедряемых в энергетическом секторе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нормативно-техническая документация, энергетика, инвестиционный проект, критерии оценки.

ABSTRACT. The article presents the analytical results of consideration of the regulatory and legal framework of the system for evaluation of investment projects implemented in the energy sector.

KEYWORDS: normative and technical documentation, energy, investment project, evaluation criteria.

Основой для какой-либо деятельности в рамках законодательства выступает Федеральный закон (ФЗ). Деятельность всех инвестиций в Российской Федерации регламентирует Федеральный закон «Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляемой в форме капитальных вложений» от 25.02.1999 г. № 39-ФЗ.

В первом документе [1] у нас определены экономические и правовые основы для инвестиционной деятельности, которая осуществляется в форме капиталовложений на территории Российской Федерации, в этом документе также установлены гарантии равной защиты имущества, прав и интересов субъектов деятельности инвестиций, осуществляемой в форме капиталовложений, независимо от форм собственности.

В федеральном законе, регламентирующем инвестиционную деятельность всей страны и каждого сектора экономики в целом, необходимо рассмотреть частные случаи нормативных документов в области энергетики.

Во втором документе [2] утверждены все критерии отнесения электроэнергетических субъектов к числу субъектов, инвестиционные программы которых, включающие определение источников их финансирования, утверждаются федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным на это, или уполномоченным федеральным органом исполнительной власти, или органами исполнительной власти субъектов РФ, Правила осуществления контроля за реализацией инвестиционных программ субъектов электроэнергетики, а также Правила утверждения инвестиционных программ субъектов электроэнергетики.

В приведенных выше базовых документах определяют всего лишь законодательные рамки инвестиционной работы каждого субъекта экономики РФ, в них отсутствует описание механизма с базой инструментов по оценке эффективности инвестиционного проекта.

В методических рекомендациях [3] вместе с описанием этапов оценочной процедуры эффективности инвестиционного проекта описаны показатели эффективности и методики их определения. Ниже приведем самые важные аспекты оценки инвестиционного проекта.

Существует несколько этапов оценки эффективности инвестиционного проекта:

– этап 1. Определяются цели и назначения инвестиционного проекта;

– этап 2. Анализируются издержки;

– этап 3. Оценивается эффективность инвестиций;

– этап 4. Формируются стратегии финансирования.

Сама оценка эффективности инвестиций или инвестиционного проекта имеет форму заключения на основе анализа показателей эффективности. Практика показывает, что имеется некоторое количество оценочных методов привлекательности инвестиционных проектов, а значит, имеется несколько показателей (основных), состоящих из некого набора индикаторов. Данный набор состоит из показателей экономической и финансовой оценки эффективности

инвестиций, оценочных показателей их социальной эффективности. Также в данный набор входят оценочные показатели инвестиционного потенциала компании и система оценочных рисков. Основу каждого метода составляет один и тот же принцип – после реализации проекта компания должна извлечь прибыль, возможность охарактеризовать инвестиционный проект со всех сторон нам дают различные показатели, и они же должны отвечать интересам различных лиц, участвующих в инвестировании.

На практике чаще всего применяется две группы оценочных методов, с их помощью определяются перечисленные показатели.

Статические методы оценки

1. Коэффициент эффективности инвестиций (Account rate of return, ARR).
2. Срок окупаемости инвестиций (Payback period, PP).

В статических методах инвестиционной оценки есть свои недостатки. Самый основной недостаток заключается в том, что они не берут в расчет временной фактор, а в расчетах берутся величины несопоставимые – прибыль в будущей стоимости и сумма инвестиции в текущей стоимости. Происходит существенное искажение результатов расчета, завышаются сроки окупаемости, а коэффициент эффективности занижается.

Динамические методы

1. Индекс рентабельности инвестиции (Profitability index, PI).
2. Модифицированная внутренняя норма рентабельности (Modified internal rate of return, MIRR).
3. Чистый дисконтированный доход (Net present value, NPV).
4. Внутренняя норма рентабельности (Internal rate of return, IRR), или внутренняя норма прибыли инвестиций.
5. Дисконтированный срок окупаемости инвестиции (Discounted payback period, DPP).

Опыт многих лет применения Методических рекомендаций [3] в отрасли энергетики показывает, что использование единого порядка и унификации подготовки и оценки эффективности инвестиционных проектов и бизнес-планов в соответствии с общепринятой международной практикой целесообразно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон «Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляемой в форме капитальных вложений» от 25.02.1999 г. № 39-ФЗ (последняя редакция).

2. Постановление Правительства РФ от 01.12.2009 г. № 977 (ред. от 30.04.2020) «Об инвестиционных программах субъектов электроэнергетики» (вместе с «Правилами утверждения инвестиционных программ субъектов электроэнергетики», «Правилами осуществления контроля за реализацией инвестиционных программ субъектов электроэнергетики»).

3. Методические рекомендации по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике на стадии предТЭО и ТЭО (с типовыми примерами). Утверждено приказом ОАО РАО «ЕЭС России» от 31.03.2008 г. № 155.

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЕНИЯ КОТЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ НАДЕЖНОСТИ

Селезнева В.В. – студент
Курьянова Е.В. – ст. преподаватель
Науч. рук. ***Иваницкий М.С.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. Проведен анализ отказов основных элементов котельных установок, определяющих надежную и безопасную эксплуатацию. Определены группы основных статистических данных и характеристик (топливных, конструктивных, режимных), позволяющих анализировать показатели надежности котельных установок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: котельные установки, надежность, отказы основных элементов.

ANNOTATION. The analysis of failures of the main elements of boiler installations that determine reliable and safe operation was carried out. The groups of basic statistical data and characteristics (fuel, structural, and operational) that allow analyzing the reliability indicators of boiler plants are also defined.

KEYWORD: boiler installations, reliability, failures of the main elements.

В соответствии с данными ИТС 38-2017 порядка 45 % основного оборудования отечественных тепловых электрических станций выработало свой ресурс на 80 % и более. Основная часть оборудования была введена в эксплуатацию более 40–50 лет назад и требует значительных капитальных вложений для продления срока эксплуатации. Выявление в процессе эксплуатации дефектов, приводящих к выходу из строя основного (паровых котлов и турбин) работающего оборудования, позволит определить новый подход к повышению надежности энергетического оборудования посредством разработки моделей, методик.

Основными причинами отказов котлов и их вспомогательного оборудования на тепловых электростанциях являются:

– высокая тепловая напряженность топок современных котлоагрегатов;

– длительная работа металла теплопередающих поверхностей при высоких давлениях и температурах;

– значительные термоциклические нагрузки;

– дополнительными повреждающими факторами являются процессы коррозии металла как со стороны топки, так и внутри водяных и паровых объемов.

На рис. 1–5 представлены статистические данные по отказам основных элементов котельных установок. Проведен анализ элементов котельного оборудования в зависимости от производительности котла, построены графики. Анализ статистических данных показывает, что надежность работы котлоагрегатов зависит от трех основных факторов: конструктивного исполнения агрегата, его производительности и параметров пара.

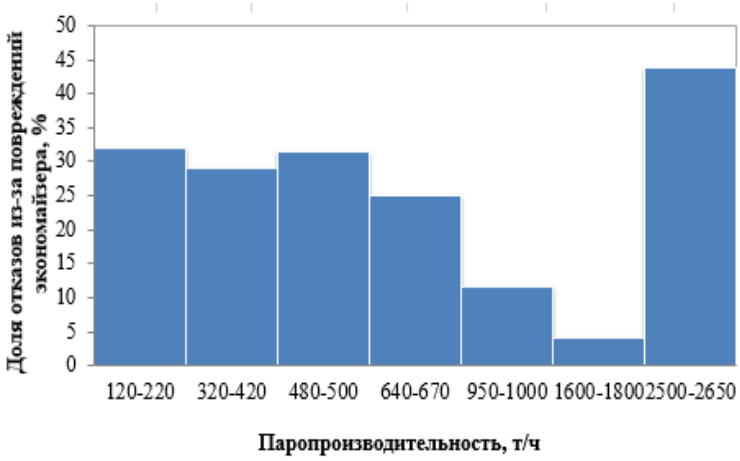

Рис. 1. Статистические данные по отказам из-за повреждений экономайзеров котельных установок

Рис. 2. Статистические данные по отказам из-за повреждений промежуточных пароперегревателей котельных установок

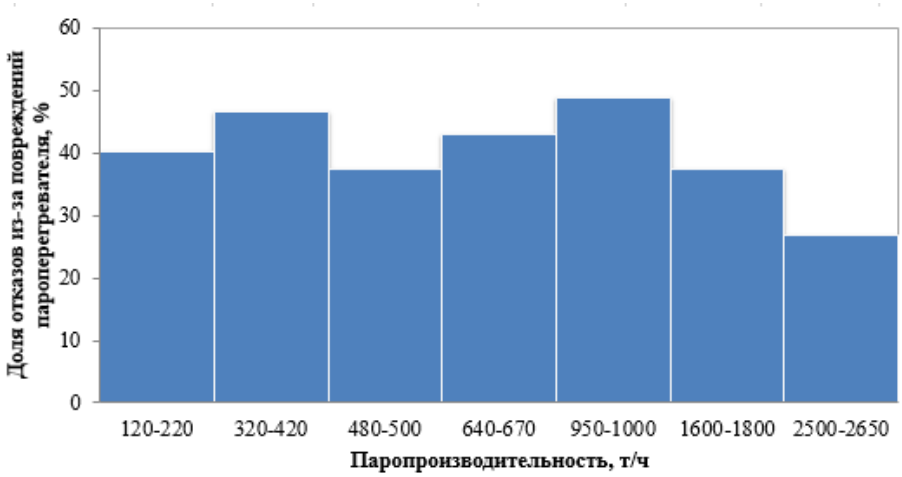

Рис. 3. Статистические данные по отказам из-за повреждений пароперегревателей котельных установок

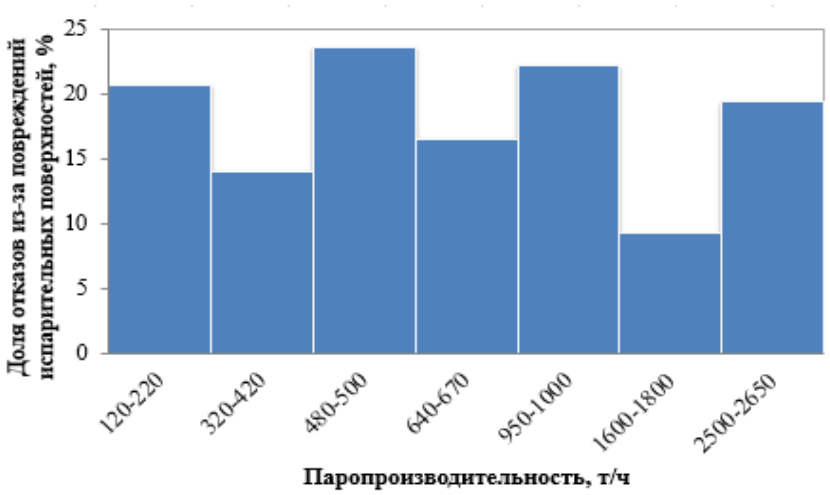

Рис. 4. Статистические данные по отказам из-за повреждений испарительных поверхностей котельных установок

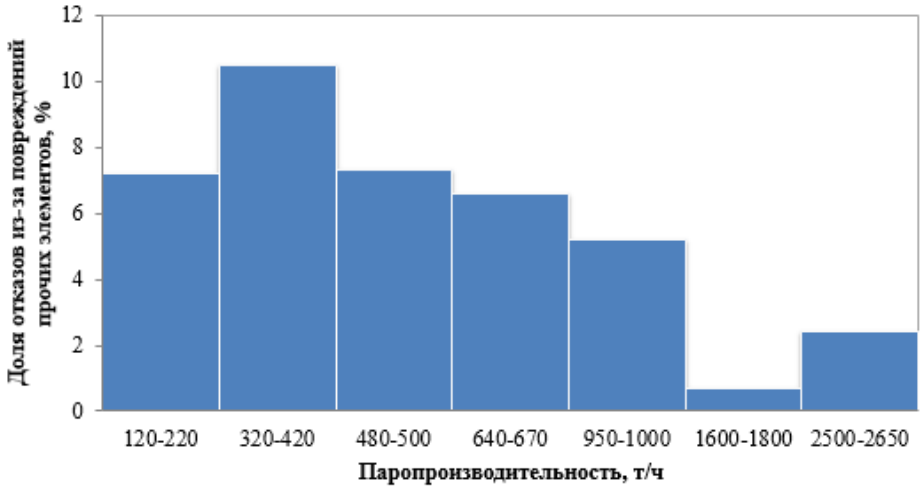

Рис. 5. Статистические данные по отказам из-за повреждений прочих поверхностей котельных установок

Представлены группы основных статистических данных и характеристик (топливные, конструктивные, режимные и вспомогательные), позволяющих анализировать показатели надежности котельных установок.

Группа топливных характеристик включает в себя информацию о составе топлива (о зольности Ar, влажности Wr, сернистости Sr и топливном азоте Nr – при сжигании мазута и твердых топлив), его теплоты сгорания, теоретических объемах воздуха V0, сухих газов и влажных продуктов сгорания.

Группа конструктивных параметров должна содержать данные о типе и конструктивных особенностях топки котла и горелок, компоновке и числе последних, системе шлакоудаления (при сжигании твердых топлив) и способе сжигания (традиционное, ступенчатое, с вводом влаги, с вводом газов рециркуляции, места ввода газов рециркуляции, влаги, вторичного воздуха и т. д.). Эта информация собирается один раз, обычно перед началом испытаний.

При пусконаладочных и режимно-наладочных испытаниях необходимо полностью и однозначно идентифицировать исследуемые режимы с целью рассчитать эффективность работы котла и выявить его эксплуатационные особенности. Для этого фиксируются все вышеперечисленные параметры.

Проведен анализ отказов основных элементов котельных установок, определяющих надежную и безопасную эксплуатацию. Определены группы основных статистических данных и характеристик (топливных, конструктивных, режимных), позволяющих анализировать показатели надежности котельных установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СО 153-43.1-17.421-98 (РД 153-34.1-17.421-98). Типовая инструкция по контролю металла и продление срока службы основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепловых электрических станций (Постановление Госгортехнадзора от 18.06.2003 г. № 94).

2. Труханов, В.М., Тарнаев, А.Г. Надежность и диагностика сложных систем: учебник / В.М. Труханов, А.Г. Тарнаев; под общ. ред. В.М. Труханова. – М.: Издательский дом «Спектр», 2016. – 175 с.

3. Труханов, В.М., Матвеенко, А.М. Надежность сложных систем на всех этапах жизненного цикла: монография / В.М. Труханов, А.М. Матвеенко; под общ. ред. В.М. Труханова. – М.: Издательский дом «Спектр», 2016. – 663 с.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОЮЩИХ РАСТВОРОВ ДЛЯ МЕМБРАННЫХ МОДУЛЕЙ УСТАНОВКИ ОБРАТНОГО ОСМОСА ВОЛГОГРАДСКОЙ ТЭЦ-2

Мишакова А.А. – студент
Одоевцева М.В. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье приведены результаты исследований моющих растворов для химической очистки мембранных модулей установки обратного осмоса Волгоградской ТЭЦ-2. Подобраны растворы и режим очистки мембран 1-й и 2-й стадии действующей водоподготовительной установки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: обратный осмос, химическая очистка, мембраны, реагенты.

ANNOTATION. The article presents the results of studies of washing solutions for the chemical cleaning of membrane modules of the reverse osmosis installation of the Volgograd TPS-2. The solutions and the regime for cleaning membranes of stages 1 and 2 of the existing water treatment plant are selected.

KEYWORDS: reverse osmosis, chemical treatment, membranes, reagents.

В настоящее время одним из наиболее перспективных и эффективных способов обеспечения необходимых показателей качества обессоленной воды

является применение аппаратов, основанных на технологии мембранного разделения. Одновременно большой интерес представляют схемы ВПУ, составленные только из мембранных модулей различного назначения (так называемые интегрированные мембранные технологии – ИМТ): ультрафильтрация, обратный осмос, электродеионизация. Достоинства мембранных технологий связаны с незначительным расходом реагентов, простотой эксплуатации, компактностью оборудования и малым количеством высокоминерализованных сточных вод [1]. Рост привлекательности мембранных технологий, особенно в последние годы, обусловлен повышением цен на реагенты, иониты, исходную воду и связан также с ужесточением норм по засоленным стокам.

С целью сокращения расхода реагентов в схемах ВПУ заменяют Н-ОН-ионитные фильтры первой ступени на установку обратного осмоса (рис. 1).

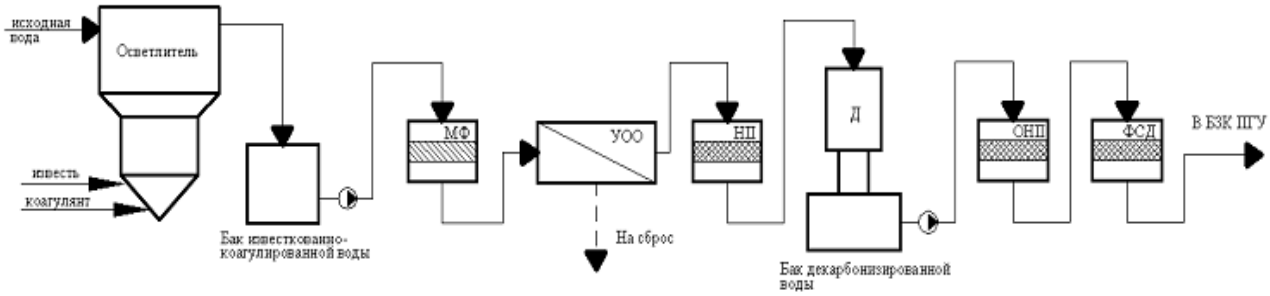

Рис. 1. Схема внедрения мембранных технологий в «традиционную» схему ВПУ

Внедрение технологии обратного осмоса позволяет в десятки раз сократить объем используемых на ТЭС для регенерации фильтров серной кислоты и едкого натра, так как основная нагрузка по обессоливанию приходится на первую ступень фильтров [2, 3].

Однако использование предочистки в виде осветлителя с известкованием и коагуляцией не дает возможности использования всех преимуществ обратного осмоса из-за высоких значений удельной электропроводности осветленной воды и коллоидного индекса – SDI, более 4–5. Аналогичная схема внедрена на Волгоградской ТЭЦ-2. Установка обратного осмоса состоит из двух стадий. С учетом недостатка технического решения в процессе эксплуатации обратноосмотические (ОО) мембранные элементы водоподготовительной установки Волгоградской ТЭЦ-2 подвергаются загрязнению взвешенными или слаборастворимыми веществами, присутствующими в исходной воде [2]. Выбор оптимального режима химической очистки производственной установки обратного осмоса позволит снизить скорость формирования отложений, увеличить срок эксплуатации мембранных элементов водоподготовительной установки при стабильно высоком качестве обессоленной воды.

Состав и интенсивность загрязнений на разных стадиях отличаются, поэтому подбор реагентов осуществлялся отдельно для мембран первой и второй стадий.

Для химической очистки мембран использовались следующие растворы:

1) MF-A-T10, MF-B-L20, MF CRO 220, MF CRO 218 (НПК «Медиана-Фильтр»);

2): IN-ECO541, IN ECO 535, IN ECO 515 (ООО «ИНЭКО»);

3) растворы лимонной кислоты и едкого натра, применяемые на Волгоградской ТЭЦ-2.

Химическая очистка мембран осуществлялась с применением лабораторной магнитной мешалки, зажима для мембран и термостойкого стакана, в который помещался соответствующий раствор и мембрана (рис. 2).

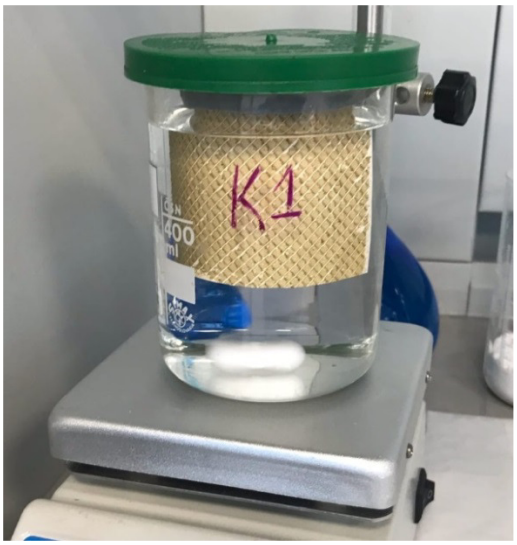

Рис 2. Отмывка образца в кислотном растворе

Эффективность очистки мембран определялась по разности веса образцов до и после химической очистки.

Для испытаний образцы мембран вырезались размером 10×7 см^2. Вес мембран определялся на аналитических весах.

Химическая очистка мембран осуществлялась при температуре 35–38 °С в следующей последовательности:

1) щелочной раствор – 6 часов;

2) промывка дистиллированной водой;

3) кислотный раствор – 6 часов;

4) промывка дистиллированной водой.

Образцы после химической очистки высушивались до постоянного веса. Результаты исследований приведены в табл.

Для образцов № 1, 2, 4, 5, 7, 8 в отмывке мембран использовался раствор биоцида фирмы ООО «ИНЭКО». Он применялся после обработки мембран щелочным раствором. Время обработки мембран в биоциде – 6 часов при температуре 35–38 °С.

Результаты отмывки мембран установки обратного осмоса Волгоградской ТЭЦ-2 приведены в табл.

Результаты отмывки мембран установки обратного осмоса Волгоградской ТЭЦ-2

№ образ-ца	Моющий раствор	Серия моющих растворов	Масса отмытых отложений в расчете на 1 г/м^2	pH моющих растворов до/после отмывки
1-я стадия				
1	НПК «Медиана-Фильтр», ООО «ИНЭКО»	MF-A-T10 MF-B-L20 IN ECO 515	4,48	11,95/11,45 1,95/3,40 3,10/3,10
2	ООО «ИНЭКО»	IN-ECO 541 IN ECO 535 IN ECO 515	6,57	11,5/11,5 1,80/2,90 3,30/3,20
3	Растворы лимонной кислоты и едкого натра	NaOH 0,1 % Раствор лимонной к-ты 2 %	2,66	11,4/11,55 3,05/3,60
4	Растворы лимонной кислоты и едкого натра; ООО «ИНЭКО»	NaOH 0,1 % Раствор лимонной к-ты 2 % IN ECO 515	3,18	12,20/10,85 2,25/3,40 3,05/3,05
2-я стадия				
5	НПК «Медиана-Фильтр»	MF CRO 220 MF CRO 218	3,08	12,36/12,29 1,43/1,39
6	ООО «ИНЭКО»	IN-ECO 541 IN ECO 535	2,99	12,36/12,25 1,39/1,38
7	ООО «ИНЭКО»	IN-ECO 541 IN ECO 535 IN ECO 515	4,49	12,20/11,70 2,20/1,95 3,15/2,65
8	НПК «Медиана-Фильтр», ООО «ИНЭКО»	MF-A-T10 MF-B-L20 IN ECO 515	3,01	11,75/1,85 2,10/2,30 2,85/3,60

*образцы № 5, 6 отмывались при температуре 25 °С

Результаты исследований показали, что отложения с мембран первой и второй стадий отмываются с разной степенью интенсивности. Наибольшая масса отмытых отложений наблюдается у образца № 2. Растворы ООО «ИНЭКО» оказались эффективнее растворов, которые используются на Волгоградской ТЭЦ-2 (NaOH и раствор лимонной кислоты) в 2,5 раза. Растворы НПК «Медиана-Фильтр» эффективнее в 1,7 раза.

Из исследований образцов второй стадии видно, что химическая отмывка дает дополнительный результат при поддержании температуры 35–38 °С, нежели при комнатной температуре. Растворы ООО «ИНЭКО» отмыли загрязнения эффективнее, чем НПК «Медиана-Фильтр» в 1,5 раза.

Из табл. 1 видно, что при использовании лимонной кислоты и едкого натра для химической отмывки образца № 4 значительно меняется величина pH, что требует в процессе отмывки дополнительного введения реагентов для корректировки величины pH.

Для мембран первой стадии наилучший результат дали растворы ООО «ИНЭКО». Использование биоцида INECO 515 дополнительно к растворам кислоты и щелочи во второй стадии дает улучшение результата отмывки.

Выводы: для Волгоградской ТЭЦ-2 целесообразно использовать растворы ООО «ИНЭКО» и НПК «Медиана-Фильтр». Химическая отмывка загрязнений с образцов данными реагентами не требует корректировки величины pH моющих растворов в процессе их эксплуатации. Применение этих растворов снизит расходы реагентов для химической очистки мембран, скорость формирования отложений и увеличит срок эксплуатации мембранных элементов водоподготовительной установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Первов, А.Г. Влияние биологического загрязнения на работу обратноосмотических и ультрафильтрационных мембранных элементов / А.Г. Первов и др. // Мембраны. – 2004. – № 1. – С. 3–18.

2. Громов, С.Л. Использование современных интегрированных мембранных технологий для улучшения качества питательной воды на предприятиях энергетики / С.Л. Громов, М.П. Ковалев, С.Е. Лысенко, А.А. Пантелеев, А.Н. Самодуров, А.Р. Сидоров // Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение. – 2008. – № 2. – С. 20–29.

3. Громов С.Л. Опыт применения интегрированных мембранных технологий / С.Л. Громов, А.А. Пантелеев, А.Р. Сидоров // Материалы конференции International Water Association «Мембранные технологии в водоподготовке и очистке сточных вод ЭКВАТЭК-2008» (Москва, 02–04 июня, 2008 г.). – М.: SIBICOInternationalLtd, 2008.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ СЕЛЕНГИНСКОГО ЦКК ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Чумаков Н.Г. – студент
Науч. рук. ***Одоевцева М.В.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлена оценка схемы водоподготовки ТЭЦ Селенгинского ЦКК. Предложены методы по улучшению качества питательной воды. С помощью правильно подобранных систем очистки воды не только продлевается срок эксплуатации котельного оборудования, но и увеличиваются показатели его работы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: паровые котлы, водоподготовка, фильтры, продувка.

ANNOTATION. The article presents an assessment of the water treatment scheme of the Selenginsky TPP. Methods for improving the quality of feed water are proposed. With the help of correctly selected water treatment systems, not only extends the life of the boiler equipment, but also increases its performance.

KEYWORDS: steam boilers, water treatment, filters, purge.

На Селегинском ЦКК установлено пять энергетических котлов типа БКЗ-75-39 ФБ, три технологических котла СРК-320 и один биотопливный котел. Основным топливом для котлов типа БКЗ является бурый уголь, для котлов СРК – черный щелок. В схему водоподготовки предложено включить натрий-хлор-ионирование.

С учетом продолжительности работы за год проводилась оценка эффективности котла БКЗ № 9 и котла СРК. Для обеспечения работоспособности котельного оборудования используется смесь химически очищенной воды из цеха ХВО и конденсата с производства целлюлозы и выпарных установок черного щелока.

Для котлов типа СРК топливом является черный щелок, как на отходе варки целлюлозы (сухих веществ в щелоке не менее 55 %). Резервное и растопочное топливо – мазут.

Изменение паропроизводительности котла СРК-320 и расход питательной воды за год приведены на рис. 1.

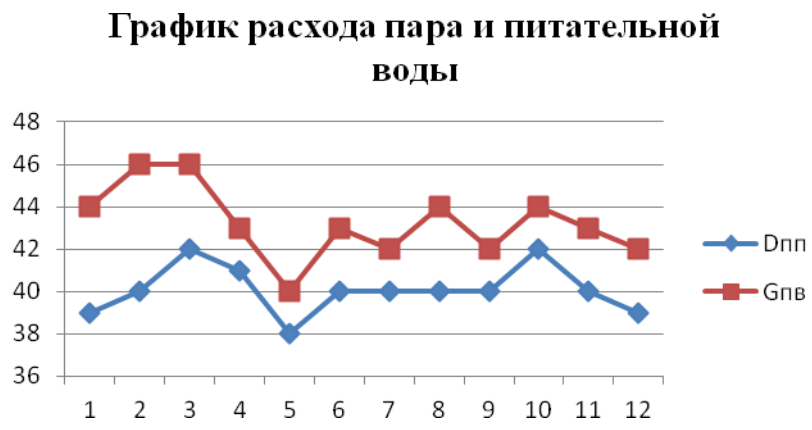

Рис. 1. Расход пара и питательной воды для котла СРК-320

На графике видно существенную разницу между перегретым паром и питательной водой, особенно в период с января по март. Это объясняется периодическим остановом котельного оборудования на продолжительный срок. Величина продувки в эти месяцы составила от 8 % до 11 % вместо положенных 2–5 %. В остальные месяцы продолжительный перерыв в работе не составлял 5 рабочих дней.

С котлами СРК (рис. 2) наблюдается относительно равномерная степень использования, вырабатываемый ими пар используется при производстве основной продукции предприятия, работа предприятия ведется в три смены, провалы на графике обусловлены остановом котла на непродолжительные периоды.

Котлы типа БК75-3ФБ предназначены для работы на буром угле, растопочное и резервное топливо – мазут. Коэффициент загрузки котла БКЗ за год не превышает 60,6 %.

Из анализа графика значений коэффициента использования по месяцам видно неравномерное использование котла БКЗ. Это обуславливается тем, что данный тип котла является энергетическим, вырабатываемый им пар расходуется на производство электрической и тепловой энергии. Отопительный период в Селенгинске начинается в сентябре и заканчивается в мае.

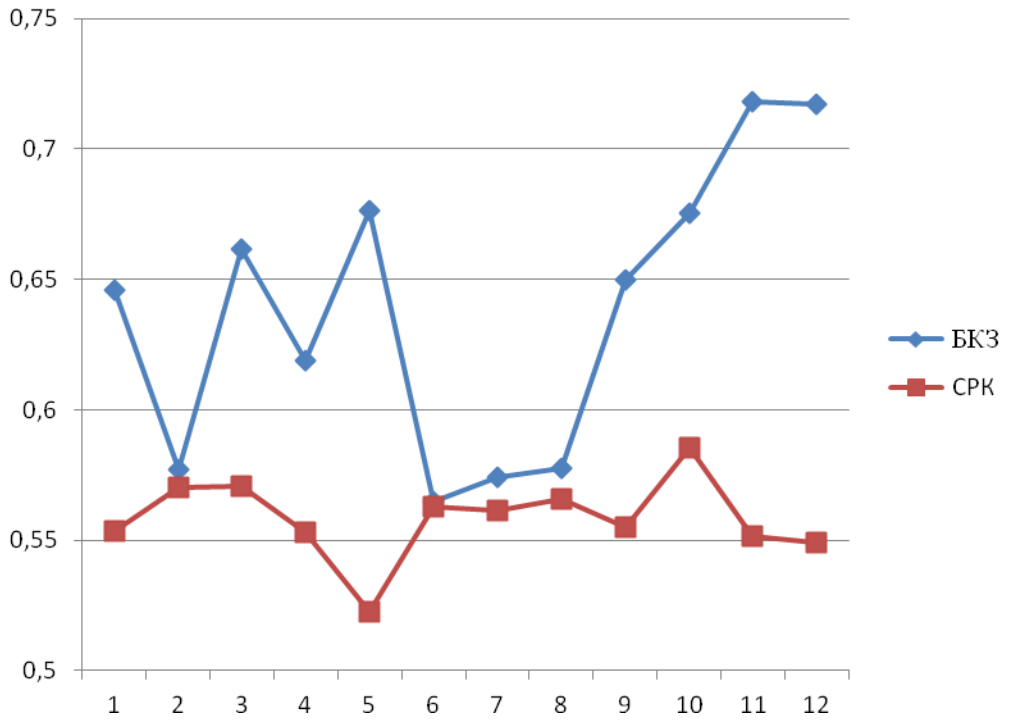

Рис. 2. Коэффициент использования котлов по месяцам

Описание схемы установки водоподготовки для питания паровых котлов БКЗ-75-39ФБ и СРК-320 представлено ниже.

Водопроводная вода от точки подключения направляется к насосам исходной воды, с помощью которых сначала подается в теплообменник аппарата непрерывной продувки, затем на подогреватели исходной воды, где подогревается до температуры 28–30 °С. После подогревателей вода направляется на осветлительные установки, где освобождается от излишней щелочности. Далее осветленная вода поступает на механические фильтры, где избавляется от взвешенных веществ, после механических фильтров умягчается на Na-катионитных фильтрах первой ступени типа ФИП-II-3.4-0,6, затем на второй ступени (такого же типа).

После фильтров второй ступени химочищенная вода направляется в бак запаса химочищенной воды (вместимость 1000 м^3) и насосами подается в подогреватель химочищенной воды (подогрев до 40°С). Затем, пройдя охладитель выпара (подогрев до 52 °С), поступает в деаэратор ДА-150/75 (104 °С) и далее в котел.

Химочищенная вода с температурой 25 °С подается на подогреватель, затем на охладитель выпара, где подогревается до 52 °С, и далее в деаэрационную колонку деаэратора. Там освобождается от растворенного кислорода и свободной углекислоты. Затем деаэрированная вода питательными насосами подается в котел.

Таблица 1

Показатели качества воды до и после ВПУ

Показатель	Сырая вода	Умягченная вода
Щелочность, мг-экв/л: по фенолфталеину общая	 0,0 1,1–2,0	 0,3 0,7
Жесткость, мг-экв/л	1,1–2,0	0,003
pH	6,2–7,5	9,5
Железо, мкг/дм^3	2,6–6,5	<0,05
Хлориды, мг/дм^3	17,2–28,0	<17,2–28,0

Действующая схема подготовки воды в основном применяется для умягчения природных вод. Общая щелочность воды изменяется незначительно. Поскольку с повышением температуры растворимость газов снижается, происходит их десорбция из котловой воды. Этот процесс обуславливает высокую коррозионную активность диоксида углерода. В процессе нагрева и испарения воды происходит разложение гидрокарбонатов на карбонаты и диоксид углерода, который уносится вместе с паром и обуславливает pH и высокую коррозионную активность конденсата.

Угольная кислота понижает pH воды вследствие ее диссоциации:

$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow H^+ + HCO_3^-.$$

В конденсате пара концентрация CO_2 в количестве 0,3 мг/кг вызывает понижение pH до 5,5–6,0. Повышение в растворе концентрации ионов водорода способствует активизации коррозионного процесса.

В пароконденсатном тракте протекают процессы, в результате которых образуется свободный едкий натрий. Это поступление в питательную систему котлов с умягченной водой карбоната или бикарбоната натрия и распад их в котле:

$$2NaHCO_3 \rightarrow CO_2 + Na_2CO_3 + H_2O.$$

$$Na_2CO_3 + H_2O \rightarrow 2NaOH + CO_2.$$

Наиболее радикальной мерой борьбы с агрессивностью котловой воды является полное удаление из нее свободной натриевой щелочи. Едкий натрий, присутствующий в котловой воде в малых концентрациях, защищает металл от коррозии, но он становится весьма опасным коррозионным фактором, если на каких-либо участках поверхности парогенератора создаются повышенные концентрации NaOH [1].

Для подготовки питательной воды с целью снижения щелочности котловой воды, содержания свободной углекислоты и общего солесодержания воды в паре можно применять следующие схемы ионирования: H-Na-катионирование, двухступенчатое Na-катионирование с предварительным известкованием, и Na-Cl-ионирование. Извлечение растворенных веществ из воды может производиться мембранным методом, в частности путем применения обратного осмоса [2].

Качественная водоподготовка котельного оборудования приводит к:

1) сокращению расхода топлива чистоты теплопередающей поверхности (на 5–7 % при сокращении накипи на 1 мм);

2) сокращению расходов на перекачивание воды сетевыми насосами из-за увеличения гидравлического сопротивления (до 7 % при сокращении отложений накипи на 2 мм);

3) повышению сроков службы котлов, теплообменников, тепловых сетей из-за меньшей коррозии;

4) сокращению ремонтных работ и связанных с этим перерывов в производстве;

5) снижению затрат на кислотную промывку котлов, теплообменников от накипи и снижению количества повреждений промываемого оборудования при химических очистках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вихрев, В.Ф. Водоподготовка: учебник для вузов по специальности «Тепловые электростанции» / В.Ф. Вихрев; под ред. д-ра техн. наук, проф. М.С. Шкроба. – изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1973. – 416 с.

2. Копылов, А.С. Водоподготовка в энергетике: учебное пособие для вузов / А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 309 с.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАСЕЛ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЮЖНОГО И ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНЫХ ОКРУГОВ

Карпенко И.А. – студент
Науч. рук. ***Одоевцева М.В.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлен анализ неполадок оборудования, возникающих в результате окисления энергетических масел и возможные способы удаления механических примесей для повышения показателей качества эксплуатируемого масла.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергетические масла, продукты окисления масла, способы очистки масла, контроль качества масла.

ANNOTATION. The article presents an analysis of the effects of oxidation of energy oils, possible ways to remove mechanical impurities to improve the quality indicators of the used oil.

KEYWORDS: energy oils, oil oxidation products, oil purification methods, oil quality control.

Одним из инструментов повышения эффективности генерации и использования энергии является уменьшение количества ресурсов, затрачиваемое на ее производство, при одновременном сохранении и даже увеличении объемов генерации. Для этого необходимо контролировать бесперебойность функционирования объектов энергетики. Бесперебойность же обеспечивается поддержанием основного оборудования в хорошем состоянии и постоянным контролем его работы.

Одним из ресурсов производства тепловой и электрической энергии являются энергетические масла. Очевидно, что масло не является непосредственным средством производства, однако оно выполняет функции, без осуществления которых работа основного оборудования не представлялась бы возможной.

Энергетические масла в процессе их эксплуатации при контакте с воздухом, водой или водяным паром подвергаются окислению, термическому разложению, загрязнению продуктами износа оборудования, обводнению. При этом физико-химические свойства масел изменяются: увеличиваются кислотность, вязкость, снижается температура вспышки вследствие появления в масле низкомолекулярных фракций, ухудшаются другие характеристики качества масел.

Продукты окисления масла, высокомолекулярные и низкомолекулярные кислоты, вызывают коррозию металлов. Образующиеся при этом соли-мыла ускоряют старение масла, катализируют процессы окислительной полимеризации. В результате происходит выпадение большего количества шлама, затрудняющего теплоотвод и приводящего к перегреву масла, что осложняет отделение воды и усиливает коррозию масляной системы.

Удаление механических примесей, воды и продуктов старения облегчает условия работы масла, увеличивает срок его службы и повышает надежность энергетического оборудования [3].

Однако применяемые способы очистки масла с применением фильтроэлементов, центрифуги и различных адсорбентов ориентированы на существующий ГОСТ 17216-2001 и способны очистить масло от загрязнителей размером от 15 мк и выше. При этом достигается класс промышленной чистоты не менее 9 [2].

Основные эксплуатационные характеристики турбинного масла ТП-22С, ТП-30, ВГ на энергетических предприятиях Южного и Приволжского федеральных округов представлены в табл. 1–3.

Таблица 1

Основные эксплуатационные характеристики турбинного масла ТП-22С на энергетических предприятиях Южного и Приволжского федеральных округов

Название показателя	Результаты испытаний
Вязкость кинематическая, мм^2/с: – при 50 ^{o}С – при 40 ^{o}С	 20,3 30,4
Температура вспышки в открытом тигле, ^{o}С	198
Температура застывания, ^{o}С	–17
Кислотное число, мг КОН/г	0,072–0,001
Массовая доля серы, %	0,44
Стабильность против окисления при 150 ^{o}С, 16 ч и расходе кислорода 3 дм^3/ч: – массовая доля осадка, % – кислотное число, мг КОН/г	 0,009 0,05
– летучие низкомолекулярные кислоты, мг КОН/г	0,012
Класс промышленной чистоты, класс, не более (ГОСТ 17216-2001)	11

Таблица 2

Основные эксплуатационные характеристики турбинного масла ТП-30 на энергетических предприятиях Южного и Приволжского федеральных округов

Наименование показателей	Допустимое значение (ПТЭЭСС)	Результаты испытаний
Кислотное число, мг КОН на 1 г масла, не более (ГОСТ 5985-79)	0,600	0,159
Реакция водной вытяжки (ГОСТ 6307-75)	нейтральная	нейтральная
Содержание растворенного шлама, %, не более: – для системы регулирования – для системы смазки РД 34.43.102-96	 0,0050 (отсутствие) 0,01	0,0042
Содержание воды (ГОСТ 1547-84)	отсутствие	отсутствие
Класс промышленной чистоты, класс, не более (ГОСТ 17216-2001)	13	11–12

Таблица 3

Основные эксплуатационные характеристики трансформаторного масла ВГ на энергетических предприятиях Южного и Приволжского федеральных округов

Наименование показателя	Норма по ГОСТ (ТУ)	Результат испытаний	Метод испытания
1	**2**	**3**	**4**
Кинематическая вязкость, мм^2/с, при температуре			ГОСТ 33
50 ^{o}С	9		
30 ^{o}С	1200		

Окончание табл. 3

1	2	3	4
Кислотное число, мг КОН/г, не более	0,2500	0,0509±0,008	ГОСТ 5985
Температура вспышки в закрытом тигле не ниже, ^{o}C	135		ГОСТ 20287
Содержание механических примесей	Отсутствие		ГОСТ 6370
Класс промышленной частоты, не более	12	8	ГОСТ 17216-2001
Содержание шлама, %, не более	0,010	0,005	МВИ ФР.1.31.2010.08902
Содержание воды, %, не более	0,030	0,0025	ГОСТ IEC 60814-2014

Однако, несмотря на высокие показатели качества эксплуатируемого масла, производственники (табл. 1–3) отмечают следующие неполадки маслосистемы, связанные с качеством турбинного масла.

• *Обводнение турбинного масла.* Обводненное турбинное масло имеет ухудшенные смазывающие свойства, что представляет повышенную опасность для таких частей турбоагрегата, как система смазки, система регулирования, система уплотнения вала, подшипники (преждевременный износ и разрушение).

• *Липкость клапанов и их заедание*. Данная проблема вызывается продуктами окисления масла, которые осаждаются на клапане в течение длительного времени.

• *Создание на клапане слоя, похожего на лак.* Зазоры уменьшаются, что приводит к неполадкам в работе.

• *Попадание шлама в систему проходных фильтров на линии смазки турбин.* Возникает необходимость остановки турбин на время замены фильтров. Но даже замена полностью не решает проблему, так как новые фильтры тоже очень быстро закупориваются, а в результате увеличиваются сроки простоя оборудования.

• *Появление шлама обусловлено наличием в масле продуктов окисления.* Высокое трение и износ между подвижными поверхностями. При насыщении масел продуктами окисления происходит их осаждение на внутренних поверхностях оборудования. Со временем слои загрязнения образуют что-то похожее на лак, вытесняя тонкий слой смазки.

На жизнеспособность трансформаторного масла влияет:

– *появление продуктов конденсации* – смолистых веществ, которые выпадают в виде шлама. Смолистые вещества и шлам осаждаются на элементах конструкции аппаратов и их изоляции, вызывая ухудшение условий теплоотвода, рост диэлектрических потерь, что в конечном итоге приводит к увеличению скорости старения оборудования.

– *образование газообразных продуктов*, появление которых обычно связано либо с локальными перегревами элементов конструкций, либо с воздействием

электрических разрядов в изоляции. По мере насыщения масла газообразными продуктами резко снижается электрическая прочность масла и возможно появление мощных частичных разрядов и даже пробой изоляции.

Продолжительность эксплуатации энергетических масел на энергетических предприятиях Южного и Приволжского федеральных округов составляет 5–7 лет. В то же время преждевременная замена масел из-за потери их эксплуатационных свойств значительно повышает стоимость ремонтных и регламентных работ.

Наилучшим выходом из создавшейся ситуации является вовлечение новых технологий и методов:

– *для стабилизации и далее регенерации отработанных масел*;

– *для решения экологических и ресурсосберегающих проблем,* так как 26–77 % всех отработанных масел нелегально сбрасывается на почву и в водоемы, а 40–48 % – собирается, но из собранных отработанных масел только 14–15 % идет на очистку, остальные же 26–33 % используется как топливо или сжигается. Законодательство в России по этому вопросу до сих пор отсутствует;

– *для совершенствования классификаций промышленной чистоты* (пересмотр ГОСТ 17216-2001);

– *для повышения эффективности контроля качества масла* за счет использования количественных методов анализа основных показателей качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 32-74 Масла турбинные. Технические условия. – Введ. 01.01.1975. – М.: Стандартинформ, 2011. – 3 с.

2. ГОСТ 17216-2001 Чистота промышленная. Классы чистоты жидкостей. Введ. 01.01.2003. – М.: Стандартинформ, 2012. – 5 с.

3. Трухний, А.Д., Ломакин, Б.В. Теплофикационные турбины и турбоустановки: учебное пособие для вузов / А.Д. Трухний, Б.В. Ломакин. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 540 с.

4. Новосартов, Г.Т., Калинин, П.А. Комплекс браковочных показателей работоспособности турбинных масел / Г.Т. Новосартов, П.А. Калинин // Химия и технология топлив и масел. – 1992.

АЛГОРИТМ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УЧЕТА РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИЙ

Торгашин Д.С. – магистрант
Науч. рук. ***Зенина Е.Г.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. Рассмотрены и составлены логические алгоритмы схем для счетчика. Задан лимит потребления пользователей. Создан интерфейс для программы, отслеживаемой на удаленной дистанции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: контроль потребления ресурсов, точечные потери, поиск потерь, ликвидация потерь.

ABSTRACT. Logical algorithms of schemes for the counter are considered and compiled. The user consumption limit is set. Created an interface for a program tracked at a remote distance.

KEYWORDS: control of resource consumption, point losses, search for losses; elimination of losses.

Алгоритм работы системы для учета
расхода электрической и тепловой энергии

Алгоритм работы автоматизированной системы контроля и учета потребляемых ресурсов приведен на рис. 1.

Рис. 1. Алгоритм работы в штатном режиме получения данных систем

Проектируемый автоматизированный алгоритм предназначен для ведения учета за потребляемыми энергоресурсами, сбора и обработки получаемых данных, а также при соответствующей возможности и надобности – для автоматизированной передачи нужных данных в организации, предоставляющие ресурсы. При этом также необходим постоянный контроль за отдельно взятыми узлами данной системы.

В этой системе работы счетчики присылают данные своих показаний на АРМ. Служба проверяет значения показаний счетчиков. В том случае, если

значение потребления ресурса, передаваемое от счетчика, получается меньше, чем предыдущее значение потребления, взятое оператором и сохраненное в базу данных, появляется сигнализация ошибки на графическом интерфейсе программы для оператора.

Если же новое значение потребления является больше, чем предыдущее, то система сразу переходит к следующему шагу работы – к обработке и сохранению данных в базе данных. Также сохраняются основные информационные показатели: дата и время, идентификатор счетчика, от которого получено данное значение, и само значение показания. В дальнейшем система переходит на прием следующих данных. Алгоритм работы системы при наличии ограничения на потребление ресурсов за учетный определенный промежуток времени приведен на рис. 2.

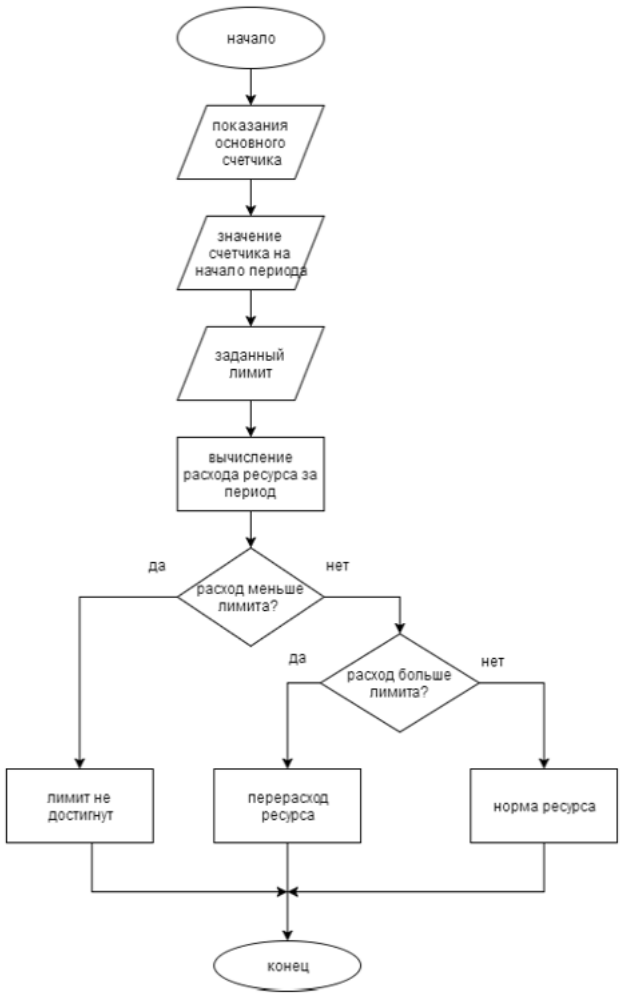

Рис. 2. Алгоритм работы системы при наличии ограничения потребления ресурсов за учетный период

Для реализации лимитного оповещения оператора необходимо учитывать несколько параметров:

1) крайнее показание основного счетчика предприятия по данному виду потребляемого ресурса;

2) показание основного счетчика предприятия, внесенное в базу данных на начало учетного периода, на который распространяется лимит потребления ресурса;

3) само значение лимита на данный период времени.

Система вычисляет потребление ресурса за последний период путем нахождения разницы показаний на конец (последнее значение показания расхода, полученного от основного счетчика) и на начало учетного периода. При сравнении значений разницы и лимита система анализирует состояние потребления данного вида ресурса и делает один из выводов:

– перерасход, если потребление ресурса за крайний учитываемый период превысил значение лимита, выделенное на данное время;

– норма расхода, если значения расхода и лимита равны за период;

– лимит не достигнут, если потребление за крайний период оказался ниже нормы значения на этот период.

Разработаем управляющую программу для выполнения алгоритмов работы системы при наличии ограничения на потребление ресурсов за учетный период и проверки системы на наличие утечки ресурсов.

Реализуем алгоритм в виде FBD-диаграммы. Реализация алгоритма работы системы представлена на рис. 3.

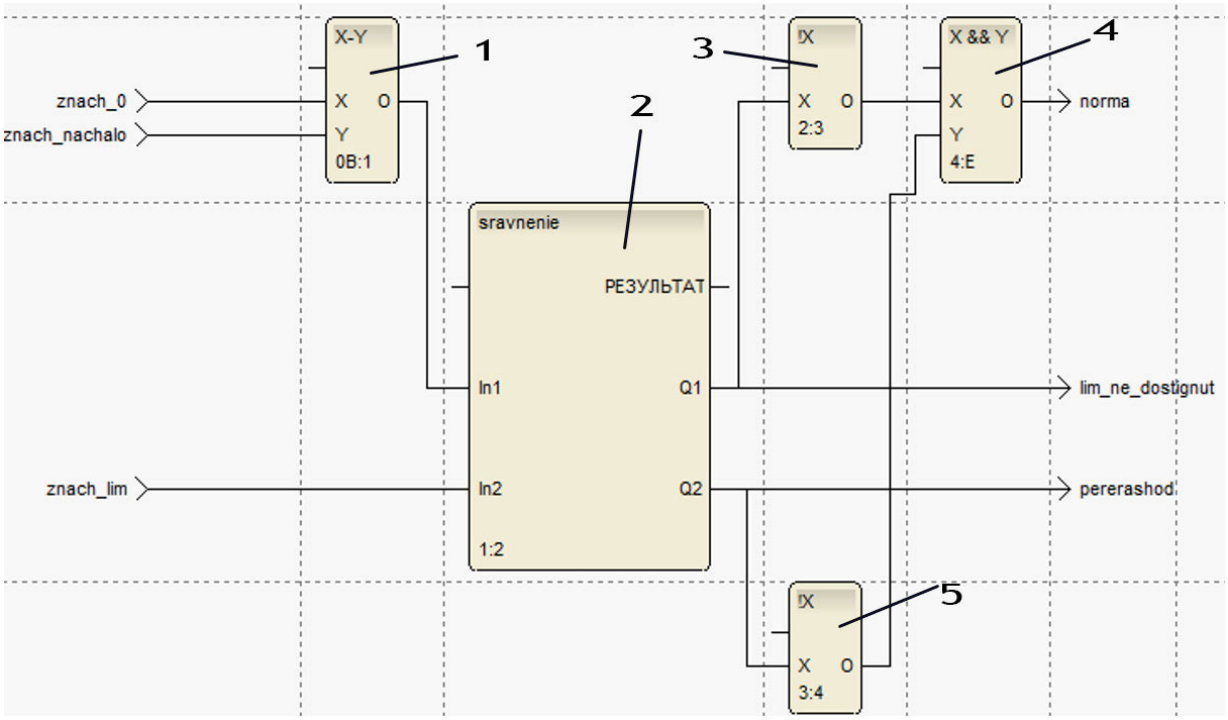

Рис. 3. Реализация алгоритма системной работы при имеющемся ограничении на потребление ресурсов: 1 – блок, рассчитывающий разницу между расходом общего и начального показаний учета счетчика; 2 – блок, реализующий алгоритм сравнения показаний счетчиков за предыдущие месяцы; 3, 5 – блоки логической инверсии; 4 – блок логического умножения

Для реализации управляющего алгоритма необходим ввод в разрабатываемую программу трех значений:

• znach_o – переменной присваивается последнее значение показания счетчика общего расхода потребляемого ресурса предприятием;

• znach_nachalo – данная переменная предназначена для введения показания общего расхода ресурса на начало учетного периода (на начало отсчета лимита);

• znach_lim – переменная для ввода ограничительного значения параметра (лимита потребления ресурса предприятием за период).

Выходы данной программы lim_ne_dostignut, pererashod и norma передают свое значение на графический интерфейс АРМа для индикации соответствующего состоянию расхода потребляемого ресурса в зависимости от установленного лимита.

При реализации программы по алгоритму проверки системы на наличие утечки ресурсов в виде FBD-программы (рис. 4) входными данными являются показания дополнительных счетчиков, а также показание основного счетчика расхода ресурса. Данная программа работает для системы, которая состоит из основного счетчика (znach_0) и трех дополнительных: znach_1 – показание счетчика № 1; znach_2 – показание счетчика № 2; znach_3 – показание счетчика № 3.

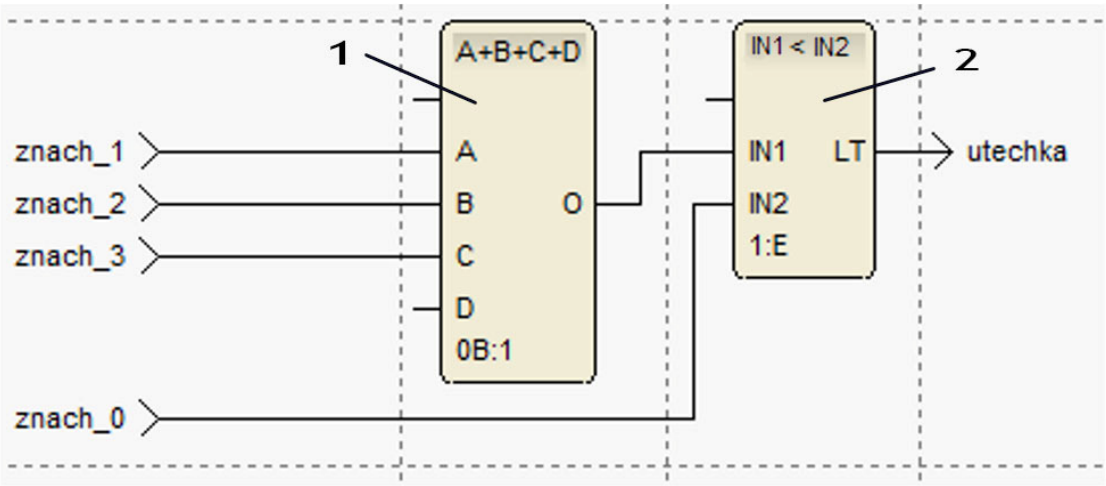

Рис. 4. Программная реализация информирования оператора об утечке ресурсов:
1 – блок, рассчитывающий сумму общих показаний предприятия;
2 – блок, реализующий сравнение двух значений (если IN1 больше IN2,
то поступает информация о том, что возможна утечка электроэнергии)

Переменная utechka является выходным параметром блоков (рис. 4) утечки на графическом интерфейсе оператора и сигнализирует оператору, что обнаружена утечка в сети на определенном участке сети (рис. 5). После чего проверяют данный участок сети с потерями и находят утечку энергии, которая может являться хищением или неисправностью сети.

При нажатии на кнопку «Проверка счетчиков» происходят анализ и проверка получаемых данных со счетчиков. Нажатием на графический элемент

«Проверка на утечку» запускается программа сверки данных от счетчиков внутри предприятия. Если программа находит факт утечки потребляемого ресурса по заданному алгоритму, то загорается красная панель с надписью: «Внимание. Утечка ресурса!». Воздействием на элемент «Проверка лимита» осуществляется проверка состояния расхода ресурса по отношению к лимиту, заданному в поле ниже.

В нижней части панели интерфейса программы находятся индикаторы, сигнализирующие оператору о состоянии потребления ресурса, которые дают знать о состоянии счетчиков потребителя: «Лимит не достигнут», «Норма», а также «Перерасход ресурса!».

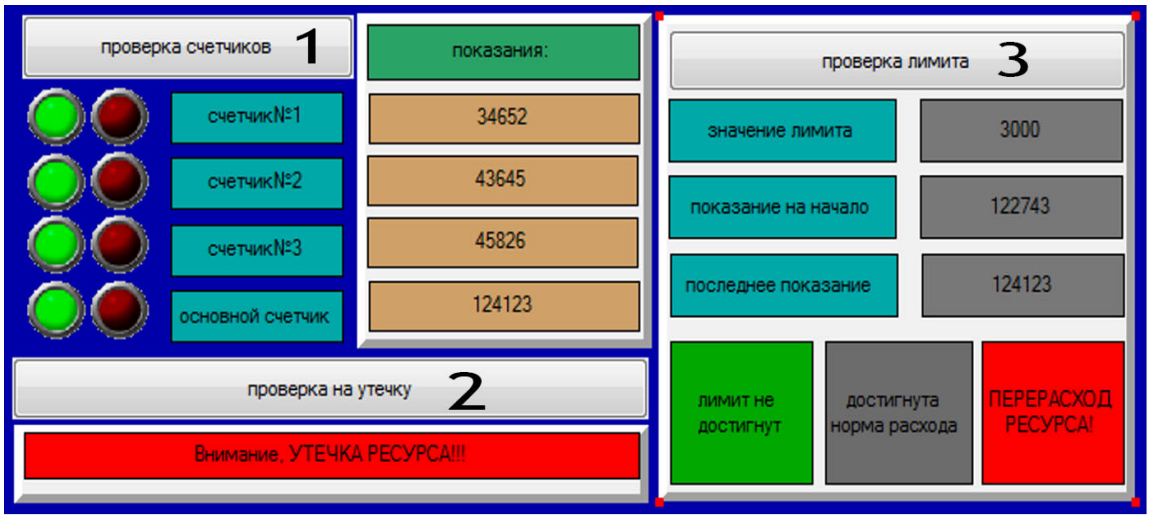

Рис. 5. Графический интерфейс пользователя системы:
1 – кнопка «Проверка счетчиков»; 2 – кнопка «Проверка на утечку»;
3 – кнопка «Проверка лимита»

Эту систему можно применять и для тепловых сетей. Таким образом, применение данного алгоритма позволит выявить потери электрической и тепловой энергий на уровне хищения потребителем. Данный алгоритм позволит провести анализ данных от потребителя и выявить потери на определенном участке, произвести проверку для поиска точной утечки и ликвидировать проблему.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балдин, М.Н., Карапетян, И.Г. Основное оборудование электрических сетей: справочник / М.Н. Балдин, И.Г. Карапетян. – М.: ЭНАС, 2014. – 208 с.

2. Правила устройства электроустановок. Минэнерго СССР. – изд. 6-е, перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 648 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Жуков Е.А. – магистрант
Науч. рук. ***Жилина В.И.*** – д-р экон. наук, профессор
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ: Рассмотрены пути повышения эффективности котельного оборудования в коммунальной и производственной энергетике.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: котлоагрегаты, тепловые потери, газ, синтез.

ABSTRACT: Ways of increasing the efficiency of boiler equipment in municipal and industrial energy are considered.

KEYWORDS: boiler units, heat losses, gas sintez.

В настоящее время существенная часть энергетического оборудования в России устарела не только морально, но и физически, и большая часть этого устаревшего оборудования приходится на теплоэнергетику, так как в современных условиях нестабильной экономической ситуации не только в стране, но и во всем мире приходится использовать и модернизировать оборудование прошлого столетия, которое уже выработало ресурс, установленный заводом-изготовителем 20, а то и 30 лет назад. Значительная часть предприятий России не совершила модернизацию контрольно-измерительных приборов, а именно переход от аналоговых к цифровым, что, в свою очередь, делает невозможным качественное отслеживание производственного процесса.

Существует также проблема неэффективного использования топлива, а именно природного газа. Рациональное использование природного газа может повысить КПД его сжигания путем получения синтез-газа (конвертирование газа) в газотурбинных установках цикла термохимической регенерации, основанной на утилизации теплоты продуктов сгорания с использованием в качестве окислителя продукты сгорания. Эффективным методом является высокотемпературная паровая конверсия в парогазовых установках с котлом-утилизатором на базе высокотемпературных газовых турбин, при этом уменьшается расход удельного топлива на 16 % с одновременным повышением мощности ПГУ и экологических показателей. Данный метод позволяет повысить теплопроводность продуктов конверсии на 20 %, при этом свести к минимуму расходы на катализаторы.

Для реализации данного метода необходимо в систему подготовки топлива добавить конвертер, состоящий из трех последовательно соединенных ступеней. В смеситель одновременно поступают газ из системы газоснабжения и пар из котла-утилизатора. Пар и газ образуют реагенты паровой конверсии, которые из смесителя направляются в низкотемпературную ступень конвертора, где осуществляется неполная паровая конверсия за счет утилизации теплоты продуктов сгорания газотурбинных установок. Процесс завершается в последовательных

высокотемпературных ступенях конвертора, теплоносителем для которых являются продукты сгорания ГТУ после устройства дожигания.

Отличительной особенностью схемы является наличие системы возврата воды, используемой для конверсии, что позволяет исключить выброс (потери) воды в атмосферу с продуктами сгорания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бакланова, Н.Н. Котлы и котельные установки зарубежных фирм-производителей, представленные на рынке России: отраслевой каталог 04-03 / Н.Н. Бакланова, А.В. Васичкина, Г.Р. Побережский. – М.: Инпромкаталог, 2006. – 412 с.

2. Бузников, Е.Ф. Производственные и отопительные котельные. / Е.Ф. Бузников, К.Ф. Роддатис, Э.Я. Берзиньш. – изд. 2-е, перераб. – М.: Энергатомиздат, 1984. – 248 с.: ил.

3. Сергеев, А.В. Тепломеханическое оборудование котельных: справочное учебное пособие для персонала котельных / А.В. Сергеев. – СПб.: ДЕАН, 2012 – 256 с.

4. Билека, Б.Д., Гаркуша, Л.К. Парогазовая установка с предварительной подготовкой топлива / Б.Д. Билека, Л.К. Гаркуша // Газотурбинные технологии. – 2014. – № 2.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ ГОРЯЧЕЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТРУБ

Светлов В.В. – магистрант
Науч. рук ***Кущ Л.Р.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье рассматривается возможность повышения энергосбережения и энергоэффективности при производстве труб путем использования излучаемой заготовкой тепловой энергии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: производство труб, тепловой потенциал горячих заготовок, спрейерные установки, теплообменные системы.

Энергетика является важной областью хозяйственно-экономической деятельности человека. Условно ее принято разделять на три составляющих: преобразование, распределение и использование энергетических ресурсов. Грамотное использование энергоресурсов – одна из главных задач в энергетике. Помимо первичных ресурсов, используемых для создания энергии, также есть множество вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) [4], которые очень часто не используются в связи с отсутствием необходимого оборудования, нежеланием изменять проверенный технологический процесс, незнанием и другими причинами.

Одним из таких видов ВЭР является использование теплоты горячей заготовки. Данный ВЭР может быть использован в области черной металлургии. При производстве труб различных марок технологический процесс включает в себя этапы, во время которых необходимо охлаждение заготовок [5]. Охлаждение

может быть как частичным, в специальных спрейерных установках [3], путем подачи воды из *n*-го количества последовательно расположенных охладительных секций на движущуюся по рольгангу заготовку, так и полным, на столах, с помощью естественной или принудительной циркуляции воздуха. В обоих случаях излучаемая заготовкой тепловая энергия никак не используется, хотя имеет высокий тепловой потенциал.

В связи с этим для использования теплоты горячей заготовки в качестве ВЭР предлагается модернизировать этапы охлаждения заготовок, добавив в них теплообменные системы, позволяющие использовать тепловой потенциал горячих заготовок. Эффективность применения систем имеет прямо пропорциональную зависимость от температуры заготовок [1] при производстве труб с использованием заготовок из низкоуглеродистой стали. Температура самой заготовки перед спрейерной установкой может достигать 900 °С и более [2]. Данный факт подтверждает целесообразность использования таких систем.

Теплообменная система представляет собой теплообменные камеры, устанавливаемые поверх охладительных столов, тем самым уменьшая затраты на модернизацию на уже действующем производстве. В теплообменных камерах возможны два вида передачи тепловой энергии. Первым видом является радиационный нагрев охлаждающей жидкости, то есть без непосредственного контакта жидкости с горячей заготовкой. Заготовка передает тепло расположенным в непосредственной близи трубкам, внутри которых циркулирует техническая вода. В данном случае имеется чистый теплоноситель, не содержащий в себе окалины, образующейся на заготовках при их термической обработке. Однако нагрев теплоносителя, а также качество охлаждения самой заготовки, становятся зависимы от множества факторов, таких как начальная температура заготовки и охлаждающей жидкости, расстояние между ними, теплопроводность материала, содержащего теплоноситель, и др. Следовательно, расчеты установки для использования ВЭР усложняются.

Второй вид теплообмена технологически схож с принципом действия спрейерной установки с той разницей, что пар, получившийся в результате подачи воды на горячую заготовку, конденсируется, а неиспарившаяся вода отводится через специальную систему трубок.

Таким образом, можно сделать заключение, что использование теплоты горячих заготовок может быть применено при производстве труб в металлургии, оно вписывается в технологический процесс и не требует масштабной реконструкции. Данная система позволит сократить затраты водных ресурсов, а также частично повторно их использовать в спрейерных установках для охлаждения заготовок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент РФ 2012149549/06, 20.04.2011.
2. Патент РФ 2006146644/02, 25.12.2006.
3. Патент РФ 99107723/02, 13.04.1999.

4. Металлургия: инженерная экология [Электронный ресурс] // Metalspace. URL: https://metalspace.ru/production-science/ecology/811-ver-chernoj-metallurgii.html (дата обращения: 31.01.2020).

5. Горячая прокатка бесшовных труб. Технологические схемы производства бесшовных труб. Прошивка [Электронный ресурс] // Студопедия. URL: https://studopedia.ru/8_156550_lektsiya-goryachaya-prokatka-besshovnih-trub-tehnologicheskie-shemi-proizvodstva-besshovnih-trub-proshivka.html (дата обращения: 31.01.2020).

ВНУТРИТРУБНАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ КАК ВАЖНЫЙ ЭЛЕМЕНТ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Текучев А.В., Ребров М.П. – магистранты
Науч. рук. ***Чубко Ю.М.*** – доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. Рассмотрены методы внутритрубной диагностики тепловых сетей на примере роботизированного внутритрубного диагностирования магнитным методом с переменным намагничиванием металла.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: внутритрубная диагностика тепловых сетей, телеуправляемый диагностический комплекс, сканирование поверхности трубопровода.

ABSTRACT. Methods of in-line diagnostics of heat networks are Considered on the example of robotic in-line diagnostics using a magnetic method with variable metal magnetization.

KEYWORDS: in-line diagnostics of heat networks, remote-Controlled diagnostic complex, scanning of the pipeline surface.

Своевременное обнаружение дефектов трубопроводов тепловых сетей и точное прогнозирование остаточного ресурса является актуальной задачей для предприятий энергетической отрасли.

Анализ причин аварий в тепловых сетях показывает, что из всей совокупности факторов, ведущих к нарушению герметичности линейной части этих сооружений, главную роль играют дефекты различного происхождения, ведущие к потере теплоносителя и снижению надежности теплоснабжения потребителей. Образование дефектов возможно на всех этапах жизненного цикла трубопровода: при производстве труб, при проведении строительно-монтажных работ, в процессе эксплуатации.

Для обеспечения безопасной эксплуатации трубопроводов необходимо реализовывать комплекс мер по совершенствованию технического обслуживания и ремонта трубопроводов, основанных на проведении систематического контроля трубопроводной системы неразрушающими методами. Одним из

таких методов является внутритрубная диагностика (ВТД). ВТД – это техническое диагностирование с использованием внутритрубных роботизированных комплексов, которое позволяет определять техническое состояние трубопроводов без их вскрытия. К основным целям проведения ВТД относятся предупреждение аварий и инцидентов на трубопроводах, планирование ремонта трубопроводов по фактическому техническому состоянию, обоснование решения о возможности и условиях дальнейшей эксплуатации трубопроводов.

При диагностировании к основным эффектам следует отнести повышение:

– надежности при снижении затрат на эксплуатацию трубопроводов;

– экономической эффективности теплоснабжения;

– безопасности эксплуатации тепловых сетей.

В настоящее время разработана и активно применяется отечественная технология внутритрубной диагностики для контроля технологических трубопроводов сложной геометрии при помощи телеуправляемых диагностических комплексов. Данные комплексы позволяют проводить:

– ультразвуковой контроль газопроводов – диаметр Ду 500÷1400, толщина стенки 0÷30 мм;

– магнитный контроль трубопроводов тепловых сетей – диаметр Ду 500÷1200, толщина стенки 0÷14 мм;

– дальность контроля в две стороны от места загрузки – до 600 м;

– прохождение участков сложной геометрии.

Также для контроля трубопроводов тепловых сетей с наличием отложений на внутренней поверхности разработана технология роботизированного внутритрубного диагностирования магнитным методом с переменным намагничиванием металла. Разработанные роботизированные комплексы применяются на трубопроводах тепловых сетей уже с 2015 года.

Данный метод обеспечивает: сплошное сканирование поверхности трубопровода; выполнение контроля без удаления внутренних отложений; выявление площадной и язвенной коррозии на наружной и внутренней поверхностях трубы через слой отложений; выявление сквозной коррозии через слой отложений.

Принцип метода переменного намагничивания заключается в том, что по диагностируемой трубе пропускается переменный электрический ток и измеряется распределение переменного магнитного поля внутри трубы. Амплитуда магнитного поля возрастает с увеличением размера дефекта. Для подготовки объекта к контролю необходимо опорожнение трубопровода, вскрытие трубопровода для загрузки диагностического оборудования, а также разработка и согласование схемы ОДД. Содержание работ включает следующие этапы: подготовительные работы, 1-й проход – телевизионное обследование, 2-й проход – метод переменного намагничивания, выдача результатов контроля. К типовым отклонениям, выявляемым при телевизионном обследовании, относят: посторонние предметы и загрязнения, разрывы и деформации сильфонных компенсаторов, непровары сварных соединений, вмятины.

По результатам внутритрубной диагностики предоставляется полная информация по выявленным коррозионным повреждениям (местоположение, остаточная толщина металла); проводится ранжирование коррозионных повреждений на основании расчетов на прочность; выдаются рекомендации по ремонтно-восстановительным работам; предоставляется экспресс-отчет не позднее 12 часов после обследования.

Также по результатам ВТД предоставляется схема обследованного участка. На схеме в виде цветовой легенды представлено ранжирование коррозионных повреждений по степени износа элементов трубопровода, а также указано местоположение дефекта на элементе (рисунок).

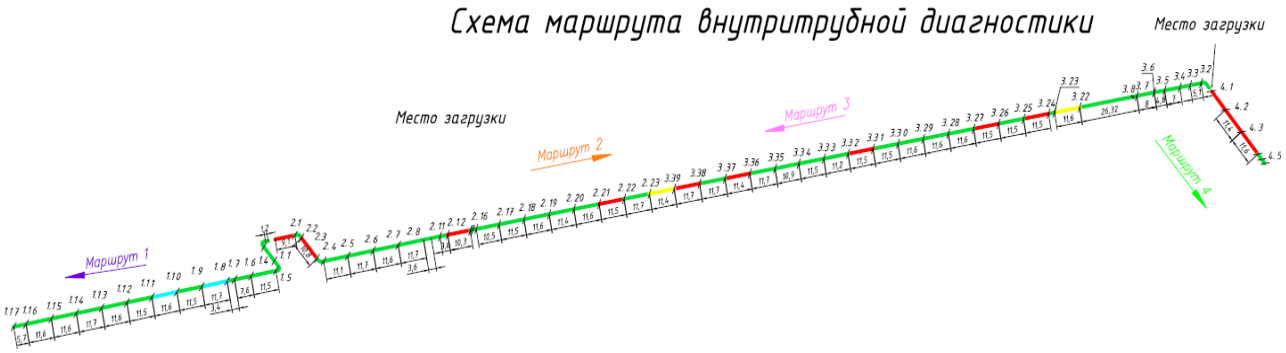

Рисунок. Схема маршрута внутритрубной диагостики

Таким образом, уровень надежности трубопровода находится в прямой зависимости от технического состояния системы трубопроводов, а техническое состояние – от объема затрачиваемых на диагностику и ремонт денежных средств. Результаты внутритрубной диагностики служат базой для принятия управленческих решений по восстановлению или замене трубопровода, для оптимального планирования ремонтных работ, для проведения локальных ремонтов с сокращением площади нарушения благоустроенных территорий и дорожных покрытий. Это существенным образом снижает издержки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стренадко, И.М. Практический опыт диагностики и оценки состояния трубопроводов тепловых сетей с использованием внутритрубных дефектоскопов [Электронный ресурс] / И.М. Стренадко, Д.Е. Чуйко, Е.Н. Цыцеров. URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2939

2. Абакумов, А.А. Принципы построения внутритрубных магнитных интроскопов для сплошной диагностики трубопроводов тепловых сетей / Абакумов А.А. // Новости теплоснабжения. – 2008. – № 2 (90).

3. Сайфутдинов, Р.Н., Бальзамов, Д.С. Современные методы внутритрубной диагностики / Р.Н. Сайфутдинов, Д.С. Бальзамов // Новости ЖКХ КС. – 2017. – № 2 (40).

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ РОССИИ НА ПЕРИОД ДО 2030 ГОДА

Валиев Х.Б. – магистрант
Науч. рук. ***Байдакова Н.В.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. Основной целью государственной политики в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности является снижение потребления традиционных источников энергии России как одного из крупнейших экспортеров энергоресурсов на мировой рынок, которые обеспечивают национальную и международную энергетическую безопасность. Учитывая разнонаправленность тенденций развития мировой экономики и стоящие перед Россией вызовы в энергетической сфере, автору представляется целесообразным и необходимым разработать сценарии, позволяющие определить возможные основные направления и перспективы развития энергетической политики России до 2030 года.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергетика, стратегия, тенденции, рациональное использование, теплоснабжение.

ABSTRACT. The main goal of state policy in the field of energy conservation and energy efficiency is to reduce the consumption of traditional energy sources. Russia as one of the largest exporters of energy resources to the world market, which ensure national and international energy security. Given the multidirectional tendencies in the development of the world economy and the challenges facing Russia in the energy sector, it seems appropriate and necessary for the author to develop scenarios to identify possible main directions and prospects for the development of Russia's energy policy until 2030.

KEYWORDS: energy, strategy, trends, rational use, heat supply.

Стратегия развития России в области энергетики, основные положения которой изложены в документе стратегического планирования «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года», ставит главной целью государственной политики в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности снижение потребления традиционных источников энергии. Таким образом, «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года» ставит следующие задачи:

– максимизацию использования возможностей нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в расходовании первичных топливных и энергоресурсов;

– формирование децентрализованной и малой энергетики;

– снижение негативного воздействия энергетики на состояние окружающей среды с помощью усовершенствованных технологий;

– модернизацию и развитие систем децентрализованного теплоснабжения с применением высокоэффективных установок, в том числе теплонасосных.

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов является основой стратегического развития теплоснабжения в Российской Федерации. Россия располагает крупнейшими в мире запасами органических топлив, большими запасами ядерного топлива, и огромным гидроэнергетическим потенциалом. Оценка энергетического потенциала России в первичных энергоресурсах представлена в табл. 1 [1].

Таблица 1

Оценка энергетического потенциала России в первичных энергоресурсах

Уголь	2000 млрд т у. т. (85,6 %)
Нефть	20 млрд т у. т. (0,85 %)
Газ	60 млрд т у. т. (2,5 %)
Ядерное топливо	200 млрд т у. т. (8,6 %)
Торф	50 млрд т у. т. (2,14 %)
Гидроэнергия	0,8 млрд т у. т. (57 %)
Энергия ветра	0,25 млрд т у. т. (17,8 %)
Солнечная энергия	0,1 млрд т у. т. (7,3 %)
Другое	0,25 млрд т у. т. (17,9 %)

На период с 2015 по 2035 год прогнозируется рост потребления первичной энергии на 17 %, а увеличение спроса на тепловую и электрическую энергию – на 36–40 %, отпуск тепловой энергии централизованными системами теплоснабжения увеличится на 2–6 % (до 1325–1380 млн Гкал).

Основываясь на вышесказанном, можно сделать вывод, что срок вероятного запаса энергоресурсов, относимых к первичным, составляет около 800 лет. Что касается таких энергоресурсов, как газ или нефть, то их запасы рассчитаны на 60–70 лет.

Надежное и своевременное обеспечение потребителей тепловой энергией является основной энергетической задачей. При этом общественно-экономическая важность теплоснабжения оценивается господствующим потреблением тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение зданий и сооружений для социально-бытовых нужд населения в различных природно-климатических условиях регионов России.

Россия занимает лидирующие позиции по развитию теплофикационной структуры, протяженности теплотрасс, объему производства тепла, расходу топлива на производство тепла. В табл. 2 представлены показатели теплового хозяйства России в количественных параметрах.

Таблица 2

Тепловое хозяйство России

Централизованное теплоснабжение	
Предприятия теплоснабжения, тыс. ед.	19,5
Системы теплоснабжения, тыс. ед.	около 50
Абоненты предприятий теплоснабжения, млн ед.	около 44
Электростанции, ед.	585
Котельные свыше 20 Гкал/час, ед.	3433
Протяженность тепловых сетей ЦТ, тыс. км	171
Ветхие и требующие замены, тыс. км	84,2 (49,1 %)
Котельные до 20 Гкал/час, тыс. ед.	69,7
Индивидуальные источники тепла, млн ед.	свыше 18

На долгосрочную перспективу прогнозируется рост производства тепловой энергии. При этом возможен рост потребления тепловой энергии в 1,4–1,5 раза благодаря сокращению потерь и использованию повышенного потенциала энергосбережения в этом секторе энергетики.

Развитие малой генерации и децентрализованных источников теплоснабжения развивается с высокой скоростью. Это связано как с ростом количества жилых домов и общественных зданий в сельских районах, пригородах, небольших городах и поселках городского типа, так и за счет перехода к индивидуальному теплоснабжению в городских зонах с неустраняемыми критическими условиями функционирования систем центрального теплоснабжения. Использование при этом технически и энергетически усовершенствованных конструкций и схем позволит постоянно как снижать расходы на топливо, так и повышать надежность теплоснабжения и обеспечивать стоимость тепла на уровне, адекватном доходам населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимофеев, Б.Д. О соотношении цен на энергоносители в Беларуси и Калининградской области для обоснования внедрения тепловых насосов / Б.Д. Тимофеев, В.А. Николаев, А.Э. Суслов, Ю.А. Фатыхов // Вестник МАХ. – 2012. – № 3. – С. 48–51.

2. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 г. № 1715-р.

3. Федеральный закон от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации.

МЕХАНИЗМЫ ПОРООБРАЗОВАНИЯ В ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВАХ ПРИ МИГРАЦИИ МЕЖЗЕРЕННЫХ ГРАНИЦ

Дорофеев Ю.Н. – магистрант
Науч. рук. ***Кульков В.Г.*** – доктор физ.-мат. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В работе обсуждаются физико-механические свойства жаропрочных сталей и сплавов, применяемых в оборудовании теплоэнергетической отрасли. Рассматривается процесс генерации вакансий мигрирующей границей зерна. Образовавшиеся вакансии коалесцируют в поры, являющиеся областями зарождения микротрещин при разрушении материала.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: жаропрочные сплавы, миграция, границы зерен, вакансии, поры.

ABSTRACT. The paper discusses the physical and mechanical properties of heat-resistant steels and alloys used in the equipment of the heat and power industry. The process of generating vacancies by the migrating grain boundary is considered. The resulting vacancies coalesce into the pores, which are the areas of origin of microcracks when the material is destroyed.

KEYWORDS: heat-resistant alloys, migration, grain boundaries, vacancies, pores.

В последние десятилетия жаропрочные стали и сплавы активно применяются в конструкциях теплогенерирующего оборудования. Область их применения весьма обширна и включает в себя ракетно-космическую, авиационную, кораблестроительную, энергетическую и нефтехимическую отрасли. В авиационной промышленности жаропрочные стали необходимы для изготовления лопаток реактивных двигателей, работающих при температурах 1200 ºС и более; в ракетно-космической отрасли – для изготовления части корпусов ракетных двигателей и частично самих двигателей. В кораблестроении они применяются для изготовления паровой арматуры и трубопроводов, котельных труб, деталей двигателей внутреннего сгорания, газопроводов. В нефтехимической отрасли из жаропрочной стали изготавливаются корпуса сосудов давления реакторов гидрокрекинга, арматура, трубопроводы и другие элементы нефтехимического оборудования.

В настоящее время разработан целый ряд жаропрочных материалов для теплоэнергетической отрасли, работающих при температурах пара до 620 ºС. Необходимость применения жаропрочных сталей и сплавов в теплогенерирующем оборудовании обусловлено специфическими условиями эксплуатации, а именно длительным воздействием на металл высоких температур и давлений. В процессе работы энергетического оборудования сталь подвергается постоянным механическим нагрузкам, которыми являются вибрация, ударение факела

о поверхность нагрева, напряжения в результате расширения металла [1]. Особенно это выражено в работе энергетических котлоагрегатов. Газоход котельной установки с расположенными в нем поверхностями нагрева подвергается конвективному температурному воздействию дымовых газов в температурном диапазоне 1250–600 ºС [2]. Воздействие высоких температур способствует изменению структуры металла и его прочностных свойств.

В поверхностях нагрева котельных установок ТЭС, помимо термических воздействий, оказываемых на внешние слои змеевиковой трубы, приводящих к интенсивному износу стали, оказываются также разрушительные воздействия на внутреннюю поверхность труб. В частности, данными воздействиями является высокое давление, высокоскоростной режим течения среды, солевые отложения, температурные перепады.

На основании этого стали, используемые в теплосиловом оборудовании ТЭС, должны обладать высокими показателями прочности, предела текучести, сопротивления разрыву, относительного предельного удлинения, жаропрочности, пластичности, ударной вязкости, чтобы эффективно выдерживать интенсивные и длительные механические нагрузки. Такими показателями обладают перлитные, мартенситные, аустенитные, мартенситно-ферритные стали.

Вопросы экспериментального и теоретического изучения закономерностей закритического деформирования материалов вследствие термического воздействия актуальны сегодня в связи с необходимостью исследования деформационных резервов материалов, повышения несущей способности и живучести конструкций и сооружений в процессе эксплуатации, а также более точного прогнозирования процессов разрушения и их устойчивости. Изучение внутренних процессов разрушения, происходящих в жаропрочных сталях под воздействием высоких температур, позволяет нам оценить то, какие структурные изменения в них происходят и как данные изменения отражаются на прочности и живучести конструкций.

Основным критерием деформационного поведения металла при высоких температурах является устойчивость по отношению к пластическому течению. Здесь существуют две основные разновидности процессов. Первая – внутризеренная деформация путем движения дислокаций, в результате чего изменяется размер и форма каждого зерна. Вторая – согласование деформаций различных зерен на поверхностях, их сопрягающих, то есть границах зерен. Зернограничная деформация во многих случаях является приоритетной по отношению к внутризеренной.

Существуют два основных ее вида – зернограничное проскальзывание и миграция границ. Большинство деталей в обсуждаемой категории оборудования работают в сложнонапряженном состоянии. Поэтому на участки межзеренных границ могут действовать нагрузки растяжения и сжатия, а также сдвиговые напряжения. Под действием последних происходит взаимное смещение зерен, называемое межзеренным проскальзыванием. Наличие объемных напряжений сжатия приводит к появлению термодинамических движущих сил миграции

границ. Результат их проявляется в том, что граница смещается нормально к своей плоскости, мигрирует. Скорость процесса чаще всего определяется степенной зависимостью

$$\upsilon \sim W_m^{\ n}. \tag{1}$$

Нелинейность зависимости скорости миграции от величины действующих термодинамических сил неоднократно наблюдалась экспериментально. При этом показатель степени n принимал различные значения. Ситуация здесь аналогична той, что имеет место для зависимости скорости зернограничного проскальзывания от величины приложенных к границе сдвиговых напряжений. Соответствующие значения показателя степени изменяются в широких пределах, принимая значения от $n = 1$ до $n = 3$ и достигая в некоторых случаях значений $n = 5{,}6$ и более. Имеются также данные, что показатель степени зависит от величины приложенных напряжений, или движущей силы.

Известно [3], что при температурах выше примерно $0{,}4T_m$ происходят процессы рекристаллизации зерен. Здесь T_m – термодинамическая температура плавления материала. Величина множителя определяется степенью чистоты и величиной зерна. Рекристаллизация происходит в два этапа – появление зародышей новых зерен и дальнейший их рост путем миграции межзеренных границ. Известным экспериментальным фактом [4] является то, что позади мигрирующей границы остается повышенное содержание микропор. Это явление можно объяснить следующим образом. Большинство межзеренных границ в поликристаллическом металле относится к несоразмерным [5]. В основе механизмов миграции таких границ лежат локальные атомные перестройки структуры с образованием и релаксацией двухъямных энергетических конфигураций [6–8].

Для начала процесса миграции требуется наличие некоторого избытка энергии у атомов одного из контактирующих зерен, поскольку этот процесс активационный. В случае малоугловых границ зерен и специальных разориентировок величина энергии активации мала, и процесс миграции протекает достаточно быстро. Большеугловые неспециальные границы менее подвижны. Поэтому одним из способов повышения жаропрочности металлов является создание мелкозернистой структуры с большим количеством неспециальных границ. Но такая структура стремится релаксировать, что для целей повышения жаропрочности является вредным эффектом.

Подвижность границы может быть описана следующей зависимостью:

$$I = \frac{C_0 \delta}{2w\tau kT} \exp\left(-\frac{U_b}{kT}\right), \tag{2}$$

где C_0 – концентрация вакансий в граничном слое; δ – толщина граничного слоя; w – вероятность попадания вакантного атома в основную область [7] (параметр теории); τ – период колебаний атомов; k – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура; U_b – энергия активации скачка атома.

При миграции границ зерен общего типа в них появляется избыточная в сравнении с равновесной концентрация вакансий [9]:

$$\langle C \rangle = \exp\left(-\frac{U}{kT}\right)(A + B\upsilon). \quad (3)$$

Здесь U – энергия образования вакансий в объеме ненапряженного зерна, υ – скорость миграции. Аналитические выражения для коэффициентов A и B приведены в [9].

Движущаяся граница заметает за собой объем, обогащенный содержанием вакансий. При высоких температурах, характерных для работы жаропрочных сталей и сплавов, происходит коагуляция избыточных вакансий в поры [10]. Большая часть времени эксплуатации таких материалов происходит в условиях повышенных температур и внешних механических напряжений. Появляющиеся поры позади движущейся границы растут в объеме. При достижении определенных размеров они становятся центрами зарождения трещин. Такие трещины при благоприятных условиях растут и приводят в дальнейшем к разрушению материала и узла, из которого он изготовлен. Скорость миграции границы зависит от неоднородности и дефектности микроструктуры материала и температуры.

Таким образом, высокие прочностные характеристики сохраняются при стабилизации как микроструктуры, так и распределения по объему зерен и их границам всевозможных стопоров для движения дислокаций и мигрирующих границ зерен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мишнев, Р.В., Дудова, Н.Р. Изучение влияния температуры и скорости деформации при малоцикловой усталости на долговечность и структуру жаропрочной мартенситной стали / Р.В. Мишнев, Н.Р. Дудова // Вестник Тамбовского университета. Серия «Естественные и технические науки. – 2016. – № 2. – С. 1170–1172.

2. Герасимов, В.В., Переверзева, О.В. Механические характеристики и энергия активации деградации перлитной жаропрочной стали 12Х1МФ при высоких температурах / В.В. Герасимов, О.В. Переверзева // Проблемы энергетики. – 2010. – № 7. – С. 117–123.

3. Лахтин, Ю.М., Леонтьева, В.П. Материаловедение / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.

4. Бернштейн, М.Л., Займовский, В.А. Механические свойства металлов / М.Л. Бернштейн, В.А. Займовский. – М.: Металлургия, 1979. – 496 с.

5. Даринский, Б.М., Фёдоров, Ю.А. Классификация межкристаллитных границ / Б.М. Даринский, Ю.А. Фёдоров // ФТТ. – 1992. – Т. 34. – № 7. – С. 2053–2058.

6. Кульков, В.Г., Поляков, А.С. Двумерная атомная модель миграции несоразмерной межзеренной границы наклона / В.Г. Кульков, А.С. Поляков // Ползуновский альманах. – № 1–2. – 2007. – С. 97–100.

7. Кульков, В.Г., Поляков, А.С. Атомный механизм миграции несоразмерной границы наклона / В.Г. Кульков, А.С. Поляков // Деформация и разрушение материалов. – 2008. – № 11. – С. 42–47.

8. Кульков, В.Г., Поляков, А.С. Миграция несоразмерной межзеренной границы общего типа / В.Г. Кульков, А.С. Поляков // Деформация и разрушение материалов. – 2011. – № 1. – С. 11–16.

9. Кульков, В.Г., Поляков, А.С. Изменение концентрации вакансий в мигрирующей границе зерна / В.Г. Кульков, А.С. Поляков // Металлы. – 2009. – № 6. – С. 105–109.

10. Гегузин, Я.Е. Диффузионная зона / Я.Е. Гегузин. – М.: Наука, 1979. – 344 с.

ФОН ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ НА МЕЖКРИСТАЛЛИТНЫХ ГРАНИЦАХ В МЕТАЛЛАХ

Гусева Ю.В. – канд. физ.-мат. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье рассматривается математическая модель для расчетного определения фона внутреннего трения на межкристаллитных границах общего типа в металлах. Показано, что наличие пор на межзеренных границах приводит к появлению, кроме граничных, также и объемных потоков вакансий, что несколько увеличивает величину высокотемпературного фона внутреннего трения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фон внутреннего трения, частотная зависимость, межкристаллитные границы, поры, микронесплошность.

ABSTRACT. The article justifies the relevance of the need to revise the approach to higher education based on the realities dictated by the Fourth Industrial Revolution, the main directions for the implementation of these changesare formulated, as well as an example of their implementation at National Research University "Moscow Power Engineering Institute".

KEYWORDS: The Fourth Industrial Revolution, modern higher education, Industry 4.0, digitalization, education prospects, education and industry, MPEI.

Представление о реалистических моделях зернограничных процессов, таких как зернограничное проскальзывание, миграция, трещинообразование, которые строятся с учетом истинного строения границ и принимают во внимание наличие дефектов – зернограничных дислокаций, уступов, ступенек, различно ориентированных фасеток, линий их стыков, в настоящее время не сформировано. Основная часть экспериментальных и теоретических работ по границам зерен посвящена описанию специальных границ зерен. Обычные границы, имеющие неупорядоченное строение, были в значительной степени обделены вниманием исследователей.

К сожалению, ни одна из известных моделей обычных границ зерен не позволяет надежно оценивать основные термодинамические параметры границ и рассчитывать их кинетические свойства. Поэтому необходимо разработать модель образования микронесплошности на границе кристалла, которая учитывала бы влияние реальной геометрии границ [1].

В рамках предлагаемой модели рассматриваются границы, содержащие периодически расположенные ступеньки противоположных знаков. В этом случае граничные условия на соседних ступеньках различаются знаком, так что средняя концентрация на границе в силу симметрии всегда равна нулю. Это приводит к отсутствию объемных потоков вакансий из границы в целом.

Рассмотрим процесс проскальзывания вдоль несоразмерной границы, содержащей периодически расположенные ступеньки чередующихся знаков под действием внешнего сдвигового напряжения, приложенного к границе. Такое строение границы приводит к появлению нормальных напряжений в области ступенек, что в свою очередь приводит к изменению химического потенциала вакансий вблизи них. Таким образом, ступеньки становятся источниками и стоками вакансий. Процесс является неконсервативным, и в зависимости от геометрических параметров ступеньки контролируется объемным диффузионным потоком вакансий или суммой граничного и объемного потоков.

Превышение уровня растягивающих напряжений вблизи ступеньки приводит к релаксации системы путем образования микронесплошности, ограниченной свободной поверхностью. В случае границ, содержащих протяженные поры, внутреннее трение несколько возрастает благодаря появлению объемных вакансионных потоков, приводящих к увеличению скорости взаимного движения зерен.

Зависимость внутреннего трения от частоты имеет степенной вид с показателем степени, изменяющимся от значения –1 до значения –0,5, а энергия активации изменяется от энергии активации граничной диффузии до половины этой величины при возрастании частоты и уменьшении температуры.

Аналогичное асимптотическое поведение температурно-частотных зависимостей внутреннего трения было найдено ранее в модели проскальзывания вдоль границ зерен, имеющих фасетированное строение [2, 3]. В области низких частот и высоких температур энергия активации процесса совпадает с энергией активации граничной самодиффузии, в области высоких частот и низких температур эта величина в два раза меньше. Это соответствует экспериментальным результатам [4].

Таким образом, частотная зависимость внутреннего трения имеет одинаковый вид для рассмотренных типов границ с неплоской геометрией, она зависит от частоты и имеет различный вид для каждой из областей высоких или низких частот. Наличие пор на межзеренных границах приводит к появлению, кроме граничных, также и объемных потоков вакансий, что несколько увеличивает величину высокотемпературного фона внутреннего трения. Температурно-частотные зависимости релаксационных свойств различных типов неплоских межзеренных границ подобны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кульков, В.Г. Межзеренное скольжение по границе с уступами / В.Г. Кульков // Поверхность. – 2005. – № 8. – С. 84–87.

2. Ежов, А.А., Герасимова, Л.П. Разрушение металлов / А.А. Ежов, Л.П. Герасимова. – М.: Наука, 2004. – 400 с.

3. Кульков, В.Г. Межзеренное проскальзывание по границе, сопрягающей плотноупакованную и некристаллографическую плоскости / В.Г. Кульков // Вестник МЭИ. – 2005. – № 5. – С. 96–100.

4. Лариков, Л.Н., Исаичев, В.И. Диффузия в металлах и сплавах / Л.Н. Лариков, В.И. Исаичев. – Киев: Наукова думка, 1987. – 510 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДТОПЛЕНИЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Бабасиев М. – учащийся Предуниверситария
Науч. рук. ***Трохимчук М.В.*** – канд. геол.-минер. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В настоящее время большое внимание уделяется анализу аварийных ситуаций инженерных сооружений, связанных с техногенным воздействием на геологическую среду. Города Нижнего Поволжья сложены структурно-неустойчивыми грунтами, которые обладают высокой чувствительностью к увлажнению и способностью аккумулировать влагу [1].

Аварии канализационных и водопроводных сетей, неравномерный полив зеленых насаждений, экранизация поверхностей грунтов, засоры ливневой канализации стоков приводят к появлению процесса подтопления. Большую роль в формировании процесса подтопления играют низкое качество труб и культура укладки. В настоящее время в г. Волгограде зафиксировано 420 участков подтопления, в г. Астрахани – 380 участков подтопления [2].

Сбор данных о многочисленных фактах аварий и деформаций инженерных сооружений и коммуникаций, произошедших под влиянием процесса подтопления в г. Волжском, позволил построить карты гидроизогипс, где были выявлены наиболее склонные к процессу подтопления участки. Анализ показал, что процесс подтопления наблюдается в районе пос. Рабочего, в районах города, где имеются одно-, двух-, трехэтажные постройки, с инженерными сетями, требующими капитального ремонта, в жилых массивах, где часты аварии сетей.

Выявлено, что для зон уплотненной застройки также характерен процесс переувлажнения грунтовых массивов, а также выявлена плохая дренированность территорий.

Предлагается учитывать процесс подтопления при строительстве новых сооружений, активизировать замену устаревших инженерных коммуникаций, что улучшит жизнь проживающего населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слепян, Э.И. Охрана геологической среды территории городов и городских агломераций – необходимое условие обеспечения экологического комфорта для населения / Э.И. Слепян // Современные проблемы инженерной геологии территорий городов и городских агломераций. – М.: Наука, 1987. – С. 284–286.

2. Синяков, В.Н., Кузнецова, С.В. Геоэкологические проблемы Волгоградской области / В.Н. Синяков, С.В. Кузнецова // Экологическая наука – практике. – М.: 1997. – Т. 1. – С. 81–84.

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Алексеева К.Т. – магистрант
Науч. рук. ***Трохимчук М.В.*** – канд. геол.-минерал. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В системах теплоснабжения существует возможность внедрения большого потенциала низкопотенциальных источников теплоты. В качестве данных источников в системе централизованного теплоснабжения наиболее эффективным является использование теплонасосных установок. Теплонасосные установки (ТНУ) предназначены для передачи теплоты от низкотемпературного источника к среде с более высокой температурой.

Для определения эффективности работы ТНУ применяют обобщенный критерий – коэффициент преобразования μ, который определяется как отношение количества теплоты $Q_т$, отдаваемой ТНУ, к количеству теплоты $Q_э$, эквивалентной израсходованной энергии на приведение установки в действие [1]:

$$\mu = \frac{Q_т}{Q_э}.$$

Одним из полезных вовлечений ТНУ в систему теплоснабжения считается внедрение тепловых насосов (ТН) для обеспечения с их помощью части пиковой тепловой нагрузки.

В настоящее время на ТЭЦ для обеспечения пиковой тепловой нагрузки применяются водогрейные котлы, работа которых малонадежна и экономически не выгодна. Ключевым недостатком пиковых водогрейных котлов считается дополнительный расход топлива при довольно невысоком КПД (80–85 %) и значимых потерях теплоты с уходящими газами (10–15 %) и высокими издержками на водоподготовку [1].

Воздействие данных несовершенств на экономичность теплоснабжения возможно снизить, в случае если долю пиковой тепловой нагрузки обеспечивать с поддержкой ТН, использующих в качестве низкопотенциального источника грунт [2].

Произведем расчет эффективности работы теплового насоса с источником низкопотенциального тепла – грунта с температурой на входе в испаритель $t_{н1}$ = 10 ºС, а на выходе из него – $t_{н2}$ = 7 ºС. Температура воды на входе в охладитель $t_{по}$ = 35 ºС, а на выходе из конденсатора $t_{в1}$ = 70 ºС. Теплопроизводительность теплового насоса $Q_т$ = 46,5 кВт. Рабочий агент-хладоагент – фреон R12.

Принимаем температуру испарения

$$t_0 = t_{н2} - \Delta t_{ио} = 7 - 2{,}5 = 4{,}5\ ºС.$$

Задаемся температурой конденсации

$$t_к = t_{в1} - \Delta t_к = 75\ ºC.$$

С использованием T-S диаграммы находим параметры рабочего агента в следующих характерных точках системы.

Точка 1: $t_1 = t_0 = 4{,}5$ ºC; $p_1 = 0{,}08$ МПа; $\upsilon_1 = 0{,}254$ м^3/кг; $h_1 = 675$ кДж/кг.

Точка 2: $p_2 = 0{,}78$ МПа; $h'_1 = 724$ кДж/кг; $t'_2 = 110$ ºC.

Точка 3: $t_3 = 75$ ºC; $p_3 = 0{,}78$ Мпа; $h_3 = 506$ кДж/кг.

Точка 4: $t_4 = t_{по} + \Delta t_{по} = 45$ ºC; $p_4 = 0{,}78$ МПа; $h_4 = 468$ кДж/кг.

Точка 5: $t_5 = 4{,}5$ ºC; $p_5 = 0{,}08$ МПа; $h_5 = 45$ кДж/кг.

Энтальпия рабочего агента на выходе из компрессора при внутреннем адиабатном КПД компрессора $\eta_i = 0{,}8$

$$h_2 = h_1 + \frac{L_a}{\eta_i} = 675 + \frac{(724 - 675)}{0{,}8} = 736{,}25\,\text{кДж/кг}.$$

Внутренняя работа компрессора

$$L_в = h_2 - h_1 = 736{,}25 - 675 = 61{,}25\ \text{кДж/кг}.$$

Удельная тепловая нагрузка испарителя

$$q_0 = h_1 - h_5 = 675 - 458 = 217\ \text{кДж/кг}.$$

Удельная тепловая нагрузка конденсатора

$$q_к = h_2 - h_3 = 736{,}25 - 506 = 230{,}25\ \text{кДж/кг}.$$

Удельная тепловая нагрузка охладителя

$$q_{по} = h_3 - h_4 = 506 - 468 = 38\ \text{кДж/кг}.$$

Энергетический баланс:

$$q = L_в + q_0 = q_к + q_{по} = 230{,}25 - 38 = 268{,}25\ \text{кДж/кг}.$$

Массовый расход рабочего агента

$$G = \frac{Q_Т}{q_к + q_{по}} = \frac{46{,}5}{268{,}25} = 0{,}173\,\text{кг/с}.$$

Объемная производительность компрессора

$$V_1 = 0{,}173 \times 0{,}275 = 0{,}048\ \text{м}^3/\text{с}.$$

Расчетная тепловая нагрузка испарителя

$$Q_0 = q_0 \times G = 217 \times 0{,}173 = 37{,}62\ \text{кВт}.$$

Расчетная тепловая нагрузка охладителя

$$Q_{по} = q_{по} \times G = 38 \times 0{,}173 = 6{,}59\ \text{кВт}.$$

Принимая электромеханический КПД компрессора $\eta_{эм} = 0{,}9$, определяем удельную работу компрессора:

$$L_{км} = \frac{L_в}{\eta_{эм}} = \frac{61{,}25}{0{,}9} = 68{,}05\,кДж/кг.$$

Удельный расход электроэнергии на единицу выработанного тепла

$$\varepsilon_{тн} = \frac{L_{км}}{q_к + q_{по}} = \frac{68{,}05}{268{,}25} = 0{,}254.$$

Электрическая мощность компрессора

$$N_э = L_{км} \times G = 68{,}05 \times 0{,}173 = 11{,}8\ кВт.$$

Коэффициент трансформации

$$\mu = \frac{q_к + q_{по}}{L_{км}} = \frac{1}{\varepsilon_{тн}} = \frac{1}{0{,}254} = 3{,}94.$$

Средняя температура низкотемпературного теплоотдатчика

$$T_{н.ср.} = \frac{10+7}{2} + 273 = 281{,}5\,К.$$

Средняя температура полученного тепла

$$T_{в.ср.} = \frac{70+35}{2} + 273 = 325{,}5\,К.$$

Коэффициент работоспособности тепла с потенциалом $T_{в.ср.}$

$$(\tau_q)_в = 1 - 0{,}9 = 0{,}1.$$

Эксергетический коэффициент полезного действия теплонасосной установки

$$\eta_е = (q_к + q_{по}) \cdot \frac{(\tau_q)_в}{L_{км}} = 268{,}25 \cdot \frac{0{,}1}{68{,}05} = 0{,}4\ (40\,\%).$$

Таким образом, в результате расчета эффективности работы ТНУ можно сделать вывод, что на каждый затраченный кВт·ч энергии ТНУ в конденсаторе полезно можно использовать 4 кВт, что является преимуществом перед другими вариантами получения тепла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шарапов, В.И., Орлов, М.Е. Технологии обеспечения пиковой нагрузки систем теплоснабжения / В.И. Шарапов, М.Е. Орлов. – М.: Новости теплоснабжения, 2006. – 208 с.

2. Чаховский, В.М. Роль и место теплонасосной технологии в системе централизованного теплоснабжения крупных городов Российской Федерации [Электронный ресурс] / В.М. Чаховский. URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=331&p=1

ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ВОЛЖСКОЙ ТЭЦ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕМБРАННОЙ ВОДООЧИСТКИ

Спиридонов Д.А. – магистрант
Науч. рук. ***Одоевцева М.В.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. Предлагается замена схемы химводоочистки Волжской ТЭЦ с традиционными методами очистки на схему с применением мембранных методов. Альтернативная система водоочистки позволит снизить расход реагентов и снизить потребление топлива, которое приведет к повышению тепловой экономичности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: мембранные технологии, обратный осмос, ультрафильтрация, водоподготовка.

ANNOTATION. It is proposed to replace the chemical water treatment scheme of the Volzhskaya CHPP with traditional treatment methods with a scheme using membrane methods. An alternative water treatment system will reduce the consumption of reagents and reduce fuel consumption, which will lead to an increase in thermal efficiency.

KEYWORDS: membrane technologies, reverse osmosis, ultrafiltration, water treatment.

Применяемая на данный момент схема подготовки воды на Волжской ТЭЦ построена на применении традиционных методов водоочистки – коагуляции и известкования, ионитного химического фильтрования. Тепловая экономичность котельных установок повышается со снижением потребления производственного сырья на передачу рабочему телу равного количества энергии. Одним из таких путей снижения затрат является сокращение расходования топлива за счет снижения величины непрерывной продувки котлов в связи с повышением качества питательной воды и сокращение расхода реагентов, которые могут быть реализованы с применением схемы водоочистки, основанной на мембранных технологиях.

Применяемая на Волжской ТЭЦ схема химводоочистки представляет из себя осветлитель, механические осветлительные фильтры и три ступени ионитных (Н-катионитных и ОН-анионитных) фильтров. Такая традиционная схема водоподготовки потребляет значительное количество реагентов, что обуславливает постоянные затраты на покупку реагентов, необходимость содержать средства их доставки, хранения и использования, риски при их эксплуатации.

Принципиальная схема действующей установки представлена на рис. 1. Недостатки действующей схемы:

– высокий объем потребляемых реагентов;

– эксплуатационные расходы, увеличивающиеся пропорционально солесодержанию исходной воды;

– частые циклы регенераций;

– необходимость обработки регенератов и сложности с их сбросом.

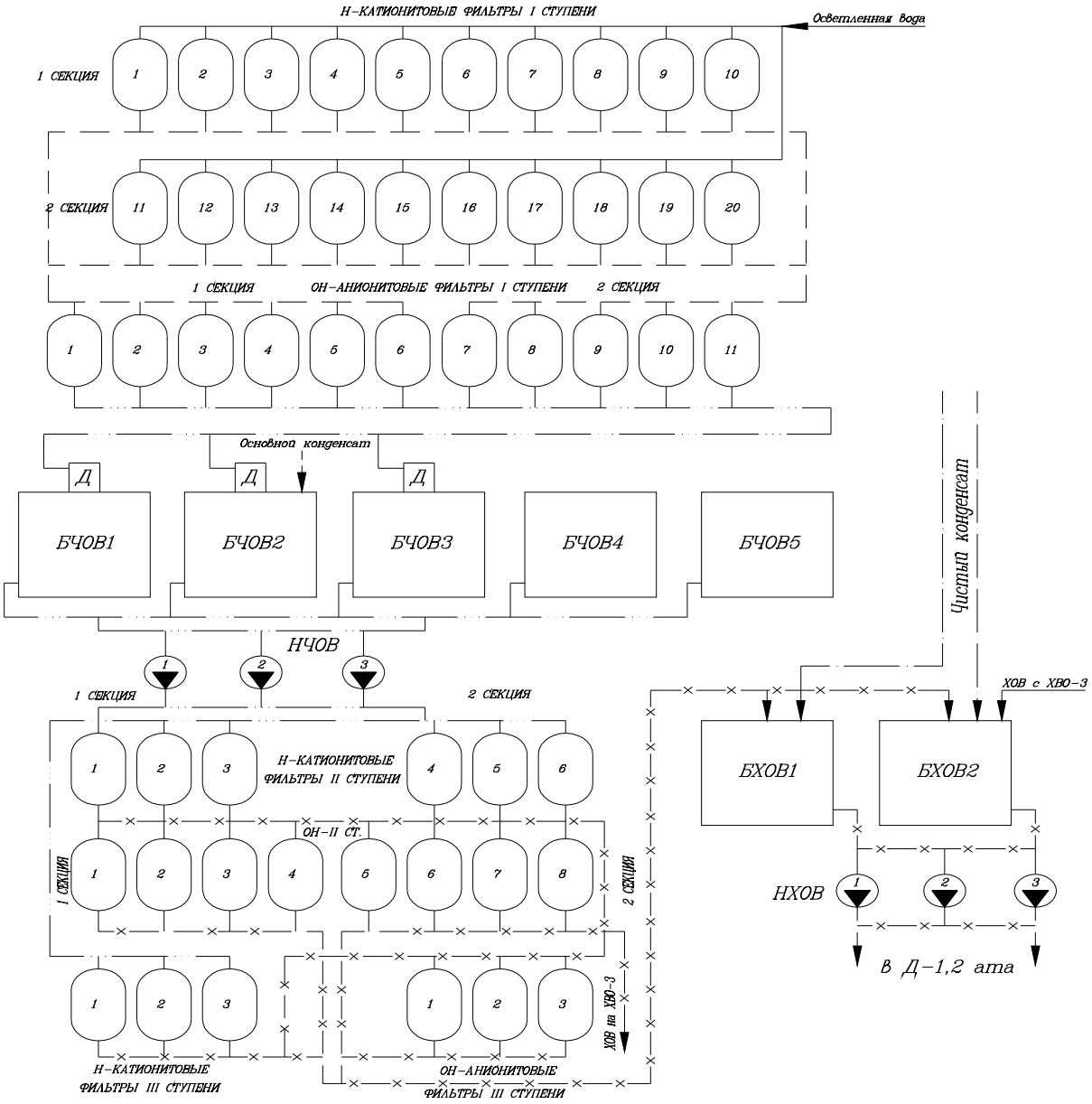

Рис. 1. Принципиальная схема обессоливающей установки ВТЭЦ

Предлагается замена действующей установки химводоочистки на схему с применением мембранных технологий – осветлителем, установкой ультрафильтрационной предочистки, химического обессоливания на установках обратного осмоса и заключительной стадии ионитного обессоливания.

Исходная вода проходит стадию осветления на осветлителе и ультрафильтрационной установке. Затем осветленная вода из бака запаса осветленной

воды поступает на первую ступень обессоливания, которая включает в себя установку обратного осмоса (УОО). Концентрат основных блоков УОО поступает на «дожимной блок». Пермеат основных блоков УОО и «дожимного блока» собирается в промежуточных баках декарбонизованной воды, а затем для окончательного обессоливания подается на Н-ОН фильтры 2-й ступени действующей схемы ВПУ. Схема предлагаемой установки приведена на рис. 2.

Структура потребления химических реагентов существующей схемой проиллюстрирована на рис. 3 и 4.

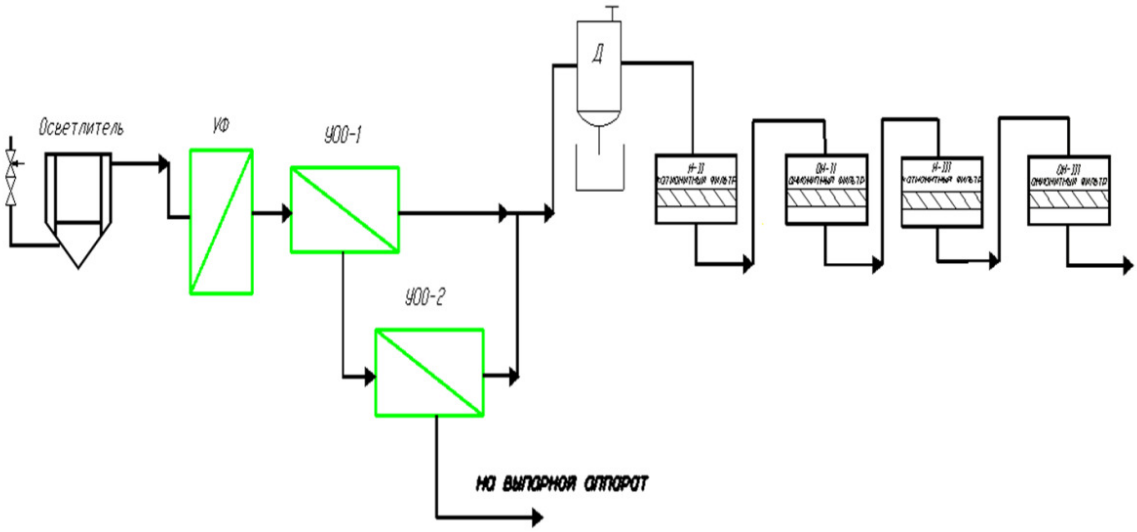

Рис. 2. Предлагаемая схема ВПУ

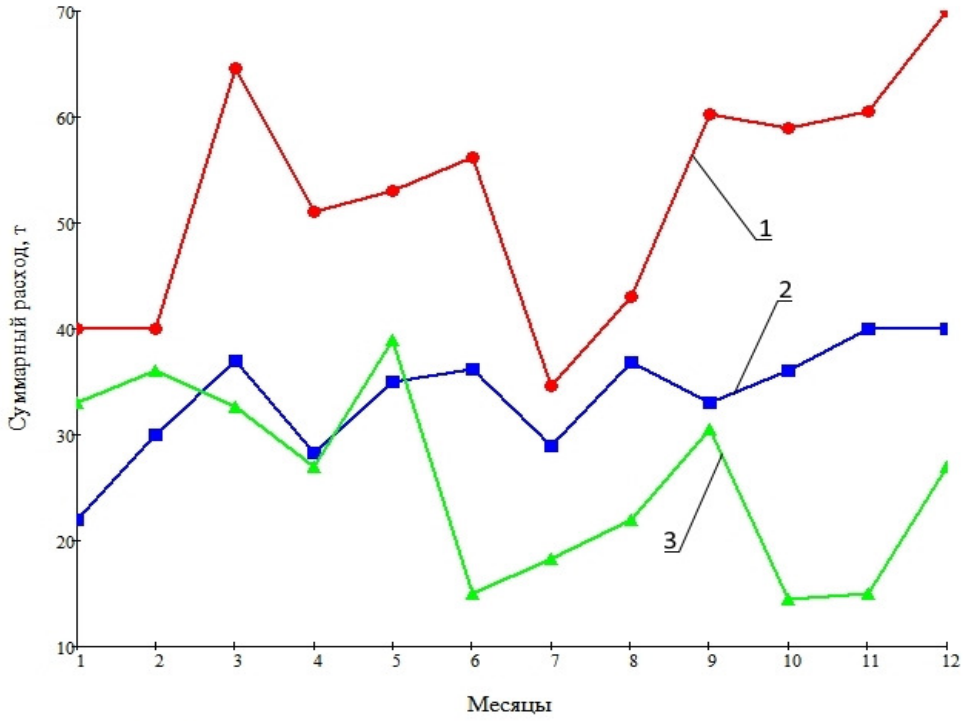

Рис. 3. Расход реагентов при действующей схеме за 2018 год:
1 – серная кислота; 2 – едкий натр; 3 – негашеная известь

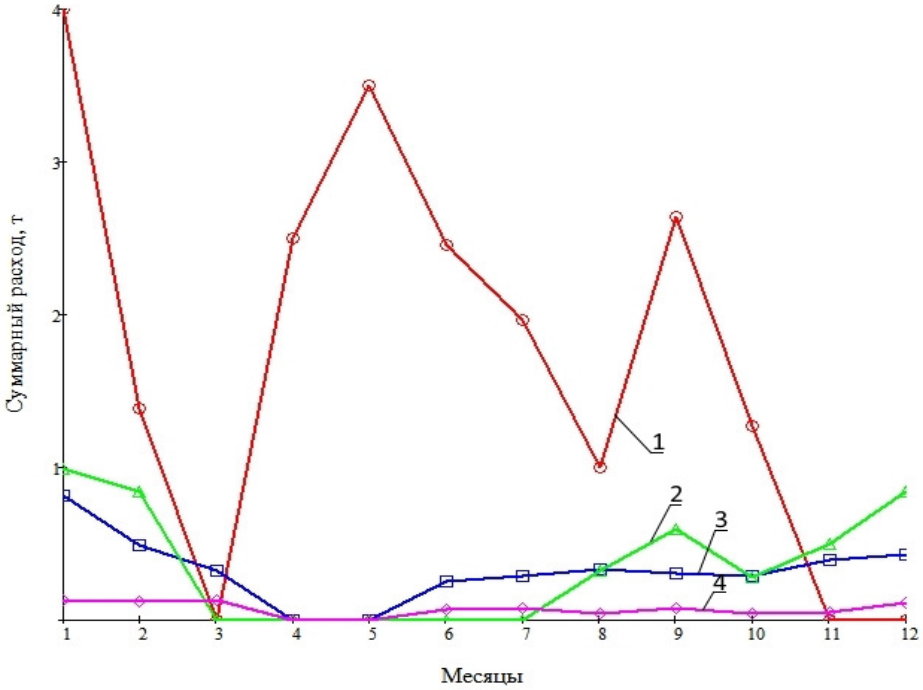

Рис. 4. Расход реагентов при действующей схеме за 2018 год:
1 – коагулянт; 2 – фосфат; 3 – аммиак; 4 – гидразин

Потребление реагентов действующей установкой обессоливания и цены на них за 2018 год представлены в табл. 1.

Таблица 1

Затраты на реагенты при эксплуатации действующей установки за 2018 год

Наименование реагента	**Потреблено за год, т**	**Цена за тонну, руб.**	**Стоимость реагента в год, руб.**
Серная кислота	632,200	3665	2 317 050
Гидроксид натрия	403,200	15 300	6 168 639
Негашеная известь	309,900	7540	2 336 933
Коагулянт	20,700	155	3212
Фосфат	3,900	210	823
Аммиак	4,400	75	328
Гидразин	0,875	441	386
Хлорид натрия	36,000	785	28 260
Итого	**10 855 629**		

Применение предлагаемой схемы позволит снизить расход реагентов и количество регенерационных операций, а также получить стабильное более низкое солесодержание подготавливаемой воды (рис. 2). Предлагаемая установка водоочистки потребует определенных затрат на основное и вспомогательное технологическое оборудование.

В итоге применения предлагаемого решения обеспечит сокращение используемого топлива за счет снижения величины непрерывной продувки. В табл. 2

приведены расчетные значения величин экономии топлива после внедрения предлагаемой схемы обессоливания воды.

Таблица 2

Ожидаемая экономия топлива при снижении величины продувки на котлах

Месяцы года	Величина экономии топлива на котле № 1, т	Величина экономии топлива на котле № 6, т
Январь	411,9	426,6
Февраль	632,2	249,7
Март	602,0	436,2
Апрель	366,5	99,6
Май	536,0	93,9
Июнь	366,5	507,2
Июль	521,8	218,3
Август	152,9	143,2
Сентябрь	0,0	830,0
Октябрь	56,1	582,6
Ноябрь	526,8	305,2
Декабрь	588,5	175,7
Итого за год	**1171,4**	**4068,1**

Предлагаемая схема водоподготовки обеспечивает экономию топлива в связи со снижением величины непрерывной продувки котлов № 1 и № 6 и экономию реагентов в связи с меньшим их потреблением мембранными технологиями. Предполагаемые капитальные затраты составили 64 612 394 рубля, дисконтированный срок окупаемости составил 1,92 года.

МЕМБРАННАЯ УСТАНОВКА ПОДГОТОВКИ ВОДЫ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ЭНЕРГИИ

Назарова Д.Е. – учащаяся Предуниверситария
Латышов К.В. – студент
Науч. рук. ***Одоевцева М.В.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. На предприятиях теплоэнергетики и промышленных предприятиях в схемах обессоливания воды используются установки обратного осмоса. Целевым продуктом таких установок является обессоленная вода. Второй продукт – концентрат, сбрасываемый как засоленные стоки, представляет интерес для оценки эффективности использования энергии этого потока с учетом производительности установки обратного осмоса в схемах ВПУ и для собственных нужд участка водоподготовки. Процесс будет проходить привычным способом, но на стоке загрязненных вод следует установить турбину, с помощью которой будет вырабатываться электрическая энергия. В ходе работы нами были проанализированы различные типы компоновки генерирующего объекта и выбран наиболее эффективный, в состав которого входит гидроагрегат, блок бесперебойного питания и соединяющие элементы, подключенные к нагрузке. Данная идея подойдет как для предприятий, так и для энергетических комплексов, имеющих установку обратного осмоса. С помощью вышеописанной модернизации появляется возможность сокращения энергетических затрат предприятий и увеличения энергоэффективности установки обратного осмоса в целом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: обратный осмос, теплоэлектростанция, концентрат, альтернативный источник энергии.

ABSTRACT. At thermal power plants and industrial enterprises, reverse osmosis plants are used in water desalination schemes. The target product of such plants is demineralized water. The second product, a concentrate discharged as saline effluent, is of interest for evaluating the energy efficiency of this stream, taking into account the performance of the reverse osmosis unit in the water treatment plants and for the own needs of the water treatment section. The process will take place in the usual way, but a turbine will be installed on the sewage of polluted water, with the help of which electric energy will be generated. In the course of work, we analyzed various types of layout of the generating facility and selected the most effective one, which includes a hydraulic unit, an uninterruptible power supply unit and connecting elements connected to the load. This idea is suitable for both enterprises and power plants with a reverse osmosis unit. Using the above modernization, it becomes possible to reduce the energy costs of enterprises and increase the energy efficiency of the reverse osmosis system as a whole.

KEYWORDS: reverse osmosis, thermal power plant, concentrate, alternative energy source.

В системе обратного осмоса воду разделяют на два потока: пермеат или фильтрат – обессоленная вода; концентрат – поток с высоким содержанием примесей. Концентрат утилизируется через дренажные системы производства без использования его энергии. По предлагаемому способу процесс обратно-осмотического обессоливания воды проходит привычным способом, но на стоке концентрата устанавливается гидротурбина, с помощью которой будет вырабатываться электрическая энергия.

Далее весь расчет производился для Волгоградской ТЭЦ-2. Для расчета мощности использовалась данная формула:

$$P = 9{,}81\eta QH,$$

где η – КПД гидроэлектростанции; Q – расход воды через определенное сечение, м^3/с; H – напор воды, подведенной к гидротурбине, м.

С помощью данной формулы мы получили мощность для одной установки равную 5,2 кВт, а для шести установок – 31,2 кВт.

Данная мощность рассчитана для случая, в котором работают все установки. Также рассчитана мощность для случаев, когда установка работает на 80 % и на 60 % мощности.

Таблица 1

Производительность при разных расходах

Волгоградская ТЭЦ-2	**Производительность при 60 % расхода**	**Производительность при 80 % расхода**	**Максимальная производительность**
Расход воды Q, м^3/с	0,0042	0,0056	0,0070
Напор H, м	91,774	91,774	91,774
Мощность потока W, кВт	2,93	4,13	5,40

Далее экономическая эффективность оценивалась для работы установки на 60 % мощности.

С помощью универсальной характеристики гидротурбин производился выбор гидротурбины. Ей является турбина ковшового типа.

В ходе работы нами были проанализированы различные типы компоновки генерирующего объекта и выбран наиболее эффективный, в состав которого входит гидроагрегат, блок бесперебойного питания и соединяющие элементы, подключенные к нагрузке.

Гидроагрегат имеет следующие характеристики: диапазон применимых напоров 40–250 м, диапазон применимых расходов 0,02–0,1 м^3/с, номинальная мощность 4 000 Вт, выходное напряжение 230/400 В.

Гидротурбина горизонтальная состоит из статорной части, содержащей кожух турбины и водовод с закрепленными на нем двумя регулируемыми соплами и роторной, состоящей из вала с рабочим колесом, установленного в подшипниковых узлах, размещенных на кожухе.

Вода по трубопроводу поступает к водоподводу турбины, далее через сопла на ковши и приводит во вращение ротор гидротурбины.

Защита гидротурбины от разгона осуществляется с помощью отсекателей, направляющих струю воды, выходящую из сопла, мимо рабочего колеса. Крутящий момент от ротора турбины через втулочно-пальцевую муфту передается на ротор генератора. Система управления обеспечивает пуск и останов гидроагрегата по командам оператора, автоматическую синхронизацию генератора при подключении к энергосистеме, контроль режимов работы гидроагрегата, аварийную остановку.

Электрическую энергию возможно использовать в целях обеспечения собственных нужд предприятия, таких как освещение территории, прилегающей к предприятию, и подпитку насосов дозаторов.

Для аккумулирования энергии произведен выбор источника бесперебойного питания. Для обеспечения потребителя необходимой мощностью рекомендован ИБП Makelsan BX3360.

Источник бесперебойного питания имеет следующие характеристики: номинальная мощность – 60 кВт; число фаз (вход) – 3; входное напряжение – 380 В; диапазон входной частоты – 45–65 Гц; количество блоков – 62 (12 В); тип подключаемых АКБ – свинцово-кислотные; КПД – до 93 %.

В результате исследований рекомендуемым оборудованием является микрогидроэлектростанция типа микроГЭС на 40 кВт в совокупности с источником бесперебойного питания ИБП Makelsan BX3360, что дает нам возможность наиболее эффективного использования энергии сбрасываемого концентрата с промышленной установки обратного осмоса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко, Н.Е. Повышение энергоэффективности установки обратного осмоса / Н.Е. Бондаренко, К.В. Латышов, М.В. Одоевцева, А.В. Афонин // XXV межвузовская научно-практическая конференция молодых ученых и студентов, г. Волжский, 22–31 мая 2019 г. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2019. – С. 5–8.

2. Ваш солнечный дом [Электронный ресурс]. URL: https://www.solarhome.ru/basics/bas-batteries/akkumul.

3. Дытнерский, Ю.И., Мембранные процессы разделения жидких смесей / Ю.И. Дытнерский. – М.: Химия, 1975. – 232 с.

4. Железко, Ю.С., Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко. – М.: ЭНАС, 2009. – 465 с.

5. Непомнящий, Е.Г. Экономическая оценка инвестиций / Е.Г. Непомнящий. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 292 С.

6. Новое в водном хозяйстве / гл. ред. Беглов И.Ф. – Научно-информационный центр МКВК, 2009. – 56 с.

7. Расчет гидравлических потерь [Электронный ресурс]. URL: https://studfile.net/preview/4002465/page:2/

8. Расчет и выбор микроГЭС [Электронный ресурс]. URL: http://weswen.ru/hydro_calculations/

РАЗРАБОТКА ТЕПЛОВОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Асосков Р.И. – магистрант
Науч. рук. ***Кущ Л.Р.*** – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлены результаты разработки математической модели как инструмента для оценки температурного состояния электродвигателя в разных режимах работы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: асинхронный электродвигатель, тепловое сопротивление, тепловая схема замещения, сопротивление теплоотдачи.

ABSTRACT. The article presents the results of the development of a mathematical model as a tool for assessing the temperature state of an electric motor in different operating modes.

KEYWORDS: asynchronous electric motor, thermal resistance, thermal equivalent circuit, heat transfer resistance.

Знание максимальной температуры узлов электрической машины определяет анализ ее работы в режиме реального времени. Вопрос оценки температурного состояния электродвигателя можно решить одним из известных способов контроля, а именно тепловая математическая модель. С помощью такой модели появляется возможность выполнять расчет установившихся температур всех узлов электродвигателя в любом режиме работы электродвигателя.

Сначала была составлена тепловая схема замещения для расчета температур активных частей электродвигателя, отображающая физическую картину процессов, протекающих между отдельными теплореагирующими элементами (рис. 1). На основании тепловой схемы двигатель разбит на источники тепла, тепловые сопротивления и приемники, объединенные в единую сеть (схему) с общими узлами (точками) по внутреннему воздуху двигателя.

Основными нагреваемыми узлами асинхронного электродвигателя являются статор и ротор с обмотками. При этом с целью определения локального места перегрева в тепловой схеме выполнена следующая детализация: лобовая и половина пазовой части обмоток статора и ротора.

Изменение температуры охлаждающего потока воздуха при прохождении различных участков машины учтено в тепловой схеме с помощью линии, которую можно рассматривать как ряд базовых точек с температурой, возрастающей в направлении движения потока воздуха [1]. При этом поток охлаждающей среды был разбит на элементы (области), совпадающие по длине с соответствующими охлаждаемыми частями машины. Для каждого элемента потока прирост температуры рассчитывается исходя из теплового баланса.

Принятые обозначения на схеме: $P_{СС}$ – потери в сердечнике статора; $P_{СЛ}$ – потери в лобовой части обмотки статора; $P_{СП}$ – потери в пазовой части обмотки статора; $P_{РС}$ – потери в сердечнике ротора; $P_{РЛ}$ – потери в лобовой части обмотки ротора (КЗ кольца); $P_{РП}$ – потери в пазовой части обмотки ротора.

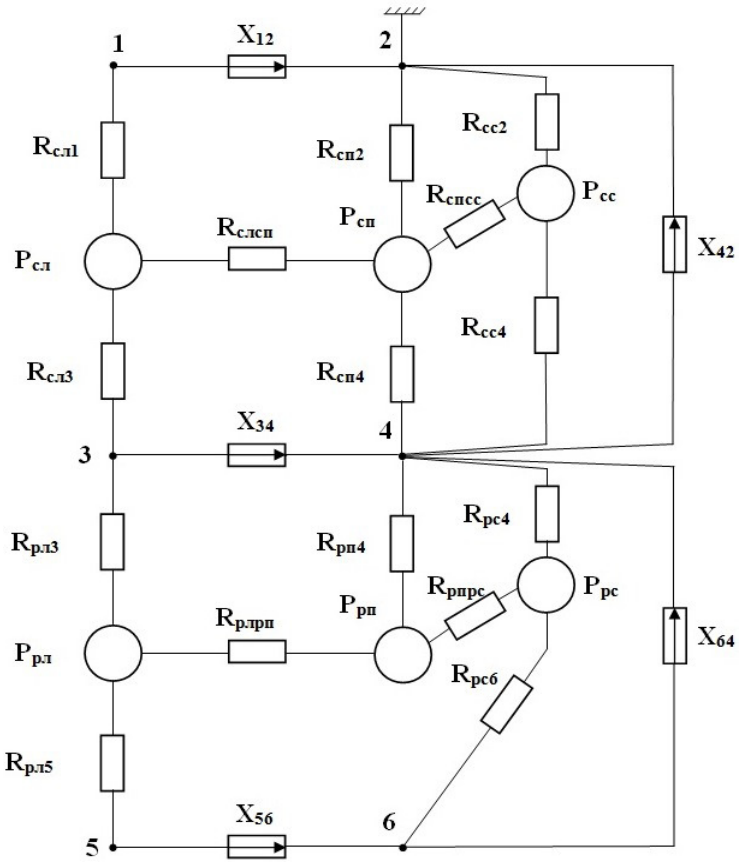

Рис. 1. Тепловая схема замещения АД

Пути теплопередачи представлены тепловыми сопротивлениями (ТС).

Для статора: $R_{СЛСП}$ – ТС между лобовой со стороны подачи воздуха и средней частями обмотки статора; $R_{СПСС}$ – ТС между пазовой частью обмотки статора и сталью статора; $R_{СС2}$ – ТС от стали статора в окружающий воздух; $R_{СЛ1}$ – ТС от лобовой части обмотки статора в область над катушкой (1); $R_{СЛ3}$ – ТС от лобовой части обмотки статора в область между катушкой и КЗ кольцом (3); $R_{СП2}$ – ТС от пазовой части обмотки статора в окружающий воздух (2); $R_{СПП}$ – ТС от пазовой части обмотки статора в воздушный зазор (4); $R_{СС4}$ – ТС от стали статора в воздушный зазор (4).

Для ротора: $R_{РЛРП}$ – ТС между лобовой и средней частями обмотки ротора; $R_{РПРС}$ – ТС между пазовой частью обмотки ротора и сталью ротора; $R_{РЛ3}$ – ТС от лобовой части обмотки ротора в область между катушкой и КЗ кольцом (3); $R_{РЛ5}$ – ТС от лобовой части обмотки ротора в область под КЗ кольцом (5); $R_{РП4}$ – ТС от пазовой части обмотки ротора в воздушный зазор (4); $R_{РС6}$ – ТС от стали

ротора в вентиляционные каналы ротора (6); $R_{РС4}$ – ТС от стали ротора в воздушный зазор (4).

Уравнения, описывающие процесс передачи тепла в двигателе согласно эквивалентной тепловой схеме, представлены в виде системы (1). Для удобства расчета в уравнениях представлен расчет через тепловые проводимости (ТП) с соответствующими тепловым сопротивлениям индексами.

$$P_{СЛ} = \upsilon_{СЛ} \cdot (\lambda_{СЛ1} + \lambda_{СЛСП} + \lambda_{СЛ3}) - \upsilon_1 \cdot \lambda_{СЛ1} - \upsilon_{СП} \cdot \lambda_{СЛСП} - \upsilon_3 \cdot \lambda_{СЛ3};$$

$$P_{СС} = \upsilon_{СС}(\lambda_{СС2} + \lambda_{СПСС} + \lambda_{СС4}) - \upsilon_2 \cdot \lambda_{СС2} - \upsilon_{СП} \cdot \lambda_{СПСС} - \upsilon_4 \cdot \lambda_{СС4};$$

$$\begin{aligned} P_{СП} &= \upsilon_{СП} \cdot (\lambda_{СЛСП} + \lambda_{СП2} + \lambda_{СПСС} + \lambda_{СР4}) - \\ &- \upsilon_{СЛ} \cdot \lambda_{СЛСП} - \upsilon_{СС} \cdot \lambda_{СПСС} - \upsilon_2 \cdot \lambda_{СП2} - \upsilon_4 \cdot \lambda_{СП4}; \end{aligned} \quad (1)$$

$$P_{РЛ} = \upsilon_{РЛ}(\lambda_{РЛ3} + \lambda_{РЛРП} + \lambda_{РЛ5}) - \upsilon_3 \cdot \lambda_{РЛ3} - \upsilon_{РП} \cdot \lambda_{РЛРП} - \upsilon_5 \cdot \lambda_{РЛ5};$$

$$P_{РП} = \upsilon_{РП}(\lambda_{РЛРП} + \lambda_{РП4} + \lambda_{РПРС}) - \upsilon_4 \cdot \lambda_{РП4} - \upsilon_{РЛ} \cdot \lambda_{РЛРП} - \upsilon_{РС} \cdot \lambda_{РПРС};$$

$$P_{РС} = \upsilon_{РС}(\lambda_{РС6} + \lambda_{РПРС} + \lambda_{РС4}) - \upsilon_7 \cdot \lambda_{РС4} - \upsilon_{РП} \cdot \lambda_{РПРС} - \upsilon_6 \cdot \lambda_{РС6}.$$

Температура воздуха в электродвигателе определяется в характерных точках, указанных на тепловой схеме. Для расчета необходимо рассчитать проводимости X_{ij} – это проводимости, учитывающие подогрев воздуха. Эти проводимости показывают ухудшение тепловой проводимости воздуха каждой воздушной области внутри машины. Для составленной схемы электродвигателя проводимости X_{ij} каждого узла определяются по выражениям (2):

$$\begin{aligned} X12 &= \lambda_В - \lambda_{СЛ1}; \\ X34 &= \lambda_В - \lambda_{СЛ3} - \lambda_{РЛ3}; \\ X56 &= \lambda_В - \lambda_{РЛ5}; \\ X64 &= \lambda_В - \lambda_{РС6}; \\ X42 &= \lambda_В - \lambda_{РП4} - \lambda_{РС4} - \lambda_{СПП} - \lambda_{СС4}. \end{aligned} \quad (2)$$

Уравнения, определяющие подогрев воздуха в разных частях при его движении вдоль оси машины, представлены в виде системы (3):

$$P_1 = \upsilon_1 \cdot (\lambda_В + \lambda_{СЛ1}) - \upsilon_{СЛ} \cdot \lambda_{СЛ1} = \upsilon_В \cdot \lambda_В;$$

$$P_2 = \upsilon_2 \cdot (2\lambda_В + \lambda_{СП2} + \lambda_{СС2}) - \upsilon_{СП} \cdot \lambda_{СП2} - \upsilon_1 \cdot X12 - \upsilon_{СС} \cdot \lambda_{СС2} - \upsilon_4 \cdot X42;$$

$$P_3 = \upsilon_3 \cdot (\lambda_В + \lambda_{РЛ3}) - \upsilon_{РЛ}\lambda_{РЛ3} = \upsilon_В\lambda_В; \quad (3)$$

$$P_4 = \upsilon_4 \cdot (2\lambda_{\text{В}} + \lambda_{\text{СП4}} + \lambda_{\text{СС4}} + \lambda_{\text{РС4}} + \lambda_{\text{РП4}}) - \upsilon_3 \cdot X34 - \upsilon_{\text{СП}} \cdot \lambda_{\text{СП4}} -$$
$$- \upsilon_{\text{СС}} \cdot \lambda_{\text{СС4}} - \upsilon_6 \cdot X64 - \upsilon_{\text{РС}} \cdot \lambda_{\text{РС4}} - \upsilon_{\text{РП}} \cdot \lambda_{\text{РП4}};$$

$$P_5 = \upsilon_5 \cdot (\lambda_{\text{В}} + \lambda_{\text{РЛ5}}) - \upsilon_{\text{РЛ}} \lambda_{\text{РЛ5}} = \upsilon_{\text{В}} \lambda_{\text{В}};$$

$$P_6 = \upsilon_6 \cdot (\lambda_{\text{В}} + \lambda_{\text{РС6}}) - \upsilon_5 \cdot X56 - \upsilon_{PC} \cdot \lambda_{\text{РС6}}.$$

Решение систем уравнений (1), (2) и (3) представляется в матричной форме вида:

$$\langle \Lambda \rangle \times \langle \upsilon \rangle + \langle P \rangle = 0, \tag{4}$$

где $\langle \Lambda \rangle$ – квадратная симметричная матрица взаимных собственных проводимостей схемы размерностью 12×12; $\langle \upsilon \rangle$ – матрица-столбец неизвестных температур размерностью 12×1; $\langle P \rangle$ – вектор приведенных источников теплоты размерностью (12×1).

Реализация данной модели осуществляется в среде MATLAB в матричной форме. Решение данного уравнения имеет вид:

$$\langle \upsilon \rangle = -\langle \Lambda \rangle^{-1} \times \langle P \rangle, \tag{5}$$

где $\langle \Lambda \rangle^{-1}$ – обращенная матрица проводимостей.

Согласно рекомендациям, в [2, 3] и для удобства теплового расчета при различных начальных условиях тепловые проводимости были представлены как функции от скорости вращения двигателя и производительности вентилятора воздушного принудительного охлаждения $\lambda_i = f(n, Q)$.

Реализованная тепловая математическая модель в среде MATLAB позволяет вычислить установившиеся температуры различных узлов асинхронного электродвигателя переменного тока с учетом температуры окружающей среды и производительности вентилятора воздушного принудительного охлаждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сипайлов, Г А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах: учебное пособие / Г.А. Сипайлов, Д.И. Санников, В.А. Жадан. – М.: Высшая школа, 1989. – 239 с.

2. Бухгольц, Ю.Г. Основы аэродинамических и тепловых расчетов в электромеханике: учебное пособие [Электронный ресурс] / Ю.Г. Бухгольц, В.А. Тюков, Т.В. Честюнина. – Новосибирск: Новосиб. гос. техн. ун-т, 2008. – 194 с.: табл., схемы. URL: http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/ 2008/buhgolc.pdf.

3. Тюков, В.А. Теплопередача, вентиляционные и тепловые расчеты в электромеханике: учебное пособие / В.А. Тюков, Т.В. Честюнина, Ю.Г. Бухгольц. – Новосибирск: Новосиб. гос. техн. ун-т., 2013. – 246 с.: ил., табл.

СЕКЦИЯ № 6

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Председатель: ***Лысакова Ж.А.*** – канд. пед. наук, доцент
Секретарь: ***Ковалёва Ю.С.*** – инженер

ПОНЯТИЙНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ

Опара А.А. – канд. филол. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлен анализ понятийной составляющей образовательного процесса в период пандемии-2020. Рассматривается история возникновения дистанционного обучения, а также его положительные и отрицательные характеристики.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пандемия, образовательный процесс, дистанционное обучение.

ABSTRACT. The article presents an analysis of the conceptual component of the educational process during the pandemic 2020. The history of distance learning, and its positive and negative characteristics, are considered.

KEYWORDS: pandemic, educational process, distance learning.

В настоящее время из-за борьбы с коронавирусом возникают проблемы в различных сферах жизни российского общества, в частности в сфере образования. Данное исследование посвящено неординарной ситуации, связанной с нарушением традиционного педагогического процесса. Цель данного исследования заключается в определении корпуса понятий, отражающих признаки сложившейся ситуации.

В задачу исследования входило подобрать и проанализировать словарные дефиниции, определяющие содержательное поле процесса обучения. Материалом для работы послужили словари и различные интернет-сайты. Исследование считается актуальным, так как влияние экстралингвистических факторов, в частности пандемии, повлекло за собой изменение общепринятых законодательных норм как промежуточной аттестации, так и итогового контроля обучающихся, а именно: сдача ЕГЭ, защита выпускных квалификационных работ.

Рассмотрим этимологию термина *пандемия.* Данное слово πάνδημος греческого происхождения переводится как *всеобщий, всенародный.* В России оно было

зафиксировано А.Н. Чудиновым в словаре иностранных слов, вошедших в состав русского языка в 1910 году. *Пандемия* – это эпидемия, действующая повально на все население. Прилагательное *пандемический* греческого происхождения означает *pan* – все и *demos* – народ, то есть относящийся ко всему народу [3].

Ассоциативный ряд данного слова представляет собой набор отрицательных значений: *эпидемия, болезнь, чума, поветрие, глобализация, грипп, прививка.* Его высокая негативная семантическая активность выражена в сочетании различных частей речи, таких как прилагательное, например *новая пандемия*. Коннотации, возникающие при употреблении данного словосочетания, глубоко негативны: *всемирная история смертельных вирусов, инфекционные заболевания, сокрушительная смертельная эпидемия, болезнетворный микроорганизм* [4]. Сочетание с существительным, например *пандемия гриппа, пандемия чумы*, определяет вид инфекционного заболевания. Семантически близкое слово – это *эпидемия,* которое в словаре С.И. Ожегова определено как: «Широкое распространение какой-либо инфекционной болезни, *Эпидемия гриппа*» [2].

Различие между двумя терминами заключается в масштабе распространения инфекционного заболевания, поэтому словосочетание *пандемия COVID-19* прочно закрепилось в языковом сознании всех народов мира. Аббревиатура COVID произошла от английского словосочетания ***CO****rona****VI****rus****D****isease* (коронавирусная инфекция) и заимствована во все языки, подтверждая статус английского языка как международного и глобальную катастрофу [5].

Средства массовой информации, предупреждая об опасности распространения пандемии, актуализируя реальную угрозу для жизни человека, используют следующие слоганы: «*Оставайтесь дома», «Сидим дома», «Культура дома»*. Интернет-сайты предлагают модные дизайнерские футболки с красиво оформленными надписями о призыве оставаться дома, например: *Stay at Home, Keep Calm and Stay at Home, Keep Safe at Home, Take Care and Stay at Home, Stay at Home Save Lives*. Таким образом, еще один термин – *самоизоляция* – прочно входит в нашу жизнь. Ее ввели в Россию 30 марта 2020 года для всех категорий граждан как меру предосторожности.

С позиции лингвистических исследований, посвященных анализу традиционного образовательного процесса, педагогический дискурс включает: типовых участников (учитель и ученик), хронотоп (место и время проведения занятий), цели, ценности, стратегии, жанры, прецедентные тексты [1].

На фоне сложившейся ситуации образовательный процесс в России приобретает форму дистанционного обучения. Данный термин заимствован из английского языка: *distance education, distance learning*. Часто употребляется синоним *E-learning (*сокращение от англ. *Electronic Learning)*, то есть система электронного обучения с применением компьютеров. Прилагательные *сетевое, виртуальное* характеризуют разновидности обучения при помощи информационных, электронных технологий. Оно также включает все компоненты учебного процесса.

Однако коммуникация переходит из реальной в виртуальную, которая может быть нарушена при отсутствии видеосвязи. Если время проведения занятий регулируется, то место, где соответствующий процесс происходит (школа, класс, учебная аудитория), переходит в домашнюю обстановку. Согласно определению в толковом словаре С.И. Ожегова, дом – это «Свое жилье, а также семья, люди, живущие вместе, их хозяйство. Место, где живут люди, объединенные общими интересами, условиями существования» [2].

Начало дистанционного обучения было положено в Европе в конце XVIII века. Его развитие шло в трех направлениях, а именно: использование почтовых услуг, стенографии и радио. Студенты получали по почте учебные материалы, переписывались с преподавателями, отправляли обратно педагогу свои выполненные работы на проверку и получали комментарии. Ценность данного вида обучения была закреплена термином *корреспондентное (заочное) обучение (correspondence education)*. Оно было связано с отсутствием образованного торгово-рабочего класса для работы на промышленных и городских предприятиях.

Развитие более совершенных типографских и почтовых служб способствовало этому процессу. Заочные курсы сначала предлагались в Великобритании, Германии и США, но быстро распространились по всему миру. Основоположником дистанционного обучения считается британец, ученый-стенограф Айзек Питман, который в 1840-х гг. представил новаторскую систему обучения с помощью стенографии. В 1837 году, преподавая английский язык, он ввел в обучение стенографическое письмо для лучшего взаимодействия с учащимися. Питман посылал шифрованные тексты своим студентам и получал назад работы на проверку [6].

Идея использования радио для дистанционного обучения возникла у инспектора Южно-Австралийской школы Аделаиды Миетке, которая отправилась в город Алис-Спрингс в 1944 году в качестве члена Совета летающего врача службы. Во время поездки на отдаленные станции скотобойни она признала трудности, с которыми сталкиваются семьи с заочным обучением детей. Используя радио, учитель может обучать детей, разрушая их социальную изоляцию. Так возникла Школа воздуха «Alice Springs School of the Air».

Первоначально было всего три получасовых урока в неделю. Двусторонней передачи не существовало, и, следовательно, у учащихся не было возможности взаимодействовать с педагогом, затем было добавлено время вопроса и ответа. В 2002 году началось первое внедрение интерактивного дистанционного обучения (IDL) с использованием спутниковых и широкополосных технологий. К 2006 году школа была полностью переоборудована под спутниковую технологию для проведения занятий.

Официальной датой возникновения дистанционного обучения в России принято считать 30 мая 1997 года. В этот день вышел приказ № 1050 Министерства образования Российской Федерации «О проведении эксперимента в области дистанционного образования». Содержательная сторона включает различные формы, обеспечивающие связь преподавателя со студентом. Например,

чат-занятия, веб-занятия, телеконференция, телеприсутствие. В том числе и определенный набор средств: *персональный компьютер (ноутбук); устройство звукопередачи (колонки, наушники); видеокамера и микрофон; программное обеспечение (интернет-браузер, Adobe Flash Player и др.); стабильное интернет-соединение (не менее 256 кбит/с).*

Ценностная составляющая данного вида обучения определяется положительными факторами, а именно: экономия времени; возможность обучать единовременно большую аудиторию; снижение затрат на проведение обучения; повышение качества обучения в связи с использованием современных информационных технологий; создание отраслевых и общих методик обучения; мгновенный доступ обучающихся к электронным библиотекам и базам знаний; возможность получать образование всеми желающими, несмотря на состояние здоровья и уровень социального положения в обществе; удобство связи преподавателя и студента с учетом пожеланий обоих; как вынужденная мера обучения в период пандемии. Отрицательные факторы: необходимость специального оборудования на рабочем месте; недостаточная методическая организация обучения.

Таким образом, понятийная составляющая образовательного процесса подверглась изменению под влиянием экстралингвистического фактора – пандемии. Дистанционное обучение оказалось одним из безопасных способов непрерывного образования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карасик, В.И. Языковой круг: личность, концепты, дискурс / В.И. Карасик. – Волгоград: Перемена, 2002. – С. 302–320.

2. Ожегов, С.И., Шведова, Н.Ю. Толковый словарь русского языка: 80 000 слов и фразеологических выражений / С.И. Ожегов, Н.Ю. Шведова. – М.: АЗЪ, 1995. – 928 с.

3. Чудинов, А.Н. Словарь иностранных слов [Электронный ресурс]. URL: http://rus-yaz.niv.ru/doc/foreign-words-chudinov/fc/slovar-207-1.htm#zag-19276 (дата обращения: 16.05.2020).

4. Карта слов и выражений русского языка [Электронный ресурс]. URL: https://kartaslov.ru/ (дата обращения 16.05.2020).

5. Пандемия – COVID-19 [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/COVID-19 (дата обращения 16.05.2020).

6. Encyclopedia Britanica: сайт. URL: https://www.britannica.com/science/science (дата обращения 16.05.2020).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕСТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА ЗНАНИЙ ПО МАТЕМАТИКЕ УЧАЩИХСЯ ПРЕДУНИВЕРСИТАРИЯ МЭИ

Ходырева Н.Г. – канд. пед. наук, доцент
Устинова Л.Г. – канд. пед. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. Рассматриваются возможности использования тестовых технологий при обучении математике учащихся предуниверситария МЭИ. Устанавливается роль диагностического целеполагания для организации дидактического процесса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оценивание, знания, умения, тестовые технологии, целеполагание.

ABSTRACT. The possibilities of using test technologies in teaching mathematics to students of preduniversitariy of MPEI are considered. The role of diagnostic goal setting for the organization of the didactic process is established.

KEYWORDS: assessment, knowledge, skills, test technologies, goal setting.

В настоящее время одной из важнейших задач среднего образования является обеспечение качества подготовки выпускников школ на основе современных образовательных программ и обучающих технологий в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами. Особая роль в повышении качества образовательной деятельности отводится системе оценивания результатов обучения, которая может сочетать как традиционные методы оценивания (самостоятельная работа, контрольная работа, ответ на уроке), так и современные (тестирование, портфолио, проектная деятельность).

Эффективным средством контроля знаний и умений учащихся является использование тестовых технологий, которые обеспечивают учителя оперативной и объективной информацией об уровне усвоения учебного материала, позволяя совершенствовать рабочие программы, выбирать методы и технологии обучения, ликвидировать пробелы и создавать индивидуальные обучающие траектории для своих учеников.

Проблемы разработки и использования тестовых заданий как инструмента для оценивания знаний широко отражены в педагогической литературе. Вопросы комплексного использования тестовых технологий, виды тестов, их функции, общие подходы к разработке, показатели качества рассмотрены в исследованиях В.С. Аванесова, В.П. Беспалько, А.В. Романова, А.Н. Майорова и других авторов. Методике составления тестовых заданий и проведения тестирования посвящены работы Л.П. Квашко, А.Т. Лялькиной, М.Ю. Праховой и др.

В настоящей статье использование тестовых технологий оценивания на уроках математики рассматривается в контексте образовательной деятельности в классах предуниверситария филиала «НИУ «МЭИ» в г. Волжском.

Предуниверситарий был организован в 2017 году при поддержке головного вуза и местных органов образования с целью создания инновационной системы непрерывного многоуровневого профильного обучения школьников как части единой университетской системы подготовки инженерных кадров в области энергетики. Одной из важнейших задач функционирования классов предуниверситария является обеспечение углубленной профильной физико-математической подготовки учащихся на базе технического университета.

В связи с этим особое значение приобретает качество организации системы оценивания знаний учащихся как основы для получения своевременной и объективной информации, необходимой для эффективного управления учебным процессом. Тестовые технологии обладают рядом преимуществ, к которым относятся надежная обратная связь от ученика к учителю, позволяющая оперативно выявлять пробелы в знаниях, объективность оценки уровня усвоения материала, направленность на повышение мотивации к учению.

В качестве теоретической базы для использования тестовых технологий на уроках математики в предуниверситарии МЭИ были взяты идеи ученого-педагога В.П. Беспалько, суть которых заключается в постановке диагностических целей обучения для успешной реализации дидактического процесса. Диагностическое целеполагание предполагает постановку таких образовательных целей, которые бы допускали объективный и однозначный контроль степени их достижения [2, с. 30].

С точки зрения В.П. Беспалько, качество подготовки учащихся характеризуется различными показателями, такими как широта опыта, уровень и прочность усвоения определенных способов деятельности, автоматизация умений, осознанность применений знаний. Автор выделяет четыре уровня усвоения способов деятельности как способности решать определенные задачи.

Первый уровень предполагает узнавание ранее усвоенной информации и воспроизведение действий по алгоритму с «подсказкой». Второй уровень – самостоятельное воспроизведение ранее усвоенных знаний, репродуктивное алгоритмическое действие по решению типовой задачи. Третий уровень заключается в применении усвоенных знаний в новой ситуации без предъявления алгоритма решения. Четвертый уровень – это продуктивная деятельность творческого типа, в процессе выполнения которой рождается объективно новая информация [2, с. 55].

В качестве объективного метода диагностики качества знаний обучающихся В.П. Беспалько предлагает специально разработанные тесты, соответствующие перечисленным выше уровням усвоения деятельности [2, с. 58]. Тест содержит задание и эталон выполнения, по которому определяется число p существенных операций, необходимых для выполнения теста. Коэффициент усвоения теста вычисляется по формуле

$$K = \frac{\alpha}{p} \quad (0 \le K \le 1),$$

где α – количество правильно выполненных операций. При $K \geq 0{,}7$ можно считать, что программный материал на данном уровне освоен и учащийся в дальнейшем способен самостоятельно развивать свои знания и умения. При $K < 0{,}7$ обучающийся будет совершать систематические ошибки, которые он не в состоянии сам исправить, соответственно нужно вносить изменения в учебный процесс.

В педагогической литературе представлены различные классификации видов тестовых заданий. Наиболее часто авторы выделяют тесты закрытого и открытого типов [1, с. 16; 3, с. 164; 4, с. 83], которые в свою очередь делятся на несколько видов.

К заданиям закрытого типа относятся:

– задания альтернативных ответов (на опознание), подразумевают два варианта: верно, неверно;

– задания множественного выбора (на различение), предполагают выбор одного или нескольких правильных вариантов из предложенных;

– задания на восстановление соответствия (на классификацию), требуют установления соответствия между элементами двух списков;

– задания на восстановление последовательности, используются в том случае, если присутствует алгоритмическая деятельность [2, с. 61; 5, с. 17; 6, с. 143].

Задания открытого типа включают в себя:

– задания на дополнение (подстановки), подразумевают заполнение пропусков;

– задания свободного изложения (конструктивные), предполагают свободные ответы по сути задания [2, с. 62; 4, с. 99].

Для диагностики усвоения учебного материала на первом уровне В.П. Беспалько предлагает тесты закрытого типа, то есть на опознание, различение или классификацию изученных объектов (тесты I уровня). На втором уровне учащиеся должны воспроизводить информацию без подсказки для решения типовых задач. В этом случае рекомендуется использовать задания открытого типа на дополнение и свободное изложение (тесты II уровня). Третий уровень реализуется посредством выполнения эвристической деятельности, для оценки которой необходимо использовать нетиповые задачи, требующие предварительного преобразования усвоенных методик (тесты III уровня). Четвертый уровень усвоения материала предполагает выявление творческих умений учащихся с помощью задач-проблем, алгоритм решения которых не известен и должен быть получен на основе усвоенных знаний и умений (тесты IV уровня) [2, с. 61].

При организации учебной деятельности по математике школьников предуниверситария МЭИ активно используются тестовые задания первого и второго уровней на различных этапах учебного процесса. На этапе овладения новыми знаниями весьма эффективны тесты на опознание и различение объектов, которые позволяют более осознано и четко усваивать материал, устанавливать связь между теорией и практикой, быстро находить пробелы и оперативно их устранять. На этапе формирования умений и навыков возможно применение тестов

на дополнение и свободное изложение, выполнение которых развивает логичность в рассуждениях учащихся, способность осмысливать задание, выделять главное, устанавливать цель своей деятельности.

Важнейшую роль тестовые технологии играют на этапе контроля в обучении, так как являются стандартизированными процедурами, при которых все учащиеся находятся в одинаковых условиях и используют примерно одинаковые контрольно-измерительные материалы. Это позволяет объективно оценивать достижения учащихся, что способствует повышению мотивации и развитию личной ответственности школьников.

Подводя итог, можно отметить, что использование тестовых технологий в учебном процессе позволяет определить прочность овладения учащимися учебным материалом, отразить динамику развития компетенций, наметить пути совершенствования знаний и умений, что гарантирует качество образовательного процесса. Применение разноуровневых тестовых заданий развивает логическое мышление школьников, повышает уровень их готовности к самостоятельной деятельности, развивает мотивацию и сознательность в обучении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аванесов, В.С. Композиция тестовых заданий. Учебная книга / В.С. Аванесов. – М.: Центр тестирования, 2002. – 240 с.

2. Беспалько, В.П. Слагаемые педагогической технологии / В.П. Беспалько. – М.: Педагогика, 1989. – 192 с.

3. Володко, И.М., Черняева, С.В. Оценивание знаний студентов при использовании тестов по математике / И.М. Володко, С.В. Черняева // Физико-математическое образование. – 2018. – № 1 (15). – С. 163–166.

4. Майоров, А.Н. Теория и практика создания тестов для системы образования: как выбирать, создавать и использовать тесты для целей образования / А.Н. Майоров. – М.: Интеллект-центр, 2001. – 296 с.

5. Рябинова, Е.Н., Буланова, И.Н. Мониторинг успеваемости студентов с помощью педагогических тестов / Е.Н. Рябинова, И.Н. Буланова // Вектор науки ТГУ. Серия «Педагогика, психология». – 2016. – № 4 (27). – С. 16–20.

6. Сафиулин, Р.З. Развитие технологий тестирования в образовании / Р. З. Сафиулин // Управление образованием: теория и практика. – 2015. – № 1 (17). – С. 139–149.

МОТИВЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ОТНОШЕНИЕ СТУДЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВУЗА К ЗАНЯТИЯМ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ

Ишанова О.В. – канд. пед. наук, доцент
Наумов Д.В. – доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. На основании анкетирования студентов филиала ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ» в г. Волжском проведено исследование формирования мотивации к занятиям физической культурой и спортом. Анализируя результаты исследования, авторы пришли к выводу, что, несмотря на то что основными мотивами, которые стимулировали интерес к занятиям, являются укрепление здоровья и повышение привлекательности, у студентов выявлен недостаточный интерес к занятиям физической культурой. Использование на занятиях вариативных форм обучения с учетом интересов и потребностей студентов будет способствовать улучшению физического состояния студентов, а также формированию положительной мотивации к занятиям.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: физическая культура, мотивация, вуз, студенты, программа, здоровье.

ABSTRACT. Based on the questionnaire survey of the university students, a study was conducted of the formation of motivation for physical education and spots. Analyzing the results of the study, the authors came to the conclusion that despite the fact that the main motivations that stimulated interest in pursuing activities were health promotion and increased attractiveness, university students showed little interest in physical education. Use of variable forms of education in classes, taking into account interests and needs of students, all this will contribute to improvement of physical condition of students, as well as formation of positive motivation for classes.

KEYWORD: physical culture, motivation, university, students, program, health.

В соответствии со «Стратегией развития физической культуры и спорта в Российской Федерации до 2020 года» и Государственной программой Российской Федерации «Развитие физической культуры и спорта» доля населения систематически занимающегося физической культурой и спортом к 2020 году должна достигнуть 40 %, а среди обучающейся и студенческой молодежи в вузах – 80 %. Это очень важно, потому как налицо острая проблема с состоянием здоровья подрастающего поколения.

Недостаток двигательной активности, генные и социальные факторы, нарушенная экология, пристрастие к вредным привычкам порождают у молодежи серьезные заболевания. В связи с этим повышение эффективности урока

физкультуры у студенческой молодежи является важнейшей задачей и требует поиска недочетов в работе и их быстрого и эффективного устранения.

В нашей статье мы попытались проанализировать свою работу, а также работу коллег из других вузов, и выступить с предложением по улучшению качества организации процесса физического воспитания у студентов-энергетиков, принимая во внимание профессионально-прикладную направленность изучаемой дисциплины.

Анализируя в целом организацию занятий физической культурой в институте, а также отношение к ним студентов, можно отметить следующие тенденции.

1. Снижение интереса к занятиям физическими упражнениями студентов, особенно в традиционных формах, которые мало учитывают потребности студенческой молодежи.

2. Низкая информированность и активность в сфере здорового образа жизни при высоком значении ЗОЖ в плане эффективности их социальной адаптации [1, 2].

3. Недостаточная готовность первокурсников перейти к организации самостоятельных форм занятий оздоровительной физической культуры.

4. Отсутствие учебно-методической литературы по теме саморазвития личности студента средствами физической культуры.

В настоящее время в вузах ставятся задачи не научить физическим упражнениям, а сформировать у молодого поколения устойчивый интерес к здоровому образу жизни, к пониманию необходимости физического здоровья в овладении профессиональными навыками и общекультурными компетенциями.

Анализ требований федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» профиль «Тепловые электрические станции» к качеству образования показал, что вопросы формирования у обучающихся компетенций, связанных со способностью поддерживать должный уровень физической подготовки для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности (УК-7), предполагают осмысление и разработку эффективных подходов к их решению.

В 2018/2019 учебном году было проведено исследование формирования мотивации к занятиям физической культурой и спортом. В качестве основного метода избрано анкетирование, в котором приняли участие студенты 1–3 курсов по специальности «Теплоэнергетика» в возрасте от 17 до 20 лет (n = 548). Задачей анкетирования было выявление мотивов и стремлений, побуждающих заниматься физической культурой и спортом, наличие знаний о своем организме и о влиянии на него, об оздоровительном воздействиии физкультуры и спорта.

Мотивами занятий физической культурой и спортом, проблемами здорового образа жизни занимались такие ученые, как Ю.С. Лисицин, И.М. Быховская, В.П. Каргаполов, М.Б. Доброрадных, С.В. Щетинина и многие другие. Неблагоприятные экономические, экологические, социальные условия жизни сказываются на уровне физического развития и состоянии здоровья студентов.

В течение уже довольно длительного времени значительное количество студентов высших учебных заведений неудовлетворено традиционными занятиями физической культурой. Все это сказывается на состоянии здоровья, понижении уровня физической подготовленности, а также способствует снижению интереса к занятиям [3].

Анкетный опрос показал, что основными мотивами занятий физкультурой и спортом в филиале МЭИ в г. Волжском по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» профиль «Тепловые электрические станции» являются: неудовлетворенность своим здоровьем – 63 %; критическое отношение к своим внешним данным – 22 %; недостаточная подготовка для сдачи контрольных нормативов в вузе – 9 %; влияние родителей на занятия физической культурой и спортом – 3 %; стремление подражать другим людям – 3 %.

Результаты проведенных исследований показывают, что основной целью, которую преследуют студенты на занятиях физической культурой и спортом в вузе, является укрепление здоровья – 39 %; повышение привлекательности для противоположного пола – 18 %; получение зачета по физической культуре – 16 %; снятие умственного, психического напряжения – 15 %; получение удовольствия от двигательной активности – 10 %; возможность реализовать себя в профессии – 2 % (табл.).

Цели, преследуемые студентами на занятиях физической культурой и спортом

Цели, преследуемые студентами на занятиях физической культурой и спортом	Количество, %
Укрепление здоровья	39
Повышение привлекательности у противоположного пола	18
Получение зачета по физической культуре	16
Снятие умственного, психического напряжения	15
Получение удовольствия от двигательной активности	10
Возможность реализовать себя в профессии	2

Также были выявлены причины, которые мешают студентам регулярно заниматься физической культурой и спортом: 28 % устают после учебы; отсутствие интереса, желания, лень – таков ответ у 20 % респондентов; испытывают материальные трудности – 17 %.

Результаты опроса показали, что подавляющее большинство студентов правильно понимают смысловое значение термина «здоровый образ жизни» и хотели бы в дальнейшем его придерживаться. Многие студенты участвуют в различных физкультурных мероприятиях. В частности, 21 % учащихся регулярно занимаются физкультурой и спортом, стараются обеспечить для себя здоровое питание – 53,7 %, следят за весом – 43,1 %, пытаются соблюдать режим дня – 20,5 % опрошенных. При выяснении факторов риска, присутствующих в образе жизни студентов и вызывающих подобные проявления, опрашиваемые отмечают наличие вредных привычек (курят – 31 % студентов, употребляют алкоголь –

18,5 %). Стрессы, вызванные большой загруженностью на учебных занятиях, приводят к снижению работоспособности и утомляемости (испытывают 48 %).

В результате проведенного исследования достаточно четко просматриваются ценностные установки студентов к занятиям физическими упражнениями, а также необходимость вести здоровый образ жизни. Студенты отдают себе отчет в том, что при отсутствии здоровья ставится под сомнение возможность быть в хорошей физической форме, а это напрямую будет влиять на качество жизни и затруднительно вести трудовую деятельность с полной отдачей.

Все вышеизложенное говорит о необходимости разработок новых методик и программ по физической культуре для студентов с применением следующих нетрадиционных средств.

1. Вариативность формы занятий (возможность ее выбора):

а) на обязательных и дополнительных занятиях студент может выбирать занятия с общей физической подготовкой, в тренажерном зале, на площадке воркаута или в секции единоборств (самбо, тхэквондо);

б) изменение программы занятий в связи с «запросом» студентов;

в) возможность смены избранного вида двигательной активности.

2. Учет интересов и потребностей студентов в сфере физической культуры и спорта (посредством анкетирования, где уточняется, какие виды физической культуры им наиболее интересны);

3. Ознакомление (как информационное, так и практическое) студентов с современными видами физической культуры и фитнеса (например, системой пилатес, различные виды кроссфита, единоборств – самообороны).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев, В.И. Кризис физической культуры студентов и пути его преодоления / В.И. Григорьев // Теория и практика физической культуры. – 2004. – № 2. – С. 54–61.

2. Зиновьев, Н.А. Информированность студентов технического вуза о параметрах здорового образа жизни / Н.А. Зиновьев, А.А. Зиновьев, М.В. Купреев, П.Б. Святченко // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2015. – № 11 (129). – С. 103–107.

3. Постол, О.Л., Методика оздоровления студенток вузов на занятиях по физическому воспитанию с применением традиционных и нетрадиционных средств: дис. … канд. пед. наук / О.Л. Постол. – Хабаровск, 2004. – 198 с.

ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ НА ОБРАЗОВАТЕЛЬНУЮ ПРОГРАММУ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Бондаренко Н.Е. – студент
Науч. рук. ***Дубовикова Е.Ю.*** – канд. экон. наук
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлены основные положения по цифровизации современной энергетики и ее влиянию на образовательный сектор. Определены и предложены пути развития образовательной программы для будущих специалистов-энергетиков в соответствии с требованиями цифровой энергетики.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: цифровизация, образование, энергетический комплекс, кластерная методика.

ABSTRACT. The article presents the main provisions on the digitalization of modern energy and its impact on the educational sector. The ways of developing an educational program for future energy specialists in accordance with the requirements of digital energy have been identified and proposed.

KEYWORDS: digitalization, education, energy complex, cluster method.

В настоящее время глобальным и ключевым трендом во всей отрасли энергетики и ее развитии является цифровизация, которая подразумевает активное использование инновационных цифровых и интеллектуальных технологий. Цифровизация отечественной энергетики началась совсем недавно, но уже успела внести заметный вклад в изменение экономики всего теплоэнергетического комплекса (ТЭК), что привело к переходу основополагающих компаний энергетики на новые бизнес-стратегии. Это способствовало появлению высокой конкурентности. Цифровизация влияет на повышение конкурентоспособности компаний, оптимизацию бизнес-моделей и снижение издержек организаций энергетического кластера. Также главной целью является повышение надежности энергосистем.

В настоящее время внедряются проекты по цифровизации производственных процессов во всех отраслях ТЭК. Например, в отрасли электроэнергетики начали применяться технологии «умных сетей», виртуального мониторинга и прогностики состояния основного электрооборудования. Активно внедряется цифровая диспетчеризация энергообъектов с целью повышения качества энергоснабжения. Также ведется цифровизация производств на уровне компаний и контрольно-надзорных функций на уровне государства. Продолжают создаваться новые сервисы и элементы будущей доверенной информационной среды. В связи с этим среда высшего профессионального образования также вынуждена трансформироваться для подготовки совершенно новых специалистов, подходящих для цифровой энергетики.

У быстрой цифровизации есть и обратная сторона. С приходом цифровых технологий в отрасль технические специалисты начинают больше полагаться на автоматизацию и компьютеризацию. Возникает необходимость в молодых сотрудниках, которые должны быть готовы к самостоятельному выполнению множества различных задач, но при этом могут полагаться на рекомендации удаленных опытных экспертов, обучающие видео и руководства. Чтобы ускорить подготовку специалистов, энергокомпании могут использовать компьютерные тренажеры и симуляторы с технологиями дополненной и виртуальной реальности. Также решить вопрос с кадрами помогает система наставничества. Наставник передает и помогает сохранять новаторские идеи, уникальный опыт, который был сформирован предыдущими коллегами.

Для современной мировой экономики крайне важна ее гибкость и способность быстро меняться в зависимости от требований рынка. Применение новейших цифровых технологий, обеспечивающих конкурентоспособность бизнеса, нельзя представить без переобучения работников производства и формирования у них абсолютно новых навыков работы в современных условиях. При замене старого аналогового оборудования на энергообъектах, которое потеряло свою ценность, морально и физически устарело, на современное цифровое, изменяются и требования к профессиональной квалификации сотрудников и их навыкам. Для цифровой энергетики ключевым является термин «удаленное», который подразумевает удаленную диагностику и мониторинг оборудования, его удаленное обслуживание. В связи с этим сложно назвать профессию работника, который контролирует работу приборов учета удаленно, «электромонтер». В данном случае более уместно звучит профессия «оператор».

Все это влечет за собой необходимость в модернизации образовательных программ для высшего и среднего профессионального образования. С точки зрения практикоориентированности становится необходимым применение гибких технологий обучения, обеспечивающих быструю актуализацию учебных материалов. Также очень важна профессиональная подготовка самих преподавателей, способных научить студента практической работе с инновационным оборудованием, которого зачастую нет в образовательных организациях. Под такие требования больше всего подходят программы дуального обучения, когда вся базовая теория изучается в образовательной организации, а практику и прикладные знания студенты получают в компании под руководством опытных и подготовленных работников. То есть лучшим методом для подготовки новых специалистов, которые могут отвечать наивысшим требованиям, является кластерная методика обучения [1]. . Структурная схема энергетического кластера представлена на рис. 1. Принципы цифровой платформы образования отражены на рис. 2.

Также необходимо доработать профессиональные стандарты по всем компетенциям энергетического комплекса и видоизменить образовательные стандарты для будущих специалистов в качестве системных мер [2].

В настоящее время существует достаточно большое количество вузов и энергопредприятий, между которыми хорошо развита система наставничества. Этому содействует взаимодействие с многочисленными образовательными организациями в рамках дуального обучения; проведение производственных практик в компании или в студенческих отрядах; выполнение студентами исследовательских и выпускных квалификационных работ совместно с наставниками в энергетических компаниях; проведение международных чемпионатов по профессиональному мастерству, в ходе которых студенты перенимают опыт сотрудников и вступают в кадровый резерв.

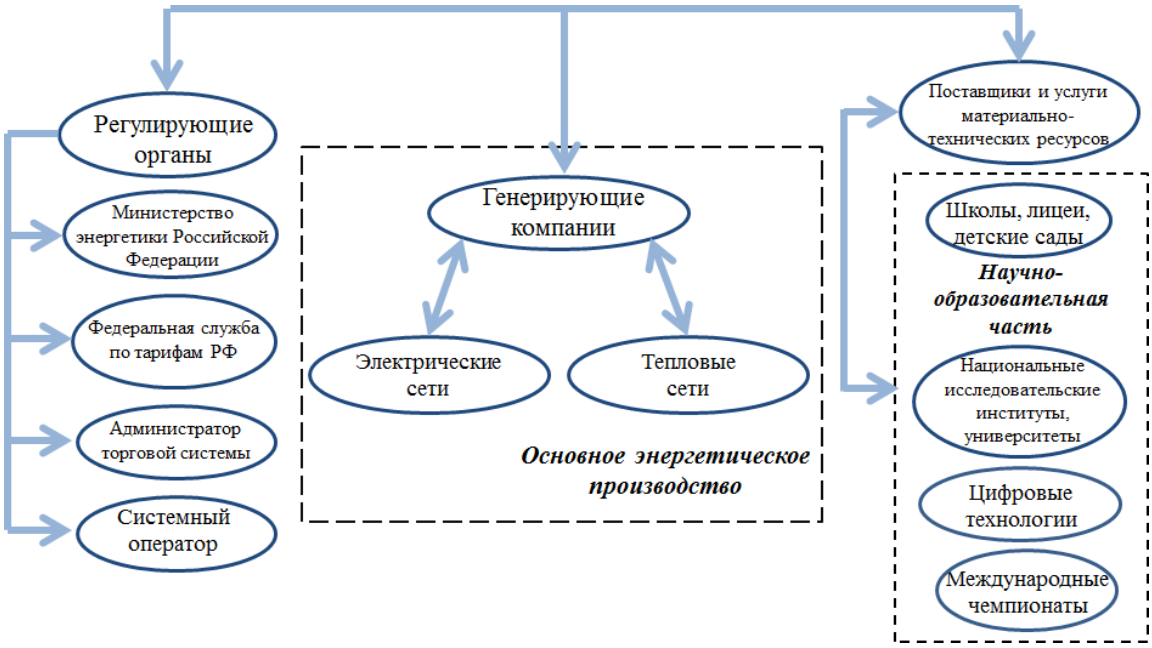

Рис. 1. Структурная схема энергетического кластера

Рис. 2. Принципы цифровой платформы образования

Также компании поддерживают мероприятия по профориентации не только студентов, но и школьников. Для энергетики важны новые кадры, поэтому цель этих мероприятий – популяризация технических специальностей и привлечение новых лиц в отрасль. Заинтересованные компании энергокомплекса занимаются отбором и развитием талантливых детей, способствуют реализации их инициатив, курируют поступление и обучение в вузах с последующим трудоустройством на предприятиях.

В ежегодные комплексные планы взаимодействия с образовательными организациями включаются важные мероприятия по актуализации действующих и разработке новых образовательных программ с учетом цифровой тематики как для студентов и школьников, так и для работников компаний. В настоящее время уже началась модернизация учебных программ в образовательных организациях, активно применяется практика обучения студентов и стажировок преподавателей на цифровых объектах компаний. Продолжается и усиливается внедрение инновационных решений, в том числе цифровизация производств на уровне компаний и контрольно-надзорных функций на уровне государства. Продолжают создаваться новые цифровые сервисы информационной среды. Вся сфера профессионального образования трансформируется под подготовку специалистов, необходимых для цифровой энергетики.

Вопрос подготовки современных специалистов является ключевым для цифровизации энергетики. Они должны не только обладать набором современных знаний, но и быть способными быстро осваивать новые технологии, о которых еще не было известно. Образовательные программы должны, с одной стороны, сохранить существующие традиции в части подготовки инженеров-энергетиков, обеспечивая формирование фундаментальных знаний в области функционирования электроэнергетических систем, с другой – способствовать формированию углубленной подготовки в области цифровых технологий.

Таким образом, необходимо создание кадрового резерва из специалистов, которые сочетают в себе навыки по программированию и обширные знания в энергетике. Для улучшения подготовки будущих специалистов необходимо применение кластерной методики и дуального образования с возможностью обучения по новейшим цифровым технологиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко, Н.Е., Дубовикова, Е.Ю. Значимость кластерных методик в развитии образовательного процесса / Н.Е. Бондаренко, Е.Ю. Дубовикова // Двадцать пятая межвузовская научно-практическая конференция молодых ученых и студентов: тезисы докладов. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2019. – С. 92–94.

2. Перспективы развития цифрового образования в Российской Федерации // Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. – М., 2019. – С. 3.

СФЕРА ОБРАЗОВАНИЯ И ЧЕТВЕРТАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ

Попова М.В. – студент
Науч. рук. ***Опара А.А.*** – канд. филол. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье обоснована актуальность необходимости пересмотра подхода к образованию, основанная на реалиях, которые диктует четвертая промышленная революция, сформулированы основные направления для реализации этих изменений, а также пример их внедрения в ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: четвертая промышленная революция, современное высшее образование, Индустрия 4.0, цифровизация, перспективы образования, образование и промышленность, МЭИ.

ABSTRACT. The article justifies the relevance of the need to revise the approach to higher education based on the realities dictated by the Fourth Industrial Revolution,the main directions for the implementation of these changesare formulated, as well as an example of their implementation at National Research University "Moscow Power Engineering Institute.

KEYWORDS: The Fourth Industrial Revolution, modern higher education, Industry 4.0, digitalization, education prospects, education and industry, MPEI.

Сегодня общество находится в условиях крайне динамичного изменения технологического уклада, вследствие чего проблема корректировки образовательной системы, а особенно высшего образования, крайне актуальна. На протяжении многих лет традиционное советское образование в вузах нашей страны вполне успешно справлялось с подготовкой кадров как для работы на предприятиях, так и для науки. Но сейчас набирает обороты так называемая четвертая промышленная революция. Таким образом, на пути образования возникают трудности даже с первичным определением набора навыков и личностных качеств, которым должен обладать отвечающий потребностям времени специалист. Общеизвестно, что этот набор непрерывно пополняется, видоизменяется, какие-то навыки заменяются компьютерным интеллектом, а какие-то – появляются вновь, становясь востребованными.

К тому же сейчас период актуальности многих технологий стал практически эквивалентен периоду обучения, вследствие чего появляется опасность снижения, а то и полной потери востребованности специальностей, по которым начата подготовка. То есть как студент, так и образовательное заведение могут столкнуться с необходимостью переориентировки всего учебного плана на другой итоговый результат прямо в процессе обучения. Все еще сильно выраженная консервативность в сфере образования, усугубляемая слабой степенью

студентоориентированности в построении образовательных программ, а также жесткость нормативного регулирования образовательной деятельности и недостаточное взаимодействие с промышленными предприятиями замедляют процесс адаптации сферы образования к реалиям, которые ставит перед нами четвертая промышленная революция.

Таким образом, становится очевидной необходимость пересмотра подхода к образовательному процессу в целом. При формулировании современной образовательной парадигмы нужно ориентироваться, прежде всего, на ее согласованность с парадигмой промышленного производства. Ведь если обучение будет происходить только в условиях жесткой образовательной среды, то полученные в процессе обучения навыки не будут в достаточной мере эффективны в работе, требующей максимальной гибкости.

В большинстве иностранных вузов сегодня активно внедряются такие модели, как «Обучение через всю жизнь» (LifelongLearning), «Обучение через практику» (LearningbyDoing) и прочие. В Указе Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» также отражены эти направления развития сферы российского образования [1].

Основные векторы развития можно сформулировать следующим образом.

1. Масштабная и всесторонняя цифровизация, обеспечивающая возможность доступа к учебным материалам в любое время, предполагающая гибкость способов подачи материала и контроля успеваемости, а также способствующая созданию распределенных исследовательских, трудовых и учебных команд.

2. Персонализация образовательного процесса, то есть более активное и широкое использование уже существующей практики создания индивидуальных образовательных траекторий. Также под персонализацией следует понимать ориентацию на актуальные и перспективные потребности не только студентов, но и работодателей, предприятий.

3. Признание как формального, так и неформального образования. Размытие физических границ образовательных учреждений, акцент на качество знаний, а не на место их получения.

4. Создание межвузовских платформ для обмена опытом, организации научно-образовательных курсов, а также для совместной работы над реальными проектами, курируемыми бизнес-сектором. Причем специалисты считают, что для университетов России такие «творческие пространства» необходимо интегрировать в образовательный процесс как общеобязательные, а не дополнительные.

Стоит заметить, что многие составляющие современной системы обучения, особенно касающиеся взаимодействия университетов и промышленных предприятий, были реализованы в традиционной советской системе образования. Сейчас также актуально в первую очередь не просто дать конкретный материал по дисциплине, а выработать навык самостоятельно находить необходимые знания, «научить учиться».

Таким образом, в последние несколько лет происходит постепенная, но динамичная реформация всех уровней образования, в особенности затрагивающая среднее специальное и высшее.

Стратегия развития Московского энергетического института до 2030 года предполагает следующие аспекты реализации указанных выше направлений развития:

– подготовка пилотных проектов по дистанционному и смешанному обучению в МЭИ;

– развитие сети филиалов;

– создание крупных межкафедральных научных центров на базе институтов;

– обеспечение тесного сотрудничества с крупными энергетическими компаниями и т. д.

НИУ «МЭИ» сотрудничает с более чем 150 вузами. В 2013 году МЭИ вошел в число учредителей Международного образовательного форума по развитию электроэнергетических технологий ADEPT, объединяющего университеты пяти континентов. Также за последние 15 лет МЭИ совместно с партнерскими вузами создал ряд международных совместных образовательных программ магистратуры, ведущих к получению двух дипломов. Стоит упомянуть программу обучения студентов на немецком языке «Германский инженерный факультет ТУ Ильменау». В ней приняли участие более 700 студентов МЭИ, в том числе обучающиеся филиала МЭИ в г. Волжском.

Стратегическими партнерами университета на данный момент являются более 15 крупных энергокомпаний: ПАО «Россети», ПАО «ЕФСК ЕЭС», ПАО «РусГидро» и пр. [2].

Помимо этого, в НИУ «МЭИ» практикуется обучение по основным образовательным программам бакалавриата, специалитета и магистратуры по всем формам подготовки, а также по дополнительным программам повышения квалификации или переподготовки с использованием дистанционных образовательных технологий (ДОТ). «При обучении с применением ДОТ студент получает доступ к системе дистанционного обучения, в которой размещены учебные и контрольные материалы. В процессе дистанционного обучения студент взаимодействует с преподавателями и другими студентами, принимает участие в тематических форумах и вебинарах» [3].

Обобщая вышесказанное, следует выделить следующее: для эффективной подготовки кадров необходимо следовать не стратегии догоняющего развития, а стратегии опережения, предугадывая новые тенденции в образовательной сфере и внедряя их в учебный процесс. Также не стоит забывать о международном сотрудничестве (всевозможные программы по студенческому обмену, совместные научно-образовательные центры, обмен опытом между преподавателями). И особо следует выделить тот фактор, что структура и приоритет направлений подготовки определяются естественным спросом со стороны промышленного сектора, в котором в настоящее время наблюдается очевидный

перевес в сторону инженерной подготовки. Поэтому для каждого вуза очевиден приоритет тесного взаимодействия с производственным сектором [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» (пункт 5).

2. Стратегические партнеры [Электронный ресурс]. URL: https://mpei.ru/AboutUniverse /Partners/Pages/strategic.aspx (дата обращения 09.05.2020)

3. Дистанционные образовательные технологии в НИУ «МЭИ» [Электронный ресурс]. URL: https://mpei.ru/Education/DistanceLearning/Pages/default.aspx (дата обращения 09.05.2020).

4. Алексанков, А.М. Четвертая промышленная революция и модернизация образования: международный опыт [Электронный ресурс]. URL: http://sec.chgik.ru/chetvertaya-promyishlennaya-revolyutsiya-i-modernizatsiya-obrazovaniya-mezhdunarodnyiy-opyit-2/ (дата обращения 07.05.2020).

ПОНЯТИЙНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ТЕРМИНА «ВОДОРОД»

Чернышкова А.В. – учащаяся предуниверситария
Науч. рук. ***Опара А.А.*** – канд. филол. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

АННОТАЦИЯ. В статье представлен анализ понятийной составляющей термина «водород». Рассмотрены семантические и словообразовательные характеристики термина.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водород, термин, способы словообразования.

ABSTRACT. The article presents an analysis of the conceptual component of the term «hydrogen». Semantic and word-forming characteristics of the term are considered.

KEYWORDS: hydrogen, term, methods of word-forming.

Актуальность выбранной исследовательской темы объясняется активным развитием водородной энергетики в мире и широким освещением данной сферы как в русской, так и зарубежной прессе и публицистике. Как известно, возникновение новых реалий и понятий приводит к появлению в коммуникации ранее не существовавших слов, которые необходимы для их обозначения. Формирование новых лексем происходит как путем заимствования из других языков, так и за счет собственных словообразовательных средств языка. При этом новообразования не успевают фиксироваться лексикографическими источниками. Например, многочисленные лексические единицы, принадлежащие к тематической сфере водородной энергетики и зафиксированные в английском языке в последние десятилетия, не регламентируются терминологическими справочниками и отсутствуют в переводных словарях.

В связи с этим будущие специалисты энергетической отрасли при работе с техническими текстами могут столкнуться с проблемой их понимания и перевода на русский язык. Цель работы заключалась в поиске теоретических оснований и методических принципов составления англо-русского словаря-минимума терминов лексико-семантического поля «водород», предназначенного как для учащихся предуниверситария, так и для студентов, обучающихся на энергетических специальностях. В процессе реализации данной цели были решены следующие задачи: собраны статьи на русском и английском языках, посвященные вопросам развития и применения водорода в различных сферах; выполнен содержательный анализ и перевод текстового материала общим объемом два печатных листа.

Термин – это специализированное слово, ограниченное своим значением, характеризующееся однозначностью, систематичностью, стилистической нейтральностью и международностью. В отличие от слов общей лексики, которые зачастую многозначны и несут эмоциональную окраску, термины однозначны и лишены экспрессии [1].

Слово *водород* латинского происхождения *hydrogenium*, на английский язык переводится как *hydrogen*. В Малом академическом словаре водород определяется как химический элемент, легкий газ, образующий в соединении с кислородом воду [2]. Синонимичный ряд составляют термины *элемент*, *газ*, *топливо*, *тритий*, *дейтерий*. Ассоциативный ряд отражает системный подход использования водорода в различных химических процессах: *нагревание, растворимость, полимеризация, окисление.* С позиции словообразования данная лексема очень продуктивна. От основы слова *водород* образованы: существительные (*водородчик, водородопровод, углеводород, сероводород, фтороводород, фторуглеводород, бороводород*) и прилагательные (*водородный, водороддобывающий, водородсодержащий).*

Мы выделили несколько способов словообразования терминов с лексемой *водород*: 1) сложение или сращение двух основ, несобственное сложение, так как образовано без соединительной гласной, например: *углеводород*; 2) сложение или сращение двух основ, собственное сложение, так как образовано с помощью соединительной гласной: *бороводород*; 3) суффиксальный: *водородчик*; 4) суффиксальный, сложение или сращение двух основ без соединительной гласной: *водородсодержащий.* 5) сложение трех основ: *фторуглеводород.*

Свойства водорода подчеркиваются посредством прилагательных: *тяжелый, цианистый, звездный, металлический, газообразный*. Существительное *водород* образует семантический ряд с зависимым существительным, например: *перекись водорода, ионы водорода, атомы водорода, ядра водорода, молекулы водорода, изотопы водорода, выделение водорода, горение водорода, запасы водорода*. В сочетание с глаголом данная лексема выражает состояние, например *состоять из водорода*, или процесс: *соединяться с водородом*, *получить водород*. Необходимость использования водорода в жизни человека закреплена в обыденном сознании посредством народного творчества.

Например:

Водород – хоть и простой,
Но нам всем он нужен.
Хоть и весом он «пустой»,
Но с другими дружен.
Во Вселенной он везде:
Солнце, газы, звезды;
А в межзвездном веществе
Его еще больше.
Сам бесцветен этот газ,
Не имеет вкуса.
За открыв его – наказ,
Ибо будет худо.
Он – основа всех кислот,
Гидроксидов – тоже,
Всех гидридов и солей.
Он чудесен просто.
Подожги же в кислороде –
Будет взрыв серьезный.
Но на этот случай он
Предлагает воду.
Он имеет изотопы,
Названные просто:
Протий, дейтерий и тритий,
Это не так сложно.
Брось металл же в кислоту –
Будет водород вам.
Но тогда металлу должно
Водорода быть сильней.
В заключении своем
Я хочу сказать вам:
Не играйте вы с огнем,
А попейте воду [3].

Лев Бондаревский посвятил ироничное стихотворение женщине.

Ароматические углеводороды!
Люблю, когда столь странные слова
Войдут в стихи совсем другой породы.
Так, скажем, запах, слышимый едва,
В чужой толпе французскими духами
Вдруг мне напомнит о знакомой даме [4].

Таким образом, понятийная составляющая термина *водород* семантически содержательна и продуктивна в плане развития терминологической системы русского языка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Реформатский, А.А. Введение в языковедение: учебник для вузов / А.А. Реформатский. – М.: Аспект Пресс, 2011.

2. Малый академический словарь; под ред. А. П. Евгеньева. – М.: Русский язык, 1981–1984.

3. Стихи, картинки и любовь [Электронный ресурс]. URL: https://chto-takoe-lyubov.net/stixi-pro-vodorod/ (дата обращения: 17.05.2020).

4. Стихи о водороде [Электронный ресурс]. URL: https://poemata.ru/poets/bondarevskiy-lev/aromaticheskie-uglevodorody/ (дата обращения: 17.05.2020).

СОДЕРЖАНИЕ

Секция № 1

Информационные технологии и инновации в энергетике

Гладков В.А., Зенина Е.Г. Исследование поведения параметров сети в зависимости от режима работы нейтрали…….…..…… 3
Фирсов Ю.В., Норов Дж. Ш., Курьянов В.Н. Анализ средств и способов обнаружения мест повреждений на воздушных линиях электропередачи напряжением 110 кВ и выше……...…. 9
Агринский А.Е., Агринская С.А. Интернет энергии. Microgrid……..……... 14
Gunter Carster. Electric Power Engineering…….…… 18

Секция № 2

Цифровизация и автоматизация энергосистем

Луненко В.С., Меньшиков П.Д., Болдырев И.А. Исследование систем контроля эксплуатации и анализа надежности энергетического оборудования с применением облачных технологий……...…… 20
Баранников Д.И., Горбань Ю.А. Разработка и исследование системы автоматического управления деаэратором на Волжской ТЭЦ……..….. 23
Меньшиков П.Д., Болдырев И.А. Интернет вещей и вопросы безопасности.... 26
Насратшоев Ф.Х., Зенина Е.Г. Применение реклоузера для повышения эффективности защиты линий от коротких замыканий……..……. 28
Норов Дж. Ш., Фирсов Ю.В., Курьянов В.Н. Анализ современных неизолированных высокопрочных и высокотемпературных проводов 220 кВ……...……. 33
Щербаков А.С., Болдырев И.А. Разработка и исследование САУ ЦТП 23/1 в г. Волжском…….……..…. 37
Кузнецов А.С., Михайлова О.В., Болдырев И.А. Выявление рисков, связанных с цифровизацией в сфере энергетики…….. 40
Олимпиев С.А. Исследование надежности системы автоматического управления РОУ……....…. 43
Федяшова Ю.С., Кущ Л.Р. Оценка эффективности применения беспилотных летательных аппаратов для обслуживания ЛЭП, ПС……..... 46
Давыденко В.Л., Болдырев И.А. Исследование систем учета тепловой энергии и разработка лабораторного стенда……..... 50
Курбанов В.В. Разработка и исследование системы автоматического регулирования тепловой нагрузки Волжской ТЭЦ-2……... 54
Чернышов Е.Д., Болдырев И.А. Разработка и исследование системы автоматического управления деаэратором ДСП-500М.……..…. 59
Морозов А.С., Болдырев И.А. Разработка и исследование системы автоматического управления вентиляцией вспомогательных помещений Ростовской АЭС……..….. 62
Иванов Ф.А., ***Султанов М.М.*** Алгоритм работы модуля «Цифровая библиотека»….. 66

Секция № 3
Электротехника, электромеханика и электротехнологии процессов

Попов С.В., Тышкевич В.Н., Курьянов В.Н. Определение усилий в растяжках анкерно-угловых опор ЛЭП…….……..... 68
Жалнин А.Ю., Юрина В.Ю., Зенина Е.Г. Анализ систем диагностики основного оборудования……...……... 71
Ванифатьев Р.В., Трохимчук М.В. Анализ возможности применения морских плавучих ветроэлектростанций для энергоснабжения морских и прибрежных потребителей…….…….…. 74
Карпенко И.А., Стрижиченко А.В. Анализ применения проводов новых конструкций на примере воздушной линии «Саратовская ГЭС – Кубра»…..... 77
Косенко Е.А., Зенина Е.Г. Анализ современных методов молниезащиты сложных взрывоопасных объектов……...…….. 82
Михайлова О.В., Попов Е.И., Зенина Е.Г. Оптимизация процесса технологического присоединения…..……...….. 87
Ерофеев Д.А., Шамигулов П.В. Устройство для определения максимальной полезной мощности нетрадиционных источников энергии с использованием ШИМ-нагрузки…….……... 90
Ефимов В.В., Стрижиченко А.В. Влияние несимметричного распределения нагрузок по фазам на потери электроэнергии в сетях 0,4 кВ……..……. 93
Яковлев Р.А., Жилина В.И. Исследование режимов работы силового трансформатора на примере Среднеахтубинского РЭС…….……..…. 98
Губанов Л.С., Зенина Е.Г. Разработка методики диагностирования силовых трансформаторов…….…...……..…101
Пестрецов Д.В., Индолова А.А., Жилина В.И. Методы оптимизации режимов работы силового трансформатора.……...……..…104

Секция № 4
Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии

Бондаренко Н.Е., Байдакова Н.В. Исследование вместимости и производительности станции подземного хранения газа……..……107
Рябов А.Ю., Стрижиченко А.В. Выбор номеров ответвлений отпаек фазоповоротного комплекса в филиале ПАО «Русгидро» – «Волжская ГЭС» для различных установившихся режимов……..……110
Попова М.В., Гусева Ю.В. Расчет параметров химических процессов в водородных реакторах проточного типа..…….……..…… 116
Васильев А.Р., Кострюков С.А., Гусева Ю.В. Модельная установка получения водорода в лабораторных условиях…….……...……118

Секция № 5
Энергоэффективность, ресурсосбережение и экологическая безопасность

Полынкина А.Д., Султанов М.М. Дизель-генераторная установка мощностью 150 кВт в системе комплексной генерации Микрогрид…..…… 121
Полякова А.В., Султанов М.М. Проект электрической части комплексной генерирующей системы мощностью 1 МВт на базе Микрогрид...……..…… 124
Репин Г.С., Султанов М.М. Реализация интелектуальной экосистемы с инфраструктурной Smart Grid «Умный энергорайон будущего»……..…. 128
Луненко В.С., Рекаева Л.А., Скопова Е.М., Курьянов В.Н. Прогнозирование показателей надежности систем регулирования паровых турбин ТЭЦ……..… 129
Рекаева Л.А., Курьянов В.Н. Краткий обзор методов повышения надежности энергетического оборудования ТЭС……...…..…… 134
Крютченко А.А., Султанов М.М. Эффективность применения предсепарации пара в системе СПП энергоблоков АЭС с реактором ВВЭР-1000..... 139
Алкин Н.С., Константинов А.А. Анализ нормативно-технической документации для оценки инвестиционного проекта в области энергетики…. 141
Селезнева В.В., Курьянова Е.В., Иваницкий М.С. Анализ параметров управления котельными установками по показателям надежности……..…. 144
Мишакова А.А., Одоевцева М.В. Оценка эффективности применения моющих растворов для мембранных модулей установки обратного осмоса Волгоградской ТЭЦ-2……..… 147
Чумаков Н.Г., Одоевцева М.В. Повышение экономичности котельного оборудования Селегинского ЦКК путем модернизации водоподготовительной установки……..…151
Карпенко И.А.,Одоевцева М.В. Особенности эксплуатации энергетических масел на предприятиях Южного и Приволжского федеральных округов…..… 155
Торгашин Д.С., Зенина Е.Г. Алгоритм работы системы учета расхода электрической и тепловой энергий……..…... 159
Жуков Е.А., Жилина В.И. Повышение эффективности теплоэнергетического оборудования……..……165
Светлов В.В., Кущ Л.Р. Использование теплоты горячей заготовки при производстве труб……...…..…166
Текучев А.В., Ребров М.П., Чубко Ю.М. Внутритрубная диагностика тепловых сетей как важный элемент надежности функционирования системы теплоснабжения……..... 168
Валиев Х.Б., Байдакова Н.В. Анализ основных направлений энергетической стратегии развития России на период до 2030 года……..… 171
Дорофеев Ю.Н., Кульков В.Г. Механизмы порообразования в жаропрочных сплавах при миграции межзеренных границ……..…... 174

Гусева Ю.В. Фон внутреннего трения на межкристаллитных границах в металлах……..…178
Бабасиев М., Трохимчук М.В. Исследование процесса подтопления и его влияния на инженерные сооружения……..….. 180
Алексеева К.Т., Трохимчук М.В. Анализ использования низкопотенциальных источников энергии в системе централизованного теплоснабжения…….…. 181
Спиридонов Д.А., Одоевцева М.В. Повышение тепловой экономичности котельных установок Волжской ТЭЦ за счет применения мембранной водоочистки……..……..……184
Назарова Д.Е., Латышов К.В., Одоевцева М.В. Мембранная установка подготовки воды с рекуперацией энергии……..……...… 189
Асосков Р.И., Кущ Л.Р. Разработка тепловой математической модели температурного поля асинхронного электродвигателя……..….. 192

Секция № 6

Социально-экономические и образовательные процессы в энергетической отрасли

Опара А.А. Понятийная составляющая образовательного процесса в период пандемии……..…..196
Ходырева Н.Г., Устинова Л.Г. Использование тестовых технологий для оценивания качества знаний по математике учащихся предуниверситария МЭИ……..……...200
Ишанова О.В., Наумов Д.В. Мотивы, определяющие отношение студентов энергетического вуза к занятиям физической культурой……..……. 204
Бондаренко Н.Е., Дубовикова Е.Ю. Влияние цифровизации в энергетической отрасли на образовательную программу будущих специалистов……..…...208
Попова М.В., Опара А.А. Сфера образования и четвертая промышленная революция……..…212
Чернышкова А.В., Опара А.А. Понятийная составляющая термина «водород»……...……..……215