

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Энергетический факультет

# **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ**

Материалы 77-й  
научно-технической конференции студентов  
и аспирантов

*Апрель 2021 г.*

Минск  
БНТУ  
2021

УДК 621.311  
ББК 31я43  
А43

**Редакционная коллегия:**

Пономаренко Евгений Геннадьевич – декан энергетического факультета БНТУ, кандидат технических наук, доцент.

Седнин Владимир Александрович – заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника», доктор технических наук, профессор.

Карницкий Николай Борисович – заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции», доктор технических наук, профессор.

Фурсанов Михаил Иванович – заведующий кафедрой «Электрические системы», доктор технических наук, профессор.

**Составитель:**

Жуковская Татьяна Евгеньевна – старший преподаватель кафедры «Электротехника и электроника» БНТУ.

В сборник включены материалы 77-й научно-технической конференции студентов и аспирантов БНТУ «Актуальные проблемы энергетики» (апрель 2021 г.).

Статьи печатаются в авторской редакции.

**Требования к системе:** IBM PC-совместимый ПК стандартной конфигурации, дисковод CD-ROM. Программа работает в среде Windows.

**Открытие электронного издания** проводится посредством запуска файла EF\_SNTK77. Возможен просмотр электронного издания непосредственно с компакт-диска без предварительного копирования на жесткий диск компьютера.

Дата доступа в сети: 08.07.2021. Объем издания: 8,05 Мб. Заказ 339

Белорусский национальный технический университет  
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел (017) 292-40-81, факс (017) 292-91-37

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ТЕХНОЛОГИИ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ .....</b>	<b>7</b>
Г.Д. Козин.....	7
Научный руководитель – Е.В. Мышковец, старший преподаватель.....	7
<b>ГЕЛИОЭНЕРГЕТИКА ЗА РУБЕЖОМ И В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ.....</b>	<b>11</b>
М.Н. Булин, А.В. Борщевский, Д.Д. Тарасевич .....	11
Научный руководитель – Е.М. Гецман, старший преподаватель .....	11
<b> ГИБКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЕРЕДАЧИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....</b>	<b>18</b>
А.А. Пальчастая, В.В. Люкевич.....	18
Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель .....	18
<b>МЕТОД ЗЕЙДЕЛЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СЛАУ .....</b>	<b>22</b>
К.А. Марчук.....	22
Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель, .....	22
Е.М. Гецман, старший преподаватель .....	22
<b>РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМОЙ РЕЗЕРВИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ МЕТОДОМ ДЕРЕВА ОТКАЗОВ .....</b>	<b>26</b>
А.А. Ковзан .....	26
Научный руководитель – А.Л. Старжинский, к.т.н., доцент .....	26
<b>ЭНТРОПИЙНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК .....</b>	<b>31</b>
В.В. Дюров, Т.Д. Невмержицкая .....	31
Научный руководитель – А.Л. Старжинский, к.т.н., доцент .....	31
<b>МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УМНЫХ СЕТЕЙ .....</b>	<b>39</b>
М.Н. Поздняков, С.Н. Коротченко .....	39
Научный руководитель – М.И. Фурсанов, д.т.н., профессор.....	39
<b>ПРОГРАММА ДЛЯ ВЫБОРА ЖЕСТКИХ ШИН ПО УСЛОВИЯМ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ....</b>	<b>43</b>
В.М. Лугачёв .....	43
Научный руководитель – С.Г. Гапанюк, старший преподаватель.....	43
<b>АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ИСПОЛНЕНИЯ ЛИНИЙ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА .....</b>	<b>49</b>
П.В. Сурович.....	49
Научный руководитель – В.Н. Калечиц, магистр технических наук, старший преподаватель .	49
<b>СРАВНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА РАЗНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ .....</b>	<b>55</b>
Ю.И. Богданов, А.С. Пильник .....	55
Научный руководитель – В.Б. Козловская, к.т.н., доцент .....	55
<b>СИНХРОННЫЙ КОМПЕНСАТОР В АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ДВУХТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИЕЙ .....</b>	<b>59</b>
Н.П. Ваник, Д.А. Кириченко.....	59
Научный руководитель – В.П. Счастный, к.т.н., доцент .....	59

<b>ВНЕДРЕНИЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ.....</b>	<b>63</b>
В.Г. БЕСПАЛОВА .....	63
Научный руководитель – С.В. КОНСТАНТИНОВА, К.Т.Н., ДОЦЕНТ.....	63
<b>СПОСОБЫ ТОКООГРАНИЧЕНИЕ В СЕТЯХ ДО 1 КВ .....</b>	<b>66</b>
П.В. СУРОВИЧ.....	66
Руководитель – А.Ю. КАПУСТИНСКИЙ, АССИСТЕНТ.....	66
<b>ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕПРОЦЕССЫ В ЭКРАНИРОВАННЫХ ТОКОПРОВОДАХ.....</b>	<b>71</b>
В.Д. ТИХНО .....	71
Научный руководитель – С.В. КОНСТАНТИНОВА, К.Т.Н., ДОЦЕНТ.....	71
<b>ВОЗНИКНОВЕНИЕ ИЗГИБА В ЭЛЕМЕНТАХ ТУРБИНЫ.....</b>	<b>75</b>
Д.А. ХЛОПКОВА, С.Е. МАРКЕВИЧ, Е.А. САВЕНКО .....	75
Научный руководитель – Н.В. ПАНТЕЛЕЙ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ .....	75
<b>ЗАМЕЩЕНИЕ ТРАДИЦИОННЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ АЛЬТЕРНАТИВНЫМИ. МУСОРОСЖИГАНИЕ .....</b>	<b>80</b>
В.М. КОЛОС, Е.Ю. СОЛОВЬЕВА .....	80
Научный руководитель – В.В. КРАВЧЕНКО, К.Э.Н., ДОЦЕНТ.....	80
<b>ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАБОТЫ ЛУКОМЛЬСКОЙ ГРЭС.....</b>	<b>85</b>
В.Ю. МИХАЛЧЁНОК, К.С. ИВАНОВА .....	85
Научный руководитель – С.А. КАЧАН, К.Т.Н., ДОЦЕНТ .....	85
<b>МЕТОДЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ .....</b>	<b>89</b>
С.Е. МАРКЕВИЧ, Е.И. СМЫКАЛ, Д.А. ХЛОПКОВА, М.В. ШЕПЕЛЕВ .....	89
Научный руководитель – В.А. РОМАНКО, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ .....	89
<b>ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ ВОЗДУШНОЙ ТУРБИНЫ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ КАФЕДРЫ ТЭС БНТУ .....</b>	<b>94</b>
К.А. КРИВИЦКАЯ.....	94
Научный руководитель – Н.Б. КАРНИЦКИЙ, Д.Т.Н., ПРОФЕССОР.....	94
<b>ОХЛАДИТЕЛИ ПАРА .....</b>	<b>99</b>
А.Д. БЕЛОЗЁРОВА, В.С. БАЯНКОВА .....	99
Научный руководитель – Н.В. ЛЕВШИН, К.Т.Н., ДОЦЕНТ.....	99
<b>ПОНИЖЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СЕТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ.....</b>	<b>104</b>
А.А. КАЗАК, И.С. ЕВСИЕВИЧ .....	104
Научный руководитель – С.И. РАКЕВИЧ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ.....	104
<b>ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ НАСОСОВ НА ТЭС .....</b>	<b>108</b>
Е.И. СМЫКАЛ, М.В. ШЕПЕЛЕВ.....	108
Научный руководитель – Е.В. ПРОНКЕВИЧ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ .....	108
<b>ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОСВОЕНИИ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ. ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ АВАРИЙ НА АЭС.....</b>	<b>114</b>
Р.В. АДАМЧУК, А.А. КАЗАК .....	114
Научные руководители – А.Л. БУРОВ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ, А.А. ПАВЛОВСКАЯ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ .....	114

<b>ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА .....</b>	<b>119</b>
М.Б. МАКЕЕВА, П.А. ПЕРЕХВАЛ .....	119
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – В.В. ЯНЧУК, ПРЕПОДАВАТЕЛЬ-СТАЖЕР .....	119
<b>УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЦИКЛА ЛИНДЕ .....</b>	<b>123</b>
Ю.С. КОХАН, О.Г. ЩЕСНЯК .....	123
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Ю.П. ЯРМОЛЬЧИК, К.Т.Н., ДОЦЕНТ .....	123
<b>РАЗРАБОТКА ПОЛЕВОГО ГОСПИТАЛЯ С ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГО- И ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ .</b>	<b>128</b>
Ю.С. ЗЕЛЕНИНА .....	128
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – И.Л. ИОКОВА, К.Т.Н., ДОЦЕНТ .....	128
<b>ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ.....</b>	<b>134</b>
К.А. МИХОЛАП, А.В. ЧЕШКИН.....	134
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – М.И. ПОЗДНЯКОВА, АССИСТЕНТ .....	134
<b>ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА ЭЛЕКТРОЛИЗОМ ВОДЫ.....</b>	<b>140</b>
Р.С. ИГНАТОВИЧ .....	140
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – В.А. СЕДНИН, Д.Т.Н., ПРОФЕССОР .....	140
<b>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПУТЕМ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ВЭР ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....</b>	<b>145</b>
И.В. ВАСИЛЕВСКИЙ, Я.С. ЯЦУХНО .....	145
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – А.А. БОБИЧ, К.Т.Н., ДОЦЕНТ .....	145
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СБОРКИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ В ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАБОРАТОРИИ .....</b>	<b>149</b>
А.В. БОРЩЕВСКИЙ.....	149
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Ю.В. БЛАДЫКО, К.Т.Н., ДОЦЕНТ .....	149
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СБОРКИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ В ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАБОРАТОРИИ .....</b>	<b>155</b>
А.В. БОРЩЕВСКИЙ.....	155
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Ю.В. БЛАДЫКО, К.Т.Н., ДОЦЕНТ .....	155
<b>ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ БАТАРЕЙ В ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ.....</b>	<b>160</b>
А.В. БОРЩЕВСКИЙ.....	160
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Ю.В. БЛАДЫКО, К.Т.Н., ДОЦЕНТ .....	160
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СБОРКИ АККУМУЛЯТОРОВ С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПОДПИТКОЙ .....</b>	<b>164</b>
С.В. ЛОЗИЦКАЯ .....	164
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Ю.В. БЛАДЫКО, К.Т.Н., ДОЦЕНТ .....	164
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДИКАТОРОВ БАТАРЕЙ АККУМУЛЯТОРОВ.....</b>	<b>167</b>
С.В. ЛОЗИЦКАЯ .....	167
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Ю.В. БЛАДЫКО, К.Т.Н., ДОЦЕНТ .....	167
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДИКАТОРА ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРА .....</b>	<b>173</b>
С.В. ЛОЗИЦКАЯ .....	173
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Ю.В. БЛАДЫКО, К.Т.Н., ДОЦЕНТ .....	173

<b>ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА ПРИБЫЛИ И РЕНТАБЕЛЬНОСТИ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ .....</b>	<b>176</b>
В.В. АГАФОНОВА, И.Р. ШОРОХОВ .....	176
Научный руководитель – Н.А. ЮДИНА, К.Х.Н., ДОЦЕНТ .....	176
<b>ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЛОГИСТИКА: МИРОВОЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА .....</b>	<b>180</b>
Е.К. БАШАРКЕВИЧ, А.Д. МАКСИМЧУК .....	180
Научный руководитель – Е.П. КОРСАК, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ .....	180
<b>ТРУД, КАДРЫ И ОПЛАТА ТРУДА В ЭНЕРГЕТИКЕ.....</b>	<b>183</b>
Д.Р. БИКТИМИРОВА .....	183
Научный руководитель – Ю.П. ВАСИЛЬЕВА К.Э.Н., ДОЦЕНТ .....	183
<b>ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РОССИИ И ОПЕК В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОСТИ НА МИРОВОМ НЕФТЯНОМ РЫНКЕ.....</b>	<b>188</b>
А.С. БОРИСОВ.....	188
Научный руководитель – Ю.П. ВАСИЛЬЕВА, К.Э.Н., ДОЦЕНТ .....	188
<b>ИНДЕКС ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ТРИЛЕММЫ .....</b>	<b>191</b>
М.Н. ВЕЛИТЧЕНКО.....	191
Научный руководитель – Е.П. КОРСАК, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ, .....	191
<b>АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КРУПНЕЙШИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ КОМПАНИЙ РОССИИ ОТНОСИТЕЛЬНО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТРАТЕГИИ 2035 .....</b>	<b>194</b>
Д.З. ИСЬЯНОВ .....	194
Научный руководитель – И.И. ФАЗРАХМАНОВ, К.Э.Н., ДОЦЕНТ .....	194
<b>ОЦЕНКА НЕРАВЕНСТВА БЛАГОСОСТОЯНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА БИЙСК.....</b>	<b>198</b>
А.С. КАТАЕВА.....	198
Научный руководитель – С.А. ФОМИНА, К.Э.Н., ДОЦЕНТ .....	198
<b>РОЛИ МОТИВАЦИИ В УПРАВЛЕНИИ ПЕРСОНАЛОМ .....</b>	<b>202</b>
А.Д. КОРОБЕЙНИКОВА, М.С. ВАСИЛИВАНОВА .....	202
Научный руководитель – С.А. ЛИВШИЦ, ДОЦЕНТ .....	202
<b>ИНВЕСТИЦИИ В ЭКОНОМИКЕ ЭНЕРГЕТИКЕ.....</b>	<b>207</b>
А.Ф. РАХМАНОВА, В.С. ТИХОНОВА .....	207
Научный руководитель – Т.Ю. ДУНАЕВА, ДОЦЕНТ .....	207
<b>ЗЕЛЕННЫЕ СЕРТИФИКАТЫ.....</b>	<b>211</b>
А.Д. РЫДЗЕВСКАЯ, В.В. ПИРОГОВА .....	211
Научный руководитель – Е.П. КОРСАК, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ .....	211
<b>ИНВЕСТИЦИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СЕКТОР РОССИИ. ....</b>	<b>215</b>
А.Д. ТАРАТОРКИНА.....	215
Научный руководитель – Ю.П. ВАСИЛЬЕВА К.Э.Н., ДОЦЕНТ .....	215
<b>ВНЕДРЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....</b>	<b>219</b>
О.Г. ЦАРИК .....	219
Научный руководитель – Н.А. САМОСЮК, К.Э.Н., ДОЦЕНТ .....	219

УДК 620.91

**ТЕХНОЛОГИИ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В  
ЭНЕРГЕТИКЕ**  
**ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES IN THE ENERGY INDUSTRY**

Г.Д. Козин

Научный руководитель – Е.В. Мышковец, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

H. Kozin

Supervisor – E. Mishkovets, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** Энергетические системы являются динамичными и переходными из-за альтернативной энергетики, технологических новшеств, потребностей, затрат и экологических последствий. Ископаемые виды топлива являются источниками для традиционного производства энергии, но оно постепенно заменяется современными альтернативными технологиями с упором на возобновляемые ресурсы, как солнце и ветер. Накопление энергии обеспечивает гибкое производство и стабильность электричества для удовлетворения спроса потребителей. К 2030 году потребность в аккумулированной энергии утроится по сравнению с нынешними условиями, для чего потребуются особые системы и приборы для накопления энергоресурсов.*

***Abstract:** Energy systems are dynamic and transitional because of alternative energy resources, technological innovations, demand, costs, and environmental consequences. The fossil fuels are the sources of traditional energy generation but has been gradually transitioned to the current innovative technologies with an emphasis on renewable resources like solar, and wind. The energy storage may allow flexible generation and delivery of stable electricity for meeting demands of customers. The requirements for energy storage will become triple of the present values by 2030 for which very special devices and systems are required.*

***Ключевые слова:** энергетика, накопление, батарея, технология, метод.*

***Keywords:** energy, storage, battery, technology, method.*

**Введение**

Хранение энергии играет важную роль в уравнивании спроса и предложения в электросети. С увеличением периодической генерации гибкость, обеспечиваемая использованием новых форм накопленной энергии, имеет потенциал как для снижения затрат, так и для повышения безопасности всей системы.

В отличие от большинства промышленных товаров, энергию, особенно электричество, нелегко сохранить после того, как оно было произведено. «Запасами» первичной энергии традиционно были запасы нефти, газа и угля, при этом в большинстве энергетических систем имеется относительно небольшое количество гидроэлектроэнергии. В результате поставщики электроэнергии обычно устанавливают генерирующие мощности для удовлетворения пикового спроса с некоторым запасом на случай поломок и технического обслуживания. Одним из преимуществ

наличия значительного количества периодически возобновляемой энергии является то, что электростанции будут работать с меньшей мощностью, чем они работают в настоящее время.

### **Основная часть**

Рассмотрим следующие методы накопления энергии:

- механическое накопление;
- электрохимическое накопление;
- тепловое накопление;
- электромагнитное накопление.

Наиболее очевидная «механическая» технология – это гидроаккумуляторы, используемые в гидроэлектрических схемах. На гидроаккумулятор приходится 99 % нынешних накопителей энергии, что составляет около 130 ГВт во всем мире [2]. Этот метод использует «внепиковое» электричество для перекачки воды из одного резервуара в более высокий, где он имеет большую потенциальную энергию. Плотина выпускает воду для вращения турбин и выработки электроэнергии по мере необходимости. Типичная гидроаккумулирующая установка имеет выходную мощность от 250 МВт до 1,5 ГВт, разряжая накопленную энергию в течении 10 часов, с возможностью хранения до 14 ГВт·ч. Основным ограничением этого метода является гористая местность, необходимая для его работы.

В аккумуляторе энергии сжатого воздуха, создаваемого закачкой воздуха в резервуар, обычно используются подземные пещеры, хотя надземные сосуды также могут накапливать энергию. Для рекуперации накопленной энергии сжатый воздух подается в газовую турбину внутреннего сгорания. Также можно сохранять энергию за счет тепла, выделяемого при сжатии газа. Тепло удерживается в аккумуляторе тепла и повторно вводится в газ, когда он расширяется для приведения в действие турбины, что требует небольшого количества ископаемого топлива. Оба метода, хранение сжатого воздуха и тепла, могут дать КПД более 70 %, но потребность в подходящих с геологической точки зрения подземных резервуарах ограничивает эту технологию.

Другой механический метод использования внепиковой энергии – вращение маховиков, которые могут накапливать кинетическую энергию. Маховики могут быть очень быстрыми, передавая большое количество энергии в короткие сроки для обеспечения частотного регулирования. Объединение отдельных блоков маховиков может обеспечить до 20 МВт за 30 минут.

Электрохимическое накопление энергии в форме батареи, пожалуй, самый известный способ накопления энергии в резерве. Батареи быстро становятся частью арсенала крупномасштабных накопителей энергии с рядом конкурирующих технологий.

Аккумуляторная батарея содержит один или несколько электрохимических элементов. Аккумулятор бывают разных форм и размеров, от кнопок до мегаваттных энергосистем.

Аккумуляторные батареи имеют более низкую общую стоимость использования и уровень воздействия на окружающую среду, чем непереза-



ряжаемые (одноразовые) батареи. Некоторые типы аккумуляторных батареек доступны в тех же форматах, что и одноразовые. Аккумуляторные имеют более высокую начальную стоимость, но их можно очень дешево перезаряжать и использовать много раз.

Проточные окислительно-восстановительные батареи работают за счет обратимого восстановления-окисления, используя электролиты, хранящиеся в виде двух жидкостей в отдельных резервуарах.

Ванадиевая окислительно-восстановительная батарея является наиболее совершенным типом, в которой ванадий растворен в разбавленной серной кислоте и хранится в резервуарах с разной валентностью.

Отдельные блоки могут вырабатывать до 6 МВт·ч, работать от двух до восьми часов, с длительным сроком службы и эффективностью около 70 %.

Подобно тому, как тепло является промежуточным звеном в большинстве традиционных подходов к производству электроэнергии, оно также может играть роль в накоплении энергии. Например, сжиженный воздух может удерживать энергию в резерве на время, когда потребность в нем высока. Принцип действия, лежащий в основе использования жидкого воздуха для хранения энергии, прост: электричество приводит в действие установку для сжижения воздуха, в результате чего жидкость, преимущественно азот, хранится в изолированном контейнере. Когда требуется мощность, жидкость повторно газифицируется под высоким давлением для приведения в действие турбины и выработки электроэнергии.

Хранение тепла и его прямое использование для обеспечения теплового комфорта в домах является одним из серьезных вариантов, которые широко рассматриваются. Тепло можно сохранить, повысив температуру воды, но водонагреватель удерживает лишь часть тепла. В настоящее время проходят испытания альтернативные технологии аккумулирования тепла, которые имеют более высокую плотность, чем вода. Например, материалы с «фазовым переходом», такие как парафин, могут накапливать или выделять тепло при переходе из твердого состояния в жидкое, удерживая в несколько раз больше энергии по сравнению с тем же объемом воды.

Существуют также способы хранения самого электричества, например, в сверхпроводящих системах или в конденсаторах. Их характеристики делают их ценными для поддержания электроснабжения в соответствии со стандартами передачи.

Конденсатор – это пассивный двухполюсный электрический компонент, используемый для электростатического накопления энергии. На практике конденсаторы сильно различаются, но все они содержат, по меньшей мере, два электрических проводника (пластины), разделенных диэлектриком (изолятором). Конденсатор может накапливать электрическую энергию, когда он отключен от своей зарядной цепи, поэтому его можно использовать как временную батарею или как другие виды перезаряжаемой системы накопления энергии. Конденсаторы обычно используются в электронных устройствах для поддержания питания при замене батарей (это предотвращает потерю информации в энергозависимой памяти). В среднем конденсаторы имеют плотность менее

360 джоулей на килограмм, в то время как у обычной щелочной батареи этот параметр составляет порядка 590 кДж / кг [1].

Система хранения сверхпроводящей магнитной энергии – сверхпроводящий индуктивный накопитель (СПИН) хранит энергию в магнитном поле, создаваемом потоком постоянного тока в сверхпроводящей катушке, которая была охлаждена до температуры ниже ее сверхпроводящей критической температуры. Типичная система СПИН включает в себя сверхпроводящую катушку, систему кондиционирования и холодильник. Как только сверхпроводящая катушка заряжена, ток не распадается, и магнитная энергия может храниться бесконечно долго.

Накопленная энергия может быть передана в сеть путем разрядки катушки. Соответствующий инвертор/выпрямитель обеспечивает примерно 2-3 % потерь энергии в каждом направлении. СПИН теряет наименьшее количество электроэнергии в процессе накопления энергии, по сравнению с другими методами хранения энергии.

Из-за энергетических требований охлаждения и стоимости сверхпроводящего провода, СПИН используется для кратковременного хранения, например, для улучшения качества электроэнергии. Эта система хранения применяется так же в балансировке сетки.

### **Заключение**

Технологии накопления энергии сохраняют энергию, когда потребление ниже, чем ее производство, и снабжают энергией, когда потребление выше, чем ее производство. Это обеспечивает энергетическую безопасность и готовность к чрезвычайным ситуациям, например в случае аварии на электростанции; дает возможность балансировать нагрузки сети, где электричество генерируется с помощью возобновляемой энергии. Системы хранения энергии полезны и для потребителей – благодаря им возможно поддерживать стабильные цены на электроэнергию в масштабе общей сети или обеспечить индивидуальную гибкость и независимость потребления при локальном хранении в домах.

### **Литература**

1. Варшавский И.Л. Энергоаккумулирующие вещества и их использование. – Киев, Наукова думка, 1980. – 240 с.
2. Energy storage technologies [Электронный ресурс]/ Royal Academy of Engineering. – Режим доступа: <https://www.ingenia.org.uk/Ingenia/Articles/666b0e84-1c8e-4570-a3d4-b43f82e39991>. – Дата доступа: 13.04.2021.

УДК 620.91

**ГЕЛИОЭНЕРГЕТИКА ЗА РУБЕЖОМ И В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ  
SOLAR ENERGY ABROAD AND IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

М.Н. Булин, А.В. Борщевский, Д.Д. Тарасевич  
Научный руководитель – Е.М. Гецман, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
myshk-ekaterina@yandex.ru

M. Bulin, A. Borshchevsky, D. Tarasevich  
Supervisor – E. Getsman, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной работе проводится анализ перспектив развития мирового состояния солнечной энергетики. Рассмотрена тенденция роста мощностей генерации на основе солнечной энергии в Республике Беларусь.*

***Abstract:** This article analyzes the prospects for the development of the global state of solar energy. The trend of solar-based generation capacities in the Republic of Belarus is considered.*

***Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии (ВИЭ), солнечная энергия, мощность, фотоэлектрические системы, солнечная панель, возобновляемая энергетика.*

***Key words:** renewable energy sources (RES), solar energy, power, photovoltaic systems, solar panel, renewable energy.*

**Введение**

В последние несколько лет на мировых энергетических конференциях и форумах активно рассматриваются вопросы так называемой «Эпохи 3D» (Decarbonization, Decentralization, Digitalization), одним из трех наиболее актуальных отраслевых вызовов, которой является декарбонизация. Данное направление предусматривает постепенный отказ от традиционных источников энергии и переход на возобновляемые источники энергии (ВИЭ). По состоянию на 2019 г. 73 % всей потребляемой человечеством энергии приходится на долю ископаемого органического топлива. Однако, за последние 20 лет ВИЭ значительно укрепили свои позиции в качестве альтернативного источника электроэнергии.

**Основная часть**

К концу 2019 г. доля ВИЭ (на рисунке 1 представлены темпы развития наиболее перспективных на сегодняшний день ВИЭ) [1], в том числе гидроэнергии, в мировом мирном энергетическом балансе увеличилась на 1,1 процентный пункт, дойдя до 27 %. Такой рост в основном обусловлен введением в эксплуатацию новых ветровых (ВЭС) и солнечных электростанций (СЭС). Доля гидроэнергии в мировом энергетическом балансе в последние несколько лет изменяется незначительно, оставаясь на уровне приблизительно 15 %.

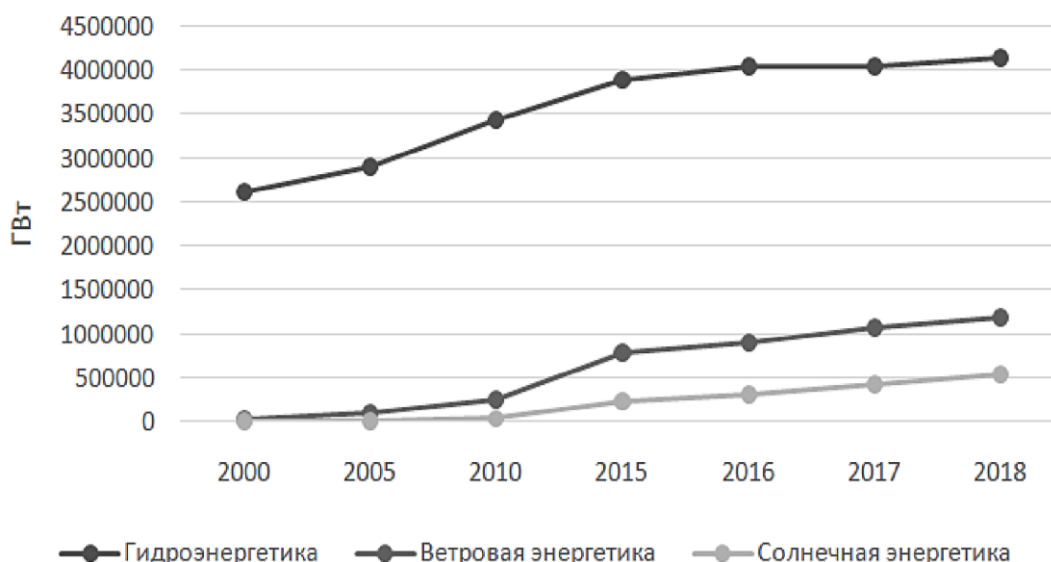


Рисунок 1 – Динамика развития некоторых видов ВИЭ, основанная на генерации

Постепенное снижение стоимости технологий в ветровой и солнечной энергетике, а также амбициозные программы по борьбе с изменениями климата в ЕС, США, Китае, Индии, Японии и Австралии способствовали увеличению генерирующих мощностей и выработке электроэнергии благодаря ВИЭ. Ожидается, что сокращение расходов и твердая поддержка со стороны политиков, будут способствовать устойчивому росту ВИЭ после 2022 г. Несмотря на проблемы, возникающие в связи с «кризисом» Covid-19, темпы развития и внедрения ВИЭ не изменились: солнечные фотоэлектрические (от англ. Photovoltaic (PV)) батареи и наземный ветер уже сегодня являются самыми дешевыми способами получения электроэнергии в большинстве стран.

В странах, имеющих подходящие природные условия, а также упрощенное финансирование и продуманную законодательную базу в сфере использования ВИЭ, ветровые и солнечные фотоэлектрические установки уже конкурируют с электрическими станциями на ископаемом топливе. В целом, ВИЭ по прогнозам должны обеспечить 95 % чистого прироста мировых энергетических мощностей к 2025 г.

Особое внимание уделим солнечной энергии, которая является, по сути, абсолютно бесплатной в виду ее перспективности и наиболее активного исследования. Начиная с 2005 г. доля солнечной энергетика в общем составе ВИЭ увеличилась в 83 раза (с 0,1 % до 8,3 % в 2018 г.), ветровой – почти в 6 раз (с 3,1 до 18,3 %) за аналогичный период. Динамику изменения установленной мощности солнечной энергетика для 2014 и 2020 гг. представим на рисунке 2.

Для преобразования энергии солнца в электрическую используются как солнечные фотоэлектрические, так и концентрирующие (от англ. Concentrated Solar Power (CSP)) технологии преобразования. Технология PV может использовать как прямой, так и рассеянный солнечный свет для получения электроэнергии, в то время как CSP полагается на прямой солнечный свет, несколько ограничивая его развертывание в районах с высокой прямой

нормальной облученностью (от англ. Direct Normal Irradiation (DNI)). Совокупная генерация солнечных PV-установок достигла отметки в 578 гигаватт (ГВт) в конце 2019 г., в то время как CSP оставалось на уровне в 6 ГВт.

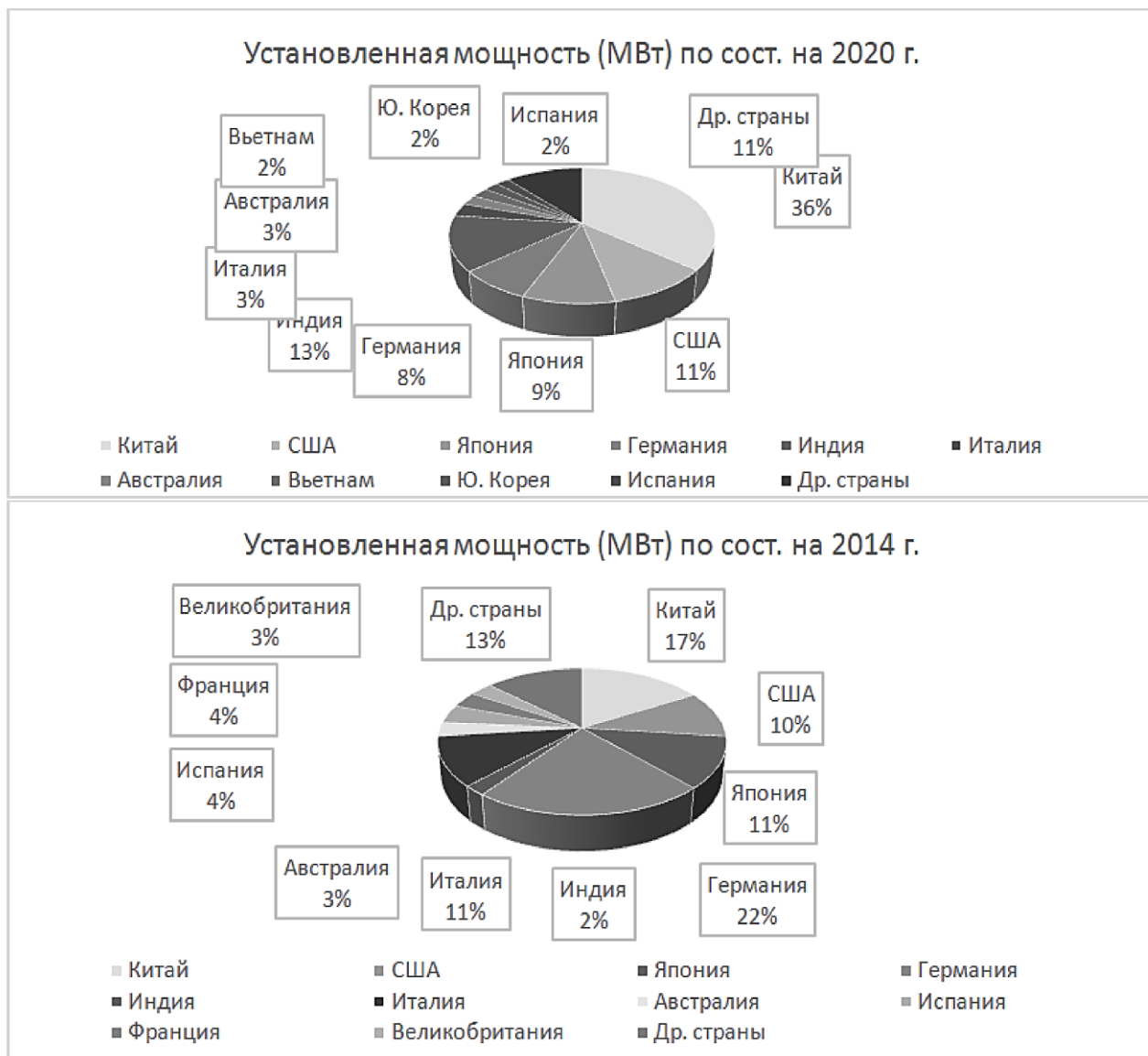


Рисунок 2 – Динамика изменения установленной мощности солнечной энергетики для некоторых стран

Активное внедрение солнечных фотоэлектрических систем, в сочетании с высокими темпами исследования и развития технологии привело к резкому снижению затрат на производство за последние 10 лет. Согласно полученным данным, за период с 2010 по 2019 гг. при каждом удвоении совокупной установленной мощности фотоэлектрических систем их средневзвешенная себестоимость производства – LCOE (от англ. Levelised Cost of Energy) снижалась на 36 %. Цены на фотоэлектрические модули из кристаллического кремния снизились более чем на 90 % с 2010 г.

В период с 2010 по 2019 гг. резкое падение цен на солнечные фотоэлектрические модули, наряду с продолжающимся снижением балансовых



затрат системы (затраты на все компоненты фотоэлектрической системы: проводку, переключатели, солнечные инверторы, аккумуляторные батареи и т. п.) и увеличением коэффициентов мощности привело к тому, что глобальный средневзвешенный LCOE введенных в эксплуатацию солнечных фотоэлектрических модулей упал на 82 %, и составил 0,068 доллара США/кВт·ч в 2019 г. Таким образом, около 40 % фотоэлектрических модулей, установленных в 2019 г. (за исключением финансируемых за счет государственных владельцев), по себестоимости были ниже, чем любая станция, работающая на ископаемом топливе [2].

Вдобавок к постепенно снижающейся стоимости фотоэлектрических модулей можно отнести сравнительную экологичность за счет отсутствия выбросов парниковых газов; изобилие первичного энергоносителя; удобство для интеллектуальных энергетических сетей с распределенной генерацией; намного более низкие затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание по сравнению с остальными видами возобновляемой энергетики; меньшая вероятность выхода из строя, поскольку в солнечных панелях отсутствуют механически движущиеся части (за исключением модулей на поворотных механизмах).

При всём вышперечисленном необходимо понимать то, что солнечная энергия, как и любые ВИЭ, имеет проблемы с постоянством генерации, влияние на которое оказывают многочисленные факторы, к примеру, погодные условия: солнечные панели требуют установки инверторов для преобразования постоянного тока в переменный; необходимость установки аккумуляторных батарей, увеличивающих общую стоимость модуля; необходимость долгосрочной аренды или выкупа обширной территории для установки солнечных электростанций (СЭС). Коэффициенты полезного действия солнечных панелей относительно низки (от 14 % до 25 %) по сравнению с уровнями эффективности других систем возобновляемой энергетики. Несмотря на то, что фотоэлектрические панели не требуют значительных затрат на техническое обслуживание или эксплуатацию, они хрупки и могут быть относительно легко повреждены, что требует дополнительных затрат на страхование.

На сегодняшний день солнечные фотоэлектрические панели являются одной из основных систем возобновляемой энергетики, продвигаемых за счет государственных субсидий (льготное кредитование, налоговые преференции и т. д.). Таким образом, финансовые стимулы для фотоэлектрических панелей делают СЭС привлекательной инвестиционной альтернативой традиционным источникам. Но следует понимать, что для осуществления таких проектов в рассматриваемой стране должна существовать внушительная законодательная база по поддержке ВИЭ.

В Республике Беларусь регулирование отрасли ВИЭ ведется по следующим нормативным актам:

– Закон Республики Беларусь от 27.12.2010 №204-З «О возобновляемых источниках энергии»

– Указ Президента Республики Беларусь от 24 сентября 2019 г. № 357 «О возобновляемых источниках энергии»;

– Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 06.08.2015 № 662 «Об установлении, распределении, высвобождении и изъятии квот на создание установок по использованию возобновляемых источников энергии»;

– Постановление Министерства антимонопольного регулирования и торговли Республики Беларусь от 03.09.2018 № 73 «О тарифах на электрическую энергию, произведенную из возобновляемых источников энергии»;

– Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 17.10.2011 № 1394 «Об утверждении Правил электроснабжения».

Постепенно по мере роста количества и установленной мощности энергоустановок с использованием ВИЭ изменяются меры по их стимулированию и дорабатываются правовые акты. С 2015 г. начали снижаться коэффициенты и выделяемые квоты, ограничиваться использование бывшего в употреблении оборудования. Стимулирующие меры были призваны дать толчок развитию ВИЭ, а в данный момент корректируются в сторону снижения. Дальнейшее изменение подхода к поддерживающим мерам связано также и с тем, что в общую энергосистему Беларуси вводится Белорусская атомная электрическая станция, и вопрос регулирования баланса генерации-потребления выходит на первый план. В отдельные периоды режим работы энергоисточников на базе ВИЭ находится в противофазе с потребностью энергосистемы в электрической энергии. Наличие большого объема такой генерации повысит финансовые издержки Белорусской энергосистемы по компенсации почасовых отклонений сальдо перетоков электрической энергии от согласованных значений. При этом, при отклонении в сторону экспорта электроэнергии оплата за данную электроэнергию в периоды времени будет осуществлена по цене ниже себестоимости ее производства на энергоисточниках Республики.

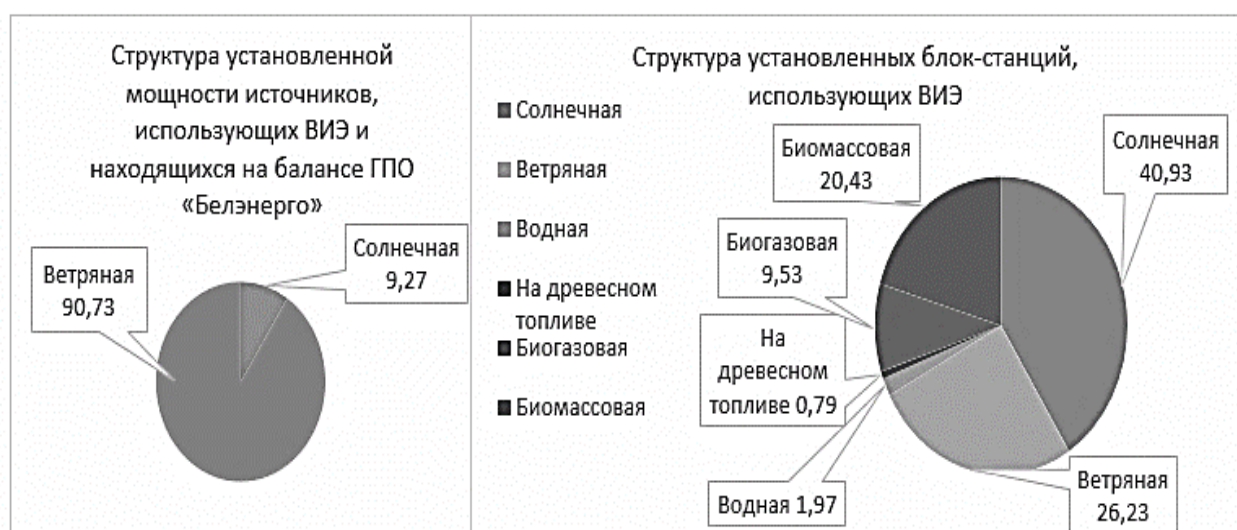


Рисунок 2 – Структуры установленной мощности энергоисточников, использующих ВИЭ

В последние несколько лет идет постепенный рост количества энергоисточников, использующих в качестве топлива ВИЭ, в связи с разработанными мерами по стимуляции развития возобновляемой энергетики. Далее приведем структуру установленной мощности энергоисточников, использующих ВИЭ и находящихся на балансе ГПО «Белэнерго» по состоянию на 01.01.2021 г., а также для сравнения структуру установленной мощности для блок-станций, использующих ВИЭ, на тот же период.

Несмотря на то, что на балансе ГПО «Белэнерго» СЭС не числятся, они занимают лидирующие позиции по установленной мощности блок-станций, использующих ВИЭ в качестве источника энергии, опережая на 36 % ветряные установки. Общая установленная мощность 338 блок-станций на территории страны на 01.01.2021 г. составляла 1176,68 МВт, из которых порядка половины (166 станций – 785,119 МВт) работают на невозобновляемых источниках энергии. 172 станции или 391,569 МВт – на ВИЭ. На солнце приходится 70 станций с общей установленной мощностью в 160 МВт, на ветер 41 шт. и 102,562 МВт, соответственно.

Самая большая в Беларуси СЭС мощностью 55,2 МВт находится вблизи Речицы. Станция принадлежит ПО "Белоруснефть", занимает 115 гектар(га) и включает в себя почти 218 тыс. солнечных панелей и используется для собственных нужд. До этого крупнейшей СЭС считался комплекс Солар II, возведенный в д.Соболи недалеко от Брагина, где на площади в 40 гектар размещено 90 тыс. панелей. Номинальная мощность достигает 18,48 МВт, а сама СЭС находится на частном балансе. Общие инвестиции в проект составили 24 млн. евро, работы осуществлялись за счёт компании А1 и ОАО «Брагинагросервис». Всего на 2021 г. Насчитывается 112 мелких и крупных СЭС, ещё 11 находятся различной стадии планирования/реализации. Среди более мелких СЭС преобладают установки собственного потребления частных производств различных форм собственности (ООО, ОАО, РУП, ЗАО, ИП и т.д.)

### **Заключение**

При исследовании текущего статуса традиционного топливно-экономического комплекса (ТЭК) и всех без исключения сегментов ВИЭ, прослеживается очевидная тенденция снижения объемов ввода новой генерации на ископаемом топливе на фоне растущих генерирующих мощностей на основе ВИЭ. Дефицит запасов углеводородного сырья, приводящий к увеличению своей стоимости и снижению себестоимости СЭС за счет повышения эффективности солнечных фотоэлектрических модулей закладывают фундамент для сохранения вышеупомянутой тенденции.

Таким образом, солнечная энергетика является весьма перспективным и многообещающим источником относительно дешевой энергии, однако в данный момент влияние на выбор технологии ВИЭ оказывает весьма значительное количество разносторонних факторов, начиная от типа местности и природных условий, графиков нагрузки и баланса системы до социально-политической обстановки и наличия законодательной базы по поддержке ВИЭ.



При выборе конкретной технологии ВИЭ необходимо учитывать все аспекты и производить массивный анализ и сравнение по приведенным затратам.

### **Литература**

1. Trends in Renewable Energy [Электронный ресурс] // IRENA, International Renewable Energy Agency. – 2018. – Режим доступа: <https://public.tableau.com/views/IRENARETimeSeries/Charts?:embed=y&:showVizHome=no&publish=yes&:toolbar=no>. – Дата доступа: 18.03.2021.
2. Solar Power [Электронный ресурс] // IRENA, International Renewable Energy Agency. – 2019. – <https://www.irena.org/costs/Power-Generation-Costs/Solar-Power> – Дата доступа: 20.03.2021.

УДК 621.316

**ГИБКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЕРЕДАЧИ  
 ПЕРЕМЕННОГО ТОКА  
 FLEXIBLE ALTERNATING CURRENT TRANSMISSION SYSTEM  
 (FACTS)**

А.А. Пальчастая, В.В. Люкевич

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

nik.petrashevitch@gmail.com

A. Palchastaya, V. Liukevich

Supervisor – N. Petrashevitch

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** *Использование гибкой системы регулирования передачи переменного тока для улучшения качества и эффективности энергосистемы.*

**Abstract:** *Using a flexible alternating current transmission system to improve the quality and efficiency of the power system.*

**Ключевые слова:** *сеть, напряжение, компенсатор, продольная компенсация, поперечная компенсация, мощность, надежность, электроэнергетические системы.*

**Keywords:** *power grid, voltage, compensator, series compensation, parallel compensation, power, reliability, electric power systems.*

### Введение

Анализ проблем, возникающих при транспортировке электроэнергии потребителям заставляет задуматься, каким же образом можно доставить электричество в пункт назначения с минимальными потерями и отклонениями напряжений. Ведь качество электроэнергии в электрических сетях Республики Беларусь регламентируется стандартом ГОСТ 32144–2013, который был принят в действие с 2016 года. Так как получившаяся сложно замкнутая и многоуровневая система не может функционировать без жестких механизмов управления, возникают трудности с регулированием перетока мощности между линиями электропередачи переменного тока, а дальнейшее развитие системы требует вовлечения новых земель. Эти трудности могут быть преодолены объединением энергосистем гибкими связями, обеспечивающими возможность независимого регулирования потоков мощности параллельной работы при различающихся частотах объединяемых энергосистем.

Устройства, основанные на современной силовой электронике, которые были созданы для управления работой электропередачи, способны одновременно воздействовать на три параметра ( $U$ ,  $X_{л}$ ,  $\delta$ ), что повышает качество и эффективность, а также обеспечивает гибкое управление режимами энергосистем. Данные современные технологии за рубежом называют FACTS (гибкие передающие системы переменного тока) [1]. Применение этих

технологий в электрических сетях позволит решить следующие немаловажные и актуальные задачи:

- обеспечение выдачи вводимых в эксплуатацию мощностей электростанций и надежного подключения новых нагрузок потребителей;
- повышение управляемости потоками мощности в процессе передачи электроэнергии между энергорайонами;
- усиление межсистемных связей и реализация системных эффектов;
- реализация проектов по экспорту электроэнергии.

### Основная часть

Технология гибких передающих систем переменного тока нашла очень широкое применение в энергетике. Основная задача данных систем заключается в том, чтобы как можно быстрее обеспечить сеть с индуктивной или емкостной реактивной мощностью, адаптированной к ее конкретным требованиям, а также увеличить эффективность системы и качество передачи энергии.

FACTS используются как в продольной, так и в поперечной компенсации. Продольная компенсация реактивной мощности в сети происходит с помощью фиксированных продольных компенсаторов (FSC) и компенсаторов с тиристорным управлением (TCSC) [2].

Фиксированная продольная компенсация (FSC).

Фиксированная продольная компенсация представляет собой продольную емкость, включенную в линию передачи. Продольный компенсатор способствует увеличению мощности сети электропередачи, оптимизации перетоков мощности, уменьшению потерь мощности и обеспечению полного потребления мощности при минимальных затратах на генерацию.

Компенсаторы с тиристорным управлением (TCSC)

TCSC производится путем добавления тиристорной системы параллельно конденсатору. Это комбинация обеспечивает непрерывную систему компенсации (Рисунок 1).

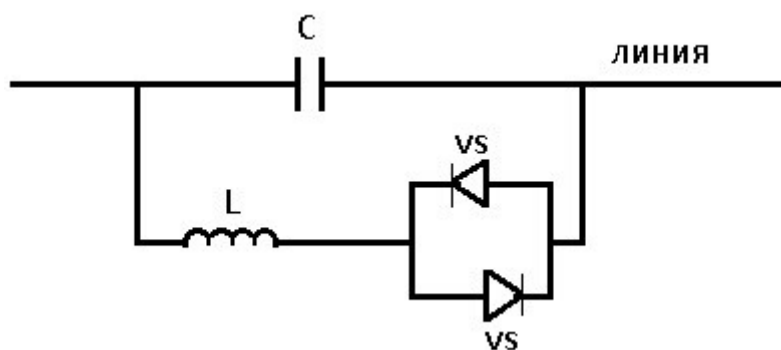


Рисунок 1 – Подключение компенсатора с тиристорным управлением (TCSC)

Поперечная компенсация реактивной мощности в сети происходит с помощью статических компенсаторов реактивной мощности (SVC) и устройства с механическим переключением [3].

Статические компенсаторы реактивной мощности (SVC).

Статические компенсаторы реактивной мощности – являются одними из самых быстрых и надежных способов управления линиями напряжения и узлами системы. Реактивная мощность изменяется при переключении или управлении элементами реактивной мощности, которые подключены к вторичной стороне трансформатора. Каждый блок конденсаторов включается и выключается тиристорным клапаном (TSC) (Рисунок 2). Если напряжение в энергосистеме понижено, SVC генерирует емкостную реактивную мощность и повышает напряжение сети. А в случае, когда напряжение энергосистемы высокое, SVC обеспечивает индуктивную реактивную мощность и понижает напряжение в системе.

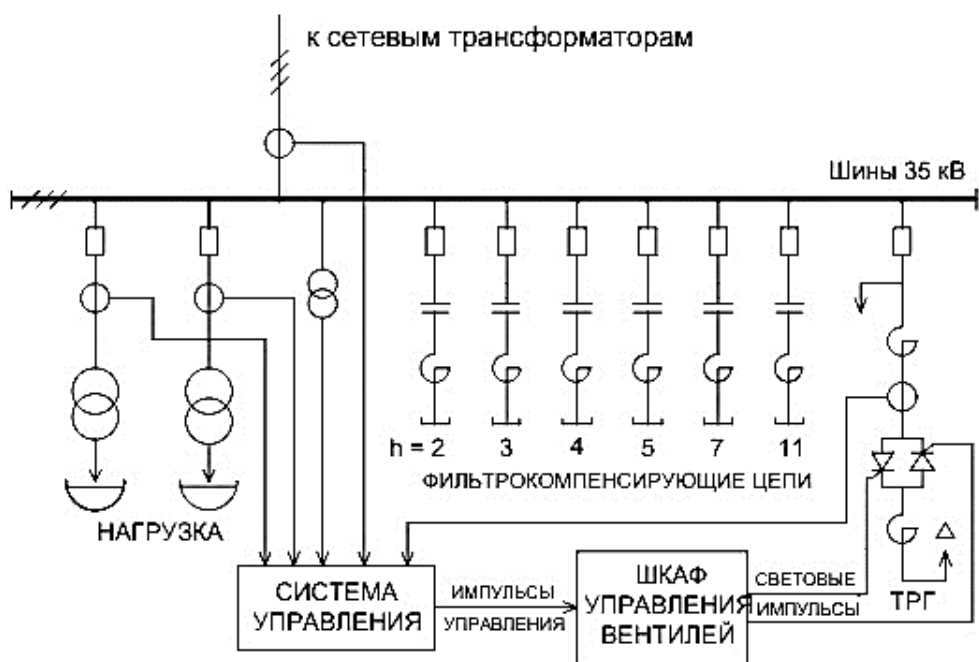


Рисунок 2 – Статические компенсаторы реактивной мощности в сети 0.35 кВ

### Устройства с механическим переключением

Конденсаторы с механическим переключением – это наиболее простой способ управления напряжением и стабилизации сети в условиях большой нагрузки. Использование данного компенсирующего устройства практически не оказывает влияние на мощность короткого замыкания, но увеличивает напряжение в точке соединения.

Использование FACTS имеет ряд таких преимуществ:

- повышение эффективности и надежности передающей сети
- повышенное качество электроэнергетики
- некоторые экологические преимущества
- уменьшение расходов за счет увеличения пропускной способности
- уменьшение простоев, что приводит к увеличению производства и сокращению потерь для промышленных потребителей.

### **Заключение**

Современное производство и потребление электроэнергии постоянно меняются из-за большого разнообразия источников получения энергии и характера нагрузки. Для того чтобы система работала со стабильной мощностью и могла обеспечить надежную передачу электроэнергии потребителям, используют компенсационные устройства.

Технология FACTS эффективно реагирует на изменения электрической мощности, возникающие в результате изменения нагрузки или количества и качества вырабатываемой энергии, а также повышает гибкость и надежность электроэнергетических систем.

### **Литература**

1. Федин, В.Т. Инновационные технические решения в системах передачи электроэнергии / В.Т. Федин. – Минск: БНТУ, 2012. – 221 с.
2. Компенсирующие и регулирующие устройства в электрических системах / Г.Е. Поспелов, Н.М. Сыч, В.Т. Федин. – Л. Энергоатомиздат Ленингр. отд-ние, 1983 – 112 с.
3. Кочкин В. И. Новые технологии повышения пропускной способности ЛЭП. Управляемая передача мощности // Новости электротехники, – 2008. – № 3.

УДК 519.612.4

## МЕТОД ЗЕЙДЕЛЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СЛАУ SEIDEL'S METHOD FOR SOLVING SLAE

К.А. Марчук

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель,

Е.М. Гецман, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

volkau@bntu.by, hetsman@bntu.by

K. Marchuk

Supervisor – A. Volkau, Senior Lecturer

E. Hetsman, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** Решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) методом Зейделя, и реализация алгоритма на языке программирования Python.

**Abstract:** Solution of systems of linear algebraic equations (SLAE) by the Seidel method and implementation of the algorithm in the Python programming language.

**Ключевые слова:** алгоритм, моделирование, метод Зейделя, решение СЛАУ.

**Keywords:** algorithm, modeling, Seidel's method, solution of SLAE.

### Введение

Моделирование – это один из способов исследования объекта, при котором объект исследования замещается моделью, которая находится в некотором соответствии с исходным объектом, способная замещать его в определенных отношениях и дающая при его исследовании информацию об самом объекте. Одним из востребованных видов моделирования является математическое моделирование, которое позволяет абстрагироваться от физической природы объектов, с помощью математических зависимостей, систем линейных и нелинейных уравнений – математической модели.

Математическая модель представляет собой математическое описание поведения реального объекта – элемента электроэнергетической системы

### Основная часть

Часто инженер сталкивается с необходимостью решать громоздкие системы уравнений, например, полученные по законам Кирхгофа (СЛАУ). Если необходимо вычислять с заданной точностью, то лучше применить метод Зейделя.

$$\begin{aligned}
 a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\
 a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\
 a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + \dots + a_{3n}x_n &= b_3 \\
 \vdots & \\
 a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n &= b_n
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Метод Зейделя является итерационным методом решения, то есть находится не точное решение, а некоторое приближение к нему, которое задается пользователем. В свою очередь данный метод является лишь модификацией метода простой итерации, заключающейся в том, что при вычислении очередного приближения  $x^{(k+1)}$ , его уже полученные компоненты  $x_1^{(k+1)}, \dots, x_{i-1}^{(k+1)}$  сразу же используются для вычисления  $x_i^{(k+1)}$ . В координатной форме записи метод Зейделя имеет вид:

$$\begin{aligned}
 x_1^{(k+1)} &= b_1 + a_{12}x_2^k + \dots + a_{1n}x_n^k \\
 x_2^{(k+1)} &= b_2 + a_{21}x_1^{(k+1)} + \dots + a_{2n}x_n^k \\
 &\vdots \\
 x_n^{(k+1)} &= b_n + a_{n1}x_1^{(k+1)} + \dots + a_{nn}x_n^k \quad (k = 0, 1, 2, \dots).
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где  $x^{(k)}$  – некоторое начальное приближение к решению (Рисунок 1).

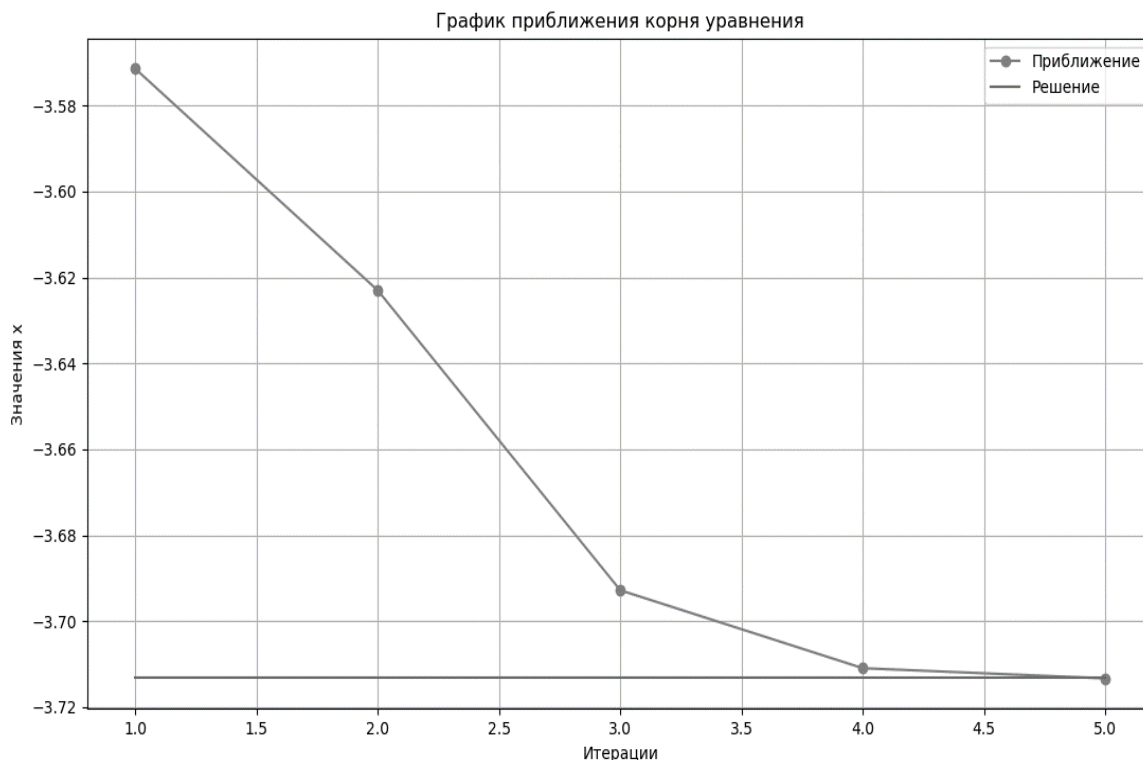


Рисунок 1 – График приближения корня уравнения

Условие окончания итерационного процесса по методу Зейделя:

$$\|x^{(k+1)} - x^{(k)}\| \leq \varepsilon.
 \tag{3}$$

где  $\varepsilon$  – точность, которая задается пользователем.

Следует обратить внимание на особенность метода Зейделя, которая состоит в том, что полученное в первом уравнении значение  $x_1$  сразу же используется во втором уравнении, а значения  $x_1, x_2$  – в третьем уравнении и так далее. То есть,

все найденные значения  $x_i$  подставляются в уравнения для нахождения  $x_{i+1}$  [1].  
 Пример реализации метода Зейделя с использованием Python:

```

from math import * #импорт библиотеки math
import numpy as np #импорт библиотеки numpy
import time as t #импорт библиотеки time
import matplotlib.pyplot as plt # импорт библиотеки matplotlib.pyplot
z=t.time()
c=[]
A = np.array([[35, 10.5, 4],# матрица коэффициентов
              [12, 19.5, 4],
              [33, 10.5, 49]])
b = np.array([[ -125],#столбец свободных коэффициентов
              [-32],
              [-161.5]])
m = len(A)# длина матрицы A
x = [0. for i in range(m)] # начальное приближение
count= 0
pogr = 0.
while True:
    x_new = np.copy(x)
    for i in range(m):
        s1 = sum(A[i][j] * x_new[j] for j in range(i))
        s2 = sum(A[i][j] * x[j] for j in range(i + 1, m))
        x_new[i] = (b[i] - s1 - s2) / A[i][i]#получаем начальные значения для x1,x2,x3...xn
        c.append(list((b[i] - s1 - s2) / A[i][i]))# создаем массив начальных приближений
    pogr = sum(abs(x_new[i] - x[i]) for i in range(m))#вычисляем погрешность
    if pogr < 1e-2: #проверка условия
        break
    count+= 1
    x=x_new
print('Количество итераций :', count+1)
print('Решение системы уравнений :', x)
print('Погрешность :', pogr)
print('Производительность кода',t.time()-z, 'секунд')
    Количество итераций : 5
    Решение системы уравнений : [-3.710972    0.84559159 -0.97789053]
    Погрешность : 0.0050525194402143425
    Производительность кода 0.014000892639160156 секунд
    
```

Рисунок 2 – Пример реализации метода Зейделя на Python

Осуществим проверку программы. Решим ту же систему СЛАУ методом обратной матрицы (Рисунок 3). Метод обратной матрицы можно отнести к точным методам, использующийся в том случае, если число неизвестных совпадает с числом уравнений [2]. Система СЛАУ в матричной форме примет вид:

$$A \cdot X = B \tag{4}$$

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \quad A = \begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & \dots \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m,1} & a_{m,1} & \dots & \dots \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{pmatrix} \tag{5}$$

где  $A$  – матрица, составленная из коэффициентов  $a_{i,j}$  при неизвестных  $x$ ;  
 $B$  – матрица свободных членов;  
 $X$  – матрица неизвестных.



Из полученного матричного уравнения необходимо выразить  $X$ . Для этого умножим обе части матричного уравнения на  $A^{-1}$ , получим:

$$X = A^{-1} \cdot B, \tag{6}$$

```
import numpy as np #импорт библиотеки numpy

A = np.array([[35, 10.5, 4],# матрица коэффициентов
              [12, 19.5, 4],
              [33, 10.5, 49]])
b = np.array([[ -125],#столбец свободных коэффициентов
              [-32],
              [-161.5]])
if np.linalg.det(A)!=0: #проверка на вырожденность матрицы A
    r = np.linalg.solve(A,b)# функция решающая СЛАУ
    print('Решение системы уравнений :', r[0],r[1],r[2])
else:
    print("Матрица системы вырожденная")

Решение системы уравнений : [-3.71313385] [0.8442135] [-0.97613928]
```

Рисунок 3 – Пример решения СЛАУ с помощью обратной матрицы на Python

Значения немного отличаются, но это связано с точность решения, которая в нашем случае равна 0,01.

**Заключение**

Основными преимуществами метода Зейделя являются:

- метод Зейделя являются абсолютно сходящимся, так нет необходимости вводить условия сходимости;
- удобным при программировании, так как позволяет накапливать сумму произведений без записи промежуточных результатов.

К недостатку можно отнести необходимость контролировать ведущие элементы, чтобы какой-нибудь из них не стал равным нулю, что в свою очередь приведет к ошибке, так как деление на ноль неосуществимо.

**Литература**

1. В.И. Копнина Численные методы линейной и нелинейной алгебры / Копнина В.И., Вельмисова А.И. – Саратов: СГУ имени Н.Г. Чернышевского, 2016. – 48 с.
2. В.В. Конев Линейная алгебра/ В.В. Конев – Томск: ТПУ, 2008. – 65 с.

УДК 621.3.019.34

**РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМОЙ  
РЕЗЕРВИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ  
МЕТОДОМ ДЕРЕВА ОТКАЗОВ  
CALCULATION OF THE RELIABILITY OF A NON-RESTORABLE  
REDUNDANT ELECTRIC NETWORK BY THE FAULT TREE METHOD**

А.А. Ковзан

Научный руководитель – А.Л. Старжинский, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

astarginsky@bntu.by

A. Kovzan

Supervisor – A. Starginsky, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В статье рассматриваются общие положения о резервировании систем и их возможное применение на практике в электроэнергетике с целью повышения надежности электроснабжения, являющейся одной из основных задач энергетической политики Республики Беларусь. Произведен расчет резервированной сети методом дерева отказов и сделан вывод об эффективности резервирования как метода повышения надежности.*

***Abstract:** General provisions of the redundant systems are discussed in this article. Also their possible application in power engineering in order to improve the reliability of power supply is mentioned. Reliability of power supply is one of the main tasks of the energy policy of the Republic of Belarus. The calculation of power supply schemes with redundancy have been made. A conclusion based on the performed calculation was made about the effectiveness of the redundancy.*

***Ключевые слова:** Надежность электрических сетей, резервирование.*

***Keywords:** Reliability of electrical grids, redundancy.*

### **Введение**

Резервирование является распространенным методом повышения надежности электрических систем с одной стороны, а с другой – установка резервного оборудования приводит к дополнительным затратам и повышает сложность системы. Поэтому принятие решение о целесообразности резервирования должно основываться на сравнении эффективности работы электрической сети до и после проведения соответствующих мероприятий. В соответствии с теорией надежности все резервирование может быть классифицировано в следующем виде (рисунок 1).

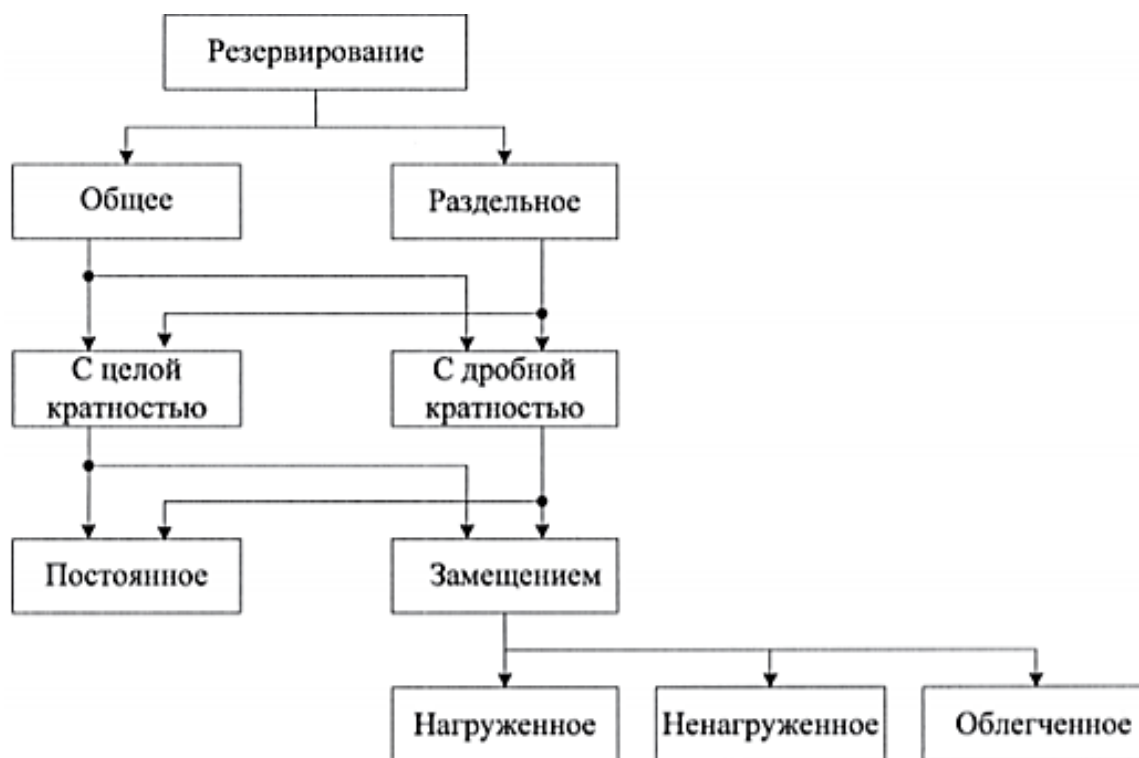


Рисунок 1 – Способы резервирования

В электроэнергетике для реализации системы резервного электроснабжения необходимо осуществить анализ технологического цикла работы потребителя, время его возможного нахождения без питания, а также последствия, к которым может привести не своевременный ввод резервного питания для потребителя данной группы. Основопологающим фактором, влияющим на выбор системы резервирования, будет количество потребителей 1-й и 2-й категорий, питающихся от данной системы электроснабжения, а также наличие потребителей особых категорий. При преобладании данного типа нагрузок используют автоматический ввод резерва (АВР). Это значит, что при пропадании напряжения на основной линии питания, в автоматическом режиме система перейдет на питание от другой системы (резервной) [1]. Иногда такое резервирование целесообразней применять не на подстанциях, а непосредственно в цехах, где имеются потребители 1-й категории. Питания к таким цехам подходит от разных подстанций (или от разных секций подстанции), а для переключений используют простейшие средства автоматики. Распределение нагрузок производится по категориям электроприемников, а не по цехам, что позволяет уменьшить расходы на резервирование источников питания [2].

**Основная часть**

Простейшим способом резервирования можно считать применение двухцепных линий электропередачи, нескольких трансформаторов на подстанции, а также использование кольцевых схем электроснабжения. В качестве примера рассмотрим вариант схемы, приведенный на Рисунок 2.

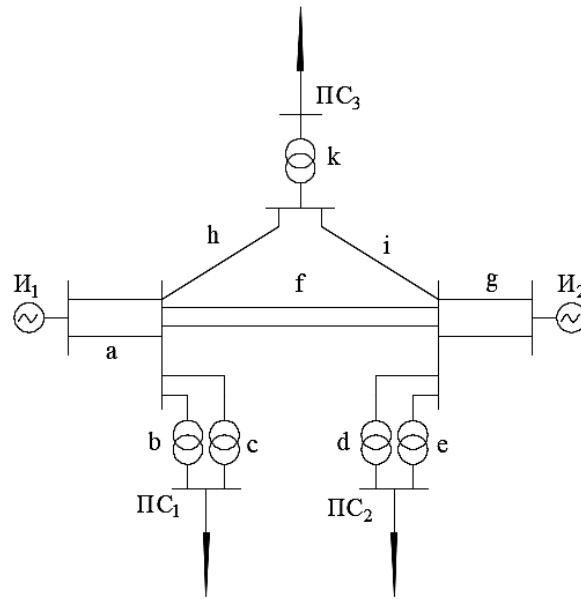


Рисунок 2 – Рассматриваемая схем электрической сети

Рассматриваемую сети можно считать отказавшей, если потребители подстанций ПС1, ПС2 и ПС3 теряют питание. При этом первичными событиями будут следующие события: а – отказ двухцепной линии а, b – отказ трансформатора b, с – отказ трансформатора с, d – отказ трансформатора d, e – отказ трансформатора e, f – отказ двухцепной линии f, g – отказ двухцепной линии g, h – отказ одноцепной линии h, i – отказ одноцепной линии i, k – отказ трансформатора k. К списку промежуточных событий относятся: А – потеря питания ПС1, В – потеря питания ПС2, С – потеря питания ПС3, D – потеря питания ПС1 от источника И2, Е – выход из строя обоих трансформаторов на ПС1, F – потеря питания ПС2 от источника И1, G – выход из строя обоих трансформаторов на ПС2, Н – потеря питания ПС3 от источника И1, I – потеря питания ПС3 от источника И2.

На основе рассмотренных выше события строится дерево отказов, на котором наглядно видны логические связи между событиями. Дерево отказов приведено на рис. 4.

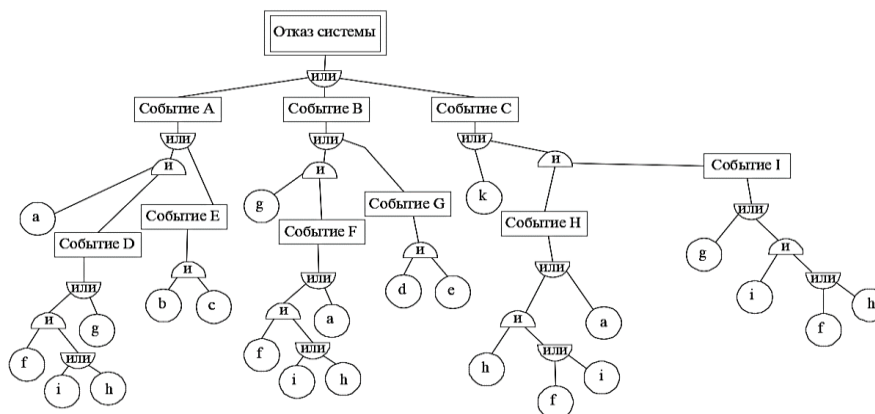


Рисунок 3 – Дерево отказов исследуемой сети

Для расчета итоговой функции отказов системы требуется определить минимальные сечения. Сечение – это множество элементов, удаление которых приводит к нарушению связи между входом и выходом схемы, в свою очередь минимальное сечение – сечение, удаление из которого хотя бы одного элемента приводит к тому, что остальное множество элементов не будет сечением. На каждом шаге анализа дерева отказов выявляются множества сечений. В результате функция отказов примет вид:

$$\bar{Y}_c = \bigcup_{k=1}^9 \quad \cdot de + ahf + afi + ag + gfi + gfh + hi; \quad (1)$$

где  $S_k$  –  $k$ -е минимальное сечение.

Исходные данные для расчет численного значения функции надежности приведены в табл. 1. При расчете принимается, что надежность сборных шин подстанций ПС1, ПС2 и ПС3 не влияет на результат расчета ввиду того, что повреждения шин происходят довольно редко. При вычислениях функции параметров надежности элементов считаются по экспоненциальному закону с расчетным временем в 1 год.

Таблица 1 – Исходные данные расчета

Элемент	Интенсивность отказов $\lambda_0$ , год <sup>-1</sup>
Воздушная линия 110 кВ одноцепная (10 км)	0,8
Воздушная линия 110 кВ двухцепная (15 км)	0,12
Трансформатор с высшим напряжением 110 кВ	0,03

Функции вероятности безотказной работы и вероятности отказа для элементов будут рассчитываться по формулам:

$$p(t) = e^{(-\lambda_0 t)}, \quad (2)$$

$$q(t) = 1 - p(t), \quad (3)$$

где  $\lambda_0$  – интенсивность отказов, год<sup>-1</sup>.

Рассчитанные функции параметров надежности и их значения для  $t = 1$  год приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Параметры надежности элементов схемы

Элемент	Функция $p(t)$	Функция $q(t)$	Значение функции $p$ (1)	Значение функции $q$ (1)
Воздушная линия 110 кВ одноцепная (10 км)	$e^{-0,8t}$	$1 - e^{-0,8t}$	0,45	0,55
Воздушная линия 110 кВ двухцепная (15 км)	$e^{-0,12t}$	$1 - e^{-0,12t}$	0,87	0,13
Трансформатор с высшим напряжением 110 кВ	$e^{-0,03t}$	$1 - e^{-0,03t}$	0,97	0,03

Первичные события в формуле (1) отражают отказы соответствующих элементов. По формуле (1) вычислим функцию отказов:

$$\begin{aligned} \bar{Y}_c &= \bigcup_{k=1}^9 \cdot de + ahf + afi + ag + gfi + gfh + hi = \\ &= 0,03 \cdot 0,03 + 0,03 + 0,03 \cdot 0,03 + 0,13 \cdot 0,55 \cdot 0,13 + 0,13 \cdot 0,55 \cdot 0,13 + 0,13 \cdot 0,13 + \\ &+ 0,13 \cdot 0,55 \cdot 0,13 + 0,13 \cdot 0,55 \cdot 0,13 + 0,55 \cdot 0,55 = 0,375; \end{aligned}$$

### Заключение

Таким образом, значение итоговой функции свидетельствует о том, что для данной схемы могут быть еще предприняты мероприятия по повышению надежности как отдельных элементов сети, так и ее надежности в целом.

### Литература

1. Резервное питание электроприемников [Электронный ресурс] / резервное питание электроприемников. – Режим доступа: <https://elenergi.ru/rezervnoe-pitanie-elektropriemnikov.html/>. – Дата доступа: 04.04.2021.
2. Резервное питание электроприемников [Электронный ресурс] / резервное питание электроприемников. – Режим доступа: <https://xn-ptbdbgndbgtdm2excr.xnp1ai/raznoe-2/rezervnoe-elektropitanie-vybor-rezervnogo-istochnika-dlya-doma.html>.

УДК 621.3.019.34

**ЭНТРОПИЙНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК  
ENTROPY ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF ELECTRIC  
POWER PLANTS**

В.В. Дюров, Т.Д. Невмержицкая  
Научный руководитель – А.Л. Старжинский, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь  
alexeystminsk@gmail.com  
V. Diurau, T. Nevmerzhitskaya  
Supervisor – A. Starzhinsky, Candidate of Technical Scinces, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной научной работе будет рассмотрен метод энтропийной оценки надежности электрической сети, преимущества данного метода, а также расчет основных показателей надежности для заданной схемы местной электрической сети 35 кВ.*

***Abstract:** In this research it is considered the method of entropy assessment of the reliability of the electrical network, advantages of this method, and calculation of the main indicators of reliability for a given scheme of the local electric network 35 kV.*

***Ключевые слова:** Энтропия, местная электрическая сеть, надежность,  
**Keywords:** Entropy, local electric network, reliability.*

### **Введение**

Главные требования на данный момент к энергосистеме – это повышение экономичности технологических процессов и надежность оборудования на всех этапах его жизненного пути. В процессе эксплуатации технические системы могут терять свою работоспособность, что вызывает их отказы. Это происходит вследствие естественных процессов изнашивания и под влиянием электротехнических и термических явлений. Одним из лучших и качественных является вероятностный или энтропийный метод оценки системы, который позволяет определить оптимальный, экономически оправданный и достижимый уровень надежности с учетом обеспечения безопасности эксплуатации рассматриваемой системы.

Поэтому в данной научно-исследовательской работе будет производиться расчет надежности с помощью метода энтропийной оценки.

### **Основная часть**

В ходе реализации случайного процесса в электроэнергетической установке за какой-либо период времени образуются счетные множества. Это множества различных повреждений, множества действий и отказов защиты и автоматики, множества аварий и множества состояний установки.

Степень неоднородности или разнообразия множеств каких-либо элементов зависит от общего числа элементов, входящих в данное множество, от числа различных элементов и их плотности в данном множестве. Плотности раз-



личных элементов задаются обычно вероятностью получить элемент данного вида при случайной выборке из данного множества.

Для измерения разнообразия множества используется энтропия данного множества  $A$  элементов, которая определяется по выражению

$$H(A) = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i, \quad (1)$$

где  $H(A)$  – энтропия множества  $A$ ;

$p_i$  – вероятность появления  $i$ -го элемента при случайной выборке из множества  $A$ ; суммирование производится по всем элементам полного множества элементов, т.е.

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (2)$$

Условной энтропией множеств, при условии, что во множестве  $A$  появился элемент  $a_i$  называется величина, которая определяется как

$$H(B/a_i) = \sum_{j=1}^m \eta \left[ P(b_j/a_i) \right], \quad (3)$$

где  $P(b_j/a_i)$  – условная вероятность появления элемент  $b_j$  во множестве  $B$ , если во множестве  $A$  появился элемент  $a_i$ .

Средняя условная энтропия  $H(B/A)$  определяется как математическое ожидание условной энтропии:

$$H(B/A) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_i \eta \left[ P(b_j/a_i) \right]. \quad (4)$$

При последовательном независимом соединении элементов в одноцепной линии электропередачи их энтропия в силу свойства аддитивности, будет равна:

$$H_q(E) = H_q(E_a) = H_q(E_1) + H_q(E_2). \quad (5)$$

При соединении трех и более независимых элементов последовательно  $H_q(E)$  объединения вычисляется простым сложением, аналогично с  $H_Q(E)$ :

$$H_q(E) = \sum_{i=1}^n H_q(E_i). \quad (6)$$

Энтропия возмущений  $H_Q(D)$  определяется при независимом отказе элементов

$$H_Q(D) = H_Q(D_1) + H_Q(D_2), \quad (7)$$



где  $H(D)$ ,  $H(R)$  – энтропия множеств  $R$  и  $D$ ;

$H(R/D)$  – средняя условная энтропия множества  $R$  при определенном воздействии из множества  $D$ .

$$H(E) \geq H(D) + H(R/D) - H(R). \quad (8)$$

Энтропия  $H(E)$  является мерой неопределенности состояний установки. Но она может стать мерой ненадежности системы если все нормальные эксплуатационные состояния рассматривать как одно состояние, а доля энтропии  $H(E)$  будет близка к нулю, тогда  $H(E)$  станет мерой неопределенности того, в каком состоянии находится установка – в нормальной эксплуатации или аварийных условиях. [1]

Согласно (8) энтропия состояний  $H(E)$  имеет минимум, а выражение является для минимальной ненадежности, которую можно обеспечить при заданном множестве аварий  $D$  и множестве выбранных действий противоаварийной автоматики  $R$  при безотказной работе:

$$H(E)_{\min} = H(D) + H(R/D) - H(R). \quad (9)$$

Вероятности появления элементов множества  $E$  можно связывать с вероятностями нахождения элементов установки в различных состояниях: нормальных  $p_i$  и аварийных  $q_i$ . Тогда энтропия  $H_Q(E)$  будет мерой готовности, мерой неопределенности застать установку в состоянии работоспособности или неработоспособности ее элементов. Определив вероятности  $p$  и  $q$  для всей установки, можно рассматривать  $H_Q(E_a)$  как меру бесперебойности.

Также энтропия  $H_Q(E)$  является функцией времени. При рассмотрении бесконечно малого отрезка времени  $H_Q(E)$  велика за счет большой вероятности безотказной работы. При увеличении рассматриваемого отрезка времени  $H_Q(E)$  возрастает за счет увеличения вероятностей отказов и аварий. Если в установке не всякий отказ элемента приводит к отказу всей установки, к аварии, то, связав величину энтропии только с двумя вероятностями  $P$  и  $Q$  получим:

$$Qa = 1 - P, \quad (10)$$

где  $P$  – вероятность безаварийной работы;

$Q_a$  – вероятность аварии.

Тогда получим меру безаварийности  $H_Q(E_a)$ .

При последовательном соединении элементов, не учитывая выключатели и коммутационную аппаратуру, энтропия  $H_Q(E)$ , будет являться энтропией множества возмущений  $H(D)$ :

$$H_Q(D) = H_Q(E). \quad (11)$$

Энтропия множества действий автоматики определяется вероятностями отключений поврежденных элементов, вероятностями ложных отключений исправных элементов и вероятностями отказа в отключении поврежденных элементов:

$$H_Q(R) = \eta(Q_{л.откл}) + \eta(Q_{о.ср}) + \eta(P_{откл}), \tag{12}$$

где  $P_{откл}$  – вероятность отключения поврежденных элементов;

$Q_{л.откл}$  – вероятность ложного и неселективного отключения исправных элементов;

$Q_{о.ср}$  – вероятность отказа в срабатывании.

В случае пуассоновского потока отказов

$$P(t) = e^{-a} \tag{13}$$

где  $a$  – среднее число отказов в течение времени  $t$ ;

В случае простейшего потока

$$a = \lambda t \tag{14}$$

Рассмотрим электрическую схему 35 кВ представленной на рисунке 1.

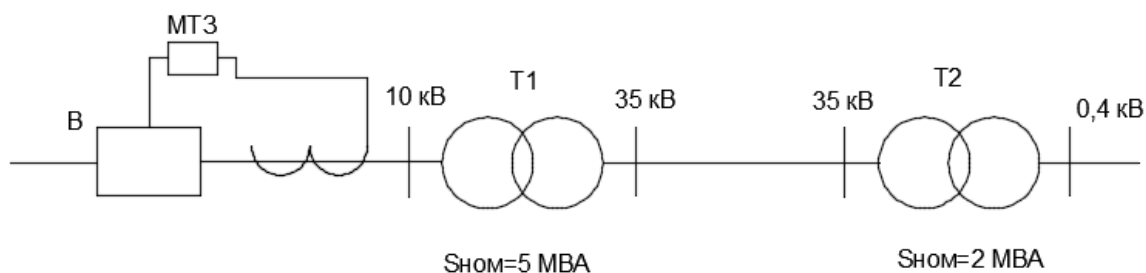


Рисунок 1 – Исходная схема

Интенсивности отказов примем по [2]

Для трансформатора 1 –  $\lambda_1 = 0,01$  1/год;

Для трансформатора 2 –  $\lambda_2 = 0,008$  1/год;

Для воздушной линии –  $\lambda_3 = 0,066$  1/год.

Для максимальной токовой защиты МТЗ с реле прямого действия на ВМП-10

Отказ в срабатывании  $\lambda_{л.откл} = 0,004$  1/год;

Ложное срабатывание  $\lambda_{о.ср} = 0,0015$  1/год;

Интенсивность отказов  $\lambda_B = 0,009$  1/год.

Условная вероятность отказа в срабатывании при возникновении повреждения в зоне действия отсечки (в линии) – 0,05, при повреждении в трансформаторе – 0,01.

Оценим величину  $H_Q(D)$ , приняв отказы линии и трансформатора независимыми и расчетное время  $t_p$ , равное 1 году,

По формуле (14) находим:

$$\alpha_1 = 0,01 \cdot 1 = 0,01$$

$$\alpha_2 = 0,066 \cdot 1 = 0,066$$

$$\alpha_3 = 0,008 \cdot 1 = 0,008$$

По формуле (13) рассчитаем:

$$P_1 = e^{-0,01} = 0,990$$

$$P_2 = e^{-0,066} = 0,936$$

$$P_3 = e^{-0,008} = 0,992$$

По формуле (10) находим вероятность аварий:

$$Q_1 = 1 - P_1 = 1 - 0,990 = 0,0095$$

$$Q_2 = 1 - P_2 = 1 - 0,936 = 0,064$$

$$Q_3 = 1 - P_3 = 1 - 0,992 = 0,007$$

$$\eta(P_1) = -P_1 \cdot \log_2(P_1) = -0,990 \cdot \log_2(0,990) = 0,014$$

$$\eta(Q_1) = -Q_1 \cdot \log_2(Q_1) = -0,095 \cdot \log_2(0,095) = 0,066$$

$$\eta(P_2) = -P_2 \cdot \log_2(P_2) = -0,936 \cdot \log_2(0,936) = 0,089$$

$$\eta(Q_2) = -Q_2 \cdot \log_2(Q_2) = -0,064 \cdot \log_2(0,064) = 0,253$$

$$\eta(P_3) = -P_3 \cdot \log_2(P_3) = -0,992 \cdot \log_2(0,992) = 0,011$$

$$\eta(Q_3) = -Q_3 \cdot \log_2(Q_3) = -0,007 \cdot \log_2(0,007) = 0,055$$

$$H_Q(E_1) = \eta(P_1) + \eta(Q_1) = 0,014 + 0,066 = 0,0805$$

$$H_Q(E_2) = \eta(P_2) + \eta(Q_2) = 0,089 + 0,253 = 0,343$$

$$H_Q(E_3) = \eta(P_3) + \eta(Q_3) = 0,011 + 0,055 = 0,067$$

По формулам (5), (6), (11) находим:

$$H_Q(D) = H_Q(D_1) + H_Q(D_2) + H_Q(D_3) = H_Q(E_1) + H_Q(E_2) + H_Q(E_3) = 0,0805 + 0,343 + 0,067 = 0,49$$

Для определения величины  $H_Q(R)$ :

$$Q_{л.откл} = 1 - \exp(-\lambda_{л.откл} \cdot t_p) = 1 - \exp(-0,004 \cdot 1) = 3,992 \cdot 10^{-3}$$

$$P_{л.откл} = 1 - Q_{л.откл} = 1 - 3,992 \cdot 10^{-3} = 0,996$$

$$Q_{о.ср} = 1 - \exp(-\lambda_{о.ср} \cdot t_p) = 1 - \exp(-0,0015 \cdot 1) = 1,499 \cdot 10^{-3}$$

$$P_{о.ср} = 1 - Q_{о.ср} = 1 - 1,499 \cdot 10^{-3} = 0,999$$

где  $P_{л.откл}$  – вероятность работы без ложного и неселективного отключения исправных элементов;

$P_{о.ср}$  – вероятность работы без отказов в срабатывании.

$$\begin{aligned}
 P_{откл} &= 1 - Q_{л.откл} - Q_{о.ср} - Q_{л.откл} \cdot Q_{о.ср} = 1 - 3,992 \cdot 10^{-3} - 1,499 \cdot 10^{-3} - 3,992 \cdot 10^{-3} \cdot 1,499 \cdot 10^{-3} = 0,995 \\
 \eta(Q_{л.откл}) &= -Q_{л.откл} \cdot \log_2(Q_{л.откл}) = -3,992 \cdot 10^{-3} \cdot \log_2(3,992 \cdot 10^{-3}) = 0,0318 \\
 \eta(P_{л.откл}) &= -P_{л.откл} \cdot \log_2(P_{л.откл}) = -0,996 \cdot \log_2(0,996) = 5,748 \cdot 10^{-3} \\
 \eta(Q_{о.ср}) &= -Q_{о.ср} \cdot \log_2(Q_{о.ср}) = -1,499 \cdot 10^{-3} \cdot \log_2(1,499 \cdot 10^{-3}) = 0,01406 \\
 \eta(P_{откл}) &= -P_{откл} \cdot \log_2(P_{откл}) = -0,995 \cdot \log_2(0,995) = 7,908 \cdot 10^{-3}
 \end{aligned}$$

По формуле (12) находим  $H_Q(R)$ :

$$H_Q(R) = 0,0318 + 0,01406 + 0,007908 = 0,054$$

Для вычислений  $(R/D)$  по формуле (4) находим:

$$\begin{aligned}
 P_{усл.линии} &= 1 - Q_{усл.линии} = 1 - 0,05 = 0,95 \\
 P_{усл.тр} &= 1 - Q_{усл.тр} = 1 - 0,01 = 0,99 \\
 \eta(Q_{усл.линии}) &= -Q_{усл.линии} \cdot \log_2(Q_{усл.линии}) = -0,05 \cdot \log_2(0,05) = 0,216 \\
 \eta(Q_{усл.тр}) &= -Q_{усл.тр} \cdot \log_2(Q_{усл.тр}) = -0,01 \cdot \log_2(0,01) = 0,066 \\
 \eta(P_{усл.линии}) &= -P_{усл.линии} \cdot \log_2(P_{усл.линии}) = -0,95 \cdot \log_2(0,95) = 0,070 \\
 \eta(P_{усл.тр}) &= -P_{усл.тр} \cdot \log_2(P_{усл.тр}) = -0,99 \cdot \log_2(0,99) = 0,014 \\
 H_Q(R/D) &= e^{-0,084} \cdot [\eta(0,004) + \eta(0,996)] + \lambda_1 \cdot [\eta(0,01) + \eta(0,99)] + 0,066[\eta(0,05) + \eta(0,95)] + \\
 &+ 0,008[\eta(0,01) + \eta(0,99)] = 0,055
 \end{aligned}$$

По выражению (9) получим:

$$H_Q(E)_{мин} = 0,490 + 0,055 - 0,054 = 0,491.$$

Оценим энтропию безотказности  $H_Q(E)$  для выбранной схемы как для последовательного соединения четырех элементов: выключателя с релейной защитой, воздушной линии и двух трансформаторов.

Отказы линии и трансформатора являются независимыми, поэтому определяем энтропию безотказности сначала для них по выражению (5):

$$H_Q(E_o) = H_Q(E_1) + H_Q(E_2) = 0,0805 + 0,3426 = 0,423$$

Теперь для системы из четырех элементов получим:

$$H_Q(E_c) = H_Q(E_B) + R_B \cdot H_Q(E_o/B) \tag{15}$$

При собственной повреждаемости выключателя  $Q_B = 0,0055$  и безотказной работе  $P_B = 1 - Q_B = 0,9945$ ;

$$\eta(Q_B) = -Q_B \cdot \log_2(Q_B) = -0,0055 \cdot \log_2(0,0055) = 0,0413$$

$$\eta(P_B) = -P_B \cdot \log_2(P_B) = 0,0079$$

$$P_Q(E_B) = \eta(Q_B) + \eta(P_B) = 0,0413 + 0,0079 = 0,049$$

Величина  $H_Q(E_0/B)$  – энтропия безотказности воздушной линии и трансформаторов при исправном выключателе меньше чем  $H_Q(E_0)$  из-за того, что расчетное время для объединенного элемента должно быть уменьшено на среднее время простоя выключателя в аварийном ремонте.

$$\eta_{отк1} = -[\lambda_1 \cdot (1 - \lambda_B)] \cdot \log_2[\lambda_1 \cdot (1 - \lambda_B)] = -[0,01 \cdot (1 - 0,009)] \cdot$$

$$\cdot \log_2[0,01 \cdot (1 - 0,009)] = 0,066$$

$$\eta_{раб1} = -[1 - \lambda_1 \cdot (1 - \lambda_B)] \cdot \log_2[1 - \lambda_1 \cdot (1 - \lambda_B)] = -[1 - 0,01 \cdot (1 - 0,009)] \cdot$$

$$\cdot \log_2[1 - 0,01 \cdot (1 - 0,009)] = 0,014$$

$$\eta_{отк2} = -[\lambda_2 \cdot (1 - \lambda_B)] \cdot \log_2[\lambda_2 \cdot (1 - \lambda_B)] = -[0,066 \cdot (1 - 0,009)] \cdot$$

$$\cdot \log_2[0,066 \cdot (1 - 0,009)] = 0,257$$

$$\eta_{раб2} = -[1 - \lambda_2 \cdot (1 - \lambda_B)] \cdot \log_2[1 - \lambda_2 \cdot (1 - \lambda_B)] = -[1 - 0,066 \cdot (1 - 0,009)] \cdot$$

$$\cdot \log_2[1 - 0,066 \cdot (1 - 0,009)] = 0,0912$$

$$\eta_{отк3} = -[\lambda_3 \cdot (1 - \lambda_B)] \cdot \log_2[\lambda_3 \cdot (1 - \lambda_B)] = -[0,008 \cdot (1 - 0,009)] \cdot$$

$$\cdot \log_2[0,008 \cdot (1 - 0,009)] = 0,055$$

$$\eta_{раб3} = -[1 - \lambda_3 \cdot (1 - \lambda_B)] \cdot \log_2[1 - \lambda_3 \cdot (1 - \lambda_B)] = -[1 - 0,008 \cdot (1 - 0,009)] \cdot$$

$$\cdot \log_2[1 - 0,008 \cdot (1 - 0,009)] = 0,011$$

Если коэффициент простоя выключателя равен 0,0001, то получим:

$$H_Q(E_0/B) = \eta_{отк1} + \eta_{отк2} + \eta_{раб1} + \eta_{раб2} + \eta_{отк3} + \eta_{раб3} = 0,066 + 0,257 + 0,014 + 0,0912 + 0,055 + 0,0011 = 0,495$$

Тогда по формуле (15) находим

$$H_Q(E_c) = 0,049 + 0,995 \cdot 0,495 = 0,542,$$

$$H(E)_{мин} < H(E_c); 0,491 < 0,542.$$

### Заключение

В данной научной работе был проведен расчет надежности заданной электрической сети методом энтропийной оценки. По результатам расчета выполняется необходимое условие  $H(E_{мин}) < H(E_c)$ , что свидетельствует об успешности расчета.

Применение энтропийных оценок дает возможность наглядно оценить влияние на надежность установки такого фактора, как надежность действия устройств релейной защиты и автоматики.

### Литература

1. Ю.Б. Гук Оценка надежности электроустановок / Ю.Б. Гук и др: по ред. Б.А. Константинова – Энергия, 1974. – 200с.
2. Справочник по проектированию подстанций – надежность главных схем [электронный ресурс] / Справочник по проектированию подстанций – надежность главных схем. – Режим доступа: <https://leg.co.ua/arhiv/podstancii/spravochnik-po-proektirovaniyu-podstanciy-7.html/>. – Дата доступа: 10.04.2021.

УДК 681.3.06

**МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ  
СЕТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УМНЫХ СЕТЕЙ  
METHODS TO REDUCE LOSSES IN DISTRIBUTION NETWORKS  
USING SMART GRIDS**

М.Н. Поздняков, С.Н. Коротченко

Научный руководитель – М.И. Фурсанов, д.т.н., профессор

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

nvnvvnvvnv@list.ru

M. Pozdnyakov, S. Korotchenko

Supervisor – M. Fursanov, Doctor of Technical Sciences, Professor

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной работе анализируются виды потерь в распределительных сетях, причины их возникновения, методы их снижения с применением умных сетей и интеллектуальных силовых трансформаторов.*

***Abstract:** This article analyzes the types of losses in distribution networks, the reasons for their occurrence, methods of their reduction using smart grids and intelligent power transformers*

***Ключевые слова:** распределительные сети, потери в распределительных сетях, умные сети, интеллектуальный трансформатор.*

***Keywords:** distribution grids, distribution grid losses, smart grids, smart transformers.*

### **Введение**

Технические потери в электрической энергии в распределительных сетях являются неотъемлемой частью передачи и распределения энергии. Полностью устранить их невозможно, можно и нужно свести их к минимуму за счет повышения энергоэффективности с помощью интеллектуальных подключенных инструментов [1].

Выгоды от снижения потерь в электрических распределительных сетях многогранны:

– финансовые: потери при распределении могут быть очень дорогостоящими. Это ежегодные потери в распределительных сетях от электроэнергии, которая была произведена, но никогда не использовалась и не выставлялась в счетах;

– экологические преимущества: во всем мире можно снизить выбросы около 500 метрических тонн углекислого газа в год за счет повышения эффективности глобальной сети, например, снижения технических потерь. Более энергоэффективная сеть требует меньшего энергопотребления, что может воздуха, избежать потери ресурсов и сократить использование ископаемого топлива.

### **Основная часть**

Могут быть два типа потерь - нетехнические потери, такие как кража или ошибки счетчика, и технические потери. Сейчас мы сосредоточены на

технических потерях, которые можно разделить на две категории: переменные и постоянные технические потери.

Технические потери вызваны рассеиванием энергии в проводниках, оборудовании, используемом для передачи в распределительных линиях, а также магнитными потерями в трансформаторах. Передача электроэнергии, естественно, неэффективна из-за таких факторов, как неэффективное сетевое оборудование, потери, возникающие при транспортировке энергии на большие расстояния между генерацией и потреблением, а также перегрузка сети, которая нарушает нормальный поток электроэнергии.

Меньшая часть технических потерь в распределительных сетях – это постоянные потери. Они не зависят от тока и могут быть вызваны такими факторами, как потери тока утечки или потери, вызванные постоянной нагрузкой на измерительные или регулирующие элементы. Большая часть технических потерь – это переменные технические потери, которые зависят от количества распределяемой электроэнергии. Они вызваны импедансом системы, например, кабелей или проводов, и пропорциональны квадрату тока.

Существует ряд причин возникновения потерь в распределительных сетях, но наиболее частыми из них являются:

- длинные распределительные линии;
- перегрузка линий;
- несимметричный фазный ток фидера;
- несоответствующее сечение проводов передаваемой мощности для распределительных линий;
- установка распределительных трансформаторов вдали от центров нагрузки.

Любая стратегия улучшения сетевых потерь должна быть нацелена на все три столпа снижения потерь: организационная стратегия, технические решения и управление данными:

1. Организационная стратегия вращается вокруг реализации операционных стратегий, таких как балансировка нагрузки между фазами;
2. Технический выбор сосредоточен на выборе эффективных компонентов или решений;
3. Управление данными сосредоточено на использовании данных для понимания и отслеживания энергопотребления и потерь.

Все три категории можно решить с помощью подключенных цифровых технологий.

Замена существующей инфраструктуры распределительной сети дорогостоящая и сложная. Вместо этого рентабельной альтернативой усовершенствованию сети, включая минимизацию технических потерь, является сохранение существующей инфраструктуры распределения электроэнергии с одновременным внедрением компонентов интеллектуальной сети и передового программного обеспечения [2]. Переход на интеллектуальную подключенную технологию снижает потери при оптимальном использовании существующих энергоресурсов и дает операторам распределения больший контроль над своей сетью. На ней рассмотрим несколько примеров.



Передовые системы управления распределением, которые могут служить основой любой стратегии минимизации потерь и активного управления распределительными сетями. Это платформа для управления распределением и оптимизации сети. Их функциональные возможности дают сетевым операторам возможность снижать потери, обеспечивая полное представление о распределительной сети для более точного обнаружения потерь, оптимизации напряжения и ситуационной осведомленности в реальном времени для мониторинга, управления и координации взаимосвязанных активов. Кроме того, объединяя несколько функций в единое решение для управления сетью, операторы распределения могут снизить потери, выявляя и устраняя колебания напряжения, вызванные различными причинами.



Рисунок 1 – Схема интеллектуального трансформатора

Другой пример – эффективные компоненты, такие как высокоэффективные трансформаторы с низкими потерями. Это может значительно улучшить производительность как при потере нагрузки, так и без потери нагрузки. Они могут активно управлять потерями и рассеиваемой мощностью, динамически изменяя конфигурацию сети с помощью программного обеспечения, созданного для оценки потерь. Например, интеллектуальный трансформатор (рисунок 1), включающий последовательный трансформатор, работающий вместе с обычной активной частью, набор слаботочных контакторов низкого напряжения и программируемый логический контроллер (ПЛК) для управления операциями, может обеспечить стабильность напряжения и надежность за счет упрощения обслуживания, поддерживая выходное напряжение в заданном диапазоне и легко изменяемое по мере необходимости.

### **Заключение**

Наконец, устранение потерь со стороны бытовых потребителей с помощью таких технологий, как интеллектуальные измерения, открывает значительные возможности для сокращения потерь. Потребление энергии можно снизить, если в домах использовать умные счетчики в сочетании с системой АСКУЭ, что в Беларуси находится на стадии реализации в крупных городах. Также необходимо проводить проверку схем подключения приборов учета потребителей, а также подключение квартир к этажным щитам. Это может снизить потери в распределительной сети из-за снижения потребления. Кроме того, реагирование на спрос потенциально может снизить потери за счет переноса части нагрузки с пикового периода на непиковый при применении дифференцированного тарифа.

### **Литература**

1. Бердиков Р.Н. Политика инновационного развития и модернизации ОАО «ФСК ЕЭС» // Доклад [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fsk-ees.ru>. – Дата доступа: 29.03.2021
2. Буларгин О.М. Умная сеть – платформа развития инновационной экономики // Доклад на заседании круглого стола «Умные сети – Умная энергетика – Умная экономика» IV Петербургского международного экономического форума (17 – 19 июня 2010 г.), Электрические сети России, 2010.

УДК 621.311

**ПРОГРАММА ДЛЯ ВЫБОРА ЖЕСТКИХ ШИН ПО УСЛОВИЯМ  
ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ  
PROGRAM FOR HARD BUS SELECTION UNDER THERMAL  
RESISTANCE**

В.М. Лугачёв

Научный руководитель – С.Г. Гапанюк, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

V. Lugachev

Supervisor – S. Gapanyuk, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** Выбор шин в цепи питания оборудования состоит из множества этапов. Одним из них является расчет термической стойкости при КЗ. В статье кратко описана методика расчета, дан пример программы, реализующей алгоритм для нахождения минимальной площади при заданных условиях КЗ.

**Abstract:** The selection of buses in the equipment power supply chain consists of many stages. One of them is the calculation of thermal resistance at short circuit. The article briefly describes the calculation method, this example of the program, implements the algorithm for finding the minimum area under the given conditions of the short circuit.

**Ключевые слова:** Выбор шин. Термическая стойкость. Короткое замыкание.  
**Keywords:** Choice of buses. Thermal resistance at short circuit. Shortcircuit.

### Введение

Существующие сегодня методики для выбора жестких шин по термической стойкости представляют собой проверочный расчет. Зная ток в режиме наибольших нагрузок, по длительно допустимому току выбирают определенное сечение шины. Но сделав такой выбор трудно сказать был ли он оптимальным с экономической точки зрения, можно ли взять меньшее сечение, вероятность того, что первая выбранная шина подойдет не абсолютная, а значит громоздкий расчет придется повторять несколько раз.

### Основная часть

Основным критерием для оценки термической стойкости шины при коротком замыкании (КЗ) является допустимая температура нагрева  $\theta_k$  [°C] (определяется по табл. 3 – 11 [1]), которая зависит от материала проводника, величины тока и временем его протекания. Температура проводника при коротком замыкании связана с величиной  $f$ , характеризующей тепловое состояние проводника, термические процессы происходящие при КЗ,  $f$  является функцией от температуры проводника, график этой зависимости изображен на рис. 1.

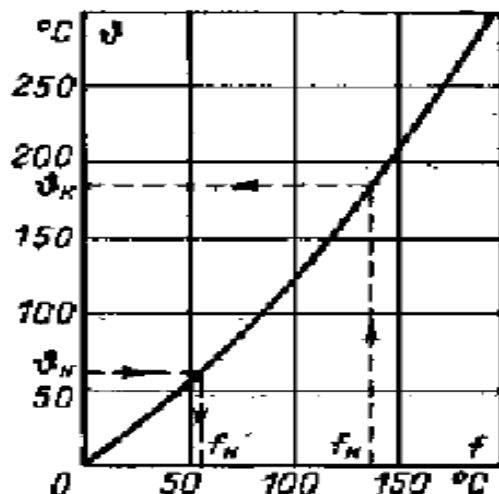


Рисунок 1 – Кривые для определения температуры нагрева проводников при КЗ

Расчет влияния тока КЗ на конечную температуру проводника ведется именно через этот коэффициент. Зная  $f$  для момента окончания действия тока КЗ (по прошествии времени работы релейной защиты) по графику можем найти конечную температуру проводника, дать оценку термической стойкости. Нахождение  $f$  для момента отключения токов КЗ, т.е.  $f_k$ , ведется по следующей формуле [1]:

$$f_k = f_n + k \frac{B_k}{S^2} \tag{1}$$

где  $f_k$  – величины характеризующие тепловое состояние проводника в момент окончания действия токов КЗ и нормальной работы соответственно, °C;  $k$  – коэффициент, учитывающий удельное сопротивление и эффективную теплоемкость проводника,  $\text{мм}^2 \cdot \text{°C} / (\text{A}^2 \cdot \text{с})$ ;  $B_k$  – интеграл Джоуля,  $\text{A}^2 \cdot \text{с}$  [2];  $S$  – площадь сечения проводника,  $\text{мм}^2$ .

Далее рассмотрим величину  $f_n$ , она по изложенному выше закону зависит от начальной температуры проводника  $\theta_n$ , это температура шины при длительной работе в режиме максимальной нагрузки, согласно [1], данная температура определяется по следующей формуле:

$$\theta_n = \theta_0 + (\theta_{\text{доп.дл.}} - \theta_{\text{ном}}) \cdot \left( \frac{I_{\text{max}}}{I_{\text{доп}}} \right)^2 \text{ [°C]} \tag{2}$$

где  $\theta_0$  – действительная температура окружающей среды, °C;  $\theta_{\text{доп.дл.}} = 70 \text{ °C}$  – длительно допустимая температура для шинных конструкций;  $\theta_{\text{ном}} = 25 \text{ °C}$  – номинальная температура окружающей среды;  $I_{\text{max}}$  – ток подключаемой установки в режиме наибольшей нагрузки, А;  $I_{\text{доп}}$  – длительно допустимый ток для данного сечения, А.

$I_{\max}$  может рассчитываться разными методами, в зависимости от типа подключаемой установки, например, для трансформатора:

$$I_{\max} = 1,35 \cdot I_{\text{ном}} \quad [A] \quad (3)$$

где  $I_{\text{ном}}$  – номинальный ток установки, А.

Для генератора:

$$I_{\max} = \frac{P_{\text{ном}}}{0,95 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \phi} = \frac{I_{\text{ном}}}{0,95} \quad [A] \quad (4)$$

где  $P_{\text{ном}}$  – номинальная мощность, Вт;  $I_{\text{ном}}$  – номинальный ток, А;  $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение, В;  $\cos \phi$  – коэффициент мощности.

Длительно допустимый ток  $I_{\text{доп}}$  определяется по таблицам из ПУЭ, где каждому значению площади сечения и соотношения ширины и высоты соответствует свой длительно допустимый ток. Таким образом, в соотношении (2) мы получили зависимость начальной температуры шины от ее площади. Однако, это соотношение выражено дискретной таблицей значений, к тому же, одному значению площади могут соответствовать два значения тока (для разных соотношений высоты и ширины), необходимо учитывать, что плоские шины могут состоять из нескольких полос на одну фазу. Для получения формулы минимальной площади нам все же необходимо получить некоторую математическую зависимость, иначе мы не сможем, подставив (2) в (1), разрешить последнее уравнение относительно минимальной площади.

К тому же, необходимо отметить, что температура в номинальном режиме является начальной температурой для короткого замыкания, а т. к. температура длительного режима фиксирована – 70 °С, предельно допустимые температуры нагрева меди и алюминия равны соответственно 200 °С и 300 °С. Таким образом при КЗ температура проводника может безопасно вырасти на 130 °С или 230 °С соответственно. За величину роста температуры, исходя из уравнения (3) отвечает слагаемое  $k \frac{B_{\text{к}}}{q^2}$ . Таким образом, интеграл Джоуля должен обеспечить прирост температуры именно на эти 130 °С, как показывает практика расчетов реальные тепловые импульсы редко достигают подобных значений. Из той же практики расчетов можно сделать вывод, что если начальная температура алюминиевого проводника не превышает 70 °С, т. е. не превышает длительно допустимую, то при  $\frac{B_{\text{к}}}{q^2} < (7,5 - 8) \cdot 10^{-3}$ , допускается проверку на термическую стойкость не проводить. При данной величине соотношения термическое действие КЗ не превысит 130 °С. Для медных проводников предельное соотношение будет другим, из-за разницы между коэффициентами  $k$ . Данный вывод в существующей учебной и справочной литературе не приводится.

Для составления алгоритма для нахождения минимальной площади требовалось в формулу (1) подставить граничные, т.е. предельные условия при которых шина еще термически прочна, таким условием является максимальное  $f_{\text{к}}$ ,

которое соответствует длительно допустимой температуре, и для меди это – 201,223 °С, для алюминия – 148,913 °С.

Следующий этап – получить прямые  $f(\vartheta)$  и обратные  $\vartheta(f)$  математические зависимости, в оригинале они выражены графиком. Это возможно сделать методом интерполяции с разной степенью точности, полученное выражение не зависит от рода материала шины и ее формы, что очень удобно для программирования. Пример математического закона, описывающего график Рисунок 1:

$$\vartheta(f) = 0,0027 \cdot f^2 + 0,9816 \cdot f - 0,0637 \quad (5)$$

$$f(\vartheta) = 0,6492 \cdot \vartheta + 12,839 \quad (6)$$

Далее необходимо получить математическую зависимость длительно допустимого тока от площади сечения, в оригинале она представлена таблицами из ПУЭ 6. Длительно допустимый ток зависит от рода материала, формы и площади шины. Зависимость для каждого из сочетания факторов будет своя, однако все они с высокой точностью выражаются квадратичными уравнениями или прямой. Например, уравнение для плоских алюминиевых шин имеет вид:

$$I_{don}(S) = 1,6889 \cdot S + 197,67 \quad (7)$$

Аналогично можно получить уравнения для всех существующих материалов и форм.

Таким образом мы имеем все необходимые математические законы, чтобы получить зависимость конечной температуры от площади сечения. Для получения финального уравнения достаточно формулы (2), (5) и (7) подставить в (1).

Практического смысла получать финальные уравнения нет, при подстановке даже линейных аппроксимаций таблиц получается полином 4 степени, который точного решения не имеет.

Таким образом, мы приходим к тому, что решать данную задачу нужно итерационным методом. А для его реализации не требуется финальная формула зависимости температуры от площади, досочно лишь знать законы, связывающие величины в формуле (1) с площадью и температурой. Данные обстоятельства позволяют достаточно легко применить для решения данной задачи ЭВМ.

В результате работы получили программу, интерфейс и результат работы которой представлен на рис. 2.

Правильность работы программы подтверждена ручным расчетом, результаты которого представлены на рис. 3.

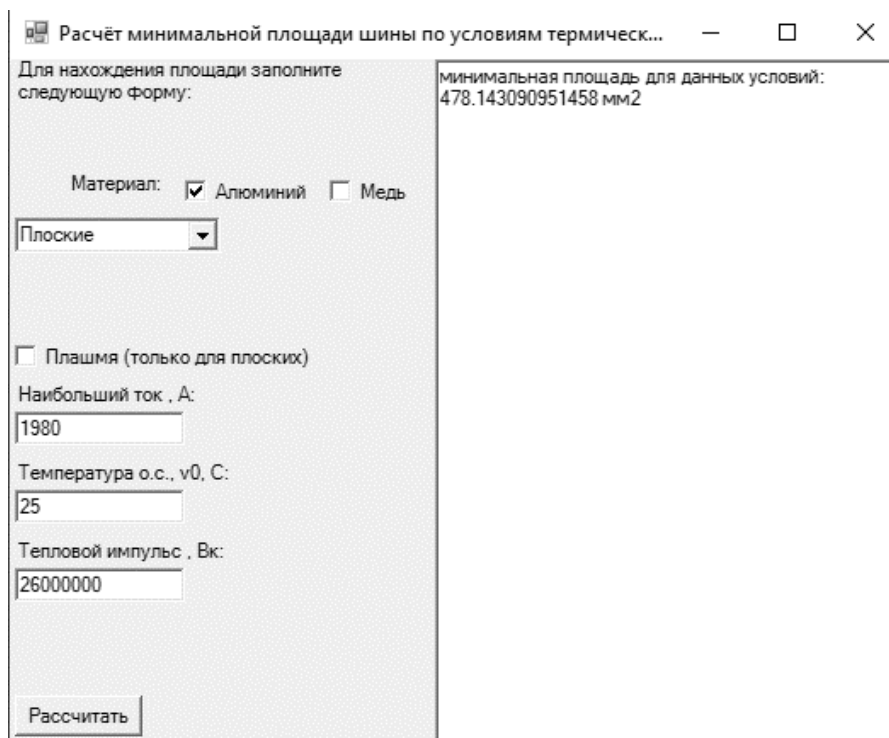


Рисунок 2 – Программа реализующая алгоритм нахождения минимальной площади шины из условия термической стойкости при КЗ

$$s(i) = \frac{i - 198}{1.7} \quad s(1004.043) = 474.143$$

$$\begin{aligned}
 v0 &= 25 \quad imax = 1980 \\
 k_{ss} &= 0.01054 \quad Bk = 2.6 \times 10^7 \\
 i(s) &= 1.7 \cdot s + 198 \\
 f(v) &= 0.65 \cdot v + 13 \\
 f_k &= f(200) = 143 \\
 SS &= 478.143 \\
 v_{nn} &= v0 + 45 \cdot \left( \frac{imax}{i(SS)} \right)^2 = 197.654 \\
 f(vn) &= 141.475 \\
 FK &= f(vn) + \frac{0.01054 \cdot Bk}{SS^2} = 142.673 \\
 v(FK) &= 194.945 \\
 FK - f_k &= -0.327
 \end{aligned}$$

Рисунок 3 – Ручная проверка

### Заключение

На основании описанного принципа выбора минимальной площади по условиям термической стойкости был составлен алгоритм и написана программа на ЭВМ. Правильность ее работы проверена вручную. Полученная в ходе работы методика расчетов на основе анализа ранее известных методов, позволила создать на их основе более понятный и быстрый алгоритм расчета, занимающий меньше памяти, требующий меньше данных, позволяющий сразу судить о минимально возможном варианте ошиновки, а не заниматься подбором



и проверками. Упростить алгоритм позволили математические зависимости, полученные из графиков и таблиц. Получены условия, при выполнении которых необходимость проверки шин на термическую стойкость отпадает.

#### **Литература**

1. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. – 2-е изд, перераб. – Москва; Энергия, 1980.
2. Виды шин и проводов // forca.ru: интернет-портал. URL: <https://forca.ru/spravka/shiny-i-tokoprovody/vidy-shin-i-provodov.html> (дата обращения: 15.05.2020).

УДК 621.32

**АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ИСПОЛНЕНИЯ ЛИНИЙ НАРУЖНОГО  
ОСВЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА  
ANALYSIS OF EXECUTION VERSION FOR OUTDOOR LIGHTING LINES  
BASED ON LIGHTING CALCULATIONS**

П.В. Сурович

Научный руководитель – В.Н. Калечиц, магистр технических наук, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

viachaslaukn@gmail.com

P.V. Surovich

Supervisor – V.N. Kalechyts, Senior Lecturer

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

**Аннотация:** В статье сравниваются варианты освещения дороги класса А, внимание уделено распределению светового потока и соблюдению нормированных параметров.

**Abstract:** In this article the attention is drawn to comparison of class A road lighting options, also considered the distribution of the luminous flux and compliance with the normalized parameters

**Ключевые слова:** наружное освещение, светодиодные светильники, качество освещения.

**Keywords:** outdoor lightning, LED luminaires, lighting quality.

### **Введение**

Автоматизированная система управления наружным освещением (АСУНО) предусмотрена для уменьшения расходов на разработку сетей наружного освещения и объемов использования электропотребления данными сетями. От особенностей АСУНО зависит обеспечение нормируемых светотехнических и электрических показателей конкретных линий наружного освещения.

### **Основная часть**

Задачами АСУНО являются [3]:

- снижение времени поиска повреждений;
- уменьшение затрат по времени на составление отчетов расхода электроэнергии;
- снижение количества отказов оборудования;
- устранение возможности кражи электроэнергии в сетях наружного освещения;
- минимизация эксплуатационных расходов.

Функции АСУНО [3]:

- диспетчерское управление наружным освещением по заданному годовому графику;
- автоматическое регулирование работы компонентов систем наружного освещения;

- контроль токов и напряжений в фазах сетей наружного освещения в режиме настоящего времени;
- улучшение рабочих режимов устройств;
- сигнал о факте внештатных происшествиях;
- автоматизация учета электроэнергии;
- сигнализация о несанкционированном доступе в питающие пункты;
- осуществление архивирования событий для анализа режимов работы.

**Экономический эффект** от внедрения АСУНО заключается в [3]:

- сокращение времени включения светильников;
- снижение эксплуатационных затрат за счет оптимизации организационно-технических мероприятий, обслуживания, транспортных расходов;
- сокращение эксплуатационных затрат на персонал за счет внедрения автоматизации управления;
- снижение числа плановых осмотров линий наружного освещения.

При правильно спроектированной и введенной системе управления можно достичь значительной экономии электроэнергии.

Системы управления позволяют изменить режимы работы светильников, т. е. можно уменьшать световой поток для эффективной работы. Управление происходит по линии и можно регулировать световой поток группы светильников с помощью дополнительного управления напряжением в пункте питания. Способы связи и коммутации бывают следующими: модемный канал, GSM канал, LAN линии, радиоканал [2].

Смоделирована в программе DIALux часть дороги, произведен светотехнический расчет при использовании светодиодных светильников с отличающимися параметрами: КСС, световой поток, светоотдача.

Принят класс освещения или категория объекта М4 (А4 – магистральная, внутренние транспортные связи центра города), с шириной дороги 20 м. Расстояние между опорами 25 м, их высота – 11 м, наклон консоли 15°, светильников на мачту – 1, расстояние консоль-проезжая часть 1 м, коэффициент эксплуатации 0,67, расстановка опор двухсторонняя.

За основу взяты два светильника наружного освещения:

- Philips- Optogan ОРК310 LED137 со световым потоком 13695 лм, мощностью 150 Вт, светоотдачей 91,3 Лм/Вт [4];
- БЕЛИНТЕГРА ДКУ 12-150-912 ТITANIA со световым потоком 14500 лм, мощностью 150 Вт, светоотдачей 83,7 Лм/Вт [5].

На рисунке 1 представлена дорога и ее освещение светильниками от Philips, а на рисунках 2, 3 изображены кривые силы света светильников.

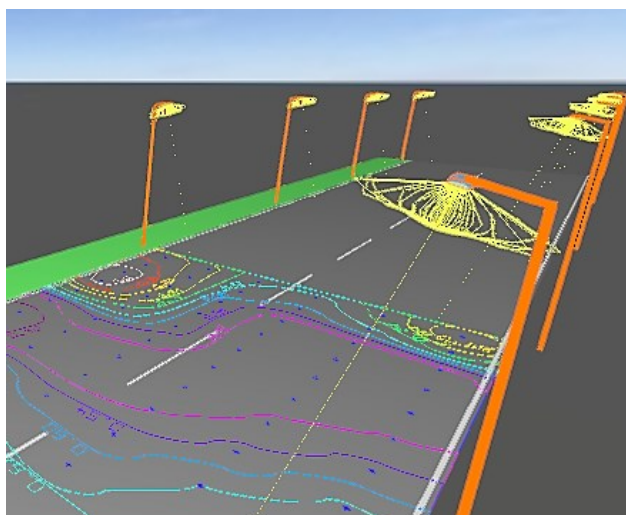


Рисунок 1 – Часть дороги для расчетов

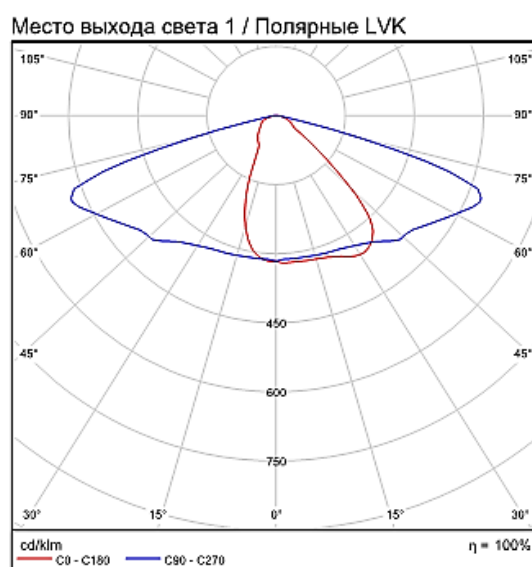


Рисунок 2 – КСС светильника Philips

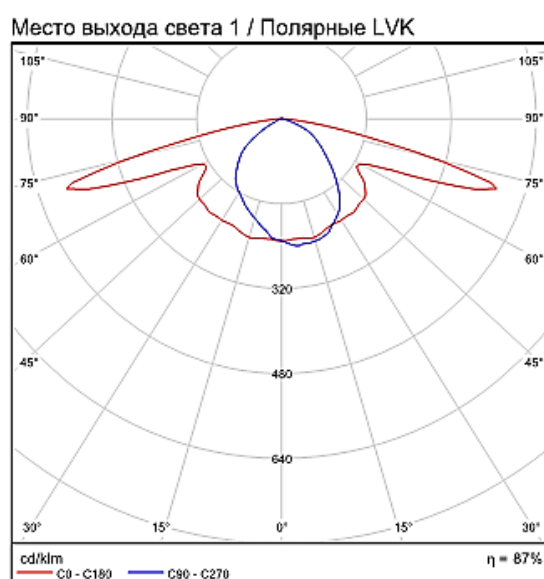


Рисунок 3 – КСС светильника БЕЛИНТЕГРА

Рассмотрено три случая:

- изменение расстояния между опорами с 25 м до 35 м;
- расположение опор вдоль дороги шахматным порядком;
- снижение светового потока светильников на 20 %.

Для выбранного типа дорог, определены следующие неравенства:

$$L_{cp} \geq 0,75; \quad (1)$$

$$U_0 \geq 0,4; \quad (2)$$

$$U1 \geq 0,6. \quad (3)$$

где  $L_{cp}$  – средняя яркость дорожного покрытия, кд/м<sup>2</sup>;

$U_0$  и  $U1$  – общая и продольная равномерности яркости.

Для первого варианта при начальных данных получаем:

$$0,6 \geq 0,75 \text{ не соответствует (по условию 1);}$$

$$0,59 \geq 0,4;$$

$$0,49 \geq 0,6 \text{ не соответствует (по условию 3).}$$

Уровень освещения проезжей части улиц, дорог и площадей с переходными и низшими типами покрытий в городских поселениях регламентируется величиной средней горизонтальной освещенности, которая для улиц, дорог и площадей категории А должна быть 15 лк [1].

Значения средней минимальной и максимальной освещенностей равны:  $E_{cp} = 15,3 \text{ лк}$ ,  $E_{мин} = 6,96 \text{ лк}$ ,  $E_{макс} = 27,1 \text{ лк}$ .

Второй вариант:

$$1,34 \geq 0,75;$$

$$0,73 \geq 0,4;$$

$$0,88 \geq 0,6.$$

Значения средней минимальной и максимальной освещенностей равны:  $E_{cp} = 18,6 \text{ лк}$ ,  $E_{мин} = 14,4 \text{ лк}$ ,  $E_{макс} = 22,4 \text{ лк}$ .

Все данные и результаты расчета сведены в таблицу 1, 2. На рисунке 4 представлен вариант с изменением расположения опор для второго светильника (в изолюксах).

Увеличение расстояния между опорами приводит к уменьшению количества опор, поэтому этот вариант экономичен, но слишком большой шаг снижает такие показатели, как освещенность и яркость. Шахматный порядок опор положительно сказывается на освещении дороги (более равномерное распределение светового потока на участке).

Таблица 1 – Результаты светотехнического расчета для светильника Philips

Исполнение	$L_{ср}, \text{кд}/\text{м}^2$	$U_0$	$U_1$	$E_{ср}, \text{лк}$	$E_{\text{мин}}, \text{лк}$	$E_{\text{макс}}, \text{лк}$
Изменение расстояния между опорами	0,43	0,27	0,18	10,9	1,82	26,5
Шахматное расположение опор	0,6	0,42	0,32	15,3	6,18	26,9
С уменьшенным световым потоком	0,48	0,59	0,49	12,2	5,57	21,6

Таблица 2 – Результаты светотехнического расчета для светильника БЕЛИНТЕГРА

Исполнение	$L_{ср}, \text{кд}/\text{м}^2$	$U_0$	$U_1$	$E_{ср}, \text{лк}$	$E_{\text{мин}}, \text{лк}$	$E_{\text{макс}}, \text{лк}$
Изменение расстояния между опорами	0,96	0,64	0,63	13,3	6,85	20,4
Шахматное расположение опор	1,34	0,73	0,88	18,6	14	22,8
С уменьшенным световым потоком	1,07	0,73	0,88	14,9	11,5	17,9

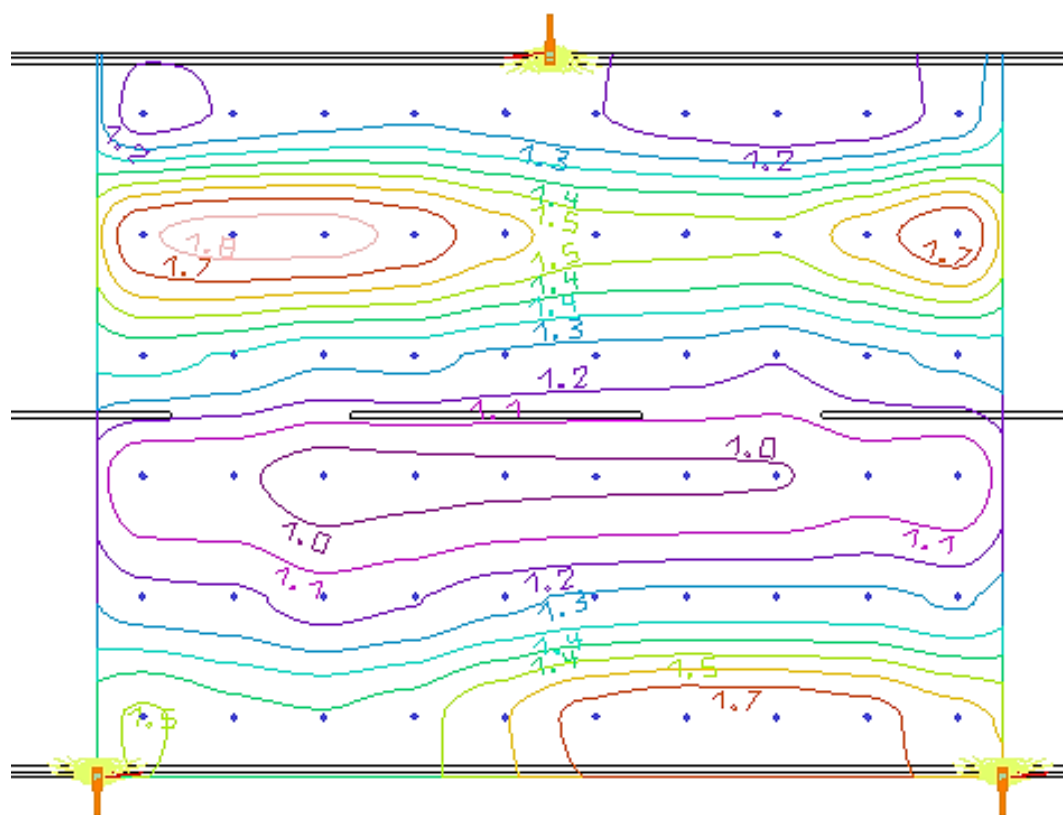


Рисунок 4 – Распределение светового потока при шахматном расположении опор

С помощью систем управления освещением и дополнительных устройств в пункте питания можно уменьшить напряжение, что позволяет понижать световой поток группы светильников. При третьем варианте расчета значительно изменяется средняя яркость дорожного покрытия. В ночное время допускается предусматривать возможность снижения уровня наружного освещения городских улиц, дорог и площадей при нормируемой средней яркости более 0,4 кд/м<sup>2</sup> или средней освещенности более 4 лк путем выключения не более половины светильников, исключая при этом выключение подряд расположенных, либо без отключения светильников с помощью регулятора светового потока разрядных ламп высокого давления в установке до уровня не больше 50 % ее нормируемого уровня наружного освещения [1].

### **Заключение**

Правильное освещение дорог – очень важная задача. Любые нарушения приводят к различному типу аварий и происшествиям на дорогах. Поэтому должны быть соблюдены все нормы, расчеты производят по ГОСТам, нормативным документам. Важнейшими показателями при выборе светильников являются: тип КСС, мощность, световой поток. Источник света должен направляться на дорожное покрытие, а сами опоры эффективно расположены, чтобы световой поток светильников был использован рационально.

### **Литература**

1. ТКП 45-2.04-153-2009 Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования. Разработан научно-проектно-производственным республиканским унитарным предприятием «Стройтехнорм» (РУП «Стройтехнорм»), техническим комитетом по стандартизации в области архитектуры и строительства «Проектирование зданий и сооружений» (ТКС 04). Утвержден и введен в действие приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 14 октября 2009 г. № 338. – Режим доступа: [https://evn.by/zakonodatelstvo/rabochaya\\_zona/tkp-45-2-04-153-2009-estestvennoe-i-iskusstvennoe-osveshhenie-stroitelnye-normy-proektirovaniya/](https://evn.by/zakonodatelstvo/rabochaya_zona/tkp-45-2-04-153-2009-estestvennoe-i-iskusstvennoe-osveshhenie-stroitelnye-normy-proektirovaniya/). – Дата доступа: 15.03.2021.
2. Каталог компании «Телесистемы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.telesystems.info/svet>. – Дата доступа: 10.03.2021.
3. Каталог компании «Helios» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://helios.su/asuno-helios/>. – Дата доступа: 10.03.2021.
4. Каталог компании «Philips» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.philips.by/>. – Дата доступа: 12.03.2021.
5. Каталог компании «Белинтегра» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belintegra.by/>. – Дата доступа: 12.03.2021.



УДК 621.3

**СРАВНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДНЫХ  
ИСТОЧНИКОВ СВЕТА РАЗНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ  
COMPARISON OF BASIC CHARACTERISTICS OF LED LIGHT  
SOURCES OF DIFFERENT MANUFACTURERS**

Ю.И. Богданов, А.С. Пильник

Научный руководитель – В.Б. Козловская, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

vkozlovskaya@bntu.by

Y. Bogdanov, A. Pilnik

Supervisor – V. Kozlovskaya, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

*Аннотация:* светодиод, драйвер, световой поток, сравнение, производители.

*Abstract:* driver, luminous flux, comparison, manufacturers.

*Ключевые слова:* драйвер, линейный, импульсный, коэффициент мощности, сравнение.

*Keywords:* driver, linear, pulse, power factor, comparison.

### **Введение**

Светодиодная система освещения – это комбинация источника света, светодиодных драйверов, систем теплового управления и оптики. Светодиодный драйвер – это один из главных элементов светодиодной системы освещения. Он обеспечивает преобразование мощности, регулирование нагрузки и защиту нижестоящих компонентов. Светодиодные драйверы также являются интерфейсами, с которыми интегрируются датчики и модули беспроводной связи для обеспечения взаимодействия человека с машиной в интеллектуальных приложениях освещения.

### **Основная часть**

Все драйверы для светодиодов можно разделить по принципу стабилизации тока. На сегодняшний день таких принципов два: линейный и импульсный.

Линейный источник питания использует элемент управления (например, резистивную нагрузку), который работает в своей линейной области для регулирования выхода. Линейные драйверы обеспечивают только понижающее преобразование, что означает, что напряжение нагрузки должно поддерживаться ниже, чем напряжение питания.

Работа светодиодного источника света с линейными драйверами означает, что всегда есть падение напряжения. Большое падение напряжения означает не только низкую эффективность, но и повышенную тепловую нагрузку на систему освещения, поскольку избыточная электрическая мощность рассеивается в виде тепла. В результате система светодиодного освещения, работающая в этом режиме, влечет за собой дополнительные тепловые потери от схемы драйвера.

Для преобразования мощности в импульсных светодиодных драйверах существуют различные схемы для поддержки требований к нагрузке светодио-

дов. Среди них выделяют: понижающие, повышающие, понижающие-повышающие и обратной коммутации.

Понижающий (buck) драйвер позволяет создавать схемы с меньшим количеством компонентов при сохранении высокой эффективности (90 – 95 %). Однако напряжение нагрузки понижающей цепи должно составлять менее 85 % от напряжения питания.

Повышающий (boost) драйвер предназначен для повышения входного напряжения до более высокого выходного напряжения примерно на 20 % или более. Такие драйверы обладают такими преимуществами как низкое количество компонентов и высокая эксплуатационная эффективность (более 90 %).

Понижающие-повышающие (buck – boost) драйверы могут обеспечивать выход выше или ниже входного напряжения, что делает их идеальными для применений, где входное напряжение поднимается и падает с большим колебанием (не более 20 %).

Схема обратной коммутации (flyback) представляет собой драйвер режима прерывистой проводимости, который обеспечивает изоляцию сети переменного тока, накопление энергии и масштабирование напряжения. Схемы обратной коммутации могут быть рассчитаны на очень широкий диапазон питающих и выходных напряжений с изоляцией от опасно высоких напряжений. Однако эти схемы менее эффективны (КПД 75 – 85 %, более высокое значение возможно при использовании дорогостоящих деталей).

Коэффициент мощности для светодиодных ламп стал техническим требованием на многих рынках. Директива ЕС требует, чтобы светодиодный источник света с энергопотреблением более 25 Вт имел  $\cos\phi$  выше 0,9. В США и Design Light Consortium (DLC), и Energy Star имеют правила аналогичные Европейским. Чтобы соответствовать нормативным значениям  $\cos\phi$ , линейные светодиодные драйверы, предназначенные для работы в сети переменного тока, должны использовать некоторую схему коррекции коэффициента мощности для поддержания высокого коэффициента мощности в широком диапазоне входных напряжений. Схема коррекции коэффициента мощности (PFC) обычно используется для минимизации реактивной мощности и максимизации доступной мощности от источника и распределительных кабелей.

Основными крупными производителями светотехнических изделий в мире, занимающихся исследованиями и располагающих собственными разработками, являются:

- OSRAM (Германия) с довольно широким модельным рядом;
- Lumileds Philips (Голландия, но головной офис в США) торговая марка LUXEON;
- CREE (центр в США);
- Avago Technologies (Сингапур);
- SEOUL (Южная Корея);
- NICHIA (Япония);
- Camelion, Xiaomi (Китай);
- Navigator, Gauss, Feron, Эра (Россия);

В Республике Беларусь таковыми являются Могилевский светотехнический завод компания "Коллекция света" – официальный дилер Arlight в Беларуси, Ledbel и Belledsvet.by светильников.

Сравним основные характеристики светодиодных светильников некоторых производителей:

Таблица 1 – Сравнение светодиодных светильников номинальной мощностью 1 Вт

Характеристики	Светодиоды Osram (Германия), Osram DurisS5	Светодиоды (Китай), SMD – 5730 - 1
Мощность, Вт	1	1
Световой поток, Лм	120 – 180	100
Напряжение, В	6,1	3,4
Нагрев кристалла, °С	125	До + 80
Габариты, мм	3 x 3	4,8 x 3

Таблица 2 – Сравнение светодиодных светильников номинальной мощностью 30 Вт

Характеристики	Светодиоды Osram (Германия), DURIS S5	Светодиоды (Китай), SMD – 5730 - 1
Мощность, Вт	30	30
Световой поток, Лм	4000	2700
Напряжение, В	220-240	240
Габариты, мм	75 x 140	52 x 46 x 4.3

Таблица 3 – Сравнение светодиодных светильников номинальной мощностью 150 Вт

Характеристики	Светодиоды Osram (Германия), Floodlight, Ledvance/Osram	Светодиоды (Китай), SMD – 5730 - 1
Мощность, Вт	150	150
Световой поток, Лм	11700	12000
Напряжение, В	220 – 240	220
Габариты, мм	372 x 53 x 292	425 x 148 x 325

### Заключение

Сравнивая представленные характеристики, можем отметить, что светодиоды китайского производителя уступают тем, которые выпускаются компанией OSRAM. При одинаковых номинальных мощностях световой поток отличается при 1 Вт на 20 – 80 лм, а при 30 Вт почти на 1000 лм, что говорит о том, что для освещения одного и того же помещения/комнаты/объекта нам будет необходимо использовать (в случае с китайским производителем) более мощные светильники.

### Литература

1. [Электронный ресурс] / светодиодные источники света. – Режим доступа: <https://www.manufacturer.lighting/info/208/>. – Дата доступа: 25.03.2021.
2. [Электронный ресурс] / светодиодные источники света. – Режим доступа: <https://qwizz.ru/новые-технологии-солнечной-энергетики/> <https://aledo-pro.ru/articles/view/pulsaziya/>. – Дата доступа: 25.03.2021.
3. [Электронный ресурс] / светодиодные источники света. – Режим доступа: <https://first-apartment.ru/tsvetovaya-temperatura.html>. – Дата доступа: 25.03.2021.
4. [Электронный ресурс] / светодиодные источники света. – Режим доступа: <http://led-obzor.ru/harakteristiki-svetodiodov-osram-duris-s5#i>. – Дата доступа: 25.03.2021.
5. [Электронный ресурс] / светодиодные источники света. – Режим доступа: <https://www.osram.ru/os/products/> – Дата доступа: 25.03.2021.
6. [Электронный ресурс] / светодиодные источники света. – Режим доступа: [https://led-e.ru/wp-content/uploads/2010\\_6\\_16.pdf](https://led-e.ru/wp-content/uploads/2010_6_16.pdf). – Дата доступа: 25.03.2021.

УДК 621.316.1

**СИНХРОННЫЙ КОМПЕНСАТОР В АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЕ  
УПРАВЛЕНИЯ ДВУХТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИЕЙ  
SYNCHRONOUS COMPENSATOR IN ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF  
TWO-TRANSFORMER SUBSTATION**

Н.П. Ваник, Д.А. Кириченко

Научный руководитель – В.П. Счастный, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет,

Минск, Республика Беларусь

E-mail: val.sc@mail.ru

N.Vanik, D.Kirichenko

Scientific Director of the V. Schasny, Candidate of Technical Sciences. Docent

Belarusian National Technical University,

Minsk, Republic of Belarus

**Аннотация:** В статье рассмотрены вопросы управления оборудованием двухтрансформаторной подстанцией, возможность поддержания баланса реактивной мощности в электрических сетях и требуемых уровней напряжения.

**Annotation:** The article discusses the management of the equipment of the two-transformer substation, the ability to maintain the balance of reactive power in electrical networks and the required voltage levels. *Keywords:* transformer substation, adaptive system, jet power compensation, synchronous compensator.

**Ключевые слова:** трансформаторная подстанция, адаптивная система, компенсация реактивной мощности, синхронный компенсатор.

**Keywords:** transformer substation, adaptive system, jet power compensation, synchronous compensator.

### **Введение**

Ввод в эксплуатацию генерирующих мощностей Белорусской АЭС, и ее интеграция в баланс энергосистемы требует изменения в структуре электропотребления, роста нагрузки, что в свою очередь требует повышения пропускной способности электрических сетей и обеспечения качества электроэнергии. Для обеспечения нормальной работы электроприемников в различных режимах нагрузки на их выводах должны поддерживаться нормированные уровни напряжения, обеспечиваемые путем встречного регулирования напряжения в центрах питания с учетом влияния на уровень напряжения компенсации реактивной мощности. На промышленных предприятиях, имеющих на своем балансе подстанции глубокого ввода напряжением 110/10(6) кВ, 35/10(6) кВ, для компенсации реактивной мощности используются установки обычных батарей статических конденсаторов (БСК) или автоматических конденсаторных установок (АКУ), синхронные компенсаторы (СК) а также статические тиристорные компенсаторы (СТК). Выбор оборудования зависит от ряда факторов, таких как: требуемая мощность, характер нагрузки, графики колебания нагрузки, возможность размещения, техническое обеспечение трансформаторной подстанции, экономическая целесообразность. В последние годы, для компенсации

реактивной мощности отдается предпочтение фильтрокомпенсирующим устройствам и статическим тиристорным компенсаторам. Однако, уже сейчас на отдельных трансформаторных подстанциях резко возросла загрузка трансформаторов. Имеются несколько как максимальных, так и минимальных пиков, что требует не только учета взаимовлияния компенсации реактивной мощности и встречного регулирования с помощью РПН, но и загрузки сети реактивной мощностью, чтобы обеспечить требуемый уровень качества электрической энергии в точках передачи электрической энергии пользователям электрических сетей низкого, среднего и высокого напряжения, согласно установленных норм действующего стандарта [1].

### Основная часть

Эффективность работы трансформаторной подстанции заключается в ее надежности и оптимальных режимах работы с целью обеспечения минимальных потерь электроэнергии, качества и требуемых параметров электроэнергии. Это достигается за счет применения устройств адаптивной системы управления оборудованием трансформаторной подстанции. В предложенном устройстве обеспечена возможность регулирования уровня напряжения, компенсации реактивной мощности и поддержания управляющих связей с более высокими уровнями энергосистемы (Рисунок 1). Принцип работы системы рассмотрен в [2, 3].

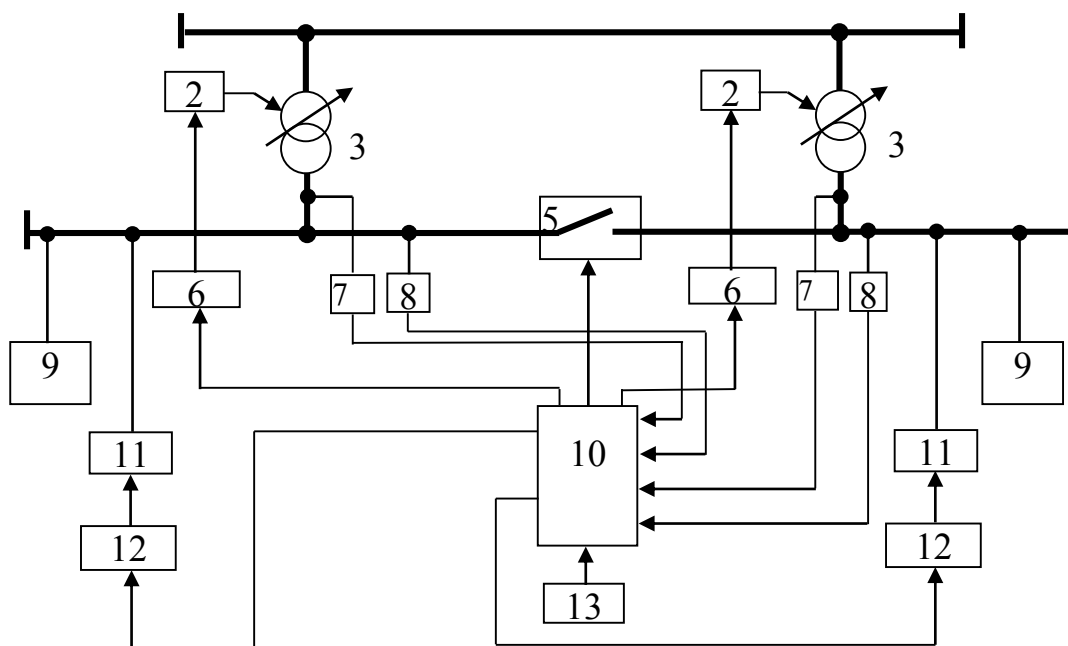


Рисунок 1 – Схема устройства адаптивной системы управления оборудованием двухтрансформаторной подстанции: 1 – шины высокого напряжения (энергосистема); 2 – устройство регулирования напряжения под нагрузкой (РПН); 3 – понизительный трансформатор; 4 – шины питания; 5 – секционный выключатель; 6 – блок управления; 7 – датчик тока; 8 – датчик напряжения; 9 – потребители; 10 – регулятор; 11 – регулируемый источник реактивной мощности; 12 – блок коммутации; 13 – блок обеспечивающий управляющую связь с более высоким уровнем энергосистемы



Для обеспечения возможности регулирования напряжения в отходящих линиях трансформаторы снабжены устройствами РПН. Для осуществления регулирования реактивной мощности используем синхронные компенсаторы (Рисунок 2).

Схема предложена в виде блока «трансформатор-синхронный компенсатор». Это обеспечивает выполнять отключение и при необходимости быстрый ввод компенсатора и его синхронизацию с сетью. Пуск осуществляется в асинхронном режиме. Для этого через блок коммутации включаем выключатель 1 и на основную статорную обмотку 7 компенсатора подается напряжение. Обмотка соединена по схеме «звезда». Потечет пусковой ток, который создает вращающееся магнитное поле, обеспечивая асинхронный разбег компенсатора. Предлагаемая конструкция синхронного компенсатора имеет дополнительную статорную обмотку 6, которая не обтекается током до момента разгона синхронного компенсатора до подсинхронной скорости. При достижении подсинхронной скорости поступает команда на выключатель 5. Дополнительная статорная обмотка 6, и обмотка возбуждения 9 получают питание и компенсатор втягивается в синхронизм. Основная и дополнительная статорная обмотка подключаются от разных ответвлений трансформатора, поэтому на основной обмотке напряжение выше, чем на дополнительной. За счет разного уровня напряжений на выходе выпрямителя 8 имеется напряжение, которое обеспечивает ток в обмотке возбуждения.

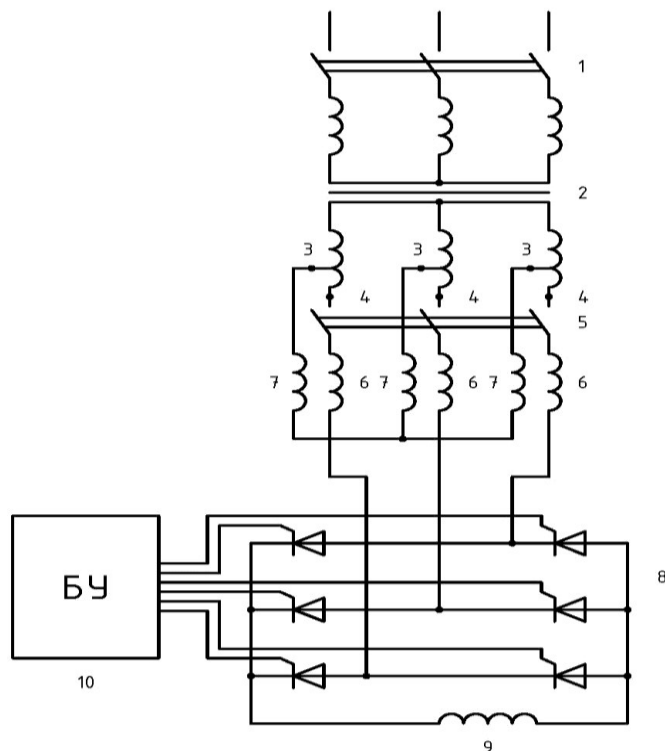


Рисунок 2 – Структурная схема синхронного компенсатора: 1 – выключатель; 2 – трехобмоточный трансформатор; 3, 4 – ответвления вторичной обмотки трансформатора; 5 – выключатель; 6, 7 – основная и дополнительная обмотка статора синхронного компенсатора; 8 – двухполупериодный управляемый выпрямитель; 9 – обмотка возбуждения ротора синхронного компенсатора; 10 – блок управления выпрямителя



Включение основной и дополнительной обмотки статора синхронного компенсатора на разное напряжение позволяет снизить электрические потери в обмотках, так как от выводов 3 до нейтральной точки протекает ток равный геометрической сумме токов основной и дополнительной обмоток статора, которая меньше алгебраической сумме этих токов.

Изменяя ток возбуждения в режиме перевозбуждения или недовозбуждения можно отдавать или потреблять реактивную мощность из сети и обеспечивать требуемый баланс мощности.

Все команды формируются на регуляторе 10, представленной адаптивной системы управления оборудованием, по мере поступления и обработки поступающих данных состояния показателей качества электроэнергии и требуемого уровня реактивной мощности.

### **Заключение**

Использование предложенного синхронного компенсатора в адаптивной системе управления оборудованием трансформаторной подстанции, позволяет уменьшить потери, повысить качество электроэнергии и надежность за счет оптимального регулирования напряжения в электрической сети, поддержания баланса реактивной мощности, принудительного изменения режима работы оборудования трансформаторной подстанции.

### **Литература**

1. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Счастный В.П. Устройство управления оборудованием двухтрансформаторной подстанции при параллельной работе трансформаторов / В.П. Счастный, А.И. Зеленкевич // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Минск: БГАТУ, 2019. – С. 55 – 58.
3. Патент №4613 Устройство для управления оборудованием потребительской трансформаторной подстанции / В.П. Счастный, А.И. Зеленкевич; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» – заявл. 2008.14.01; опубл. 30.08.2008 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 200.

УДК 621.3

**ВНЕДРЕНИЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ  
INTRODUCTION OF ELECTRIC VEHICLES**

В.Г. Беспалова

Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
Sv.konstantinova@bntu.by

V. Bespalova

Supervisor – S. Konstantinova, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** Представленный автореферат посвящен проблеме экологической загрязненности, и возможности ее уменьшения благодаря внедрению электромобилей.

**Abstract:** The presented abstract is devoted to the problem of environmental pollution, and the possibility of reducing it by the introduction of electric vehicles.

**Ключевые слова:** электромобиль, электрокар, энергетика, зарядка, батарея, биотопливо, электрогенерация, биотопливо.

**Keywords:** electric car, electric car, energy, charging, battery, biofuel, power generation, biofuel.

**Введение**

Автомобили на сегодняшний день являются одним из популярных и комфортных вариантов перемещения. Однако, несмотря на огромное количество преимуществ, они имеют целый ряд недостатков. Один из самых главных недостатков заключается в том, что автотранспорт наносит большой ущерб окружающей среде – до 63 %. Также бензиновые автомобили являются довольно дорогим видом транспорта.

**Основная часть**

Последнее время нефтепродукты стремительно дорожают. Эти факты привели к тому, что развитые страны стали разрабатывать и выпускать менее расточительные и более экологичные автомобили. Электрификация играет важную роль в обезуглероживании транспорта и сокращении его зависимости от ископаемого топлива. Чтобы электрификация транспорта была рентабельной и готовой к будущим потребностям, необходимы соответствующие исследования и инновации (R&I) в этой области.

Транспортный сектор – это основная опора мировой экономики. Транспортные выбросы газа постоянно растут и сейчас составляют примерно 27 % от общего объема выбросов в масштабах всей экономики. В связи с этим, декарбонизация транспорта является ключевым элементом европейской политики по смягчению последствий изменения климата.

Комиссия ЕС предложила сократить выбросы парниковых газов как минимум на 55 % к 2030 году, используя комплексный подход. Использование возобновляемых источников энергии в транспорте должно вырасти примерно до

24 % (с 6 % в 2015 году) за счет дальнейшего развития и внедрения Электромобилей (EVS), современного биотоплива и другого возобновляемого и низкоуглеродного топлива как часть целостного и комплексного подхода.

Переход от авто с ДВС к электрокару – это не скачок, а множество шагов, каждый из которых – это степень и характер использования бензиновой и электрической силовых установок, того, откуда берется энергия и как она хранится. Схема устройства электромобиля приведена на рисунке 1.

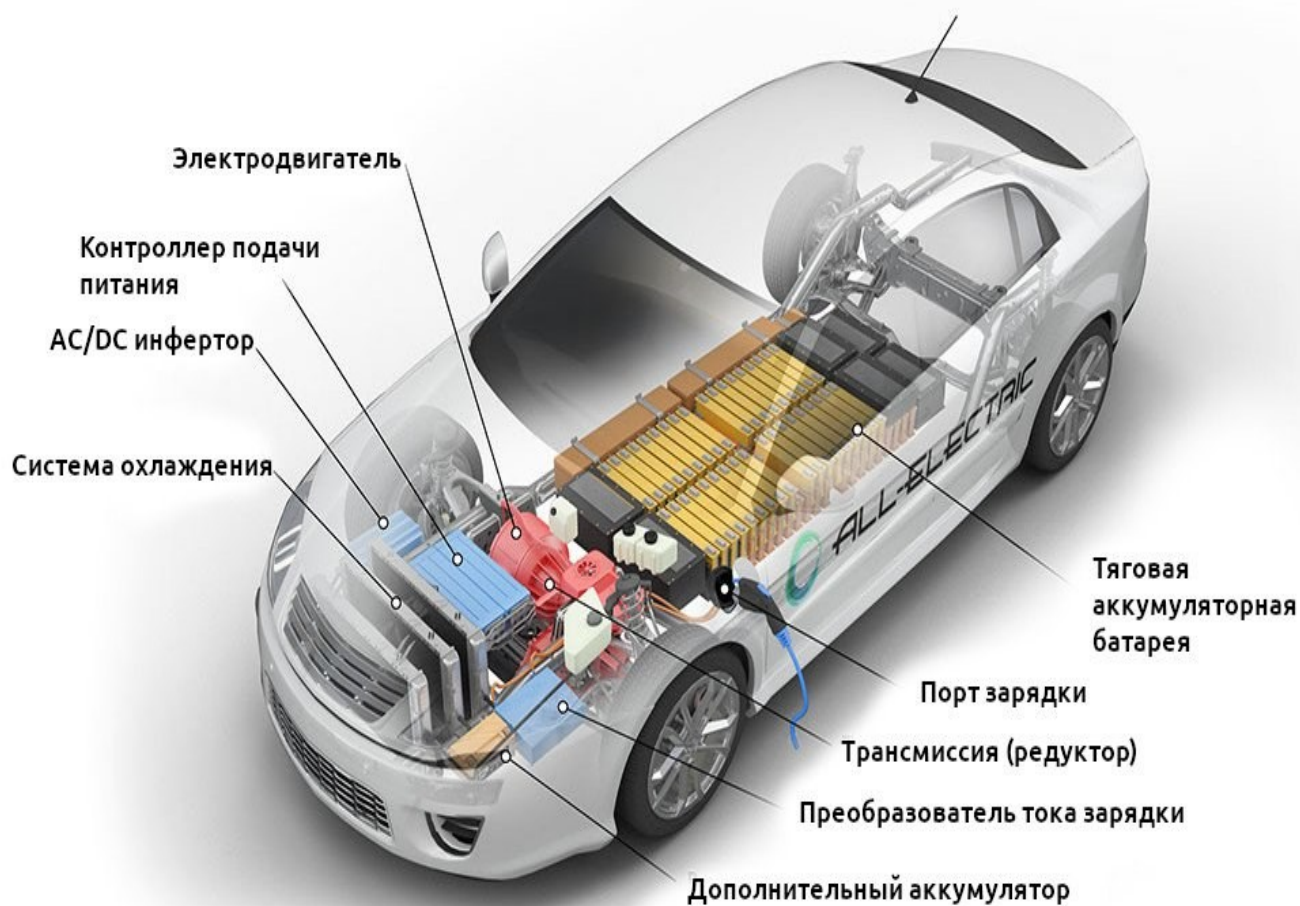


Рисунок 1 – Устройство электромобиля

Электрификация транспорта может способствовать снижению зависимости транспорта от нефти и сокращению выбросов парниковых газов. Производство электроэнергии без выбросов углекислого газа обеспечит экологически чистую энергию для продвижения EVS. EVS сможет предоставить услуги в сети, способствующие дальнейшему расширению использования возобновляемых источников энергии. Развитие технологий и устройств хранения энергии остается краеугольным камнем полностью электрифицированной транспортной системы.

Открытие сети пунктов зарядки, охватывающей всю дорожную сеть Европейского Союза (ЕС), является еще одним ключевым условием для электрификации транспорта. Несмотря на последние достижения в области электрификации, EVS еще не достигла ценовой конкурентоспособности. В отношении

существующих технологий, дальнейшие исследования и разработки необходимы для повышения их производительности и снижения затрат. В целях более эффективного решения текущих социально-экономических и экологических проблем, возникающих в транспортном секторе, который постоянно меняется с добавлением факторов сложности новых технологий, необходимы разработки и новаторские подходы. Спрос на электромобили может существенно измениться в следующих случаях: во-первых, при росте цен на бензин в 10 раз в стране, то есть ухудшении ситуации с исчерпаемыми энергоресурсами (запасов нефти и газов); во-вторых, снижение цен на электромобили, которое будет возможна в результате технологического прорыва.

### **Заключение**

Таким образом, рост электромобилей естественным образом увеличит спрос на электрогенерацию и энергоносители (так как взят курс на экологичность, то в первую очередь это будет касаться газа и возобновляемых источников энергии), а также негативно скажется на объемах спроса на нефть. Однако сколько именно нефти вытеснит с рынка экологичный транспорт оценить сейчас сложно.

### **Литература**

1. Электромобиль и перспективы его развития [Электронный ресурс] / – Режим доступа : <https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39606>
2. Электромобили [Электронный ресурс] / – Режим доступа: [https://ec.europa.eu/jrc/en/publications-list?f%5B0%5D=im\\_field\\_research\\_areas%3A2208](https://ec.europa.eu/jrc/en/publications-list?f%5B0%5D=im_field_research_areas%3A2208).

УДК 620.9

**СПОСОБЫ ТОКООГРАНИЧЕНИЕ В СЕТЯХ ДО 1 КВ  
METHODS OF SHORT CIRCUIT CURRENT LIMITATION  
IN A LOW VOLTAGE GRID**

П.В. Сурович

Руководитель – А.Ю. Капустинский, ассистент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

A.Kapustynski@eneca.by

P. Surovich

Supervisor – A. Kapustsinski, professor assistant  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В статье проанализированы причины возникновения высоких токов короткого замыкания и описаны их негативные последствия. Также в работе рассмотрены способы токоограничения, описаны варианты их реализации и положительный эффект токоограничения. Статья рекомендована студентам электроэнергетических специальностей и специалистам в области электроэнергетики.*

***Abstract:** The article deals with analysis of heavy short circuit currents' occurrence and its' negative sequences description. Current limitation methods, its' implementation and beneficial effect are mention in the text. The paper is recommended to students with electrical energy specialization and to electric network specialists.*

***Ключевые слова:** короткое замыкание, токоограничение, автоматический выключатель, предохранитель, коэффициент токоограничения, характеристика токоограничения.*

***Keywords:** short circuit, current limitation, circuit breaker, fuse, current limitation index, current limitation curve.*

**Введение**

Для снижения негативного воздействия при протекании большого тока КЗ возможно применение нескольких способов токоограничения.

**Основная часть**

Одним из способов снижения тока короткого замыкания, наиболее простой из них, – установка силового трансформатора с повышенным значением напряжения короткого замыкания ( $u_K$  %). Преимуществом данного метода является отсутствие дополнительных затрат на установку оборудования, а недостатками – увеличение потерь реактивной мощности в трансформаторе и несколько меньшее распространение трансформаторов с опцией выбора напряжения короткого замыкания.

Другой способ ограничения тока короткого замыкания – применение автоматических выключателей и предохранителей с функцией токоограничения, которая заключается в том, что отключение поврежденного участка происходит до достижения током короткого замыкания максимального значения.



Токоограничение предохранителя обеспечивается за счет конструктивных особенностей плавкой вставки и приводят к быстрому перегоранию плавкой вставки.

Токоограничение автоматического выключателя обеспечивается за счет конструкции его полюсов. При различном направлении протекания электрического тока в двух параллельных проводниках возникающие электродинамические усилия отталкивают их друг от друга. Конструкция полюса автоматического выключателя с токоограничением приведенная на рисунке 1.

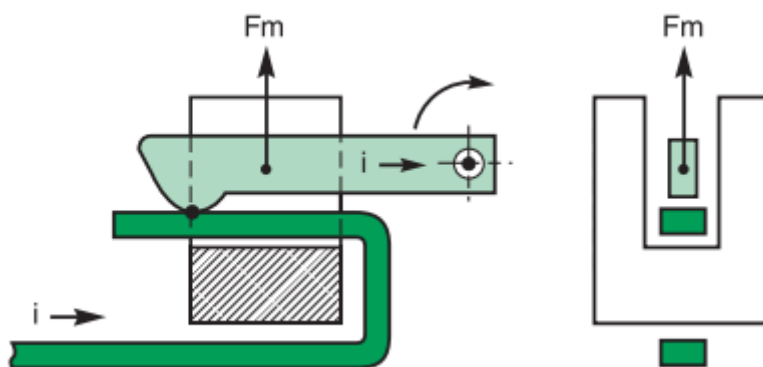


Рисунок 1 – Пример реализации отталкивания контактов [4]

Полное время отключения автоматического выключателя (время от момента КЗ до момента погасания электрической дуги) и значение протекающего тока КЗ характеризуется таким параметром, как класс токоограничения. Выделяют три класса токоограничения автоматических выключателей, каждый из которых характеризует максимальную величину термического импульса КЗ, выделяемого в оборудовании при протекании тока короткого замыкания, где для первой категории токоограничения максимальная допустимая величина термического импульса не установлена стандартом, а для третьей категории токоограничения – имеет минимальное значение.

Максимальные допустимые термические импульсы для автоматических выключателей с различными номинальными токами и характеристиками срабатывания приведены в стандарте EN60898-1. Однако определение фактического значения ограниченного тока короткого замыкания определяются согласно характеристикам токоограничения. Такие характеристики учитывают различие между требованиями конструкторского стандарта EN60898-1 и фактическими параметрами оборудования.

Характеристики токоограничения модульных автоматических выключателей серии Acti 9 приведены на рисунках 2 и 3. Характеристики токоограничения предохранителей серии ППН приведены на рисунке 4.

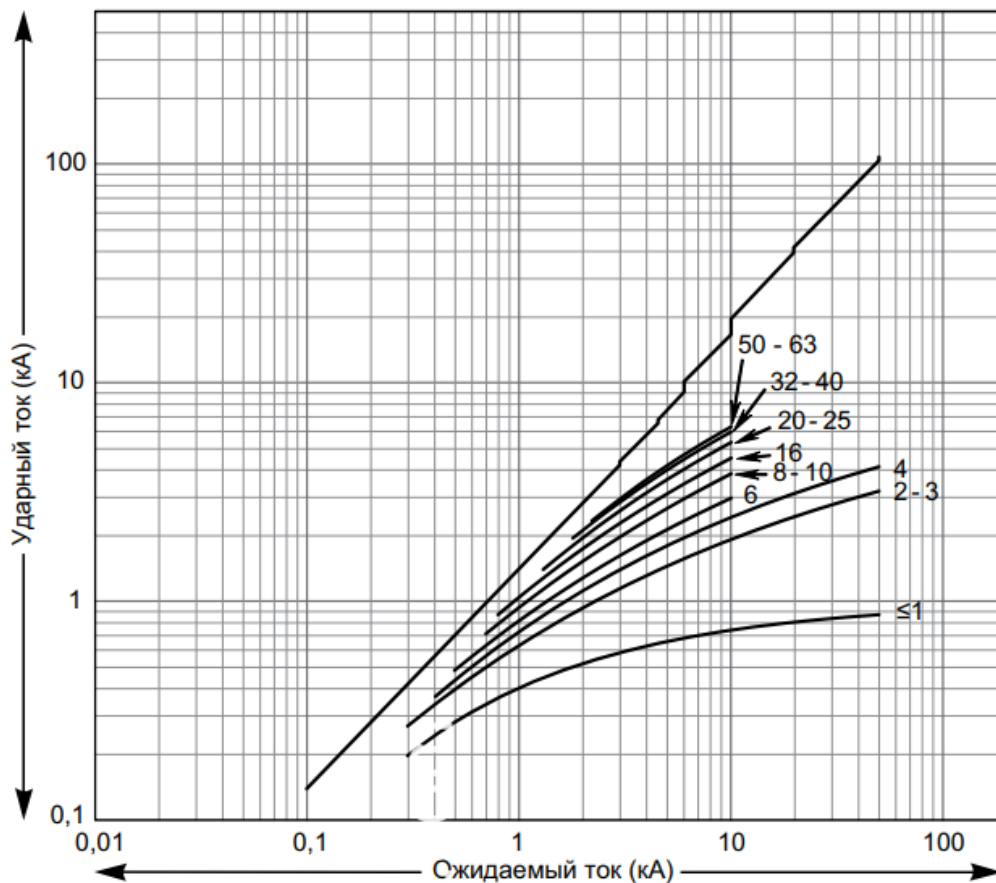


Рисунок 2 – Характеристика ограничения ударного тока короткого замыкания автоматического выключателя SchneiderElectric IC60N (3P, кат. 3) [6]

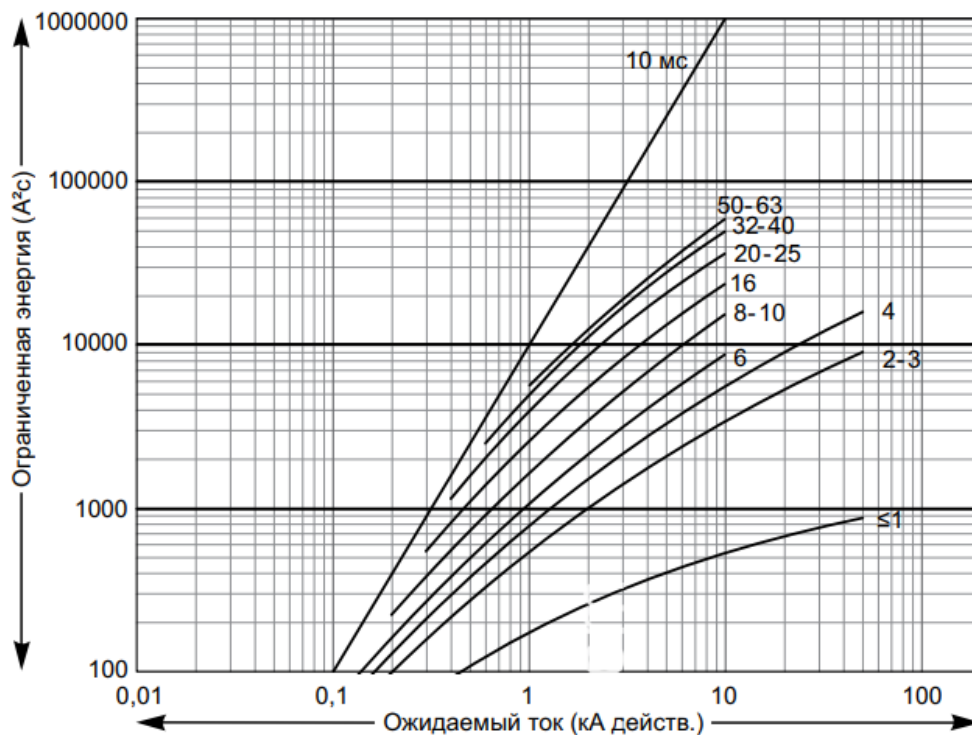


Рисунок 3 – Характеристика ограничения тепловой энергии короткого замыкания автоматического выключателя SchneiderElectric IC60N (3P, кат. 3) [6]



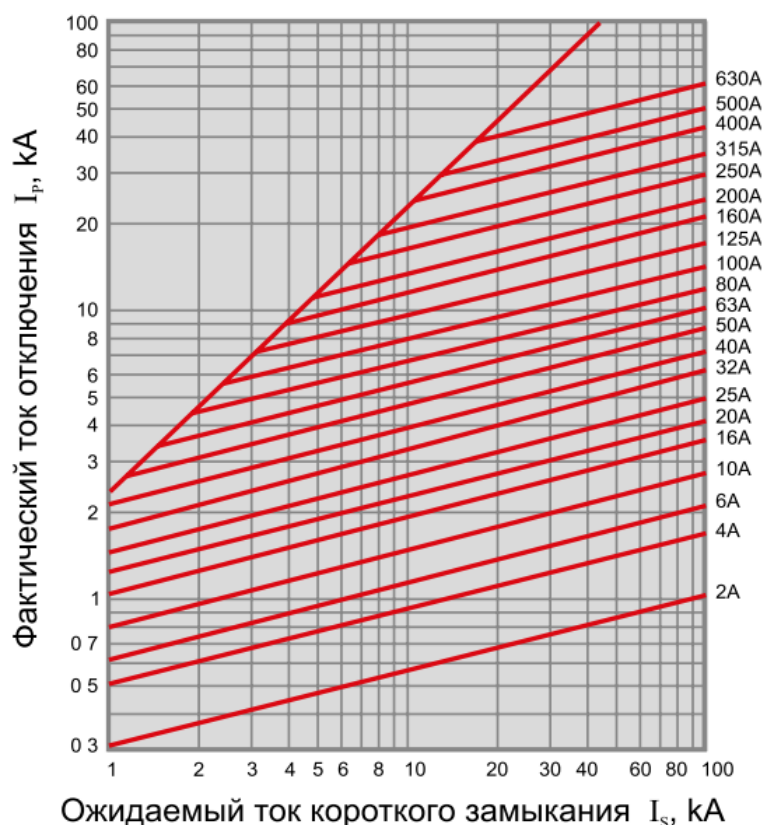


Рисунок 4 – Характеристика токоограничения предохранителей ППН [5]

### Заключение

Таким образом, применение токоограничивающего оборудования в сетях с высоким значением тока короткого замыкания позволяет существенно снизить стоимость сетей электроснабжения и распределительных устройств при питании потребителей малой мощности.

### Литература

1. Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2. Автоматические выключатели: ГОСТ ИЕС 60947-2-2014. – Введ. 01.10.2021. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации : УП "Промстандарт" 2014. – 128 с.
2. Аппаратура малогабаритная электрическая. Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения. Часть 1. Автоматические выключатели для переменного тока: ГОСТ ИЕС 60898-1-2020. – Введ. 01.10.2021. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации : Акционерное общество "Диэлектрические кабельные системы" (АО "ДКС"), 2020. – 124 с.
3. Выключатели автоматические для защиты от сверхтоков электроустановок бытового и аналогичного назначения. Часть 2. Выключатели автоматические для переменного и постоянного тока: ГОСТ ИЕС 60898-2-2011. – Введ. 01.02.2015. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: ФГУП "ВНИИ стандартизации и сертификации в машиностроении" (ФГУП "ВНИИНМАШ"), 2011. – 16 с.

4. Техническая коллекция SchneiderElectric. Выпуск №4. Координация защит низкого напряжения. Руководство №5: SchneiderElectric, 2006/ – 49 с.
5. Электротехническая продукция для профессионалов №29, 2020: Мастер-каталог / ЕКФ, 2020. – 1156 с.
6. Acti9. Эффективность, достойная Вас, 2019: Технический каталог / SchneiderElectric, 2019/ – 480 с.

УДК 621.311

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭКРАНИРОВАННЫХ  
ТОКОПРОВОДАХ**  
**ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN SHIELDED CURRENT  
CONDUCTORS**

В.Д. Тихно

Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

Sv.konstantinova@bntu.by

V. Tichno

Supervisor – S. Konstantinova, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной статье рассмотрены процессы в экранированных токопроводах, так это актуально при передаче электроэнергии при больших токах.*

***Abstract:** This article discusses the processes in shielded conductors, because it is important when transmitting electricity at high currents.*

***Ключевые слова:** токопровод, экранирование, электромагнитное поле, передача электроэнергии.*

***Keywords:** conductor, shielding, electromagnetic field, power transmission.*

### **Введение**

Токопровод – это устройство, предназначенное для передачи и распределения электроэнергии, состоящее из проводников, изоляции, защитных оболочек, ответвительных устройств, поддерживающих и опорных конструкций.

Экранирование проводников и шин выполняется для уменьшения влияния внешнего поля соседних проводников; для снижения электродинамических усилий, действующих на шины; для повышения безопасности при эксплуатации и для защиты внешнего пространства от действия сильных полей токов; модельных исследований и т.п.

### **Основная часть**

Металлические экраны, применяются для защиты шин, соединяющих генераторы с блочными трансформаторами, находятся в собственном поле  $H_{\text{соб}}$  данного экрана и во внешнем поле  $H_{\text{вн}}$  остальных шин (Рисунок 1) [1].

Значение внешнего поля зависит от габаритных размеров и расположения шин относительно друг друга в пространстве. Наиболее эффективным и пространственным являются трубчатые экраны с замкнутой в электромагнитном системой. Для собственного поля шины трубчатая оболочка является открытым экраном потому, что независимо от ее толщины на внешней поверхности будет практически такое же поле, как и на внутренней. Этим объясняется наличие внешнего поля соседних шин, несмотря на присутствие экрана.

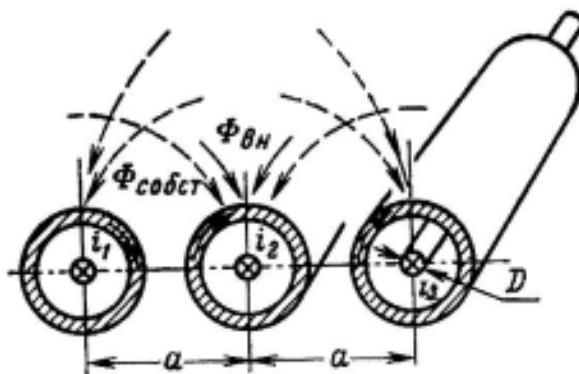


Рисунок 1 – Собственное и внешнее магнитное поле в трехфазной системе экранируемых шин.

Если размеры экранов значительно больше расстояния между ними, то необходимо учитывать неравномерное распределение внешнего поля на поверхности экрана и влияние эффекта близости на вихревые токи в экране. В дальнейшем будем рассматривать экран из идеального проводника и применим метод зеркальных изображений внешнего точечного заряда в заземленном шаре.

Токи, индуцируемые в экранах соседними шинами, представлены фиктивными токами в сумме с возбуждающими токами на поверхности экрана дают магнитные поля, существующие там в действительности.

Изолированные экраны. Рассмотрим сначала случай, когда только в одной бесконечно длинной шине экранируемой трехфазной системы, например, в шине R, протекает ток I (Рисунок 2).

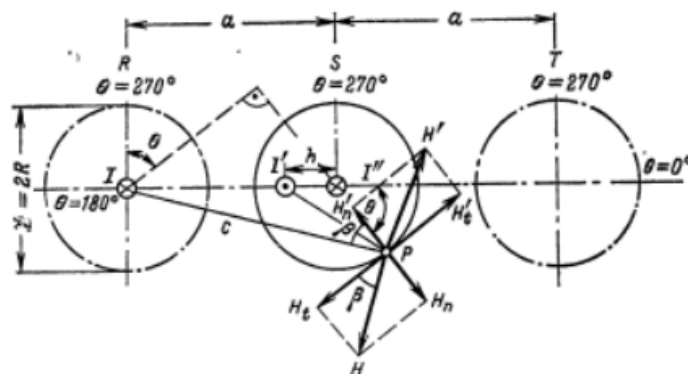


Рисунок 2 – Изображение напряженности магнитного поля в точке P, образуемого токами в фазе R и в экранах с помощью фиктивных токов I

Ток, протекающий в шине A, наводит в точке P соседнего экрана напряженность магнитного поля  $H_m = \sqrt{2}I/(2\pi c)$ . Вихревые токи в экране так велики, что полностью вытесняют электромагнитное поле из экрана, если достаточно малое удельное сопротивление и толщину нескольких миллиметров. Согласно этому положению нормальная составляющая магнитного поля  $H'_{mn}$ , наведенная вихревыми токами, протекающими в экране, является равной и противоположно направленной составляющей  $H_{mn}$  (Рисунок 2), образуемой током шины R. Если данный экран представить двумя одинаковыми фиктивными токами  $I'' = I$  и  $I' = I$ . Ток  $I''$  расположим на оси экрана так, чтобы он образовывал только

тангенциальную составляющую поля на поверхности экрана, а второй ток  $I''$  на расстоянии  $b$  от оси экрана (рисунок 2). Из рисунка 2 можем найти:

$$H_{mn} = \frac{I}{(\sqrt{2}\pi c)} \sin\beta = \frac{I}{\sqrt{2}} \pi \frac{a \cdot \sin\theta}{a^2 + R^2 + 2aR \cdot \cos\theta} \quad (1)$$

$$H_{mt} = \frac{I}{(\sqrt{2}\pi c)} \cos\beta = \frac{I}{\sqrt{2}} \pi \frac{R + a \cdot \cos\theta}{a^2 + R^2 + 2aR \cdot \cos\theta} \quad (2)$$

Модуль составляющих  $H'_{mn}$  и  $H_{mn}$ : можно выразить, заменяя параметр  $a$  параметром  $b$ . Расстояние  $b$  фиктивного тока  $I''$  от оси находим из условия:

$$H_{mn} = H''_{mn} \quad (3)$$

которое должно сохраняться для каждого угла  $\theta$ , т. е.

$$a \cdot \sin \theta / (a^2 + R^2 + 2aR \cdot \cos\theta) = b \cdot \sin \theta / (a^2 + R^2 + 2aR \cdot \cos\theta) \quad (4)$$

откуда после решения уравнения находим:

$$b = R^2 / a. \quad (5)$$

Значение это подставляем в выражения для  $H'_{mn}$  и  $H'_{mt}$ .

На поверхности экрана останется теперь лишь только тангенциальная составляющая  $H'_{рез}$  которая является суммой трех составляющих:

$$H_{рез} = H_{mt} - H'_{mt} + H''_m = \frac{(\sqrt{2}I)}{\pi} \frac{R + a \cdot \cos\theta}{a^2 + R^2 + 2aR \cdot \cos\theta} \quad (6)$$

где:

$$H_{mt} = \frac{I}{(\sqrt{2}\pi \cdot R)} \frac{R^2 + aR \cdot \cos\theta}{a^2 + R^2 + 2aR \cdot \cos\theta} \quad (7)$$

$$H'_{mt} = \frac{I}{(\sqrt{2}\pi \cdot R)} \frac{R^2 + aR \cdot \cos\theta}{a^2 + R^2 + 2aR \cdot \cos\theta} \quad (8)$$

$$H_{тт} = H_m = 1/\sqrt{2} \pi R \quad (9)$$

Величина  $H'_{mt}$  была получена из выражения для  $H_{mt}$  путем подстановки в него значения  $b = R^2/a$  вместо  $a$ .

Зная распределение напряженности магнитного поля на поверхности, можно определить линейную плотность  $J_l^*$  тока в экране с помощью закона полного тока.

Для бесконечно малого сектора экрана длиной  $dl$  вдоль окружности имеем (рисунок 3):

$$\sqrt{2}J_1 dl = H_{\text{рез}} dl + H_{\text{вн}} dl + H_{n2} d. \quad (10)$$

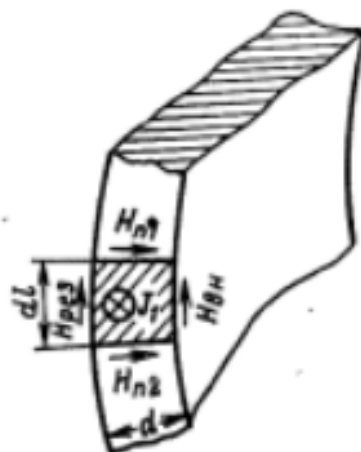


Рисунок 3 – Сектор трубчатого экрана

В соответствии с принятым допущением об идеальном экране

$$H_{mn1} = H_{mn2} = H_{\text{твн}} = 0,$$

$$J_1 = \frac{H_{\text{рез}}}{\sqrt{2}} = \frac{I}{\pi} \frac{R+a \cdot \cos\theta}{a^2+R^2+2aR \cdot \cos\theta} \quad (11)$$

Данная формула представляет распределение вихревых токов в уединенном экране, в близости которого проходит уединенный проводник с током.

### Заключение

Рассмотрение электромагнитных процессов в экранированных токопроводах актуально на сегодняшний день ввиду широкого распространения токопроводов для передачи электроэнергии с большими токами (в т. ч. на генераторном напряжении). За счет применения современных материалов экранов и изоляции, и используя различные конфигурации расположения проводников и экранов можно добиться снижения влияния проводников друг на друга, повысить качество электроэнергии у потребителей, а также обеспечить более высокий уровень безопасности эксплуатации электроустановок.

### Литература

1. Туровский, Я. Техническая электродинамика Я. Туровский – М: Энергия, 1974. – 488 с.
2. Герасимович А.Н. Техническая электродинамика / А.Н. Герасимович – Минск: БГПА, 1997. – 96 с.
3. Мосэлектрощит [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://shinoprovod.com/files/Katalog-Shinoprovodi-s-vozdushnoj-izolyaciej-0.4-35kV-Moselektroshit.pdf>. – Дата доступа: 10.11.2020.

УДК 620.162.3

**ВОЗНИКНОВЕНИЕ ИЗГИБА В ЭЛЕМЕНТАХ ТУРБИНЫ  
THE OCCURRENCE OF DEFLECTION IN THE ELEMENTS  
OF THE TURBINE**

Д.А. Хлопкова, С.Е. Маркевич, Е.А. Савенко  
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
panteley@bntu.by  
D. Khlopkova, S. Markevich, E. Savenko  
Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** Паровые турбины – эффективные, но сложные машины, поэтому существует ряд возможных причин, по которым они могут выйти из строя. Одна из таких неисправностей известна как изгиб ротора, который возникает при эксплуатации турбоагрегатов. Несмотря на то, что существует ряд решений по его устранению, раннее обнаружение с помощью плановых ремонтов является ключом к поддержанию надлежащей эффективности и предотвращению возможного повреждения.

**Abstract:** Steam turbines are efficient but complex machines, so there are a number of possible ways they may malfunction. One such malfunction is known as bending, which occurs during the operation of turbine units. Although there are a number of solutions to fix it, early detection through routine repairs is key to maintaining proper efficiency and preventing possible damage.

**Ключевые слова:** турбина, изгибающие напряжения, ротор, вибрация, трение, лопатки, цилиндр высокого давления.

**Keywords:** turbine, bending stresses, rotor, vibration, rubbing, blades, high-pressure cylinder.

**Введение**

Одной из самых серьезных проблем, которые возникают при эксплуатации электростанций является изгиб ротора, приводящий к преждевременному выходу из строя лопаток турбины и других ее элементов. Экстремальный изгиб ротора обычно связан с контактом неподвижных частей турбины и ротором.

**Основная часть**

*Трение ротора.* Вызванное небольшим зазором, трение диафрагм нарушает уплотнение ротора. Это возникает, когда ротор с большой массой на рабочей скорости входит во взаимодействие с неподвижной поверхностью, как правило, из-за слишком малого зазора между ротором и мембранным сальником. Также может наблюдаться локальное увеличение температуры в точке контакта, вызывающее повышение температуры металла в точке контакта из-за трения.

После останова неравномерное охлаждение ротора приводит к контакту ротора с неподвижными частями. После отключения установки высокотемпературный ротор изгибается из-за массы ротора и расстояния между опорами



подшипников. Это приводит к необратимому изгибу вала. Трение уплотнения, вызванное изгибом ротора и трением лопаток, представлено на рисунке 1.

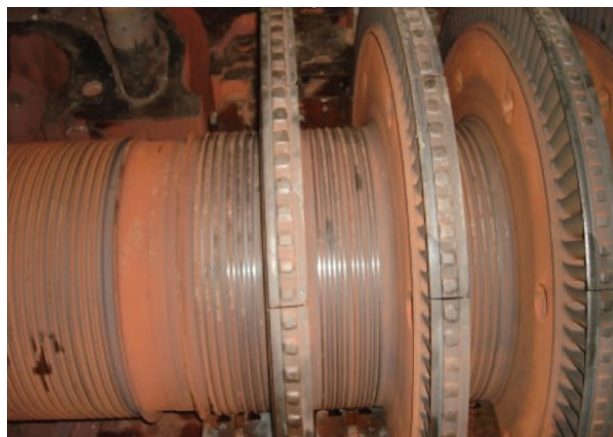


Рисунок 1 – Изгиб ротора

Результат постоянного изгиба вала, обусловленный неравномерным охлаждением, при следующем пуске сразу же проявится в виде сильной вибрации ротора, вызванной недостаточным зазором между вращающимися и неподвижными частями, и валом, расположенным не по центру подшипника. Если изменение зазора мало, то может возникнуть большое трение вдоль ротора, это приведет к его повреждению.

Чтобы избавиться от изгиба ротора во время охлаждения, предоставляются инструкции по допустимой скорости охлаждения. Например, турбина должна оставаться включенной, пока температура цилиндра высокого давления (ЦВД) не опустится ниже  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а температура масла не опустится ниже  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

*Перекося ротора и корпуса.* Несоосность муфты между подшипником и валом или между двумя валами может вызвать изгиб системы. Несоосность двух валов ротора вызывает смещение центра масс, что при большой скорости вращения создает центробежную силу в радиальном направлении, что вызывает изгиб ротора.

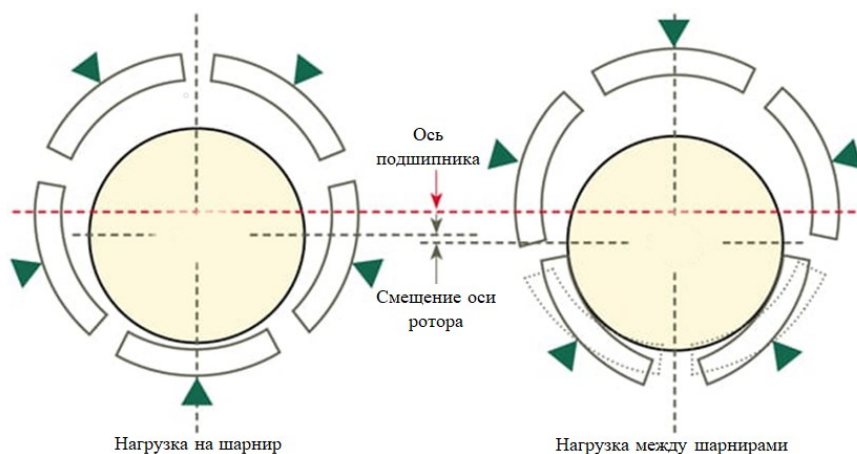


Рисунок 2 – Смещение центра вала

Существует пять основных факторов, вызывающие смещение:

1. Плохое соединение между корпусом турбины и фундаментной рамой. Необходимо обращать внимание на фундаментную раму, включая шпонки, болты и колодки, чтобы было возможно свободное движение опорных поверхностей, особенно при пуске и изменении нагрузки.

2. Сложность сборки переднего подшипника турбины. В цапфовом подшипнике при вращении вала вытесняется масло из нижней части, что вызывает изменение слоя масляной пленки. При этом осевая линия вала смещается в сторону и вверх. Если поверхность контакта большая, трение на поверхности подшипника возрастет, что приводит к усилению трения и коррозии поверхности подшипника, а также к повышению вибрации и смещению ротора. В результате будет утечка масла из подшипников и трение уплотнительных сальников. Если площадь контакта подшипника понижается, то масляная пленка вызывает неравномерное движение ротора внутри подшипника.

3. Несоосность ротора с отверстиями и муфтами. Правильная центровка ротора теряется, если ось одного ротора не непрерывна с ротором следующего корпуса. После капитального ремонта турбины необходимо проверить центровку ротора относительно муфт и другие факторы, вызывающие изменение начального расположения отдельных корпусов, роторов и подшипников.

4. Несоосность отверстия сальника и ротора. Ось отверстия сальника должна совпадать с осью ротора при нормальных температурах, которые возникают при работе турбины. Необходимо быстро идентифицировать любые потери в уплотнительных зазорах в процессе прогрева турбины, так как возможны изменения зазора, которые вызывают изгиб цилиндров из-за отличия температур между нижней и верхней частями цилиндра.

5. Трение лопаток. Контактное трение лопаток о стенки цилиндра на реактивных стадиях вызывает высокую вибрацию изгиба лопаток, обычно у их основания, пример выдавливания цапфы в лопатках ротора показан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Ротор турбины

*Дисбаланс ротора.* Кривизна ротора смещает ось вращения вала, смещая центр масс ротора и создавая вибрацию, которая влияет на лопатки тремя способами:

1. Вибрация приводит к структурным проблемам лопаток, так как центробежные силы создают увеличение растягивающих сил в поперечном сечении лопатки. Под действием пара высокого давления, протекающего в осевом направлении через цилиндр турбины, появляются напряжения изгиба в лопатках. Расход пара, перепад температуры на ступени лопаток, их скорости вращения и вес влияют на величину изгибающих напряжений. Температура пара влияет на коррозию лопаток и механические свойства. Коррозия вызывает отказ регулирующей ступени, которая представлена на рисунке 4.



Рисунок 4 – Регулирующая ступень

2. Внешние причины, такие как неудовлетворительная динамическая балансировка ротора, отклонение шага лопатки, неправильно смонтированный стык между двумя половинными диафрагмами или коррозия кромки вызывают вибрацию лопатки.

3. Размеры поворотных лопаток и способ их установки на роторы могут быть различными. После проведения капитального ремонта важно поддерживать одинаковый вес и материалы лопаток, особенно при их замене. Даже незначительное изменение веса лопаток или их центра тяжести вызывает вибрацию ротора и дисбаланс. Снятие диска привело к появлению глубоких царапин на валу, что представлено на рисунке 5.



Рисунок 5 – Вал турбины

*Корпус – фактор вибрации ротор.* Колебания температуры корпуса могут вызывать вибрацию турбины различными способами:

1. Цилиндр турбины может иметь температурное расслоение, вызванное недостаточной теплоизоляцией от корпуса или в других областях. Нарушение теплоизоляции вызвано недостаточной изоляцией при соединении стыков и труб с корпусами, обычно в нижней части турбины. Плохая изоляция корпуса в нижней части, например, может вызвать температурный градиент сверху вниз корпуса, что приведет к деформации корпуса и упругому изгибу ротора.

2. Если турбина запускается из горячего состояния до того, как она вернется в пределы кривизны, вращающиеся лопатки и неподвижные диафрагмы могут тереться и повреждать сальников и уплотнений диафрагмы. При повышении веса вала увеличиваются размеры ротора и цилиндра турбины, а также тепловая инерция вала. Между запусками требуется более длительный период времени, поэтому любая кривизна ротора устраняется перед запуском турбины.

3. Разница температур верх-низ приводит к изгибу вала: когда верхняя часть корпуса горячее, чем нижняя, он имеет тенденцию изгибаться вниз. Если температурный градиент не изменяется от верха к низу и по длине, то максимальное изгибающее напряжение возникает в центре корпуса по вертикали и между опорами по горизонтали.

#### **Заключение**

Таким образом, если ротор имеет более высокую кривизну, чем нормальный диапазон, и если регулирование пути потока пара не было выполнено тщательно во время горячего запуска, следует ожидать трения.

Разница температур между верхней и нижней частью цилиндра не должна превышать установленный предел во время запуска турбины.

Чрезмерные нагрузки на соединение труб могут вызвать деформацию корпуса, а изгибающие моменты, приложенные к фланцам корпуса, могут вызвать смещение и перемещение цилиндра внутри корпуса, что может увеличить вибрацию ротора.

Хотя вибрации паровой турбины сами по себе не являются проблемой, они являются признаком, указывающим на недостатки в турбине, которые должны быть устранены быстро, чтобы избежать необратимых повреждений.

#### **Литература**

1. Оценка конструкции паровых турбин [Электронный ресурс]/ оценка конструкции паровых турбин. – Режим доступа: <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/osenka-konstrukciy-parovyh-turbin/Page-12.html/>. – Дата доступа: 27.03.2021.

2. Анализ повреждаемости роторов паровых турбин [Электронный ресурс]/ анализ повреждаемости роторов паровых турбин. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-povrezhdaemosti-rotorov-parovyh-turbin-obzor/>. – Дата доступа: 27.03.2021.



УДК 629.5.068.4

**ЗАМЕЩЕНИЕ ТРАДИЦИОННЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ  
АЛЬТЕРНАТИВНЫМИ. МУСОРОСЖИГАНИЕ  
SUBSTITUTION OF TRADITIONAL ENERGY RESOURCES  
WITH ALTERNATIVE ONES. INCINERATION**

В.М. Колос, Е.Ю. Соловьева

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

vladmir70@rambler.ru

V. Kolos, E. Solovyeva

Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** Мусоросжигание-это процесс переработки отходов, который включает в себя сжигание органических веществ, содержащихся в отходах. Промышленные установки для сжигания отходов обычно называют объектами переработки отходов в энергию. Сжигание отходов превращает их в золу, дымовые газы и тепло. Зола в основном образуется неорганическими компонентами отходов. Дымовые газы должны быть очищены от газообразных и твердых загрязняющих веществ до их рассеивания в атмосфере. В некоторых случаях тепло, получаемое при сжигании, может быть использовано для выработки электроэнергии.

**Abstract:** Incineration is a waste recycling process that involves the burning of organic substances contained in the waste. Industrial waste incineration plants are commonly referred to as waste-to-energy facilities. Waste incineration converts waste into ash, flue gases, and heat. Ash is mainly formed by the inorganic components of the waste. Flue gases must be cleaned of gaseous and solid pollutants before they are dispersed in the atmosphere. In some cases, the heat generated by the combustion can be used to generate electricity.

**Ключевые слова:** сжигание, дымовые газы, отходы, энергия, температура.

**Keywords:** incineration, flue gases, waste, energy, temperature.

### **Введение**

Увеличение количества свалок в мире приближает экологическую катастрофу. Уйти от этой проблемы можно термической переработкой отходов на мусоросжигательных заводах. Такой способ снижает объем мусора в 2 раза и позволяет отказаться от строительства новых полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО).

### **Основная часть**

Согласно последним подсчетам, в настоящее время в мире ежегодно производится около 1,3 миллиарда тонн мусора. Чтобы представить это в перспективе, если мы возьмем всех людей на планете и поместим их в невероятно гигантские масштабы, их общий вес будет только четвертью этого количества.

К сожалению, около 60 процентов этого мусора окажется на свалках, которые во всем мире увеличиваются в геометрической прогрессии [1].

Вывоз и захоронение всего на свалках не является жизнеспособным решением наших проблем коллективного вывоза отходов. Просто не хватает полезного пространства по горизонтали или вертикали, чтобы безопасно размещать миллиарды тонн этого сильно загрязненного материала ежегодно.

Необходимы другие решения, и люди могут подумать, что мусоросжигательные заводы предлагают более чистую, аккуратную и менее затратную по земле альтернативу. Несмотря на то, что они не так распространены, как свалки, мусоросжигательные заводы существуют уже давно, поэтому в этом варианте нет ничего экспериментального или теоретического.

Первые мусоросжигательные заводы для утилизации отходов были построены в Ноттингеме компанией Manlove, Alliot & Co. Ltd. в 1874 году по проекту, запатентованному Альбертом Фрайером [1].

Но действительно ли сжигание – законная или желательная альтернатива?

Это вопрос, на который нет однозначного ответа.

В 21 веке методология сжигания мусора далеко вышла за рамки своего примитивного происхождения. Всего за последние несколько десятилетий крупные мусоросжигательные заводы стали более эффективными в плане сокращения отходов до управляемых количеств и делают это таким образом, чтобы выделять незначительные количества загрязняющих веществ (токсичных газов и/или твердых частиц) в окружающую среду (воздух).

Современные мусоросжигательные установки могут создавать температуру горения более 850 градусов по Цельсию, что является минимальным уровнем, необходимым для максимальной эффективности уничтожения потенциально опасных органических материалов.

При высокотемпературном массовом сжигании твердых отходов образуются зола, дымовые газы и тепло, а в конце цикла сжигания общая масса оставшихся твердых отходов резко снижается.

Даже при таких высоких температурах крупные мусоросжигательные заводы по-прежнему производят ядовитые побочные продукты, включая диоксин (вызывающий рак) и тяжелые металлы, которые могут быть очень токсичными даже в мельчайших следах.

Однако технология очистки удаляет большую часть загрязнения дымовых газов до их выпуска, и только следовые количества диоксина будут выходить из дымовых труб (большая часть удаляется или накапливается внутри дымовой трубы, откуда его можно удалить позже).

Крупномасштабные современные заводы по сжиганию твердых отходов могут перерабатывать 250 и более тонн мусора в день, при этом выбросы значительно менее токсичны, чем те, которые производили мусоросжигательные заводы пару десятилетий назад.

В качестве альтернативы свалкам сжигание дает следующие преимущества:

1. Более эффективное использование пространства: после сжигания полная масса оставшегося мусора сокращается почти до 85 % при возможном уменьшении его объема на 90 – 95 %, что является находкой для небольших стран [1].

2. Предотвращение загрязнения подземных вод: при выпадении осадков на свалку фильтрат представляет собой вязкую суспензию. Именно эта смесь проникает в подземные воды, загрязняя их опасным количеством солей, тяжелых металлов и летучих органических соединений, а также другими токсичными или коррозионными химикатами, или веществами, которые в избытке находятся в бытовом мусоре.

3. Производство энергии: по состоянию на 2020 год в мире действующими являлось порядка 2200 электростанций по переработке отходов. Так как мусор сжигается при высокой температуре, то вода закипает, приводя в действие парогенераторы, вырабатывающие электрическую энергию. Одна такая электростанция в среднем сжигает ежегодно до 300 миллионов тонн, преобразовывая его в электрическую энергию, снижая нагрузку на угольные электростанции, выбросы которых являются катастрофой для окружающей среды.

4. Снижение углеродного следа: при сжигании горючей части мусора (органического вещества), выделяется значительное количество  $CO_2$ , являющегося наиболее распространенным парниковым газом, который образуется в результате человеческой деятельности. При этом на каждую тонну сжигаемого мусора в атмосферу выбрасывается одна тонна  $CO_2$ . Однако по сравнению с огромным количеством свалок – это все же является улучшением, так как органическое вещество, разлагаясь на свалках, выделяет парниковый газ метан, который задерживает тепло в земной атмосфере намного эффективнее, чем  $CO_2$ .

Расчеты показывают, что органическое вещество, разлагаясь на свалках, будет способствовать глобальному потеплению почти на 30 процентов больше, чем сжигание эквивалентного количества вещества в мусоросжигательной печи, что далеко от нуля, но все же является шагом в правильном направлении.

Дополнительным преимуществом является то, что заводы по сжиганию отходов могут быть расположены рядом с местом их образования, что снижает затраты, энергию и выбросы, связанные с транспортировкой отходов.

Хотя сжигание имеет свои преимущества, это не идеальное решение. К недостаткам сжигания твердых отходов можно отнести:

1. Высокие расходы: мусоросжигательные установки несут значительные затраты на изучение территории, получение разрешений, строительные материалы, рабочую силу и модификацию местной инфраструктуры (обеспечение водой, электроэнергией, подъездом к дорогам и т. д.) [2].

2. Продолжающийся выброс токсичных или иным образом опасных загрязнителей: современные мусоросжигательные заводы сократили свои выбросы тяжелых металлов и токсичных ядов, таких как диоксин, до минимума, по сравнению со старыми мусоросжигательными заводами, которые были слабыми в этой области. Но выбросы все же происходят, и такие вещества, как диоксин, ртуть и мышьяк, не являются полностью безопасными для людей или животных на любом уровне.

И даже при использовании лучших технологий мусоросжигательные заводы остаются огромными источниками выбросов углекислого газа, который в наибольшей степени ответственен за антропогенное изменение климата.



3. Альтернативные издержки: возможно, самое важное возражение против сжигания твердых отходов исходит из концепции альтернативных издержек – то есть из идеи, что действия, которые мы предпринимаем, автоматически исключают другие действия, которые могли бы быть более эффективными, если бы мы дали им шанс. Некоторые критики сжигания утверждают, что сжигание в конечном счете способствует большему производству отходов, потому что мусоросжигательные заводы требуют больших объемов отходов для поддержания огня, и местные власти могут предпочесть сжигание программам переработки и сокращения отходов [2].

Завод по сжиганию ТБО состоит из двух параллельных линий по 60 т/сут отходов, каждая из которых оборудована следующими основными установками [1]:

- камера сгорания вращающейся печи, работающая при температуре 1000 °С;
- камера дожигания работает при 950 °С;
- котел для охлаждения выхлопных газов;
- селективное некаталитическое восстановление  $NO_x$  путем добавления аммиака;
- участок нейтрализации и адсорбции сухих кислых газов добавкой извести и активированного угля;
- тканевый фильтр для удаления твердых частиц;
- распылительная башня скруббера для удаления ртути.

#### **Заключение**

Сжигание считается одним из наиболее перспективных способов с точки зрения экономики и безопасности. В результате преобразование полиуретанов вместе с другими материалами, такими как текстиль, дерево, бумага и другие пластмассы, в энергию в «современных» мусоросжигательных печах, которые соответствуют всем требованиям здоровья и безопасности и соответствующим законодательным нормам по выбросам и экологическим стандартам, будет важным процессом, способствующим развитию экономики и окружающей среды как сейчас, так и в будущем.

Сжигание отходов с рекуперацией энергии обычно рентабельно только в крупных густонаселенных мегаполисах. Этот подход становится менее привлекательным из-за низкой стоимости ископаемого топлива, сильных рынков бумаги и необходимости утилизации значительного объема остатков, часть которых может быть опасной. Однако основные проблемы, которые необходимо решить до широкого использования этого метода, – это конечный риск загрязнения, шума, запаха, опасности пожара и взрыва, повреждения растительности, загрязнения грунтовых вод и загрязнения воздуха.

Потребление сырой нефти, природного газа и каменного угля, которые обычно используются в системах централизованного теплоснабжения, можно существенно снизить за счет сжигания пластиковых отходов. Если предположить, что эффективность установки для сжигания и установки централизованного теплоснабжения одинакова (80 %), при сжигании 1 кг полиэтилен высокого давления выделяется 43,3 МДж, что соответствует 0,08 кг сырой нефти, 0,07 кг природного газа и 0,25 кг карьерного угля. Стоимость захоронения или

сжигания отходов варьируется в разных странах, как и способы обработки, используемые в разных европейских странах.

### Литература

1. Общие вопросы обращения с отходами [Электронный ресурс]/ общие вопросы обращения с отходами. – Режим доступа: <https://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=79>. – Дата доступа: 01.04.2021.
2. Конец «мусорной цивилизации» [Электронный ресурс]/ конец «мусорной цивилизации». – Режим доступа: [https://www.musorunet.ru/doc/sapojnikova\\_konec\\_musornoj.pdf](https://www.musorunet.ru/doc/sapojnikova_konec_musornoj.pdf). – Дата доступа: 01.04.2021.

УДК 621.165

**ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАБОТЫ ЛУКОМЛЬСКОЙ ГРЭС  
HISTORY AND PROSPECTS OF OPERATION OF LUKOMLSK GRES**

В.Ю. Михалченок, К.С. Иванова

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
kachah@bntu.by

U. Mikhalchonak, K. Ivanova

Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** Рассматривается история Лукомльской ГРЭС: этапы ее строительства и особенности проведенной реконструкции оборудования. Описано предстоящее со вводом Белорусской АЭС изменение состава включенного оборудования. Показана предстоящая роль этой ГРЭС в работе энергосистемы Беларуси в ближайшей перспективе.

**Abstract:** The history of Lukoml GRES including stages of its construction and reconstruction of the equipment is considered. The article describes the upcoming change in the composition of the included equipment with the commissioning of the Belarusian NPP. The forthcoming role of this GRES in the work of the energy system of Belarus in the near future is shown.

**Ключевые слова:** электростанция, паровая турбина, парогазовая установка, электрокотлы, бак-аккумулятор, пиково-резервный энергоисточник.

**Keywords:** power plant, steam turbine, combined cycle unit, electric boilers, storage tank, peak reserve energy source.

**Введение**

Лукомльская ГРЭС РУП «Витебскэнерго» – флагман белорусской энергетики и в настоящее время самая мощная тепловая электростанция в республике. Сейчас ГРЭС является регулятором частоты и мощности в энергосистеме Беларуси, но с вводом Белорусской АЭС состав включенного оборудования и режимы его работы существенно изменятся.

**Основная часть**

Строительство Лукомльской ГРЭС осуществлялось в две очереди. В период с 1964 по сентябрь 1971 года было введено четыре энергоблока, каждый в составе двух корпусного котла ТГМП-114 паропроизводительностью по свежему пару 950 т/ч с параметрами 25,14 МПа, 565 °С, по пару промперегрева – 760 т/ч с параметрами 3,64 МПа, 570 °С и турбины паровой конденсационной с промперегревом номинальной мощностью 300 МВт типа К-300-240-1 с начальными параметрами свежего пара перед автоматическими стопорными клапанами ЦВД – 23,6 МПа, 560 °С.

В период с 1970 по август 1974 года было введено также четыре энергоблока, каждый в составе однокорпусного котла ТГМП-314 паропроизводительностью по свежему пару 950 т/ч с параметрами 25,5 МПа, 565 °С, по пару

промперегрева – 770 т/ч с параметрами 3,9 МПа, 570 °С и турбины паровой конденсационной номинальной мощностью 300 МВт типа К-300-240-1 с начальными параметрами свежего пара перед автоматическими стопорными клапанами ЦВД – 23,6 МПа, 560 °С.

Тепловая схема первой и второй очередей ГРЭС запроектирована по блочному принципу котел – турбина. Каждая очередь состоит из четырех однотипных блоков и комплекса общестанционных вспомогательных устройств. Поперечные связи между блоками по основным линиям (трубопроводы свежего пара, промперегрева, питательной воды, основного конденсата) отсутствуют. Общими для всех блоков являются линии обессоленной воды для восполнения потерь в цикле и некоторые вспомогательные коммуникации.

Источником технического водоснабжения является Лукомльское озеро, которое используется в качестве естественного охладителя оборотной схемы охлаждения оборудования.

На протяжении десятилетия с 2003 по 2013 годы на Лукомльской ГРЭС осуществлена поэтапная модернизация основного и вспомогательного энергетического оборудования, направленная на увеличение его надежности, экономичности, срока службы, улучшение эксплуатационных характеристик.

В 2003 и 2012 годах была проведена реконструкция блока ст. № 3, включающая модернизацию проточной части (ЧНД и ЧВД) турбины ст. № 3 с увеличением мощности на 10 МВт, замену питательного турбонасоса на более экономичный, модернизацию пускорезервного питательного насоса с установкой новой гидромфты, установку одного деаэратора 1,0 МПа вместо двух деаэраторов 0,7 МПа, замену ПВД № 6 – 8 системы регенерации.

В 2006 и 2013 годах году была проведена реконструкция блока ст. № 1, включающая модернизацию проточной части (ЧВД, ЧСД и ЧНД) турбины К-300-240-1 с увеличением мощности на 15 МВт замену питательного турбонасоса на более экономичный, замену ПВД № 6 – 8 системы регенерации.

В 2008 – 2011 годах была проведена реконструкция блоков ст. № 2 и 4, включающая модернизацию турбины К-300-240-1 с увеличением мощности на 15 МВт, замену питательного турбонасоса на более экономичный, модернизацию пускорезервного питательного насоса с установкой новой гидромфты, установку одного деаэратора 1,0 МПа вместо двух деаэраторов 0,7 МПа замену ПВД № 6 – 8 системы регенерации

В 2000 – 2006 годах были введены в эксплуатацию детандер генераторные утилизационные установки ДГУЭ-5000 ст. № 1 мощностью 5 МВт и ДГУЭ-2500 ст. № 2 мощностью 2,5 МВт. Они составляют турбодетандерную группу оборудования (ТДГО).

В мае 2014 года введен в действие новый парогазовый блок ПГУ-427, расположенный в отдельном корпусе. В состав блока входит:

– энергетическая газотурбинная установка (ГТУ) SGT5-PAC 4000F с генератором SGen-5-1000A (производства «Siemens» Германия / Shanghai Electric Group Co., Ltd);

– котел-утилизатор (КУ) NG-54000F-R (производства «Hangzhou Boiler Group Co., Ltd»);

– паровая конденсационная турбина (ПТ) N141-563/551 с генератором паровой турбины с системой возбуждения QF-141-2 (производства «Shanghai Electric Group Co.Ltd»).

Лукомльская ГРЭС, являясь крупнейшей в республике конденсационной тепловой электростанцией, обеспечивает и теплоснабжение (в горячей воде) промышленных предприятий и жилищно-коммунального сектора г. Новолукомля. Отпуск теплоты осуществляется от восьми бойлерных групп: в составе каждого энергоблока 300 МВт имеются бойлерные установки, подключенные к нерегулируемым отборам турбин. От энергоблока ПГУ-427 отпуск теплоты не предусмотрен.

Пар внешним потребителям (теплицы) и на собственные нужды Лукомльской ГРЭС отпускается от общестанционного коллектора пара собственных нужд 1,3 МПа. Питание этого коллектора осуществляется от РУ 40/13 блоков ст. № 1 – 8 (из трубопроводов холодного промперегрева).

К основным потребителям собственных нужд относится мазутное хозяйство, деаэраторы подпитки теплосети, подогреватели сырой воды, калориферы котлов, а также пусковые операции энергоблоков, в том числе блока ПГУ-427.

После ввода в эксплуатацию энергоблоков Белорусской АЭС энергоблоки ст. № 1 – 8 Лукомльской ГРЭС будут задействованы в создании нормативной величины холодного резерва мощности: включение их в работу будет обусловлено прежде всего необходимостью обеспечения баланса электрических мощностей республики в период регламентных остановов энергоблоков АЭС [1].

Ремонтный цикл энергоблоков Белорусской АЭС предусматривает плановый ежегодный останов энергоблоков АЭС в текущий ремонт с частичной перезагрузкой топлива, останов один раз в два года для среднего ремонта и останов один раз в восемь лет для выполнения капитального ремонта с полной перезагрузкой топлива (продолжительность ежегодных остановов 16 – 40 дней для каждого энергоблока АЭС). Фактические периоды вывода энергоблоков АЭС в ремонт будут определяться сроками их ввода в эксплуатацию [1].

С учетом этого и с целью обеспечения надежного теплоснабжения потребителей г. Новолукомля, а также сохранения «живучести» главного корпуса Лукомльской ГРЭС во всем диапазоне температур наружного воздуха в 2019 – 2020 годах реализован проект «Реконструкция системы теплоснабжения Лукомльской ГРЭС». В ходе реализации проекта установлен дополнительный теплоисточник (котельная) с газомазутными паровыми котлами. Для выполнения комплекса мер по режимной интеграции Белорусской АЭС в балансе энергосистемы Республики Беларусь, дополнительно на Лукомльской ГРЭС установлены водогрейные электрокотлы и бак-аккумулятор [1].

Состав включенного оборудования энергоблоков ст. № 1 – 8 и ПГУ-427 с учетом реализации проекта строительства пиково-резервных энергоисточников представлен в таблице 1 [1].

Разработку архитектурного и строительного проекта «Реконструкция системы теплоснабжения Лукомльской ГРЭС» выполнял РУП «Белнипиэнергопром». Генеральным подрядчиком строительства стал РУП «Белэнергострой» – управляющая компания холдинга».

Таблица 1 – Состав включенного оборудования Лукомльской ГРЭС с учетом реализации проектов строительства пиково-резервных энергоисточников

Состав оборудования	При работе двух энергоблоков АЭС				При работе одного энергоблока АЭС				При полном останове АЭС*			
	Зима		Лето		Зима		Лето		Зима		Лето	
	раб. день	вых. день	раб. день	вых. день	раб. день	вых. день	раб. день	вых. день	раб. день	вых. день	раб. день	вых. день
ПГУ	ПГУ-427	ПГУ-427	ПГУ-427	ПГУ-427	ПГУ-427	ПГУ-427	ПГУ-427	ПГУ-427	ПГУ-427	ПГУ-427	ПГУ-427	ПГУ-427
ПТУ	либо полный останов	либо полный останов		либо полный останов		либо полный останов	2x315 МВт		315 МВт	либо полный останов	4x315 МВт	2(3)x315 МВт

\* ситуация с полным остановом АЭС будет вероятна в периоды планового останова одного из энергоблоков и аварийного отключения второго

В 2020 году на Лукомльской ГРЭС также приступили к строительству пиково-резервного энергоисточника мощностью 150 МВт в составе трех газотурбинных установок SGT-800 производства Siemens в комплекте со вспомогательным оборудованием и трубопроводами связи, приборами КИПиА, системами управления и автоматизации [2].

Выработанная электроэнергия будет передаваться в национальную энергосистему для покрытия пиковых нагрузок и компенсации возмущений. Генеральный подрядчик РУП «Белэнергострой» приступил к выполнению необходимых подготовительных работ для монтажа оборудования и устройства фундаментов под три газотурбинные установки и вспомогательное оборудование.

**Заключение**

В связи с вводом Белорусской АЭС состав генерирующего оборудования и режимы работы Лукомльской ГРЭС существенно изменятся, но станция останется важным энергоисточником Беларуси, обеспечивая нормальную работу энергосистемы страны.

**Литература**

1. Реконструкция системы теплоснабжения Лукомльской ГРЭС. Архитектурный проект. 702-ПЗ-АП15. Книга 3 Технологические решения // Министерство энергетики РБ. ГПО «Белэнерго». РУП «Белнипиэнергопром». – Минск, 2017.
2. Строительство пиково-резервного энергоисточника на Лукомльской ГРЭС. 1997-ПЗ-АП1. Книга 3 Технологические решения // Министерство энергетики РБ. ГПО «Белэнерго». РУП «Белнипиэнергопром». – Минск, 2020.



УДК 628.315

**МЕТОДЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ  
WATER PRETREATMENT METHODS**

С.Е. Маркевич, Е.И. Смыкал, Д.А. Хлопкова, М.В. Шепелев  
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
w.romanko@bntu.by

S. Markevich, E. Smykal, D. Khlopko, M. Shepelev  
Supervisor – W. Romanko, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В статье рассмотрены основные методы предварительной очистки воды: различные виды осаждений, фильтрация, дезинфекция, аэрация, необходимые для доведения любой воды до необходимых качеств. Целью их рассмотрения является изучение принципов действия и эффективности использования.*

***Abstract:** The article discusses the main methods of water pretreatment: various types of sedimentation, filtration, disinfection, aeration, necessary to get water to the required qualities. The purpose of their consideration is to study the principles of operation and efficiency of use.*

***Ключевые слова:** вода, очистка, осаждение, химические вещества, фильтр, обработка.*

***Keywords:** water, purification, settling, chemicals, filter, treatment.*

**Введение**

В настоящее время одной из ключевых является проблема качества воды, поскольку она является необходимым составляющим существования и жизнедеятельности человека. Вода является универсальным растворителем, поэтому в ней постоянно присутствуют различные соединения, взвешенные вещества, примеси, газы и ионы. Для получения необходимых качеств воды, пригодной к использованию, существуют некоторые основные методы очистки, неоднократно доказавшие свою эффективность.

**Основная часть**

Взвешенные вещества встречаются в любой жидкости, будь то жидкость из скважины, колодца или сточные воды. К взвешенным веществам относят суммарное содержание в воде грубодисперсных соединений, размер которых более 100 нм. Большая часть взвешенных веществ удаляется в отстойнике, где крупные частицы оседают под воздействием силы тяжести. Такой процесс называется простым осаждением.

Результат осаждения может быть увеличен путем смешивания химических веществ с водой с образованием хлопьевидного осадка, уносящего взвешенные вещества вниз по мере их осаждения. Этот процесс называется химической коагуляцией.



Коллоидные вещества все еще могут находиться во взвешенном состоянии после осаждения. Большую их часть можно удалить фильтрованием.

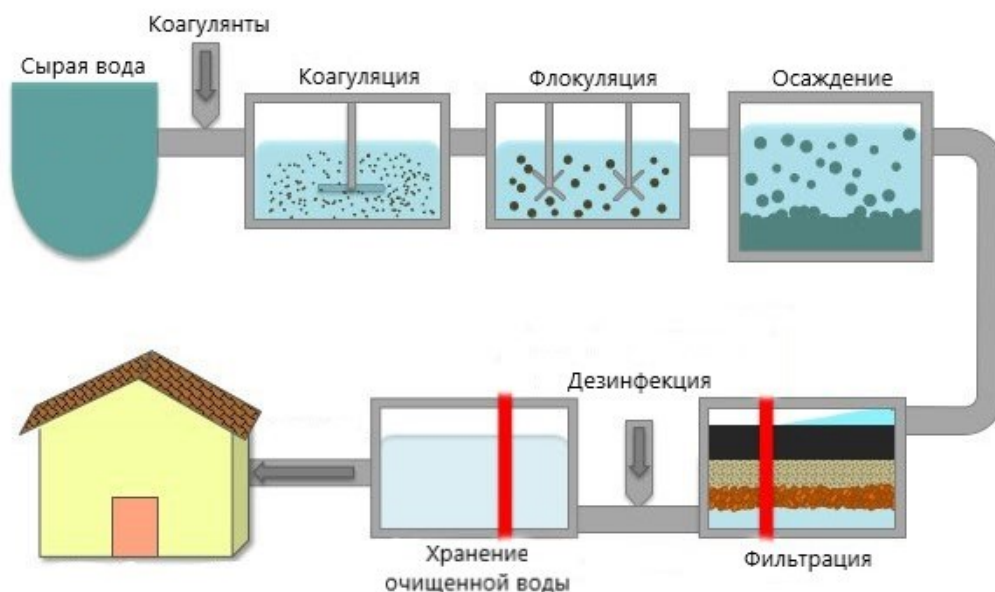


Рисунок 1 – Процесс очищения воды

Осаждение почти всегда предшествует фильтрации, так как фильтры быстро засоряются. Мутную воду необходимо очистить путем химической коагуляции и фильтрации.

Патогенные бактерии проходят как через отстойник, так и через фильтр, поэтому необходима дезинфекция – ликвидация вредных бактерий – обычно достигается хлорированием. Вода, прошедшая осаждение, фильтрацию и дезинфекцию, будет безопасной, но недостаточно чистой для организма человека.

Неприятные привкус и запах в воде удаляются аэрацией, добавлением сорбентов (активированного угля) или другими способами. Жесткость воды можно уменьшить с помощью умягчения.

Вода также подвергается и другим обработкам, таким как фторирование, известкование и рекарбонизация.

1. *Простое осаждение.* Скорость осаждения частиц в воде зависит от плотности и вязкости воды, а также от формы, размера и удельного веса частиц. Холодная вода более вязкая, поэтому частицы оседают медленнее, чем в теплой воде. Очистка воды путем осаждения направлена на обеспечение таких условий, при которых взвешенные вещества в воде могут оседать.

Отстойники, построенные для удаления взвешенного материала из воды, обычно изготавливаются из железобетона. Период удержания (или время задержки) – это среднее время, необходимое для протекания воды через бассейн. Чтобы получить достаточно высокий процент удаления взвешенного материала, желательно, чтобы конструкция была правильно спроектирована.

2. *Осаждение с коагуляцией.* Если взвешенные вещества коллоидные, то используют химические элементы для более полного удаления взвешенных веществ. При реакции коагулянты образуют хлопьевидный осадок.

Наиболее распространенным коагулянтом является сульфат алюминия  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ , который реагирует со щелочностью воды с образованием хлопьев гидроксида алюминия  $Al(OH)_3$ . Если вода не обладает необходимой щелочностью, требуется добавить известь  $CaO$  кальцинированной соды  $Na_2CO_3$ , чтобы добиться надлежащей коагуляции.

Активированный диоксид кремния, иногда добавляемый в воду, обеспечивает образование хлопьев. В процессе мелкодисперсные коллоидные взвеси превращаются в осаждаемые твердые вещества путем агломерации. Отдельные частицы хлопьев сталкиваются друг с другом и образуются хлопья больших размеров.

В статической воде хлопья растут медленно. Коагуляция усиливается за счет легкого взбалтывания воды для увеличения частоты столкновений. Сильное перемешивание вредно, так как хлопья будут разрушаться в результате столкновений.

Сульфат железа  $FeSO_4$  и хлорид железа  $FeCl_3$  также используются в качестве коагулянтов. Они образуют осадки гидроксида железа. Количество используемого химического вещества зависит от характера воды.

Для соли двухвалентного железа  $FeSO_4$  требуется использование извести в качестве химического элемента, или она может быть преобразована в форму трехвалентного железа  $Fe_2(SO_4)_3$  путем добавления хлора. Количество используемого химического вещества определяется путем добавления в пробы сырой воды разного количества химического вещества. После нескольких секунд интенсивного перемешивания и нескольких минут медленного перемешивания наблюдают за характером хлопьев и их осаждаемостью и подбирают оптимальную дозировку.

Поскольку качество воды может измениться, желательно проводить тест часто. На некоторых электростанциях это делают несколько раз в день; в других, где вода менее изменчива, только один раз в несколько дней.

Химические вещества должны быть широко рассредоточены по воде за счет правильного перемешивания, что достигается механическими средствами с помощью быстро вращающихся лопастей в смесительных камерах.

Смеситель с гидравлическим прыжком является эффективным смесителем, но он может оказаться невозможным в широком диапазоне скоростей потока. После быстрого перемешивания следует 20 – 30-минутный период медленного перемешивания для обеспечения коагуляции. При тщательном контроле осаждение с коагуляцией удаляет около 90 % взвешенных веществ.

3. *Фильтрация.* Обычный фильтр состоит из слоя измельченного угля или песка, уложенного на слой гравия. При прохождении воды через фильтр, взвешенные вещества и коагулянты контактируют с песчинками и присоединяются к ним. Это уменьшает размер водного потока и приводит к деформации.

Со временем все больше и больше материала задерживается в слое песка, поры закупориваются, и потеря гидравлического напора через слой становится чрезмерной. Затем фильтр промывается обратно, чтобы удалить застрявшие вещества. Во время обратной промывки песчаный слой расширяется примерно

на 50 % и материал, который был отфильтрован из воды, вытесняется и уносится для промывочной воды.

Количество воды, необходимое для промывки песочного фильтра, варьируется от 1 до 5 % от общего фильтруемого количества. Обычно промывочная вода сбрасывается в канализацию или ручей, иногда ее сбрасывают в резервуар для последующей утилизации.

4. *Дезинфекция*. Есть еще один процесс, который используется в методах очистки воды. Более 50 % патогенов в воде умрут в течение двух дней, а 90 % умрут к концу недели. Поэтому хранение в резервуарах достаточно эффективно для борьбы с бактериями. Однако некоторые патогены могут жить до двух лет и более, поэтому необходима дезинфекция.

Хлор – идеальное дезинфицирующее средство. При добавлении в воду он образует гипохлорит  $NaOCl$  и оказывает разрушительное воздействие на большинство микробов. Жидкий хлор получают в емкостях под давлением и подают в воду через хлоратор.

Хлорирование осуществляется разными способами, это зависит от качества сырой воды и других условий. Постхлорирование, применение хлора после обработки, является традиционным методом. Предварительное хлорирование, применение хлора перед обработкой, улучшает коагуляцию, уменьшает нагрузку на фильтры и замедляет рост водорослей. Предварительное хлорирование и последующее хлорирование часто используются вместе.

Применение повышенных доз хлора известно как гиперхлорирование и его часто применяют для удаления привкусов и запахов. За гиперхлорированием должно следовать дехлорирование, осуществляемое обработкой диоксидом серы или пропусканием воды через фильтр из гранулированного активированного угля.

5. *Удаление привкусов и запахов*. Вкус и запах воды вызваны растворенными газами (сероводородом  $H_2S$ ), живыми органическими веществами (водорослями), разлагающимися органическими веществами, промышленными отходами и остатками хлора или сочетанием хлора с фенолом или разлагающимися органическими веществами.

Аэрация, обычно осуществляемая путем распыления воды из сопел или позволяя ей стекать по каскадам, разбивает воду на капли и позволяет улетучиваться растворенным газам.

Для удаления вкусов и запахов эффективно используется активированный уголь. Удаление происходит путем нагревания отходов бумажной фабрики или опилок в закрытой конструкции и их окисления с помощью воздуха или пара для удаления углеводородов.

Полученный продукт обладает очень хорошими адсорбционными свойствами. Иногда в качестве фильтра используется активированный уголь, но чаще его вносят в сырую воду перед коагуляцией.

### **Заключение**

Таким образом, каждый из вышеперечисленных методов очистки имеет свою область применения и является действенным способом очищения воды. Соединяя методы в одну систему водоподготовки, в зависимости от необходи-

мых параметров качества необходимой жидкости, мы можем вполне успешно ее получить и эффективно использовать в различных сферах жизнедеятельности.

### **Литература**

1. Методы очистки сточных вод [Электронный ресурс]/ методы очистки сточных вод. – Режим доступа: [https://www.promstok.com/articles/ochistnye-sooruzheniya/metody\\_ochistki\\_stochnyh\\_vod/](https://www.promstok.com/articles/ochistnye-sooruzheniya/metody_ochistki_stochnyh_vod/). – Дата доступа: 28.03.2021.
2. Способы очистки сточных вод [Электронный ресурс]/ способы очистки сточных вод. – Режим доступа: <https://oblasti-ekologii.ru/ecology/zagryaznenie-gidrosfery/sposoby-ochistki-stochnyh-vod/>. – Дата доступа: 28.03.2021.

УДК 621.165

**ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ ВОЗДУШНОЙ ТУРБИНЫ ЛАБОРАТОРНОЙ  
УСТАНОВКИ КАФЕДРЫ ТЭС БНТУ  
ORGANIZATION OF PROTECTION OF THE AIR TURBINE OF THE  
LABORATORY UNIT OF THE DEPARTMENT OF THE TPP BNTU**

К.А. Кривицкая

Научный руководитель – Н.Б. Карницкий, д.т.н., профессор  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

tes\_bntu@tut.by

К. Kryvitskaya

Supervisor – M. Karnitski, Doctor of Technical Sciences, Professor  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** Рассмотрены основные положения по разработке защитного устройства для воздушной турбины, входящий в состав лабораторной установки кафедры «Тепловые электрические станции» БНТУ, от скачка оборотов при отключении возбуждения на приводимом ею генераторе.

**Abstract:** The main provisions on the development of a protective device for an air turbine, which is part of the laboratory installation of the Department "Thermal Power Plants" of BNTU, from a jump in revolutions when the excitation is turned off on the generator driven by it, are considered.

**Ключевые слова:** воздушная турбина, возбуждение, разгон, лабораторная установка.

**Keywords:** air turbine, excitation, acceleration, laboratory installation.

### **Введение**

При работе ТЭС в режиме регулирования графика электрической нагрузки возникает необходимость систематического ее изменения. Известно, что при работе ТЭС в переменном графике электрических нагрузок необходимо изменять нагрузки котлов и турбин в соответствии с заданием диспетчерской службы. При прохождении пиков нагрузки основное оборудование нагружается до своей максимально возможной мощности или наоборот разгружается.

### **Основная часть**

Система защиты турбины должна предотвратить аварию турбоагрегата или, если она возникла, ограничить ее развитие, прекратив поступление пара в турбину быстрым закрытием стопорных и регулирующих клапанов, поворотных диафрагм, обратных клапанов на линиях регулируемых и регенеративных отборов. Система защиты является последней ступенью управления оборудованием турбоустановки.

Из всех защит турбины самой ответственной является защита от разгона (от недопустимого повышения частоты вращения). Это связано с тем, что разрушение турбины центробежными силами является одной из тяжелейших аварий на электростанции, влекущей за собой полный выход из строя оборудования, серьезные повреждения здания и другие тяжелые последствия.

На кафедре «Тепловые электрические станции» БНТУ имеется сложная лабораторная установка. Изначально она состояла из воздушного вентилятора, который подавал воздух на одновенечную турбину, при этом измерялось незначительное число параметров: расход воздуха, число оборотов и по сути установка являлась демонстрационной. За последние десять лет проведена ее реконструкция.

Воздушный вентилятор получил частотный регулируемый электропривод, что позволило плавно набирать обороты от минимальных до максимальных. Затем был установлен генератор постоянного тока с номинальным числом оборотов 1500 об/мин. В дальнейшем появились шкаф генераторного выключателя и шкаф управления и защиты.

Шкаф управления и защит (ШУЗ) предназначен для управления работой турбогенераторной установки (ТГУ) с воздушной турбины.

Шкаф генераторного выключателя (ШГВ) предназначен для включения/отключения генератора ТГУ, и осуществления защитного отключения в нештатных ситуациях ТГУ с генератором синхронного типа.

Шкаф управления и защиты комплектуется принудительной системой вентиляции. Система вентиляции включается, если температура шкафа внутри превышает 35 °С.

В состав шкафа управления и защиты входят:

- блок управления и защиты ТГУ (БУЗ ТГУ);
- светосигнализация;
- управляющие органы и системы автоматике;
- автоматы защиты цепей управления.

Шкафа управления и защиты обеспечивает:

- комплексную защиту турбогенераторной установки;
- выбор режимов управления: автоматический или ручной;
- автоматическое отключение генератора при превышении установленного значения контролируемого параметра;
- световую индикацию наличия сетевого напряжения;
- световую индикацию предаварийных и аварийных ситуаций;
- отображение информации контролируемых параметров;
- управление (включение/отключение) нагрузки в автоматическом и ручном режимах.

Все это позволило в конечном итоге осуществлять выработку электроэнергии с возможной выходной мощностью 7 кВт. В качестве потребителя электроэнергии выступил электрический нагреватель для подогрева воды, которая подается на последующее охлаждение в вентиляторную градирню. По сути дела, установка из демонстрационной превратилась в небольшую электростанцию, на которой в качестве рабочего тела выступает воздух, подаваемый в одновенечную воздушную турбину. Посредством генератора постоянного тока вырабатывается электроэнергия, подаваемая потребителю (в данном случае – электронагреватель). Следует отметить, что установка имеет систему вибродиагностики, с установкой специальных датчиков. Установка оснащена компьютером со специальным программным обеспечением. В процессе эксплуатации появился



вопрос, связанный с таким фактом, когда при отключении возбуждения наблюдается определенный заброс числа оборотов воздушной турбины. Поэтому авторами этой публикации предложено внести изменения в конструкцию установки, путем оснащения специальным устройством.

Принцип работы защитного устройства от превышения числа оборотов. После отключения возбуждения на генератор, имеется заброс числа оборотов на 200 – 300 об/мин, чтобы его исключить, мы планируем сконструировать и изготовить защитное устройство. Оно имеет форму поворотного круга, который в рабочем режиме установлен перпендикулярно потоку, а при отключении возбудителя – перекрывает все сечение подводящего воздуховода перед турбиной. Поток воздуха не поступает в турбину из-за этого нет разгона. Имеется лишь инерционный выбег. А воздух, которому перекрывается ход, сбрасывается в помещение лаборатории в сторону пола, через специальные воздуховоды, также имеющие специальное устройство по системе «открыть» – «закрывать».

Схема реконструируемого лабораторного стенда приведена на рисунке 1.

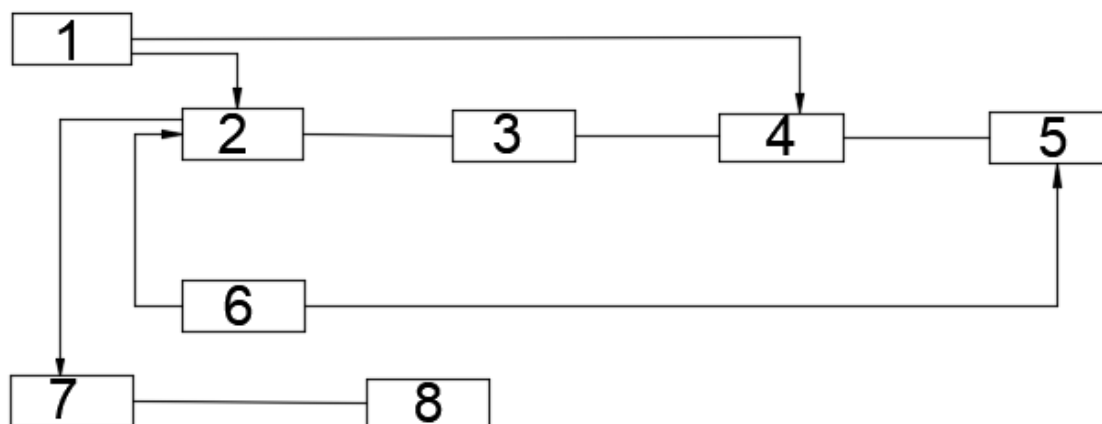


Рисунок 1 – Схема лабораторного стенда:

- 1 – шкаф генераторного выключателя; 2 – генератор постоянного тока; 3 – одновенечная воздушная турбина; 4 – защитное устройство от превышения числа оборотов; 5 – вентилятор; 6 – шкаф системы устройства защиты; 7 – подача электроэнергии на водонагреватель; 8 – подача подогретой воды в вентиляторную градирню

В состав лабораторной установки также входят операторная станция, водонагреватель и вентиляторная градирня. Дадим краткую характеристику этим устройствам. Как уже отмечалось ранее система управления турбогенераторной установкой состоит из ШУЗ и автоматизированного рабочего места (АРМ). В ШУЗ необходимо подобрать контроллер с модулями входа и выхода. Контроллерная программа должна производить сбор данных со всех датчиков и осуществлять их первичную обработку, контролировать аварийные сигналы и отключать генератор в случае аварии, а также обеспечивать интерфейс передачи данных на верхний уровень АРМ. Данные функции осуществляет операторная станция посредством контроллеров, среди них:



– противоаварийная защита (ПАЗ) оборудования в случае достижения предельно допустимых значений, в результате чего предотвращается возникновение аварийной ситуации;

– достаточный резерв (не менее 10 %) каналов для подключения нового оборудования в случае производственной необходимости;

– постоянно контролировать параметры во время работы установки; контроллеры верхнего и нижнего уровней должны быть адаптированы к оборудованию турбогенераторной установки.

Операторная станция также должна регистрировать срабатывания устройств ПАЗ; позволять изменять величины вставок во всех блокировочных параметрах турбогенераторной установки (лабораторного стенда); осуществлять архивацию информации (операторная станция включает логическую схему информационного обеспечения). В структуру операторной станции входят: персональная ЭВМ с периферией, контроллеры и модули входа и выхода, датчики расхода и температуры (до и после) воды и воздуха на градирню. Для информации студентам на принципиальной схеме отображаются: расход воды, мощность генератора, напряжение и ток генератора, давление воздуха перед и за турбиной, частота вращения турбины, уровень вибрации на подшипниках турбины и генератора, температура воды на входе в градирню и на выходе из нее. Технологическая сигнализация выдает информацию о значениях защит. Зеленый цвет (фон квадрата) – норма; желтый мигающий – предупреждение о повышенном числовом значении параметра; красный об аварии. В качестве потребителя вырабатываемой генератором электроэнергии служит водонагреватель мощностью 1,5 кВт. Нагреваемая в нем вода подается в градирню SAV - 100 для охлаждения.

Основные характеристики градирни:

– номинальный расход оборотной воды 3 м<sup>3</sup>/ч;

– номинальная тепловая нагрузка 15 Мкал/ч;

– габаритные размеры: высота 2650 мм, глубина 1140 мм, ширина 1300 мм;

– диаметр подводящего патрубка 450 мм;

– диаметр рабочего колеса осевого вентилятора WO – 450 составляет 450 мм;

– электродвигатель SKh 80 L-0,55kW – односкоростной, без редуктора, имеет скорость вращения 1500 об/мин.;

– температура воды на входе 32 °С, на выходе – 27 °С.

Оборотная вода подпитывается из водопровода. Корпус градирни и несущие конструкции вентилятора изготовлены из полипропиленовых профилей, обшивка градирни из полипропиленовых плит и плит ПММА. Диффузор вентилятора изготовлен из стеклопластика, армированного стекловолокном, подводящий патрубок из полипропиленовых труб. Принцип работы градирни заключается в следующем. Вода от технологического оборудования поступает в градирню через подводящий коллектор и распределительную систему подается на 4 форсунки. Охлаждаемая вода равномерно разбрызгивается на листы оросителя градирни и под действием силы тяжести в виде пленок и струй стекает по их гофрированной поверхности. Встречая на своем пути выпукло-вогнутые элементы на скатах гофр и перекатываясь через них, пленка охлаждаемой воды

дополнительно турбулизируется. Многократное повторение этого процесса при продвижении пленки охлаждаемой воды сверху донизу оросителя обеспечивает качественное взаимодействие ее с воздухом и высокий коэффициент тепло-массообмена. После охлаждения вода поступает в приемную емкость и по специальному трубопроводу в аккумулирующий резервуар. Восходящий поток воздуха для охлаждения воды в противоточном режиме обеспечивает осевой вентилятор.

#### **Заключение**

Данная работа выполняется в соответствии с приказом ректора БНТУ, согласно которого 15 % тем дипломных проектов должны решать задачи БНТУ. В дальнейшем проектное решение будет реализовано в металле.

УДК 621.184.623

**ОХЛАДИТЕЛИ ПАРА  
ATTEMPERATORS**

А.Д. Белозёрова, В.С. Баянкова

Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
levshin@bntu.by

A. Beloziorova, V. Bayankova

Supervisor – N. Levshin, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** *Фундаментальные принципы проектирования, процессы, происходящие в современных пароохладителях, и попытки использования перегретого пара в электроэнергетике развивались с начала 1930-х годов. Удовлетворение требований к количеству, качеству и постоянству температуры пара является основой традиционной конструкции пароохладителей, особенно для установок комбинированного цикла с быстрым откликом.*

**Abstract:** *The fundamental design principles and process for modern steam desuperheating, or the attemperation of superheated steam in the power generation industry, have been evolving since the early 1930s. Meeting the requirement for steam quantity, quality, and temperature consistency is the foundation of traditional attemperator component design, particularly for fast-response combined cycle plants.*

**Ключевые слова:** *пароохладители, контроль температуры, конструкция, термозонд, клапаны распыления воды.*

**Key words:** *attemperators, temperature control, construction, thermal probe, water spray valve.*

**Введение**

Повышение рабочих температур и мощности паровой турбины, вызванное стремлением повысить эффективность парового цикла, способствует развитию технологий в металлургии. В то же время разнообразные эксплуатационные требования, в том числе цикличность, операции с низкой нагрузкой и его отслеживанием, усложнили проектирование современных электростанций с комбинированным циклом (КЦ).

**Основная часть**

Идеальная система пароохладителей для современной установки с КЦ требует баланса между эффективностью конструкции, гибкостью компонентов и надежностью системы. Быстро меняющаяся нагрузка приводит к сложным рабочим циклам в отдельных частях пароохладителя и последующем оборудовании. Одной из наиболее распространенных конструкций пароперегревателей, используемых сегодня на рынке котлов-утилизаторов, является конструкция с круговым распылением (рисунок 1) [1]. Основная функция этой конструкции состоит в том, чтобы впрыскивать воду перпендикулярно потоку пара через несколько фиксированных или плавающих распылительных форсунок путем про-

никновения в стенку главной паровой трубы и внутреннюю облицовку распылителя или защитный экран, расположенный внутри трубы. Форсунки производят механическое распыление капель воды в поток перегретого пара [2]. В этой конструкции часто используется внешний кольцевой трубопровод к главной паровой трубе для подачи воды к отдельным распылительным форсункам в сочетании с удаленной станцией управления распылительной водой.

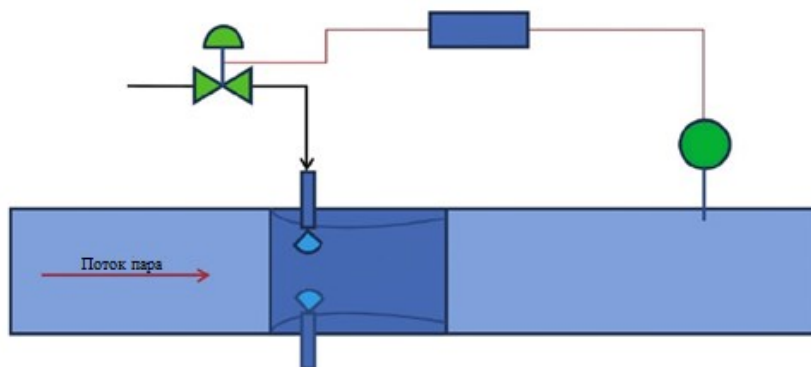


Рисунок 1 – Окружной прямоточный пароохладитель [3]

Альтернативная конструкция для контроля температуры пара включает в себя блок зонда (датчика) внутри трубы. Эта конструкция делится на две основные категории: интегрированные блоки (ИБ) и отдельные блоки (ОБ). Интегрированные датчики выполняют функцию клапана регулирования разбрызгиванием внутри рабочего тела (рисунок 2). ОБ предлагают распылитель в виде зонда для распыления воды с дистанционным клапаном управления, разбрызгиванием и внешним трубопроводом подачи воды. Применяют зонд, независимо от того, имеет ли он конструкцию ИБ или ОБ, использует один или несколько зондов для распыления в поток.

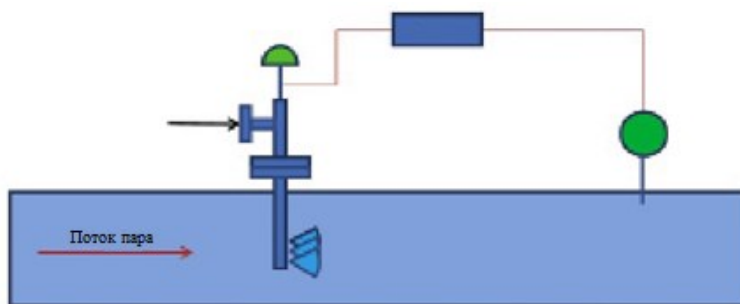


Рисунок 2 – Пароохладитель интегрированного блока зондового типа [3]

Независимо от того, является ли пароохладительная система окружной или типовой по конструкции, она должна поддерживаться надежными встроенными элементами управления. Размещение, конструкция и функция датчиков температуры имеют решающее значение. Клапан или клапаны управления распылительной водой должны обеспечивать герметичное пере-

крытие, а ручные клапаны, необходимые для изоляции компонентов и системы, должны регулярно проверяться.

Большинство современных паровых котлов-утилизаторов рассчитаны на минимальный или нулевой расход воды при максимальном расходе пара. Установки КЦ, которые управляются с помощью автоматизированных систем управления нагрузкой или автоматического управления производством, будут постоянно сталкиваться с попытками срабатывания перегретого пара при увеличении или уменьшении нагрузки для удовлетворения колеблющегося спроса на мощность [3]. Этот оперативно-диспетчерский режим подчеркнет существующие проектные ограничения системы пароохладительной системы. Общие проблемы отказов системы и компонентов, связанные с экстремальными циклическими режимами, включают:

- Утечка сальника регулирующего клапана разбрызгивающей воды или разрыв сальника.

- Смачивание или попадание капель на термозонды, расположенные ниже по потоку.

- Выход из строя пружины форсунки.

- Растрескивание или эрозия сопла.

- Линейное растрескивание сварного шва (штифт) или полный отказ линии.

- Растрескивание основной паровой трубы.

- Повреждение паровой турбины посторонним предметом.

Компоненты системы пароохладителей спроектированы с расчетом на необходимый срок службы основываясь на подробных трехмерных компьютерных моделях, истории эксплуатации, составе материалов и ожидаемых тепловых циклах, связанных с каждым компонентом. Сокращение срока службы компонентов в системе пароохладителя может быть связано с поддерживающими эксплуатационными системами: условия подачи питательной воды или конденсата, химический состав воды, настройки системы управления или время отклика.

Система управления, установленная на заводе, рассчитанная на базовую нагрузку, может работать по-разному при включении цикла. Функциональные полевые испытания часто подтверждают неточность предварительных заводских настроек. Ниже приведен список поддерживающих параметров, которые следует анализировать и проверять, чтобы минимизировать вероятность повреждения ниже по потоку:

1. Давление подачи питательной воды или конденсата, скорость потока и температура на регулирующем клапане оросительной воды при различных условиях нагрузки;

2. Температурные датчики, рабочая температура и характеристики расположения должны быть проверены и испытаны. Необходимо знать химический состав воды для всей паровой и конденсатной систем при различных условиях нагрузки.

Это оборудование, если оно изначально не предназначалось для циклической работы, может быть перепроектировано или модифицировано для лучшего соответствия текущим условиям эксплуатации. Часто предполагаемая нехватка

питательной воды или емкости для распыления конденсата может быть связана с логической настройкой положения клапана или срабатывания при заданном состоянии нагрузки.

Кроме того, если инфраструктура завода эксплуатируется в течение многих лет и претерпела ряд плановых профилактических и корректирующих действий по техническому обслуживанию регулирующих клапанов, операторы могут заметить незначительную неправильную настройку положения штока регулирующего клапана распылительной воды. Тепловые зонды часто размещаются неправильно во время строительства устройства, что приводит к смачиванию зонда или попаданию капель воды, что приводит к неточному измерению температуры пара.

В дополнение к механическому проектированию и техническим испытаниям очень важно точное прогнозирование распыления капель воды. Однако измерить распыление капель в таких условиях сложно. Если распыление воды в паровую систему отрицательно влияет на способность датчика температуры правильно измерять температуру пара на выходе, то сильное избыточное или недостаточное распыление может привести к увеличению тепловых циклов и повреждению компонентов.

Расположение теплового датчика – это первый шаг в проверке или исключении датчиков как возможного фактора плохой работы системы пароохладителя. Вот два общих правила для измерения и проверки правильности расположения термозондов до и после термостата (в прямой трубе):

– Термозонд, расположенный выше по потоку, должен находиться на расстоянии не менее пяти диаметров трубы от места расположения термостата.

– Термозонд, расположенный ниже по потоку, должен находиться на расстоянии не менее 20 диаметров трубы от места расположения термостата.

### **Заключение**

Эти практические правила следует использовать как быструю проверку существующей установки в прямой трубе для определения того, была ли допущена грубая ошибка при размещении теплового датчика. Эффективный контроль температуры пара необходим для защиты дорогостоящего оборудования, расположенного ниже по потоку. Результаты исследования пароохладителя компании «Тусо» демонстрируют, что конструкции вихревых форсунок обеспечивают повышенную производительность и максимальное использование перепада давления воды для распыления на минимально возможной длине. Оптимизированные углы впрыска вихревых форсунок позволяют равномерно распределять температуру в трубе и обеспечивать максимальный диапазон изменения давления за счет управления массовым расходом, а не давлением. Отсутствие пружин или движущихся частей внутри сопла, а также отсутствие перепада давления и кавитации в регулирующем клапане увеличивает срок службы конструкции вихревого сопла по сравнению с подпружиненными соплами.

### Литература

1. Concept of Desuperheater [Электронный ресурс] / concept of desuperheater. – Режим доступа: <https://instrumentationtools.com/desuperheater/>. – Дата доступа: 05.04.2021.
2. The Evolution of Steam Attemperation [Электронный ресурс]/ the evolution of steam attemperation. – Режим доступа: <https://www.powermag.com/the-evolution-of-steam-attemperation/>. – Дата доступа: 05.04.2021.
3. Впрыскивающие пароохладители на ТЭС [Электронный ресурс]/ впрыскивающие пароохладители на ТЭС. – Режим доступа: <https://tesiaes.ru/?p=7287/>. – Дата доступа: 05.04.2021.



УДК 621.486

**ПОНИЖЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СЕТИ  
ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ  
LOWERING THE TEMPERATURE OF THE COOLANT IN THE CENTRAL  
HEATING NETWORK**

А.А. Казак, И.С. Евсиевич

Научный руководитель – С.И. Ракевич, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

rakevich95@tut.by

A. Kazak, I. Evsievich

Supervisor – S. Rakevich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В работе рассмотрен способ понижения температуры теплоносителя в сетях централизованного теплоснабжения в целях снижения потерь тепла.*

***Abstract:** The paper considers a method for reducing the temperature of the heat carrier in district heating networks in order to reduce heat loss.*

***Ключевые слова:** централизованное теплоснабжение, сетевая вода, экономия тепла, управление, снижение температуры.*

***Keywords:** district heating, network water, heat saving, management, temperature reduction.*

### **Введение**

Централизованное теплоснабжение – это хорошо зарекомендовавший себя процесс распределения тепла для удовлетворения потребностей потребителей в тепле и горячей воде. Поставщик тепла способен удовлетворить потребности потребителей путем разработки и управления распределительной тепловой сети. Централизация производства тепла обычно производится с помощью комбинированных теплоэлектростанций (ТЭЦ) или может быть побочным продуктом промышленных процессов. Основные преимущества централизованного теплоснабжения (ЦТ) заключаются в том, что оно обеспечивает более низкие затраты на отопление в плотных городских районах и способствует снижению воздействия на окружающую среду за счет централизации производства тепла. Централизация производства тепловой и электрической энергии снижает потребность в производстве первичной энергии за счет возможности утилизации избыточного тепла в виде сети центрального теплоснабжения (СЦТ). Возможность снижения температуры подачи в СЦТ позволяет не только значительно снизить выбросы парниковых газов, но и способствовать переходу к интеграции большего количества возобновляемых источников энергии и привести к более устойчивой энергетической системе [3].

### **Основная часть**

В настоящее время большинство установленных сетей централизованного теплоснабжения относятся к категории ЦТ третьего поколения. Первое и вто-

рое поколение централизованного теплоснабжения базировались на сетях с высокой температурой и давлением, что впоследствии привело к более высоким потерям. Для ЦТ третьего поколения типичные температуры подачи и возврата составляют приблизительно 80 – 110 °С и 40 – 50 °С соответственно [4]. Движущая сила замены ископаемого топлива с высоким содержанием энергии на биотопливо с более низким содержанием энергии больше не ограничивает температурные границы в СЦТ. При указанных выше уровнях температуры можно удовлетворить потребности заказчика и повысить эффективность системы ЦТ, работая на нижнем конце указанных границ. Прогрессия в сторону более низких температур распределения имеет способность снижать потери в сети и известна как централизованное теплоснабжение четвертого поколения (4ЦТ). Основная философия 4ЦТ заключается в том, чтобы иметь возможность достичь среднегодовых значений 50 °С в линии снабжения и 20 °С в обратном направлении [2]. Однако такой подход, с точки зрения сети, может означать, что существующая инфраструктура нуждается в обновлении, что потребует финансовых вложений от поставщика тепла [3]. Но существует потенциал постепенного снижения температуры в сети центрального теплоснабжения. С помощью серии тематических исследований постепенно снижают температуру подачи с 80 °С до 55 °С, где траектория снижения температуры достижима при текущей структуре сети. Обнаружено, что можно получить более высокую экономию тепла, снизив температурную нагрузку сети, при минимальном увеличении годового потребления энергии насоса. Постепенное прогрессирование снижения температуры подачи имеет важное значение, поскольку существующие здания в настоящее время рассчитаны на более высокие температурные требования, которые составляют одну треть от общего объема потребляемой энергии во всем мире [1]. Перспективы постепенного снижения температуры подачи могли бы значительно облегчить финансовое бремя реконструкции электросетей. Снижение температуры распределения до уровня 4ЦТ будет основываться на предположении, что подстанции потребителей работают должным образом и что здания соответствуют более высоким энергетическим стандартам. Оба обстоятельства будет трудно преодолеть, когда будут рассмотрены города с существующими сетями, в связи с тем, что нынешняя доля зданий, требующих более высоких температур, как ожидается, составит большую часть спроса на отопление в ближайшие десятилетия [1]. Однако, можно достичь температуры подачи 70 °С и температуры возврата 32 °С в пределах текущих ограничений СЦТ третьего поколения. Кроме того, нет документально подтвержденных исследований СЦТ, показывающих среднюю температуру возврата ниже 30 °С.

Альтернативой высоким инвестиционным затратам, связанным с обновлением инфраструктуры существующих СЦТ, является внедрение более эффективного управления. На практике текущий режим управления основан на знаниях оператора и исторических моделях потребления, основанных на температуре наружного воздуха. Исходя из опыта оператора, они могут нагнетать тепло в сеть до того, как это потребуется, без учета того, как поставляемая нагрузка на самом деле влияет на конечного пользователя. Недостатком такого подхода является то, что даже при удовлетворении требований клиентов температура

возврата в сети будет выше, чем это необходимо. Это означает не только то, что температура питания часто выше необходимой, но и то, что существует большой потенциал для снижения нагрузки на установку ЦТ за счет снижения температуры питания сети. С включением более точного управления подачей и обратной связью температура возврата может регулироваться вблизи заданной точки. Это говорит о том, что заданное значение может быть уменьшено при сохранении потребностей конечного пользователя в тепловом комфорте. Для достижения этой цели модельное прогнозирующее управление (МПУ) может быть использовано для удовлетворения потребностей клиентов и достижения более низких температур возврата в сети. Это достижение представляет большой интерес для теплоснабжающих организаций, поскольку оно потенциально может снизить тепловую нагрузку, т. е. можно было бы снизить пиковую нагрузку производства в холодные месяцы за счет снижения температуры сетевой воды.

#### Осуществление контроля

Целью представленного подхода к управлению является снижение нагрузки СЦТ путем снижения температуры распределения при сохранении более последовательной (более низкой дисперсии) и более низкой температуры возврата. Это достигается путем управления температурой возврата, близкой к заданному значению, с помощью температуры питания сети и массового расхода в качестве исполнительных механизмов, а прогнозирование нагрузки используется в качестве сигнала обратной связи к контроллеру. Подстанции в СЦТ контролируют количество воды, чтобы удовлетворить колебания нагрузки, которые влияют на падение давления в этой части сети. Изменение перепада давления последовательно решается циркуляционными насосами, так как перепад давления и скорость воды непосредственно связаны. Кроме того, с увеличением расхода воды увеличивается и падение давления, поскольку скорость воды пропорциональна квадратному корню из разности давлений. Поэтому, исходя из ранее упомянутой связи, массовый расход в СЦТ можно рассматривать как управляемое действие, связанное с циркуляционными насосами.

Связав разработанный прогностический контроллер модели обратной связи с физической моделью. Обзор выражает потребность в двух явных входных данных: фактическая нагрузка конечного пользователя ( $Q_{\text{требуемое}}$ ) в момент времени  $k + 6$  и фактическая нагрузка ( $Q_{\text{требуемое}}$ ) в момент времени  $k$  используются в качестве измеримого возмущения (рисунок 1).

Выходными сигналами от прогнозируемо управляемой модели являются массовый расход и температура подачи от ТЭЦ. Эти сигналы используются в качестве входных данных в физическую модель, которая затем вычисляет распространение тепла в сети. В момент времени  $k + 6$  фактическая потребность в тепле вводится в физическую модель для расчета температуры возврата в ТЭЦ, которая является представляющим интерес управляющим сигналом. Погрешность, возникающая между результирующей температурой возврата и требуемой температурой, оценивается внутренней моделью. В момент времени  $k$  модельно прогностический контроль (МПК) использует внутреннюю модель и сигнал обратной связи для прогнозирования траекто-

рии будущих входов и выходов, где он пытается минимизировать ошибку за горизонтом прогнозирования. МПК применяет только первый шаг в оптимальной последовательности к физической модели, чтобы достичь желаемой температуры возврата. В момент времени  $k + 1$  контроллер получает новую ошибку, горизонт прогнозирования сдвигается вперед, и процесс получения оптимальных ходов управления повторяется.

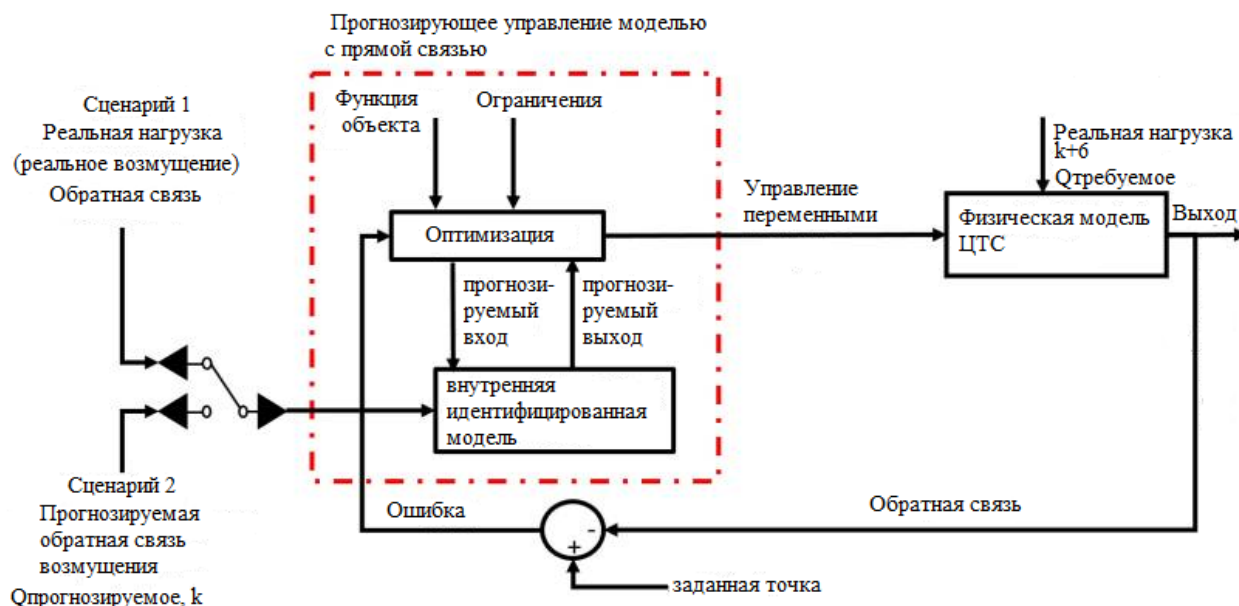


Рисунок 1 – Реализация прогнозирующего управления с прямой связью

### Заключение

Данный подход позволяет увеличить надежность и экономичность сети центрального теплоснабжения за счет снижения температуры теплоносителя. Таким образом, повысив качество управления, не произойдет ухудшение теплоснабжения заказчика.

### Литература

1. Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции: Учебник для вузов / А.А. Калмаков [и др.]; под ред. В.Н. Богословского. – М.: Стройиздат, 1986. – 479 с.
2. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: Учебник для студентов вузов / Г.П. Плетнев. – 4-е изд., стер. – Москва: МЭИ, 2007. – 351 с.
3. Автоматизированные системы теплоснабжения и отопления / С.А. Чистович, В.К. Аверьянов, Ю.Я. Темпель. – Л.: Стройиздат, Ленинград. отделение, 1987. – 248 с.
4. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование / В.В. Пырков. – К.: Такі справи, 2007. – 252 с.: ил.

УДК 621.65.03

**ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ НАСОСОВ НА ТЭС  
APPLICATION OF DIFFERENT TYPES OF PUMPS AT TPP**

Е.И. Смыкал, М.В. Шепелев

Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

pronkevichAV@mail.ru

E. Smykal, M. Shepelev

Supervisor – E. Pronkevich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** В статье рассмотрены основные виды как непосредственно насосов, применяемых на тепловых электрических станциях (ТЭС), так и насосов в целом. Суть статьи заключается в формировании классификации насосов, их описания, выделения преимуществ и недостатков для дальнейшего рассмотрения современных типов насосов, используемых на ТЭС, с целью дать характеристику и описание, а также обозначить влияние на работу станции в целом.

**Abstract:** The article discusses the main types of both directly pumps used at thermal power plants (TPP), and pumps in general. The essence of the article lies in the formation of a classification of pumps, their description, highlighting the advantages and disadvantages for further consideration of modern types of pumps used at TPPs, in order to give a characteristic and description, as well as to indicate the impact on the operation of the station as a whole.

**Ключевые слова:** ТЭС, насосы, классификация, принцип действия, преимущества, недостатки, требования.

**Key words:** TPP, pumps, classification, principle of operation, advantages, disadvantages, requirements.

**Введение**

Насосы – одна из ключевых частей технологической схемы тепловой электростанции (ТЭС). Благодаря им работают теплообменное оборудование, парогенераторы, паровые турбины, а также другое базовое оборудование. Насосы, используемые на тепловых электростанциях, предназначены непосредственно для преобразования механической работы привода двигателя в энергию потока жидкости, необходимую для создания и перемещения давления этой жидкости. Жидкости, являющиеся рабочими средами и движущиеся по трубопроводам станций, могут быть разными, например: мазут, вода, дренаж, масло и т. д. Их движение может происходить под действием разных параметров.

**Основная часть**

Под динамическими насосами понимаются устройства, в которых рабочий орган, выполняющий основную функцию и представленный в виде рабочего колеса с лопастями, работает с потоком жидкости, что непосредственно приво-



дит к увеличению энергии жидкости. В свою очередь, насосы динамического принципа действия подразделяются на лопастные и вихревые.

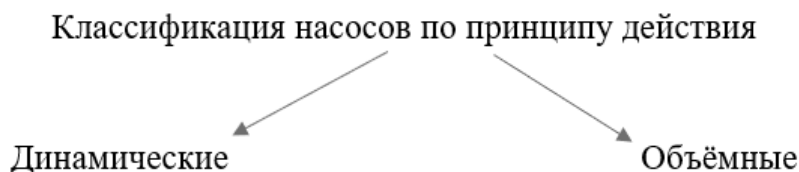


Рисунок 1 – Классификация насосов по принципу действия

В вихревых насосах лопатки, представленные в виде крыльчаток, установлены таким образом, что жидкость движется по раскручивающейся спирали. Благодаря этому жидкость попадает в периферийную зону рабочей камеры, а в образованной полости образуется зона разряжения, которая создает всасывающую силу и последующее проталкивание жидкости по трубопроводу. В свою очередь, движение перекачиваемой жидкости и крыльчаток создает центробежную силу, увеличивающую напор. К преимуществам насосов вихревого типа можно отнести: относительную дешевизну устройства; простота ремонта и обслуживания, высокое давление на выходе; функция самовсасывания жидкости. Основные недостатки: низкая эффективность; отсутствие возможности перекачивать высоковязкую жидкость; невозможность перекачивать загрязненную жидкость.

Аналогичный принцип действия имеют лопастные насосы. Жидкость в камере движется исключительно за счет движения самих лопаток. Центробежная сила, возникающая в результате этого движения, смещает транспортируемое вещество от центра к периферии, а затем удаляет его дальше по системе трубопроводов. Лопастные насосы имеют следующие преимущества: КПД выше, чем у вихревых насосов; практически полное отсутствие шума в рабочем режиме; надежность и компактность. Список недостатков: относительно высокая стоимость; уязвимость к недостаточно очищенной воде; нет возможности перекачки жидкости, содержащей газы.

Жидкость в агрегатах объемного типа движется за счет поверхностного давления с периодическим изменением объема насосной камеры, попеременно сообщаясь с входом и выходом насоса. К таким насосам относят роторные и возвратно-поступательные насосы.

В роторных гидравлических машинах рабочая среда перекачивается за счет вытеснения. Рабочие полости в цилиндре насоса, образованные поршнями и винтами, позволяют вытеснять жидкость из полости всасывания и полости нагнетания за счет того, что размеры полости всасывания больше, чем полости нагнетания. Роторные насосы, классифицируемые по принципу конструкции рабочего органа, бывают: шестеренчатые, кулачковые, роликовые, винтовые и лопастные.

Возвратно-поступательные агрегаты работают по следующему принципу: перекачка жидкости происходит за счет осевого перемещения поршня цилиндра насоса. Он, в свою очередь, циклически связан с патрубками (нагнетатель-

ным и всасывающим) через напорный и всасывающий клапаны. В результате поступательного движения поршня рабочий объем насоса увеличивается, затем в цилиндре образуется разрежение. За счет вакуума жидкость засасывается через всасывающий клапан, а при обратном ходе поршня из-за уменьшения рабочего объема вытесняется в выходное отверстие насоса через нагнетательный клапан. Группа возвратно-поступательных насосов подразделяется на поршневые и мембранные. Их главное отличие заключается в форме вытеснителя.

Основными преимуществами роторных насосных установок (над возвратно-поступательными) являются более равномерная подача жидкости; больше КПД; меньшие потери мощности; более высокая скорость.

К недостаткам можно отнести: относительную сложность конструкции; высокая стоимость ремонта и обслуживания; повышенные требования к качеству перекачиваемой жидкости.

Разнообразие насосов, применяемых на тепловых электростанциях, достаточно большое. Гидравлические машины, применяемые на ТЭС, в зависимости от назначения делятся на две группы: насосы для основного технологического назначения и вспомогательного технологического назначения.



Рисунок 2 – Классификация насосов основного технологического назначения

Плунжерные и поршневые насосы, в основном, представляют первую группу.



Рисунок 3 – Классификация насосов вспомогательного технологического назначения

А также другие. Винтовые, пластинчатые и зубчатые гидравлические машины, в основном, представляют вторую группу.



Питательные насосы. Этот тип насоса является одним из наиболее значимых и ответственных вспомогательных агрегатов тепловой электростанции. Питательные гидравлические машины оснащены электро-, турбоприводом. Выбор привода питающего насоса напрямую зависит от мощности и давления энергоблока, в котором они используются. Так, на блоках мощностью до 210 МВт и давлением 13 МПа применяются питательные насосы с электроприводом с установкой одного агрегата на полную мощность от максимального расхода питательной воды на блок, либо двух агрегатов с максимальным расходом питательной воды на агрегат. Производительность 50 % от максимального расхода питательной воды на единицу. На блоках мощностью 300 МВт (конденсационный) и 250 МВт (отопительный) устанавливаются один питательный насос полной мощности, но с приводом от паровой турбины с противодавлением, и один пускорезервный насос половинной мощности с гидравлической муфтой. В свою очередь, на более крупных энергоблоках (500 МВт и выше) устанавливаются два питательных насоса, приводимые в действие паровыми турбинами конденсационного типа, мощностью по 50 % каждая с избыточной подачей пара на приводные турбины. Это делается для сброса выхлопа из основных турбин. Параметры питательных агрегатов стандартных образцов определяются государственными стандартами ГОСТ. В результате работы ТЭС вода из деаэратора попадает в питательный насос. Температура воды равна температуре насыщения, поэтому для исключения кавитации требуется подпор. Часто бывает необходимо установить дополнительные подпиточные (бустерные) насосы для обеспечения необходимой поддержки.



Рисунок 4 – Питательный насос

Циркуляционные насосы – необходимое вспомогательное оборудование станции, без которого технологический процесс был бы невозможен. Они предназначены для подачи охлаждающей воды из водных источников на тепловую электростанцию. Энергетические циркуляционные насосы характеризуются высокой производительностью при относительно низком напоре 0,15 – 0,2 МПа. Циркуляционные гидравлические машины бывают двух основ-

ных типов: на береговых насосных станциях блочных ТЭС, преобладают осевые циркуляционные насосы. Вертикальные центробежные насосы на ТЭС используются с оборотными системами водоснабжения с градирней. Агрегаты предназначены для перекачивания воды температурой 10 – 30 °С и подачи до 18 300 кг/с при давлении до 0,23 МПа.

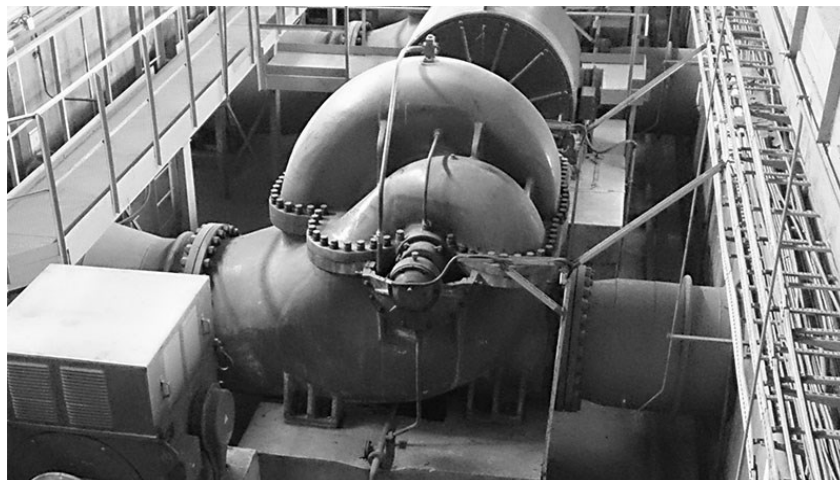


Рисунок 5 – Циркуляционный насос

Конденсатные насосные установки. Гидравлические машины этого типа – это устройства, предназначенные для перекачивания жидкости, пара, а также откачки уже образовавшегося конденсата при работе теплообменников и паровых устройств. Конденсатные насосы работают с минимальным запасом на кавитацию, что свидетельствует о высоких требованиях к надежности этих установок. Условия эксплуатации требуют применения насосов относительно небольшой скорости, установки для первой ступени насоса с рабочими колесами специальной конструкции с высокой всасывающей способностью. В качестве конденсатных насосов на электростанции используются только горизонтальные и вертикальные центробежные насосы. Отличительной особенностью является то, что в паровом пространстве конденсаторов ТЭС достигается разрежение 94 – 97 %.

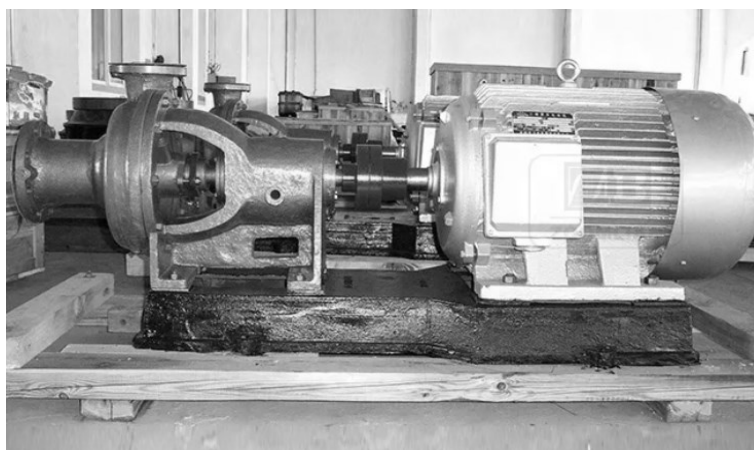


Рисунок 6 – Конденсатный насос

Насосы, применяемые на ТЭС, обеспечивают надежную работу основного оборудования станции при всех нагрузках, что является обязательным условием, поэтому к ним предъявляется ряд требований, таких как:

- высокая надежность;
- долговечность в работе;
- высокая экономичность в эксплуатации;
- обеспечение условий для последующего монтажа и ремонта;
- удобство компоновки;
- оптимальные габариты и масса.

### **Заключение**

Таким образом, насосы, применяемые на тепловых электростанциях, являются важнейшей составляющей технологической схемы. Они могут работать в разных условиях, обеспечивая надежную работу всей ТЭС. При этом режим работы каждого насосного агрегата напрямую зависит от работы основного оборудования станции.

### **Литература**

1. Боровков В.М., Аль-Алафин А. Эффективность применения тепловых насосов на тепловых электростанциях с парогазовыми установками: учебное пособие. – 2008.

2. О напоре циркуляционных насосов тепловых электростанций [Электронный ресурс] / о напоре циркуляционных насосов тепловых электростанций. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-napore-tsirkulyatsionnyh-nasosov-teplovyyh-elektrostantsiy/viewer/>. – Дата доступа: 09.03.2021.

3. Рихтер Л.А. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций / Л.А. Рихтер, Д.П. Елизаров, В.М. Лавыгин. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – С. 114-138.

4. Тенденции развития питательных насосов [Электронный ресурс] / тенденции развития питательных насосов. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-razvitiya-pitatelnyh-nasosov/viewer/>. – Дата доступа: 09.03.2021.

УДК 621.039

**ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОСВОЕНИИ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ.  
ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ АВАРИЙ НА АЭС  
PROBLEMS OF NUCLEAR SAFETY IN THE DEVELOPMENT OF  
NUCLEAR ENERGY. PREVENTION OF ACCIDENTS AT NUCLEAR  
POWER PLANTS**

Р.В. Адамчук, А.А Казак

Научные руководители – А.Л. Буров, старший преподаватель, А.А. Павловская,  
старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

burov@bntu.by, a.pawlowskaya@bntu.by

R. Adamchuk, A. Kazak

Supervisor – A. Burov, Senior Lecturer, N. Paulouskaya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** В работе рассмотрены проблемы безопасности на АЭС на примере уже случившихся аварий, подведены итоги, ошибки и рассмотрены современные системы, способные предотвращать такие ситуации в будущем.

**Abstract:** The article considers the problems of safety at nuclear power plants on the example of accidents that have already occurred, summarizes the results, errors, and considers modern systems that can prevent such situations in the future.

**Ключевые слова:** безопасность, атомная электростанция, авария, фильтрующие и удерживающие системы.

**Keywords:** safety, nuclear power plant, accident, filter and containment systems.

### **Введение**

После демонстрации в Чикаго в 1942 году освоения атомной энергии регулирующим способом, весь мир обратил свое внимание на данную сферу. Невероятный промышленный и военный потенциал представляла собой атомная энергия, но там, где есть потенциал – есть и риск. Как в любой промышленной отрасли существует опасность аварийных ситуаций. Несмотря на это, разумное планирование, высококачественные компоненты, хорошо развитая культура безопасности способны минимизировать любые аварийные ситуации. В этом случае время жизненного цикла реакторных установок зависит от их технического обслуживания в целях поддержания необходимого уровня ядерной безопасности.

### **Основная часть**

Одна из главных возможных опасностей – потеря охлаждения активной зоны реактора, которая привела бы к ее плавлению, а также биологическая опасность распространения радиоактивности. Были приложены большие усилия для предотвращения аварий такого типа еще на этапе проектирования первых АЭС, поскольку предполагалось, что расплавление активной зоны создаст серьезный общественный риск и, возможно, приведет к аварии с возможными множественными смертельными исходами.



В вопросах предотвращения аварий такого типа ядерная отрасль имеет значительные успехи. При наработке более 50 лет коммерческой эксплуатации ядерных энергоблоков в 32 странах мира, было только три крупных аварии на атомных электростанциях – Три Майл-Айленд, Чернобыль и Фукусима.

Обзор крупнейших аварий в мировой атомной энергетике:

– Три Майл-Айленд (США, 1979 г.), где реактор был серьезно поврежден, но утечки радиация за пределы гермооболочки не было, следовательно, отсутствовали неблагоприятные последствия для здоровья населения и окружающей среды [4].

– Чернобыль (Украина, 1986 г.), где разрушение реактора паровым взрывом и пожаром привело к крупнейшим за всю историю атомной энергетике последствия для здоровья населения, окружающей среды и экономики.

– «Фукусима» (Япония, 2011), где три реактора относительно раннего проекта (2 поколение) вместе с четвертым были выведены из эксплуатации после того, как вследствие недостаточного охлаждения активной зоны, первопричиной которого послужили землетрясение и цунами, произошли выбросы радиоактивности. Однако в результате аварии не было смертельных случаев или серьезных заболеваний из-за выбросов радиоактивности, хотя непосредственно цунами послужило причиной гибели более 19 000 человек.

Эти три крупных аварии произошли на протяжении более чем 17 000 реакторо-лет гражданской эксплуатации ядерных реакторов. Из всех несчастных случаев и инцидентов только аварии на Чернобыльской АЭС и АЭС Фукусима привели к тому, что дозы облучения для населения превысили радиационное воздействие естественных источников излучения. Авария на АЭС Фукусима привела к радиационному облучению рабочих на станции, но не на столько, чтобы навредить здоровью, в отличие от Чернобыля. Другие инциденты на АЭС не выходили за пределы территории станции.

Исключая аварию на АЭС в Чернобыле, большинство серьезных радиационных поражений и смертельных случаев, которые происходят ежегодно, являются результатом обращения большого количества неконтролируемых или слабо контролируемых источников ионизирующего излучения, таких как брошенное медицинское или промышленное оборудование.

Следует отметить, что реактор коммерческого типа функционально не может иметь опасность ядерного взрыва – обогащение топлива не более 5 %, а для ядерного взрыва требуется гораздо более высокое обогащение.

В 1957 году на международном уровне был создан орган контроля за ядерной безопасностью – МАГАТЭ. После аварии на Чернобыльской АЭС его роль значительно возросла. Специальная инспекция стала подписывать процедуры безопасности и сообщать о всех инцидентах, даже незначительных.

Оценка рисков, связанная с эксплуатацией АЭС

Как бы хорошо не обеспечивалась безопасность эксплуатации, всегда есть риск аварий. Их анализ приводит к постепенному улучшению норм безопасности, что, в свою очередь, позволяет продлевать срок эксплуатации АЭС за счет дорогостоящих модернизаций и обеспечить повышенную безопасность в новых проектах.

Безопасность рабочих – главная задача на АЭС. На станции обеспечивается биологическая защита работников, ограничивается время пребывания в зоне, со значительным уровнем радиации, в активной зоне используют оборудование дистанционного контроля. Дозы облучения каждого работника проверяются индивидуально.

Вопреки ошибочному мнению, ядерная энергетика при производстве электроэнергии не имеет аналогов по безопасности. К примеру, она не выделяет вредных газов, загрязняющих атмосферу, помимо этого, каждый год при добыче ископаемого топлива погибает несколько тысяч человек. На сегодняшний день, даже авария на АЭС Фукусима не вызвала смертельных исходов; в июне 2011 года МАГАТЭ распространило следующее сообщение: «На сегодняшний день, не сообщалось ни о каких последствиях для здоровья в результате воздействия радиационного облучения». Последующие доклады Всемирной организации здравоохранения и Научного комитета ООН по действию атомной радиации подтвердили это.

#### Управление тяжелыми авариями

В случае аварии на АЭС ТМІ и Фукусима проблемы начались после заглушения реакторов – немедленно на ТМІ и через час в Фукусиме, когда пришли волны цунами. В каждом случае требование в отводе остаточного тепловыделения от топлива не выполнялось, поэтому плавление активной зоны начиналось вскоре после начала аварии. Единственные способы охладить реактор – отвод тепла и циркуляция воды. Главная трудность заключается в прекращении подачи электроэнергии. Работа насосов становится невозможной, и надеяться приходится лишь на естественную циркуляцию. Однако, из-за высокого давления дополнительная охлаждающая вода не сможет попасть в реактор. Возникает вопрос: нужны фильтры, способные не только работать без электроэнергии, они так же должны выдержать выброс большого количества водорода и твердых веществ, при этом не блокироваться и иметь минимальный потенциал распространения вне установки. После аварии на АЭС Фукусима фильтрующие и удерживающие системы FCVS устанавливаются на все реакторы, это позволит избежать разрушений защитной инфраструктуры за счет выброса пара.

В 1979 году авария на ТМІ продемонстрировала важность всех структур безопасности. Хоть большая часть активной зоны реактора была расплавлена, конструкция контайнмента позволила сдержать высвободившиеся радионуклиды и частично растворить их в сконденсированном паре. Причиной аварии стали ошибки персонала и отказы оборудования. Исследования после аварии привели к сосредоточению внимания на человеческом факторе в ядерной безопасности. В западных реакторах не было никаких серьезных изменений в конструкции, но контрольно-измерительные приборы были значительно улучшены, и подготовка операторов была значительно пересмотрена.

На Fukushima Daiichi в марте 2011 года три действующих реактора автоматически отключились и расхолаживались используя мощность от резервных генераторов, до тех пор, пока цунами не затопило их через час. После этого аварийные системы расхолаживания активной зоны отказали.



Позднее возникла новая проблема, так как бассейны выдержки отработанного ядерного топлива лишились охлаждающей воды.

Анализ аварии показал необходимость в новых критериях размещения АЭС, по сравнению с теми, которые применялись в 1960-х годах, необходимость увеличения разнообразия резервных источников электроэнергии, резервирования систем охлаждения после останова реакторов.

Начиная с 2007 года Комиссия по ядерному регулированию США (NRC) стала проводить исследовательскую программу, связанную с оценкой аварий реактора. Результаты были опубликованы спустя год, после аварии на Фукусиме и, как и предполагали американские исследователи, подтвердили факт того, что существующие способы предотвращения аварий способны сдерживать негативное воздействие достаточно долго, чтобы не оказать влияние на население. И даже в случае развития аварии дальше, без стороннего вмешательства и принятия дополнительных мер, радиационные излучения оказывались гораздо меньше, чем предполагалось ранее. Это было подтверждено в Фукусиме, где было достаточно времени для эвакуации – три дня – до каких-либо значительных радиоактивных выбросов.

Проведение стресс-тестов как ответ на вызовы безопасности

«Стресс-тесты» – широкопрофильная проверка пределов безопасности каждого энергоблока при глобальных природных катаклизмах, а также потери функций безопасности и управление тяжелыми авариями после любого иницирующего события. Они были проведены с июня 2011 года по апрель 2017 года.

Ассоциация западных европейских ядерных регуляторов (WENRA) предложила и разработала специальные требования по их проведению для каждой АЭС при различных чрезвычайных ситуациях. Они наладили тесное сотрудничество с Европейской группой регуляторов безопасности ядерных сооружений (ENSREG), независимым авторитетным экспертным органом, созданным в 2007 году Европейской комиссией, и согласовали объем и масштаб испытаний.

В объем оценки были учтены вопросы, непосредственно связанные с событиями на Фукусиме, критическим фактором стали землетрясение и наводнение. Выводы, сделанные в ходе работы, позволят предупредить и другие общие чрезвычайные ситуации, связанные с потерей охлаждения активной зоны и охлаждения отработанного ядерного топлива.

Поскольку эксплуатирующая организация несет основную ответственность за безопасность, они провели повторную оценку, и регулирующие органы затем самостоятельно проанализировали их. Это мероприятие охватило 147 атомных станций в 15 странах ЕС, в том числе Литву с ядерными реакторами типа РБМК-1500, находящимися в процессе вывода из эксплуатации, а также 15 реакторов в Украине и пять в Швейцарии.

В результате стресс-тестов было отмечено, в частности, что европейские АЭС предлагают достаточный уровень безопасности, чтобы не требовать отключения какой-либо из них. В то же время необходимы улучшения для повышения их устойчивости к экстремальным ситуациям. Например, во Франции они были введены в соответствии с требованиями ASN, которые учитывали обмены со

своими европейскими коллегами ENSREG с июля 2012 года разработал европейский план действий.

Процесс в ЕС был завершен в конце сентября 2012 года, когда Комиссар ЕС по энергетике объявил, что стресс-тесты показали, что безопасность европейских энергетических реакторов была в целом удовлетворительной, но сделал некоторые другие комментарии и прогнозы, которые несколько отличались от выводов ENSREG.

В США NRC в марте 2012 года предъявила требования по немедленному повышению безопасности после аварии на АЭС Фукусима.

В Японии аналогичные стресс-тесты были проведены в 2011 году в соответствии с предыдущими требованиями национального регулятора, однако перезапуск реакторов был отложен до тех пор, пока обновленный национальный орган по ядерному регулированию не разработает и не опубликует новые правила безопасности.

### **Заключение**

Как факт, вне зависимости от рисков и предрассудков, использование атомной энергии является одним из выгоднейших способов получения электроэнергии, а современные системы способны свести риск возникновения опасных для жизни людей ситуаций к минимуму.

### **Литература**

1. Enrico Fermi. Experimental Production of a Divergent Chain Reaction (англ.) // American Journal of Physics. – 1952. – Vol. 20. – P. 536.
2. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта / С.А. Андрушенко [и др.]. – М.: «Логос», 2010. – 604 с.
3. Samuel J. Walker. Three Mile Island: A Nuclear Crisis in Historical Perspective: [англ.]. – Berkeley: University of California Press, 2004.
4. Серия изданий по безопасности No. 75-INSAG-7. Чернобыльская авария: дополнение к INSAG-1. INSAG-7. Доклад. Международной консультативной группы по ядерной безопасности. Международное Агентство по Атомной Энергии. Вена, Австрия 1993.
5. Авария на АЭС «Фукусима-дайти». Доклад Генерального директора МАГАТЭ Юкия Аmano. Издание GC(59)/14, Вена, Австрия, 2015. – 278 с.
6. Межведомственная информационная система по вопросам обеспечения радиационной безопасности населения и проблемам преодоления последствий радиационных аварий. Федеральная целевая программа «Преодоление последствий радиационных аварий на период до 2015 года». – Режим доступа: [http://rb.mchs.gov.ru/mchs/radiation\\_accidents](http://rb.mchs.gov.ru/mchs/radiation_accidents). – Дата доступа: 09.03.2021
7. Probabilistic Safety Analysis Procedures Guide NUREG/CR-2815 BNL-NUREG-51559.

УДК 620.92

**ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА  
PHOTOCATALYTIC HYDROGEN PRODUCTION METHOD**

М.Б. Макеева, П.А. Перехвал

Научный руководитель – В.В. Янчук, преподаватель-стажер

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

yanchuk@bntu.by

M. Makeeva, P. Perekhval

Supervisor – V. Yanchuk, assistant professor

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

**Аннотация:** Одним из решений проблемы нестабильного производства электроэнергии является хранение солнечного света в форме химической энергии, в частности, путем использования солнечного света для производства водорода. Эффективное фотокаталитическое разделение воды обеспечивает возможность преобразования возобновляемой энергии без промежуточных преобразований в энергию химических связей, в отличие от традиционного способа преобразования солнечной энергии в электроэнергию, и затем получения водорода в электролизерах.

**Abstract:** One solution to the problem of unstable electricity production is to store sunlight in the form of chemical energy, in particular by using sunlight for hydrogen production. Effective photocatalytic water splitting make renewable energy conversion into chemically fixed energy possible without intermediate transformation. By contrast with traditional method of converting solar energy into electricity and then electrolytic hydrogen production.

**Ключевые слова:** фотокаталитический метод получения водорода, прямое разделение воды, водородный накопитель энергии, возобновляемые источники энергии, водород.

**Keywords:** photoelectrochemical hydrogen production, direct water splitting, hydrogen energy storage, renewable energy sources, hydrogen.

**Введение**

С развитием возобновляемых источников энергии острым остается вопрос согласования графиков производства и потребления энергии, поскольку график выработки энергии такими источниками в большинстве случаев непредсказуем. То же относится и к солнечной энергетике. Для надежной работы энергосистем с большой долей альтернативных источников энергии требуются накопители энергии значительных емкостей. Говоря о солнечной энергетике, стоит обратить внимание на водородные системы аккумулирования энергии, которые, хотя и имеют некоторые недостатки, достаточно конкурентоспособны по сравнению такими распространенными системами, как, например, электрические аккумуляторы.

Давно известен способ получения водорода за счет солнечного излучения с применением фотоэлектрических батарей. В последнее время также развитие

получил метод прямого разделения воды на водород и кислород без промежуточного преобразования излучения в электрическую энергию – фотокаталитический метод получения водорода. Рассмотрим подробнее метод и последние достижения в этой сфере.

### Основная часть

В 1972 году впервые был получен положительный результат прямого разделения воды на водород и кислород с минимальной эффективностью. При фотокаталитическом получении водорода вода разделяется на водород и кислород под воздействием солнечного излучения на специальных полупроводниковых материалах, которые называют фотокаталитическими. Полупроводниковые материалы, используемые для фотокаталитического разложения воды аналогичны материалам, применяемым при фотоэлектрическом производстве электроэнергии. Только, при прямом разделении воды, полупроводниковые пластины погружаются в водный раствор электролита, а солнечный свет активизирует процесс разделения воды.

Затем, в 2015 году был достигнут КПД более 14 % [1], что было мировым рекордом в то время. Верхний антикоррозионный слой был заменен слоем кристаллического диоксида титана, который не только обладает превосходными антибликовыми свойствами, но и «прилипает» к частицам катализатора. Кроме того, также используется новый электрохимический процесс для получения наночастиц родия, которые служат для катализа реакции расщепления воды. Эти частицы имеют всего десять нанометров в диаметре и, следовательно, оптически близки к прозрачным, что делает их идеально подходящими для работы.

При моделировании солнечного излучения ученые достигли эффективности 19,3 % в разбавленном водном растворе хлорной кислоты и 18,5 % в электролите с нейтральным pH.

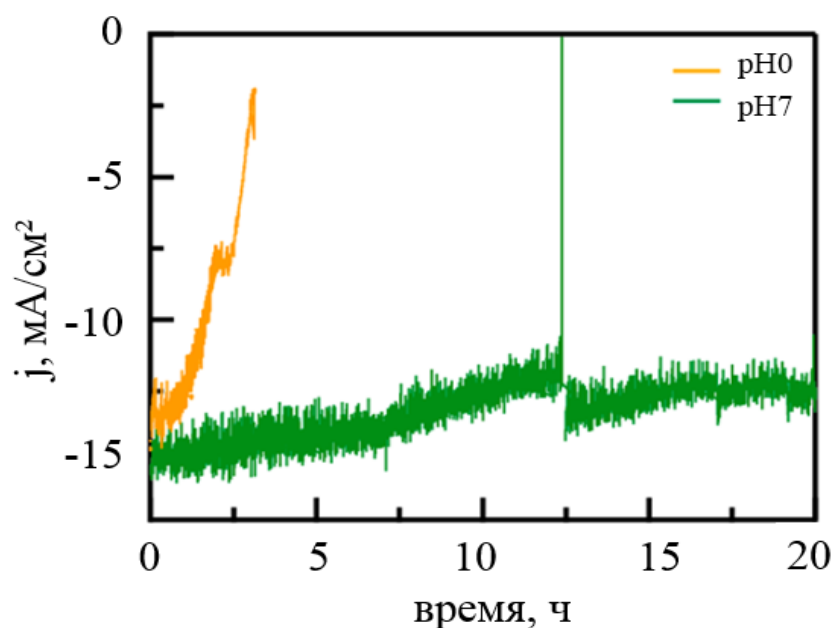


Рисунок 1 – Измерения стабильности для кислого и нейтрального pH [2]

Эти цифры приближаются к 23 % теоретической максимальной эффективности, которая может быть достигнута с внутренними электронными свойствами для этой комбинации слоев. На рисунке 1 представлен график стабильности для кислого и нейтрального pH

Из графика видно, что плотность фототока уменьшается со временем для кислых pH, в то время как плотность фототока остается стабильной в растворах с нейтральным pH. Также тесты показывают, что плотность фототока устройства в кислом электролите снижается до низких значений в пределах 3 часов. Однако в электролите с нейтральным pH наблюдается стабильность в течение 20 часов. Работа устройства при pH 7 дает высокую эффективность и в то же время остается стабильным в течении более длительного периода времени. На рисунке 2 представлена упрощенная схема структуры элемента.

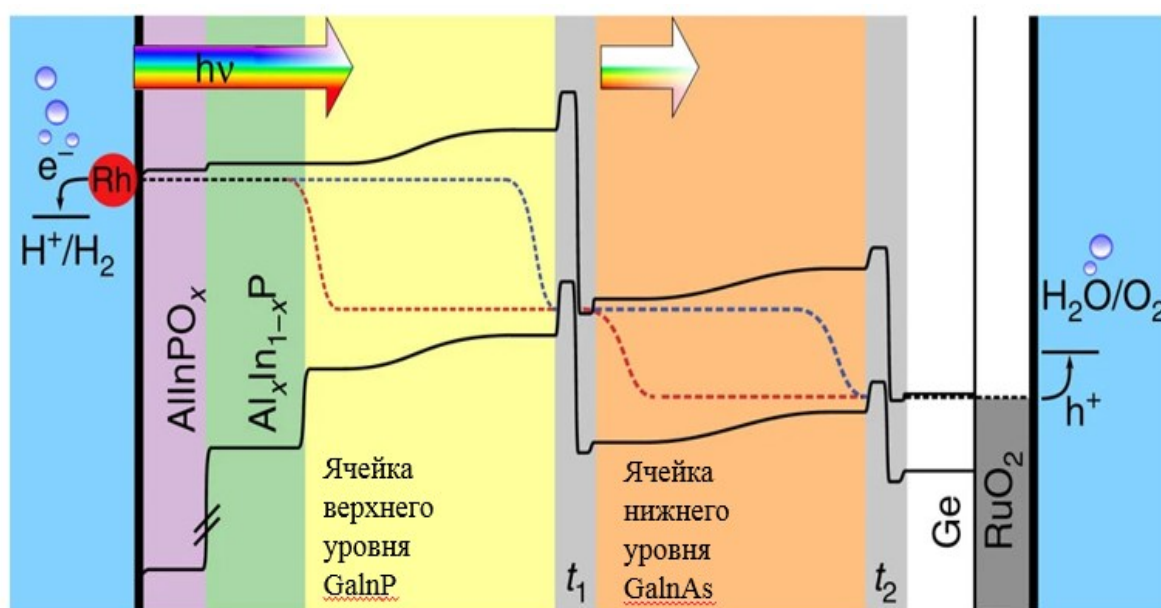


Рисунок 2 – Схема устройства [1]

Срок службы удалось продлить до 100 часов [2]. Это большой шаг вперед по сравнению с предыдущими системами, которые подвергались коррозии через 40 часов. Специально разработанные тандемные элементы для прямого солнечного разделения воды имеют потенциал для достижения эффективности, превышающей 20 %. Одно из направлений исследований – выбор лучшей ширины запрещенной зоны для двух поглотителей.

Если использовать сочетание запрещенной зоны данного тандемного фотоэлектрода и максимальной плотности тока для получения водорода, не учитывая потери из-за эффективности внешнего излучения, можно рассчитать предельную эффективность. Для тандемного фотоэлектрода это значение составляет 22,8 % [2].

### Заключение

Метод прямого разделения воды на водород и кислород без промежуточного преобразования излучения в электрическую энергию показал лучшие данные об эффективности, чем традиционный метод с фотокаталитическими пре-

образователями и электролизерами. При моделировании удалось приблизить теоретическую эффективность к рекордным 23 %, что указывает на перспективность дальнейшего развития установок без необходимости промежуточного преобразования излучения в электроэнергию.

### Литература

1. May M. M. et al. Efficient direct solar-to-hydrogen conversion by in situ interface transformation of a tandem structure //Nature Communications. – 2015. – Т. 6. – №. 1. – С. 1-7.
2. Cheng W. H. et al. Monolithic photoelectrochemical device for direct water splitting with 19 % efficiency //ACS Energy Letters. – 2018. – С. 1795-1800.



УДК 621.311

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЦИКЛА ЛИНДЕ  
IMPROVEMENTS TO THE LINDE CYCLE**

Ю.С. Кохан, О.Г. Щесняк

Научный руководитель – Ю.П. Ярмольчик, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, республика Беларусь

yarmolchik@bntu.by

J. Kokhan, O. Schesnyak

Supervisor – Y. Yarmolchik, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

*Аннотация:* Принцип действия цикла Линде и его усовершенствование путем уменьшения необратимости процесса.

*Abstract:* The principle of operation of the Linde cycle and its improvement by reducing the irreversibility of the process.

*Ключевые слова:* дросселирование, двухступенчатое сжатие и двухступенчатое расширение, переохлаждение сжатого газа.

*Keywords:* throttling, two-stage compression and two-stage expansion, supercooling of compressed gas.

**Введение**

Впервые цикл высокого давления с однократным дросселированием был осуществлен в 1895 году К. Линде и известен как цикл Линде. В установке Линде используется регенеративный принцип, который заключается в непрерывном понижении температуры при дросселировании для последующего охлаждения новой порции газа. Процесс непрерывного понижения температуры продолжается до тех пор, пока не наступит температура снижения газа.

**Основная часть**

Схема ожижения воздуха по способу К. Линде с дросселированием сжатого воздуха представлена на рис. 1. Атмосферный воздух подается в компрессор 1, где сжимается до определенного давления, откуда направляется по змеевику 2 в холодильник 3. В холодильнике сжатый воздух охлаждается водой, отдавая свою теплоту сжатия, образовавшуюся вследствие затраты работы на сжатие воздуха в компрессоре. На выходе из холодильника воздух имеет приблизительно такую же температуру, как и на входе его в компрессор. Сжатый воздух поступает в теплообменник 8 и далее в дроссельный вентиль 4, где происходит дросселирование и охлаждение воздуха. Расширившийся и охладившийся воздух поступает в резервуар 5, откуда отводится по трубе 7 в наружную трубу теплообменника 8. Проходя наружную трубу теплообменника, дросселированный воздух охлаждает сжатый воздух, поступающий по трубе к дроссельному вентилю. Предварительно охлажденный сжатый воздух при дросселировании через вентиль 4 охлаждается до более низкой температуры. Наступает момент, когда предварительное охлаждение сжатого воздуха в теплообменнике будет происходить до температуры, когда воздух, проходя через дроссельный вен-

ть 4, начнет частично сжижаться и стекать в виде жидкости в резервуар 5, откуда его можно сливать через вентиль 6. Не сжижившаяся часть воздуха будет отводиться по трубе 7 в теплообменник 8 и охлаждать поступающий к дроссельному вентилю сжатый воздух.

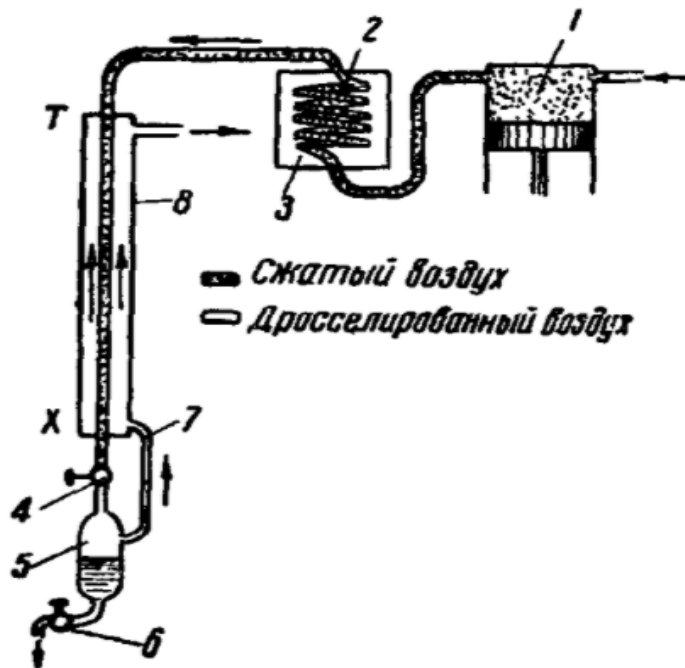


Рисунок 1 – Установка цикла Линде

Количество холода, получаемого при сжижении воздуха по способу К. Линде, зависит только от разности теплосодержаний при начальном и конечном давлениях сжатия воздуха, поступающего в теплообменник. По способу К. Линде в установке с каждого сжатого килограмма воздуха получают примерно 5,25 кал/кг.

Необратимостью данного цикла является сумма необратимых потерь, возникших в редукционном вентиле ( $\Delta L_B$ ) и теплообменнике ( $\Delta L_T$ ):

$$\Delta L = \Delta L_B + \Delta L_T, \tag{1}$$

Усовершенствования цикла заключаются в уменьшении необратимости процесса. Необратимость действия редукционного вентиля можно снизить, применив двухступенчатый цикл

Применяют двухступенчатое сжатие и двухступенчатое расширение в редукционных вентилях. В первой ступени газ сжимается до промежуточного давления  $p_2$  (для воздуха это 100 ат). К этому газу присоединяется некоторое количество газа из внутреннего теплообменника, так что во второй ступени уже сжимается количество  $Z_2$ . Затем этот газ, пройдя через внутренний теплообменник, расширяется до давления  $p_2$  в первом редукционном вентиле. Часть этого газа  $Z_2 - 1$  через внутренний теплообменник возвращается к выходу во второй

компрессор, а остаток во втором редукционном вентиле расширяется до нормального давления. Образуется  $Z_0$  жидкости, а  $1 - Z_0$  пара возвращается через внешний теплообменник к первому компрессору.

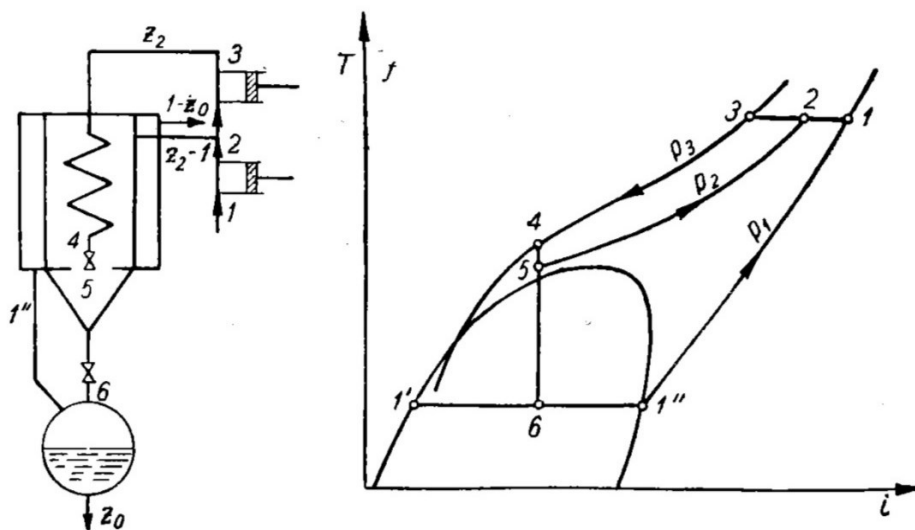


Рисунок 2 – Цикл Линде с двухступенчатым сжатием

В первом редукционном вентиле расширяется  $Z_2$ , а окончательному расширению до нормального давления во втором редукционном вентиле, являющимся источником гораздо большей необратимости, подвергается только часть этого газа. Общая необратимость в этом цикле меньше, чем в одноступенчатом, это означает, что затрата работы в двухступенчатом цикле меньше, чем в одноступенчатом, приблизительно на 30 %.

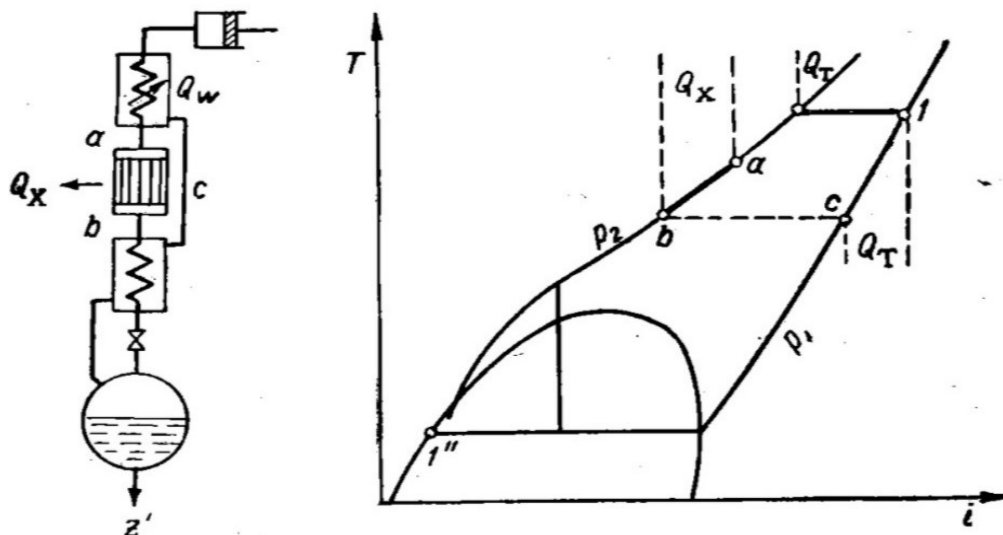


Рисунок 3 – Цикл Линде с переохлаждением сжатого воздуха

По другому способу улучшения цикла Линде применяется переохлаждение сжатого газа с помощью холодильной машины (рис. 3). Охлаждение непосредственно за компрессором было бы неправильно, так как весь запас холода

уходящего газа, покидающего холодильник, не был бы использован. Следовательно, теплообменник здесь должен быть разделен на две части и между ними установлен холодильник, отводящий теплоту  $Q_x$  в холодильную машину.

Баланс теплообменника вместе с холодильником можно представить следующим уравнением:

$$i_2 = Q_x + (1 + Z')i_1 + i'_1 Z', \quad (2)$$

где  $i_1$  – начальная энтальпия сжатого воздуха, Дж/кг;

$i_2$  – конечная энтальпия сжатого воздуха, Дж/кг;

$Q_x$  – количество теплоты, отводимое в холодильную машину, Дж;

$Z'$  – степень конденсации.

Из уравнения 2 видно, что степень конденсации цикла равна

$$Z' = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i'_1} + \frac{Q_x}{i_2 - i'_1}, \quad (3)$$

В выражении 3 первая дробь является степенью конденсации  $Z$  в обычном цикле. Следовательно, отсюда получаем

$$Z' = Z + \frac{Q_x}{i_2 - i'_1}, \quad (4)$$

Таким образом, производительность в цикле с переохлаждением выше, чем в обычном.

Расход работы в цикле с доохлаждением складывается из работы компрессора машины Линде  $L_k$  и холодильной машины  $L_x$ . В расчетах на 1 кг полученной жидкости имеем:

$$L = \frac{L_k}{Z'} + \frac{Q_x}{Z'\epsilon}, \quad (5)$$

Здесь  $L_k$  относится к 1 кг сжатого газа, а  $\epsilon$  – холодильный коэффициент машины переохлаждения.

### Заключение

Подставляя значение  $Z'$  по формуле 3 в последнее уравнение, можно доказать, что расход работы здесь приблизительно на 30 % меньше, чем в обычной машине.

Процесс Линде используют в тех случаях, когда расход энергии играет второстепенную роль, а решающими являются простота установки и надежность ее работы. В крупных кислородных установках применяют более совершенные и экономичные процессы, частично включающие в себя элементы процесса Линде.

### Литература

1. Снижение газов по методу Линде [Электронный ресурс]/ – Режим доступа: <https://www.chem21.info/page/05211011604400907523109004917206309692240065101/>. – Дата доступа: 10.04.2021.
2. Усовершенствование цикла Линде [Электронный ресурс]/ – Режим доступа: <https://www.chem21.info/page/012253253113125094185039198147165097185052118158/>. – Дата доступа: 10.04.2021.

УДК 697.27

РАЗРАБОТКА ПОЛЕВОГО ГОСПИТАЛЯ С ИСТОЧНИКАМИ  
ЭНЕРГО- И ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ  
DEVELOPMENT OF A FIELD HOSPITAL WITH ENERGY AND HEAT  
SUPPLY SOURCES

Ю.С. Зеленина

Научный руководитель – И.Л. Иокова, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
yulia.cupry@yandex.ru

Y. Zelenina

Supervisor – I. Iokova, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** При разработке системы энергоснабжения полевого мобильного госпиталя, функционирующего в условиях пандемии, было предложено использовать в качестве дополнительного источника электроэнергии – гибкие солнечные батареи, а в системе теплоснабжения – вихревой теплогенератор и гибкие отопительные приборы. Также предложено устанавливать солнечные батареи как в качестве самостоятельного источника электричества, но также и дублировать с традиционной схемой электроснабжения.

**Abstract:** When developing the power supply system for a mobile field hospital operating in the context of a pandemic, it was proposed to use flexible solar batteries as an additional source of electricity, and a vortex heat generator and flexible heating devices in the heat supply system. It is also proposed to install solar panels as an independent source of electricity, but also to duplicate the traditional power supply scheme.

**Ключевые слова:** энергоснабжение, теплоснабжение, вихревой теплогенератор, гибкие солнечные панели, гибкий отопительный прибор, полевой госпиталь, пневмокаркасный модуль, поливинилхлорид.

**Keywords:** power supply, heat supply, vortex heat generator, flexible solar panels, flexible heating device, field hospital, PVC frame module, polyvinyl chloride.

### Введение

Современный мир нельзя назвать безопасным для проживающих в нем людей. Кроме военных конфликтов, техногенных катастроф, стихийных бедствий и терроризма, еще в прошлом году мир столкнулся с пандемией смертельного вируса. На данный момент в мире зафиксировано порядка 136 млн. случаев заражения смертельным вирусом COVID-19 [1]. Сложная ситуация складывается во всех странах мира. Одна из главных проблем, с которыми сталкиваются страны во время пандемии, – большое количество пациентов, одновременно поступающих в больницы. Значительное количество пострадавших и погибших в таких условиях во многом связано с невозможностью вовремя оказать первую медицинскую помощь, недостаточным количеством высококвалифицированного медицинского персонала, а также нехваткой мест в больницах. Отсюда видна значимость проблемы оказания медицинской помощи по-



страдавшим как можно быстрее, что требует создания полевого госпиталя, по возможности, расположенного как можно ближе к стационарной больнице при нехватке в ней мест.

### Основная часть

В разных городах мира сейчас создаются такие временные полевые госпитали на случай роста числа зараженных. Часто они создаются в местах уже снабженных источниками энергоснабжения, имеющими свои системы теплоснабжения, вентиляции и горячего водоснабжения, такие как спортивные и военные объекты, школы, торговые центры и т.д. [2]. В тоже время бывают случаи, когда невозможно организовать полевой госпиталь в уже имеющемся сооружении.

В таких случаях используются полевые госпитали на базе пневмокаркасных модулей. Их популярность в настоящее время можно объяснить удобством доставки, скоростью развертывания, возможностью соединения между собой отдельно взятых модулей в единый комплекс (рисунок 1), удобством обслуживания и обеспечением санитарно-гигиенических условий, необходимых для медицинских процедур [3 – 5].

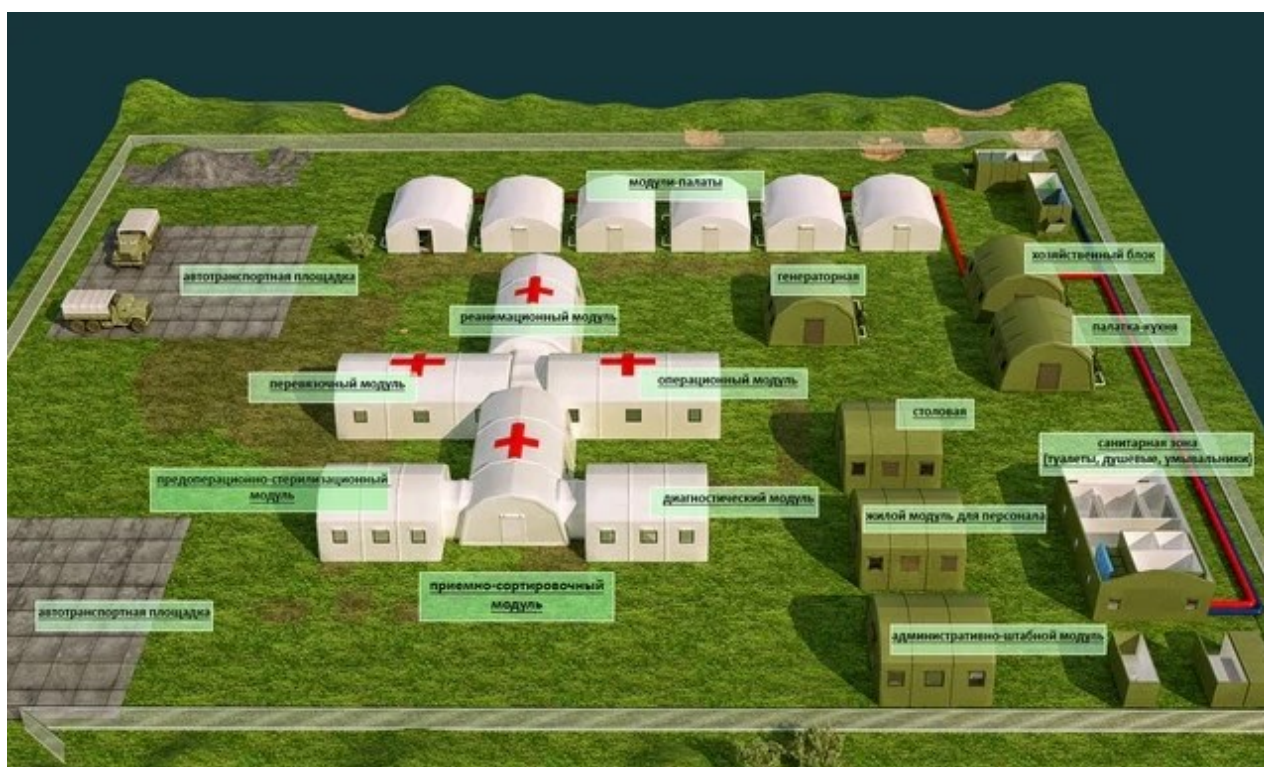


Рисунок 1 – Полевой госпиталь, представляющий собой единый комплекс

Пневмокаркасный модуль (надувная палатка) для лечения пациентов с коронавирусом COVID-19 чаще всего рассчитана на размещение одного или нескольких больных с изоляцией от внешнего мира и поддержанием комфортных условий пребывания в летнее и зимнее время.

Такие конструкции, как правило, имеют небольшой вес и габариты, возможность перевозки нескольких единиц в одном автомобиле и даже десантирования с воздуха. Материал, из которого изготовлен модуль, специальный

поливинилхлорид (ПВХ) без технического запаха, устойчивый к сырости, гниению, плесени и иному бактериологическому воздействию [5].

Таким образом, можно сказать, что такие мобильные госпитали должны обладать надежными источниками энергоснабжения, а их система теплоснабжения должна быть легко монтируемой, быстро разворачиваемой, иметь незначительную массу и компактные габаритные размеры, быстро выходить на режим, а также экономно расходовать энергоресурсы.

Для электроснабжения пневмокаркасных модулей в настоящее время служат электрические генераторы или мобильные электростанции. Электродвигатели могут быть как бензиновыми, так и дизельными [6]. Теплоснабжение существующих мобильных госпиталей производится с помощью горячего воздуха. Однако, установки для обогрева воздухом чаще всего имеют достаточно большую массу, занимают много места при транспортировке и при длительном использовании «выжигают» кислород в помещении [7]. Последнее недопустимо в условиях пандемии, так как большинство пациентов имеют трудности именно с дыханием.

В результате разработки системы теплоснабжения мобильного полевого госпиталя, предложено использовать вихревой кавитационный теплогенератор (ВТГ). Он представляет собой цилиндрический корпус, оснащенный циклоном (улиткой с тангенциальным входом) и гидравлическим тормозным устройством. Рабочая жидкость под давлением подается на вход циклона, после чего по сложной траектории проходит через него и тормозится в тормозном устройстве. Таким образом, ВТГ – это установка, которая позволяет получать тепловую энергию в специальных устройствах путем преобразования электрической энергии. В качестве теплоносителя в ВТГ используется вода или иные неагрессивные жидкости (антифриз, тосол) в зависимости от климатической зоны. Процесс нагревания жидкости происходит за счет кавитации, а не под воздействием нагревательного элемента (рисунок 2) [8].



Рисунок 2 – Вихревой кавитационный теплогенератор (ВТГ)

В системе теплоснабжения полевого госпиталя в качестве теплоносителя предложено применять воду. В настоящее время вихревые теплогенераторы широко используются во многих странах мира в качестве источника теплоснабжения для жилых и промышленных зданий.

В системе теплоснабжения мобильного полевого госпиталя также предложено использовать гибкие отопительные приборы, выполненные из поливинилхлорида. Такие отопительные приборы в пневмокаркасном модуле могут размещаться хаотично и использоваться разово (в случае необходимости), а также могут быть непосредственно встроены в стенки пневмокаркасного модуля, так как выполняются из того же материала [9].

Что касается обеспечения пневмокаркасного модуля электроэнергией, то в качестве резервного источника электроэнергии стоит рассмотреть вариант дополнительного использования альтернативных источников энергии. Различные источники энергии могут быть объединены в единые системы для увеличения экономической эффективности использования энергии [10]. В данной работе предложено использовать в качестве дополнительного (резервного) источника электроэнергии полимерные солнечные батареи, нанесенные на гибкую подложку. Кроме того, гибкие солнечные батареи можно встраивать в крыши, как это делается в настоящее время с полевыми госпиталями контейнерного типа и классическими жесткими солнечными батареями еще на стадии их производства (рисунок 3).

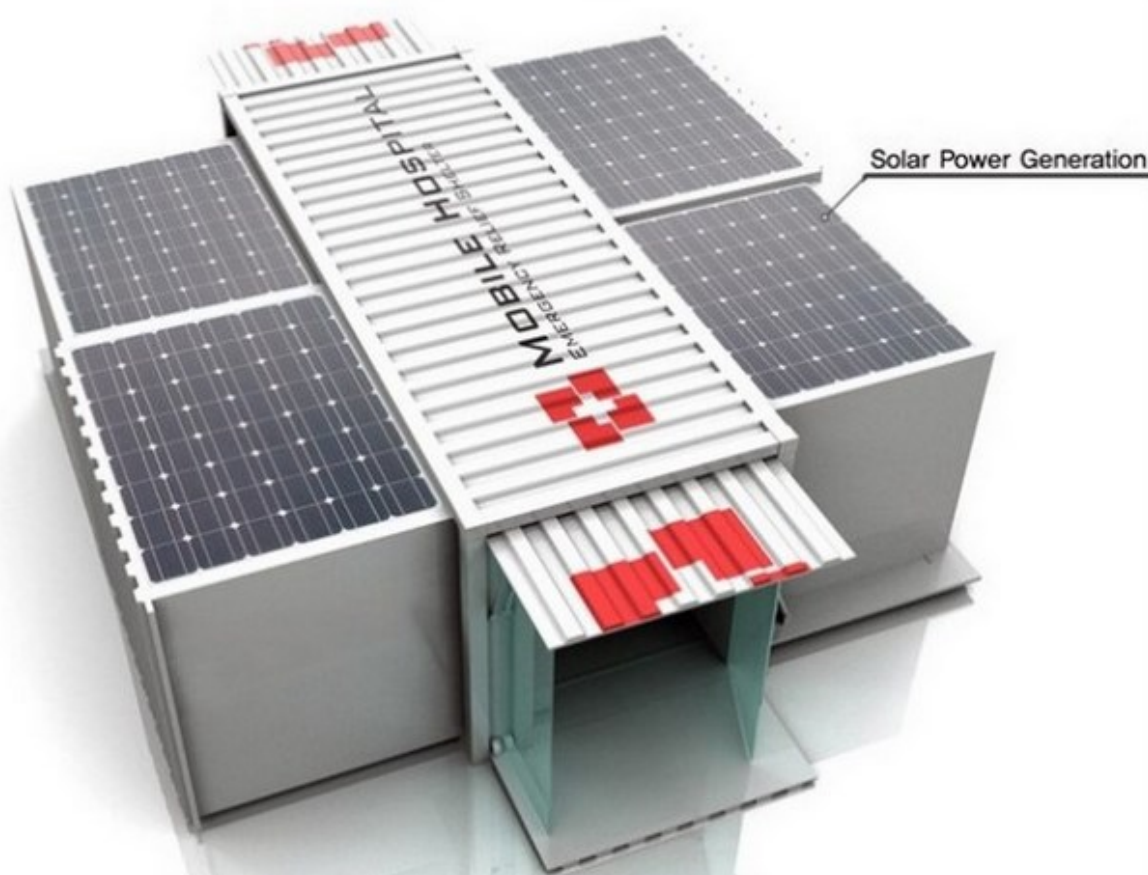


Рисунок 3 – Мобильный полевой госпиталь со встроенными в крышу солнечными батареями



Также рассматривается возможность использовать энергию Солнца для производства тепловой энергии, а именно на базе солнечных вакуумных коллекторов производить нагрев воды до заданной температуры, путем поглощения солнечного излучения, преобразования его в тепло, аккумуляции и использования ее в полевых условиях.

Рассматриваемая система состоит из двух основных элементов:

1. наружного блока – солнечных вакуумных коллекторов;
2. внутреннего блока – резервуара-теплообменника.

Благодаря солнечным вакуумным коллекторам обеспечивается сбор солнечного излучения в любую погоду, вне зависимости от внешней температуры. Коэффициент поглощения энергии таких коллекторов, при степени вакуума  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ , составляет 98 %. Солнечные батареи устанавливаются на крыше зданий. Коллектора монтируются под любым углом, от 0 до 90 градусов. Срок службы вакуумных коллекторов – не менее 15 лет.

Резервуар-теплообменник представляет собой автоматизированную систему преобразования, поддержания и сохранения тепла, полученного от энергии солнца, а также и от других источников энергии (например, традиционный отопитель, работающий на электричестве, газе или дизтопливе), которые страхуют систему при недостаточном количестве солнечной радиации. [11].

### **Заключение**

Таким образом, в результате анализа существующих мобильных полевых госпиталей, которые используются при чрезвычайных ситуациях, в том числе в условиях пандемии, и их систем энергоснабжения были обнаружены пути их совершенствования. В ходе работы по созданию новой системы энергоснабжения полевого госпиталя было предложено использование в качестве источника теплоснабжения вихревого теплогенератора, отопительных приборов нового типа, изготовленных из поливинилхлорида, а также гибких полимерных солнечных батарей в качестве дополнительного (резервного) источника электроэнергии.

### **Литература**

1. Статистика распространения коронавируса в мире [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://coronavirus-monitor.info/>. – Дата доступа: 12.04.2021.
2. Как в мире строят временные госпитали для больных COVID-19 / Информационное агентство «РБК». – Москва, 2020. – Режим доступа: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/5fbcd9cb9a7947070b714fb5>. – Дата доступа: 14.11.2020.
3. Быстровозводимые помещения на базе пневмокаркасных модулей [Электронный ресурс] / Научно-производственное предприятие «Модуль». – Москва, 2007. – Режим доступа: <http://www.pnevmomodul.ru>. – Дата доступа: 11.04.2021.
4. Полевой госпиталь [Электронный ресурс] / ООО «ТД «Чернец». – Санкт-Петербург, 2012. – Режим доступа: [http://www.pnevmokarkas.ru/product\\_polevoy\\_gospital.html](http://www.pnevmokarkas.ru/product_polevoy_gospital.html). – Дата доступа: 11.04.2021.

5. Мобильные госпитали [Электронный ресурс] / ООО «Азарт». – Санкт-Петербург, 2009. – Режим доступа: <http://pnevmotent.ru/katalog/mobilnye-gospitali/#tab6>. – Дата доступа: 11.04.2021.
6. Электрообеспечение пневмокаркасного модуля [Электронный ресурс] / Компания «Фрегат». – Санкт-Петербург, 2002. – Режим доступа: <http://fregat-pnevmomodul.ru/elektroobespechenie/>. – Дата доступа: 12.04.2021.
7. Кашаров, А.П. Современные обогреватели: типы, расчет мощности, ремонт – для дома, офиса и не только / А.П. Кашаров. – М.: ДМК Пресс, 2011.
8. Вихревые теплогенераторы [Электронный ресурс] / "Электрик Инфо" – онлайн журнал про электричество. – Гомель, 2009. – Режим доступа: <http://elektrik.info/main/news/579-vihrevye-teplogeneratory.html>. – Дата доступа: 5.04.2021.
9. Iokova I.L., Kalinichenko A.S. (2020) Calculation of Heat Exchange on the Surface of a Flexible Heat Exchanger of Use in Mobile Hospitals. *Energetika. Proceedings of the CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 63, No 1 (2020), pp. 81 – 88.
10. Customised special shelter [Electronic resource] / ZEPPELIN MOBILE SYSTEME GmbH. – Mode of access: <https://www.zepelin-mobile.com/en/mobile-custom-made-shelter/>. – Date of access: 11.04.2021.
11. Классификация нетрадиционных видов энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://extxe.com/12778/netradicionnye-vidy-jenergii/>. – Дата доступа: 19.04.2021.

УДК 658.264:004.032.26

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
В ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ  
USING OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES IN HEAT SUPPLY**

К.А. Михолап, А.В. Чешкин

Научный руководитель – М.И. Позднякова, ассистент  
Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

pozdneykova@bntu.by

K. Mikhalap, A. Cheshkin

Supervisor – M. Pozdnyakova, assistant

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** Сделан литературный обзор источников по теме исследования в ходе, которого установлена возможность и важность применения искусственных нейронных сетей в энергетике, представлен обзор моделей и методов прогнозирования с их преимуществами и проблемами внедрения.*

***Abstract:** A literary review of the sources on the topic of research have been made. As a result, the possibility and importance of applying artificial neural networks in the energy sector has been established, a review of models and forecasting methods with their advantages and implementation problems have been presented.*

***Ключевые слова:** прогнозирование, искусственная нейронная сеть, синапс*

***Keywords:** prediction, artificial neural network, synapse.*

### **Введение**

Энергетика в современном мире является сложным комплексом, состоящим из ряда систем по обеспечению тепловой и электрической энергией основных ее потребителей – промышленных предприятий. Совокупность систем топливоснабжения, электроснабжения, теплоснабжения и холодоснабжения обеспечивает функционирование производственного процесса, являющегося важной частью экономики страны и создает комфортные условия труда и быта населения. Постоянное развитие мира и сложившиеся тенденции, направленные на решения глобальных проблем в энергоснабжении в рамках парадигмы цифровизации экономики требуют принципиально новых подходов в построении энергетических систем и систем энергоснабжения на уровне потребителей, с последующим повышением эффективности функционирования этих систем и объектов в промышленности, а также социально-бытовом секторе народного хозяйства.

Современные вызовы в области развития техносферы требуют применения инновационных подходов в части организации функционирования традиционных технических систем, что полностью справедливо и для теплоэнергетики. В частности, по оценкам экспертов, сделанных на основе анализа тенденций на энергетическом рынке, прогнозируется снижение цены на энергию для конечных потребителей к 2035 году на 30 – 40 % за счет повышения эффективности использования генерирующих и сетевых мощностей, существенного сокраще-



ния потребности в новых мощностях, сокращения потерь энергии, снижения стоимости владения базовой инфраструктурой. В этих условиях важно минимизировать затраты на производство энергии путем балансировки спроса и предложения на энергетическом рынке.

Вопросы прогнозирования, спроса и предложения играют на энергетическом рынке особую роль. Необходимость в качественном прогнозировании обусловлена технологическими и экономическими причинами. Прогнозирование энергопотребления производится на различные временные диапазоны с различной интервальной дискретностью [2].

На данный момент используется большое количество методов и моделей прогнозирования и расчетов нагрузок в тепловых и электрических системах, в том числе классических (традиционных) и инновационных (рисунок 1) [3, 4].



Рисунок 1 – Классификация методов прогнозирования энергетической нагрузки [4]

К недостаткам классических методов относят трудоемкость и сложность вычислений, которые связаны с необходимостью выбора и селективного расчета для каждого параметра аналитического выражения, неточность результатов прогнозирования при неправильном выборе модели и большим объемом вычислительных процедур. Поэтому классические методы практически не применяются для решения задач прогнозирования нагрузки в энергетике в виду больших размерностей математических моделей [4].

В последние годы все большее применение находят инновационные сети. В содействии с экспертными системами искусственные нейронные сети (ИНС) предлагают множество схем прогнозирования и управления нагрузкой в тепло-снабжении и электроснабжении. ИНС – математическая модель, которая может быть представлена в виде программного и аппаратного обеспечения. Процесс функционирования моделирует работу головного мозга: информация поступает

в нейронную сеть из окружающей среды и используется в процессе обучения; для накопления данных применяются связи между нейронами, называемые синаптическими весами.

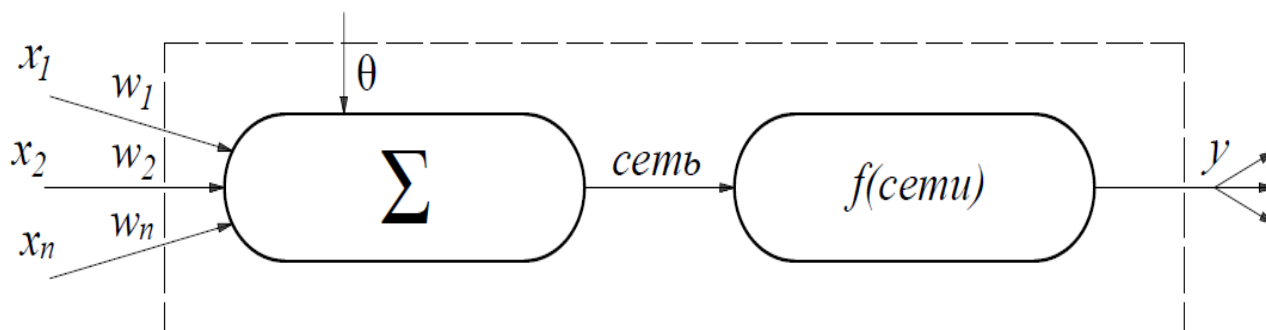


Рисунок 2 – Модель формального нейрона [3]

ИНС состоит из совокупности искусственных нейронов (рисунок 2), упорядоченных по слоям (рисунок 3) и соединенных между собой связями – синапсами, которых в сети может быть достаточно много (до нескольких сотен). Благодаря синапсам происходит обмен информацией с каждым из нейронов соседнего слоя. Влияние каждого нейрона на результат определяется весовыми коэффициентами, являющимися параметром синапса. Нейрон с большим весом несет информацию, которая будет доминирующей в следующем нейроне и т.д. Существуют входные, выходные и нейроны скрытых слоев. Входные нейроны принимают сигнал, нейроны скрытого слоя обрабатывают сигнал и преобразуют его нелинейно в выходной сигнал, выходные нейроны выдают полученный результат [5].

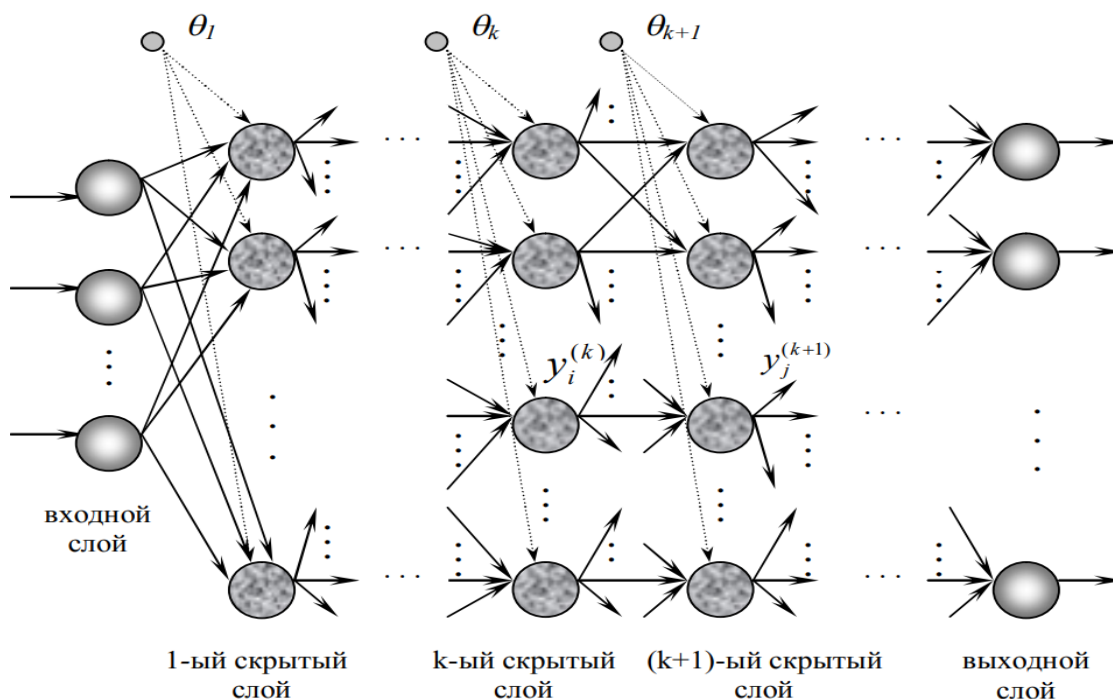


Рисунок 3 – Многослойная нейронная сеть [3]

Для того чтобы обучить ИНС необходимо иметь определенные наборы данных: входные и выходные параметры. Суть обучения нейросети заключается в том, чтобы научить ее выдавать определенные выходные значения при загрузке в нее определенных входных значений с заданной точностью. Процесс обучения сети происходит в два этапа: прямое и обратное распространение ошибки. В результате нейросеть производит поиск весовых коэффициентов, обозначающих степень влияния каждого из входных параметров на конечный результат.

Данные для тренировки сети берут из статистических архивных данных об объекте, под который будет разрабатываться нейросеть. Либо, при недостаточности или недостоверности архивных данных – в процессе производства экспериментов над объектом [3].

На сегодняшний день существует множество типов нейросетей, которые классифицируют по разным критериям:

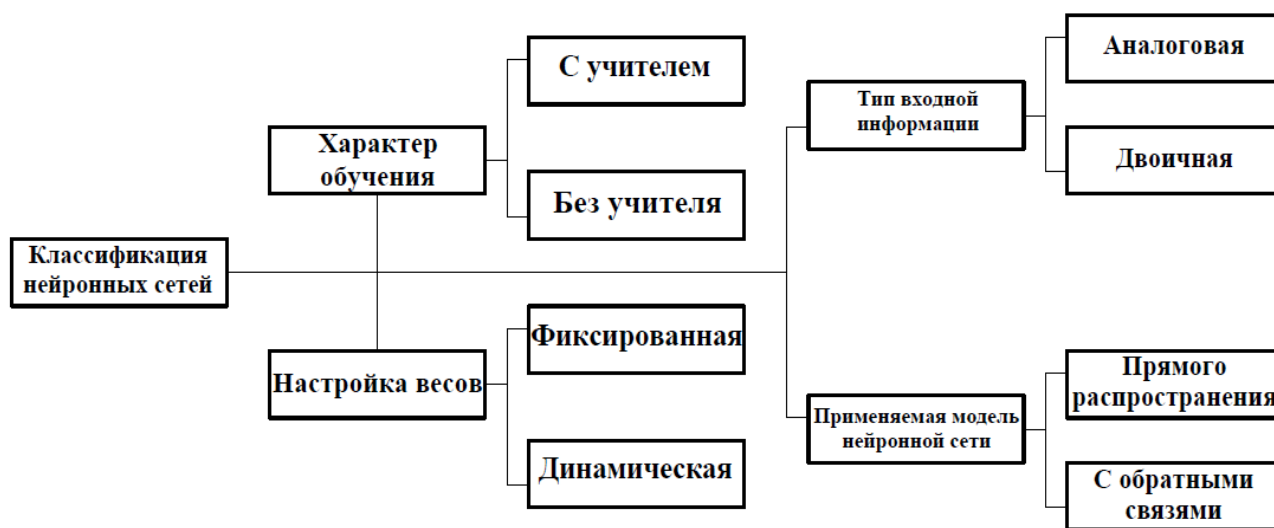


Рисунок 4 – Классификация ИНС [6]

Преимущества использования ИНС следующие [5, 7]:

1. Нейросети работают со сверхвысоким быстродействием. Это достигается в результате использования массового параллелизма – «параллельности» обработки входных данных.

2. Способность решать задачи, которые имеют неизвестные закономерности. После обучения на множестве примеров нейронная сеть получает возможность решать задачи, в которых неизвестны закономерности развития ситуации в зависимости между выходными и входными параметрами.

3. Возможность серийного использования. В то же время при наличии опытного (базового) образца процесс создания и обучения нейронной сети занимает не более 7 дней (при наличии всех требуемых исходных данных). Это позволяет быстро внедрять данную разработку на реальных объектах.

4. Самообучаемость и корректировка работы, заключающаяся в устойчивости к шумам во входных данных, таким образом нейросеть способна работать

при некотором числе неинформативных или шумовых сигналов. В процессе функционирования нейросеть учитывает не только входные данные из выборки для обучения, но и данные, получаемые во время работы.

5. Нейронные сети потенциально обладают отказоустойчивостью. Это подтверждается тем, что в процессе их использования при неблагоприятных условиях можно наблюдать лишь незначительную потерю в производительности.

Проблемы внедрения ИНС можно сформулировать следующим образом [8]:

1. слаборазвитая цифровая инфраструктура в энергетике Республики Беларусь;

2. долгосрочное прогнозирование возможно только с учетом экономических факторов;

3. сложность выделения наиболее важных факторов и выбора факторов для учета. Сложность в снижении погрешности при обучении;

4. неуверенность в том, что архивные данные имеют все необходимые периоды и ситуации для обучения;

5. требования к постоянной параметрической адаптации нейросети, т.к. изменяется состояние тепловой сети, добавляются потребители и происходят другие изменения.

В то же время нейронные сети способны к обучению и достаточно точному прогнозированию при правильно подобранных входных данных, что дает возможность получить более правильный результат. Потенциал применения нейронных сетей не ограничивается только прогнозированием – нейронные сети могут применяться для анализа технического состояния и оценки надежности энергогенерирующего оборудования, диагностики и локализации аварийных ситуаций, прогнозирования цен на тепловую и электрическую энергию, оптимизации распределения нагрузки и для решения других технологических и экономических задач, стоящих перед энергетикой в целом.

### **Заключение**

Все более очевидной становится необходимость перехода к новым структурам в виде интегрированных интеллектуальных систем электро- и теплоснабжения. Применение ИНС в теплоэнергетике актуально и перспективно.

### **Литература**

1. Воропай Н.И. Интегрированные энергетические системы: вызовы, тенденции, идеология / Н.И. Воропай, В.А. Стенников, Е.А. Барахтенко // Проблемы прогнозирования. – 2017. – № 5. – С. 39 – 49.

2. Соловьева И.А. Прогнозирование электропотребления с учетом факторов технологической и рыночной среды / И.А. Соловьева, А.П. Дзюба // Научный диалог. – 2013. – № 7(19): Экономика. Право. Политология. – С. 97 – 113.

3. Шумилова Г.П. Прогнозирование электрических нагрузок при оперативном управлении электроэнергетическими системами на основе нейросетевых структур / Г.П. Шумилова, Н.Э. Готман, Т.Б. Старцева. – Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 2008. – 78 с.

4. Абдурахманов А. Методы прогнозирования электропотребления в распределительных сетях (обзор) [Электронный ресурс] / А. Абдурахманов, М.В. Володин, Е.Ю. Зыбин // Электротехника: сетевой электронный научный

журнал Russian Internet Journal of Electrical Engineering. – 2016. – Т. 3, № 1. – Режим доступа: <http://electrical-engineering.ru/issues/2016/2016-1.pdf>. – Дата доступа: 18.03.2021.

5. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. –2-е изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.

6. Нейронные сети и искусственный интеллект [Электронный ресурс] / Нейронные сети и искусственный интеллект. – Режим доступа: [https://studwood.ru/1047088/informatika/klassifikatsiya\\_neyronnyh\\_setey/](https://studwood.ru/1047088/informatika/klassifikatsiya_neyronnyh_setey/). – Дата доступа: 17.03.2021.

7. Павлюк Д.И. Использование нейронного моделирования в электрических сетях / Д.И. Павлюк // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы XVIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 26–27 апр. 2018 г.; науч. рук. Т.В. Алферова / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П.О. Сухого; под общ. ред. А.А. Бойко. – Гомель, 2018. – С. 309 – 311.

8. Вороновский Г.К. Проблемы и перспективы использования искусственных нейронных сетей в энергетике. Часть 1. Моделирование / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.А. Сергеев // Проблемы загальної енергетики. – 2006. – №14. – С. 50 – 61.

УДК 620.92

**ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА  
ЭЛЕКТРОЛИЗОМ ВОДЫ  
TECHNOLOGIES OF HYDROGEN PRODUCTION BY WATER  
ELECTROLYSIS**

Р.С. Игнатович

Научный руководитель – В.А. Седнин, д.т.н., профессор  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
vsednin@bntu.by

R. Ignatovich

Supervisor – V. Sednin, Doctor of Technical Sciences, Docent, Head of Department  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной работе представлен обзор существующих технологий получения водорода путем электролиза воды. Также в работе представлена таблица сравнительных характеристик описанных методов электролиза.*

***Abstract:** This paper presents an overview of existing technologies for producing hydrogen by electrolysis of water. The paper also presents a table of comparative characteristics of the described methods of electrolysis.*

***Ключевые слова:** энергетика, электролиз, водород, щелочной электролиз, электролиз твердых оксидов.*

***Keywords:** energy, electrolysis, hydrogen, alkaline electrolysis, solid oxide electrolysis.*

### **Введение**

На сегодняшний день водородной энергетике оказывается серьезное внимание. Так, например, в Европейском Союзе значительная доля электрической энергии вырабатывается на альтернативных источниках энергии, которые отличаются нестабильностью выработки. Одним из основных вариантов решения данной проблемы является накопление избыточной энергии, путем разложения воды в электролизере, с последующим хранением или транспортировкой в форме водорода. В Республике Беларусь избыточная электрическая энергия появится после пуска Белорусской атомной электростанции, в часы провалов потребления энергии. По этой причине глубокое изучение технологий осуществления электролиза является важным вопросом как в мире, так и в нашей республике.

### **Основная часть**

На сегодняшний день известно три различных технологии осуществления электролиза:

1. Щелочной электролиз (AEL);
2. Электролиз воды на протонообменной мембране (PEM);
3. Электролиз твердых оксидов (SOEC).

На рисунке 1 схематично представлен принцип действия щелочного электролизера.



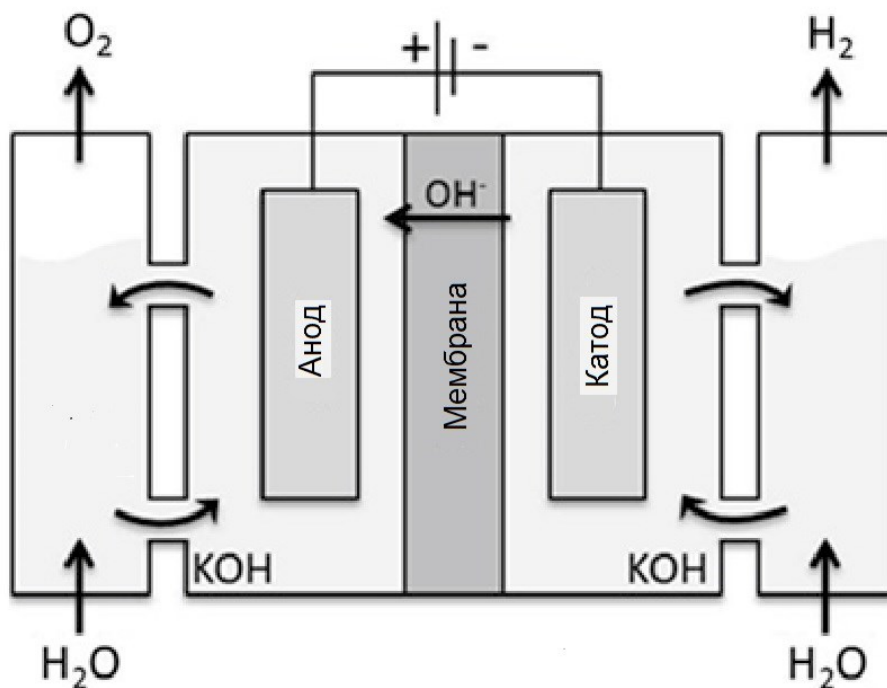


Рисунок 1 – Принцип действия щелочного электролизера [1]

Щелочные электролизеры представляют собой наиболее развитую и популярную на сегодняшний день технологию электролиза воды, которая использует водный щелочной раствор в качестве электролита. Как показано на рисунке 1, ячейка щелочного электролизера состоит из двух электродов, которые полностью погружены в 20 – 40 процентный массовый водный раствор гидроксида калия (щелочной раствор необходим потому, что чистая вода плохо проводит электрический ток). Между катодом и анодом располагается полупроницаемая мембрана. Электроды обычно изготавливаются из никеля или никелированной стали. KOH предпочтительнее электролитов гидроксида натрия (NaOH) из-за его более высокой проводимости [1].

При пропускании постоянного электрического тока через электроды происходит разложение воды на ионы водорода  $H^+$  и гидроксильные ионы  $OH^-$ . Ионы водорода передвигаются к катоду, где отдают свой заряд, превращаясь в атомы водорода, соединяющиеся в молекулы; в результате этого на катоде выделяется газообразный водород. Ионы гидроксила отдают свой заряд на аноде и соединяются друг с другом с образованием воды и кислорода [2].

Технология доступна в продаже по цене около 1000 евро/кВт, но время запуска электролиза после его отключения составляет от 30 до 60 минут, что делает ее менее подходящей для работы с прерывистым питанием и частыми пусками и остановками [3]. В некоторых случаях необходимость работать в постоянном режиме может послужить существенным недостатком.

Электролиз воды на протонообменной мембране представляет собой вторую по значимости технологию электролиза воды. Она новее чем щелочной электролиз и применяется на практике, но, как правило, для небольших установок. К технологии на сегодняшний день повышенный интерес, так как она об-

ладает лучшей характеристикой пуска и остановки, чем щелочной электролиз [3]. Принципиальная схема электролиза воды на протонообменной мембране представлена на рисунке 2.

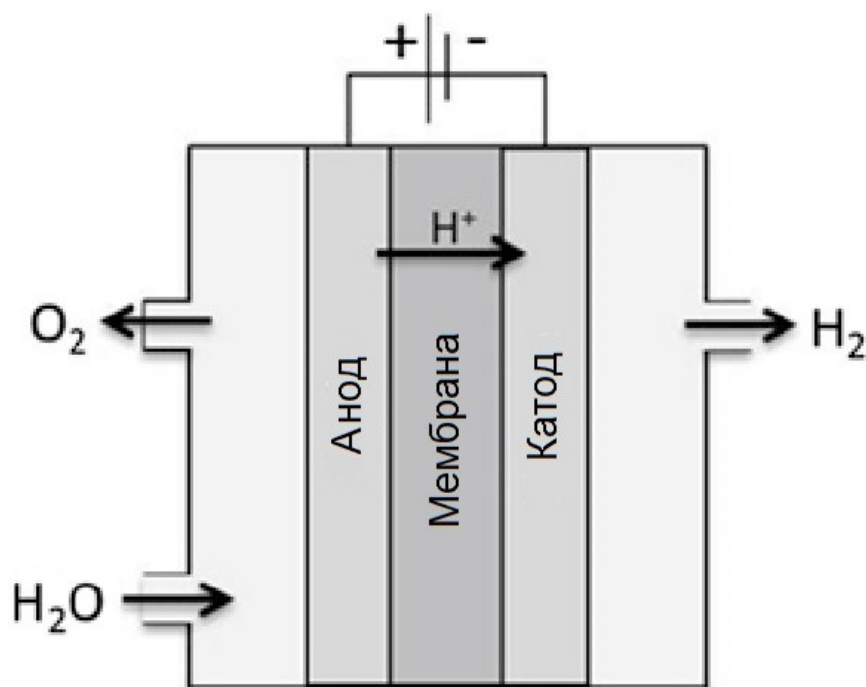


Рисунок 2 – Принцип действия электролиза воды на протонообменной мембране [1]

На анод поступает деионизированная вода, где расщепляется на протоны, электроны и газообразный кислород:  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 1/2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$ . Протоны проходят через мембрану, а электроны движутся через внешнюю электрическую цепь. На катоде протоны и электроны воссоединяются, образуя газообразный водород:  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$  [4].

Нарастающая тенденция роста интереса к технологиям электролиза воды и потребность при этом снижать потребление электрической энергии стали причинами появления нового способа электролиза воды: электролиза твердых оксидов. Принципиальная схема электролиза твердых оксидов приведена на рисунке 3. В ячейках электролизера в качестве электролита используется тонкий, плотный твердый оксидный слой, который становится проводящим для ионов (обычно кислорода) при повышенных температурах. С обеих сторон такого электролита непосредственно прикреплены пористые электродные слои, к которым примыкают токосъемники. Вода (пар) обычно подается со стороны катода, где происходит реакция восстановления:  $\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + \text{O}^{2-}$ .

Образующиеся ионы кислорода мигрируют на анодную сторону, где происходит реакция:  $\text{O}^{2-} \rightarrow 1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^-$  [1].

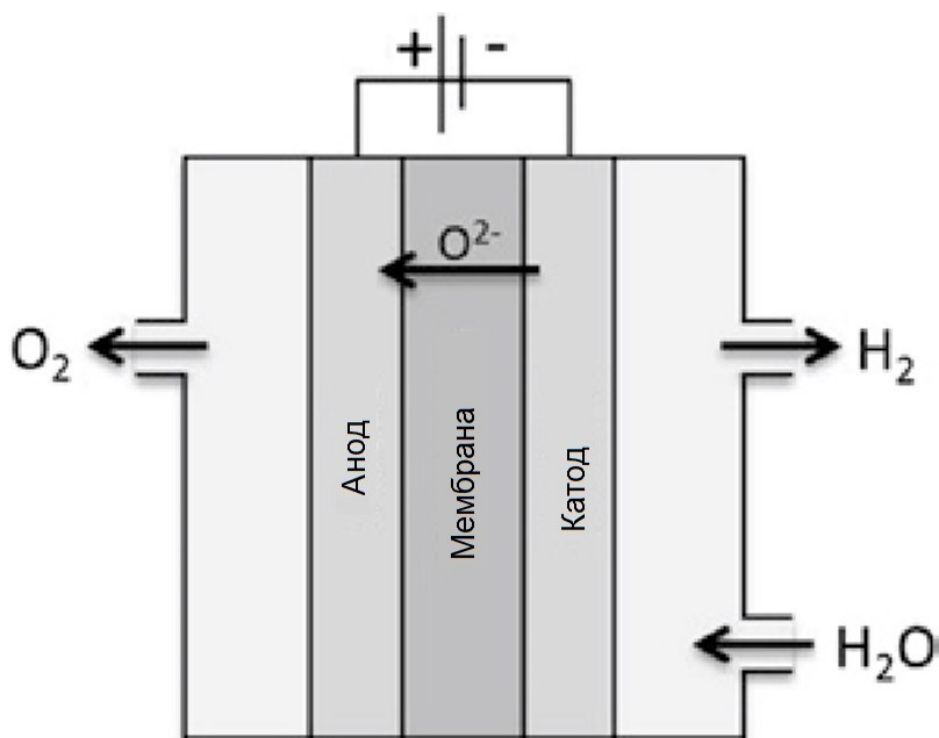


Рисунок 3 – Принцип действия электролиза твердых оксидов [1]

Ожидается, что данная технология будет обладать самыми лучшими характеристиками пуска и остановки, будет иметь более высокую электрическую эффективность (самое низкое потребление электрической энергии), будет иметь низкую стоимость материалов и будет иметь возможность работать в обратном направлении, но она все еще находится на стадии лабораторного исследования [3].

В результате всего вышесказанного, в таблице 1 представлены сравнительные характеристики трех методов электролиза воды.

Таблица 1 – Сравнение показателей технологий электролизных установок

Сравнительная характеристика	Щелочной электролиз	Электролиз воды на протонообменной мембране	Электролиз твердых оксидов
Ионы электролита	ОН <sup>-</sup>	Н <sup>+</sup>	О <sup>2-</sup>
Напряжение ячейки, В	1,9 – 2,4	1,6 – 2	1,2 – 1,3
Плотность электрического потока, А/см <sup>2</sup>	0,3 – 0,5	1 – 2	0,3 – 0,6
Рабочая температура, °С	70 – 90	60 – 80	700 – 1000
Эффективность, %	60 – 80	65 – 80	Не изучено

Окончание таблицы 1

Удельное потребление ЭЭ (кВт/нм <sup>3</sup> )	> 4.6		> 4.8	< 3.2	
Рабочее давление, бар	1	чаще всего	30 – 60	1	чаще всего
	15	при повышенном давлении		25	при повышенном давлении
Стоимость, евро/кВт	1000		2000	Не определена	
Чистота водорода, %	99,5 +		99,9 +	99,9 +	
Время запуска	30 – 60 мин		100 мс	100 мс	

Стоит отметить, что альтернативным методом получения водорода, обладающим таким же потреблением воды, является преобразование природного газа путем воздействия на него пара (паровая конверсия). В условиях Республики Беларусь данный метод не имеет права на существование, так как природный газ является импортируемым топливом, долю которого в приходной части энергобаланса страны пытаются сокращать.

### Заключение

На основе всего вышесказанного можно сделать вывод, что универсальной технологии для осуществления электролиза воды нет. Выбор типа электролизера индивидуален для каждого конкретного случая. Так, если производство водорода будет осуществляться в непрерывном режиме, то целесообразнее использовать более дешевый щелочной электролизер, а при работе в переменном режиме больше подойдет электролизер с протонообменной мембраной, имеющий время запуска 100 мс. Чистота получаемого водорода и эффективность преобразования электрической энергии в водород в них примерно одинакова. Однако ситуация может существенно измениться в случае, если испытания электролизеров, основанных на твердых оксидах, окажутся успешными, а стоимость полученного водорода будет сопоставима с имеющимися.

### Литература

1. Markus Lehner, Robert Tichler, Horst Steinmüller, Markus Koppe. Power-to-Gas: Technology and Business Models. SpringerBriefs in Energy. 2014.
2. Генераторы водорода [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gasonsru.ru/hydrogen-electrolysis>. – Дата доступа: [08.04.2021].
3. Martin Lambert. Power-to-Gas: Linking Electricity and Gas in a Decarbonising World? Oxford Energy Insight: 39, October 2018.
4. Водород – PEM [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: [<https://gasonsru.ru/hydrogen-pem>]. – Дата доступа: [08.04.2020].

УДК 666.954

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПУТЕМ  
УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ВЭР  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ  
IMPROVEMENT OF HEAT SUPPLY SYSTEMS BY UTILIZATION OF  
LOW-TEMPERATURE THERMAL VER  
INDUSTRIAL ENTERPRISES**

И.В. Василевский, Я.С. Яцухно

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
bobichsas@mail.ru

I. Vasilevsky, Ya. Yatsukhno

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

**Аннотация:** *Повышение эффективности использования первичных импортируемых энергоресурсов, диверсификация приходной части энергобаланса страны, где сегодня доминирует природный газ (до  $\approx 80\%$ ) чрезвычайно актуальные энергетические проблемы. Кроме того, столь большого удельного веса природного газа в структуре энергобаланса нет ни в одной другой стране. Отмеченное обстоятельство, в совокупности с непрерывным повышением цены на природный газ, оказывают наиболее тяжелое влияние, прежде всего, на экономику Республики Беларусь. В данном докладе рассматривается сокращение использование первичного топлива путем утилизации низкотемпературных тепловых ВЭР.*

**Abstract:** *Improving the efficiency of the use of primary imported energy resources, diversifying the incoming part of the energy balance of the country, where natural gas dominates today (up to  $\sim 80\%$ ), are extremely urgent energy problems. In addition, no other country has such a large share of natural gas in the structure of the energy balance. This circumstance, together with the continuous increase in the price of natural gas, has the most severe impact, first of all, on the economy of the Republic of Belarus. This report examines the reduction of primary fuel use by recycling low-temperature thermal VER.*

**Ключевые слова:** *Энергетика, энергоэффективность, сокращение энергоемкости производства.*

**Keywords:** *Energy, energy efficiency, reduction of energy intensity of production.*

### **Введение**

Повышение эффективности использования первичных энергоресурсов является общей актуальной задачей большинства стран, поскольку дальнейшее развитие энергообеспечения потребителей традиционным экстенсивным путем, в основе которого лежит наращивание добычи первичных энергоресурсов, наталкивается на ограничения экономического, экологического и технического характера.

### Основная часть

Одним из наиболее эффективных способов экономии первичного топлива является утилизация низкотемпературных тепловых вторичных энергетических ресурсов (ВЭР). Под вторичными энергетическими ресурсами понимают – энергетический потенциал продукции, отходов, побочных и промежуточных продуктов, образующихся в технологических агрегатах (установках), который не используется в самом агрегате, но может быть частично или полностью использован для энергоснабжения потребителей [1].

Основными низкотемпературными ВЭР являются:

1. горячая вода (вода от охлаждающих устройств, производственный конденсат, канализационные стоки);
2. теплота охлаждения оборотной воды (градирни);
3. теплота охлаждения циркуляционной воды (конденсатор паровых турбин, генератор, охлаждение масла);
4. теплота охлаждения дымовых газов (дымовые газы водогрейных и паровых котлов, котлов-утилизаторов, печей и др.);
5. теплота вентиляционных выбросов (теплый воздух, удаляемый из сушильных установок, производственных, общественных и жилых помещений);
6. пар, отработавший в двигателях, а также вторичный пар.
7. В общем виде вторичные энергетические ресурсы подразделяются на:
8. горючие (отходы, обладающие химической энергией, и могут быть использованы в качестве топлива);
9. тепловые (отходы, обладающие физической теплотой);
10. избыточного давления (отходы, обладающие потенциальной энергией).

Горючие ВЭР – это содержащие химически связанную энергию отходы технологических процессов, неиспользуемые или непригодные для дальнейшей технологической переработки, которые используются или могут быть использованы в качестве котельно-печного топлива. К горючим ВЭР относятся: горючие отходы процессов химической и термохимической переработки углеродистого или углеводородного сырья, горючие газы плавильных печей, лигнин гидролизного производства, сульфатные и сульфитные щелока целлюлозно-бумажной промышленности и другие.

К тепловым ВЭР относятся: физическая теплота продукции, отходов, побочных и промежуточных продуктов, образующихся в технологических агрегатах. Так же к тепловым ВЭР относится теплота:

1. отходящих газов технологических установок;
2. уходящих дымовых газов, топливопотребляющих установок;
3. избыточная теплота жидких и газообразных потоков;
4. сточные воды и другие.
5. охлаждающей воды, в том числе и в системах оборотного водоснабжения;
6. конденсата, подлежащего возврату на котельных и ТЭЦ;
7. организованные вентиляционные выбросы;

ВЭР избыточного давления – потенциальная энергия газов или пара, выходящих из технологических агрегатов с избыточным давлением, которое



необходимо снижать перед следующей ступенью использования или при выбросе в атмосферу.

Низкотемпературные тепловые потоки составляет порядка 50 % всех видов ВЭР, но ее утилизация осложнена малой ее пригодностью для прямого использования за счет низкой температуры. Однако масштабы ее утилизации будут возрастать, поскольку появляется новое и совершенствуется старое оборудование, позволяющее решить поставленную задачу. Для ее решения применяются следующие виды оборудования:

1. абсорбционные и парокомпрессионные тепловые насосы (на водных растворах аммиака, бромида лития, хлорида кальция и др.);
2. регенеративные вращающиеся теплообменники;
3. рекуперативный теплообменник с промежуточным теплоносителем, «тепловыми трубами» для использования теплоты вентиляционных выбросов;
4. контактные теплообменные аппараты для использования теплоты дымовых газов и парогазовых потоков;
5. выпарные аппараты с вращающимися элементами для утилизации теплоты загрязненных газов и концентрирования сточных вод;
6. многоступенчатые установки с аппаратами мгновенного вскипания для загрязненных горячих стоков и агрессивных жидкостей;
7. скрубберно-солевые установки для дымовых газов.

Тепловые ВЭР могут использоваться для удовлетворения потребностей в энергии непосредственно (без изменения вида энергоносителя) либо за счет выработки теплоты в виде пара, горячей воды и воздуха в утилизационных установках. Это прежде всего: абсорбционный бромисто-литиевый тепловой насос (АБТН), парокомпрессионный тепловой насос (ПКТН) и контактные теплообменные аппараты (КТО) [2].

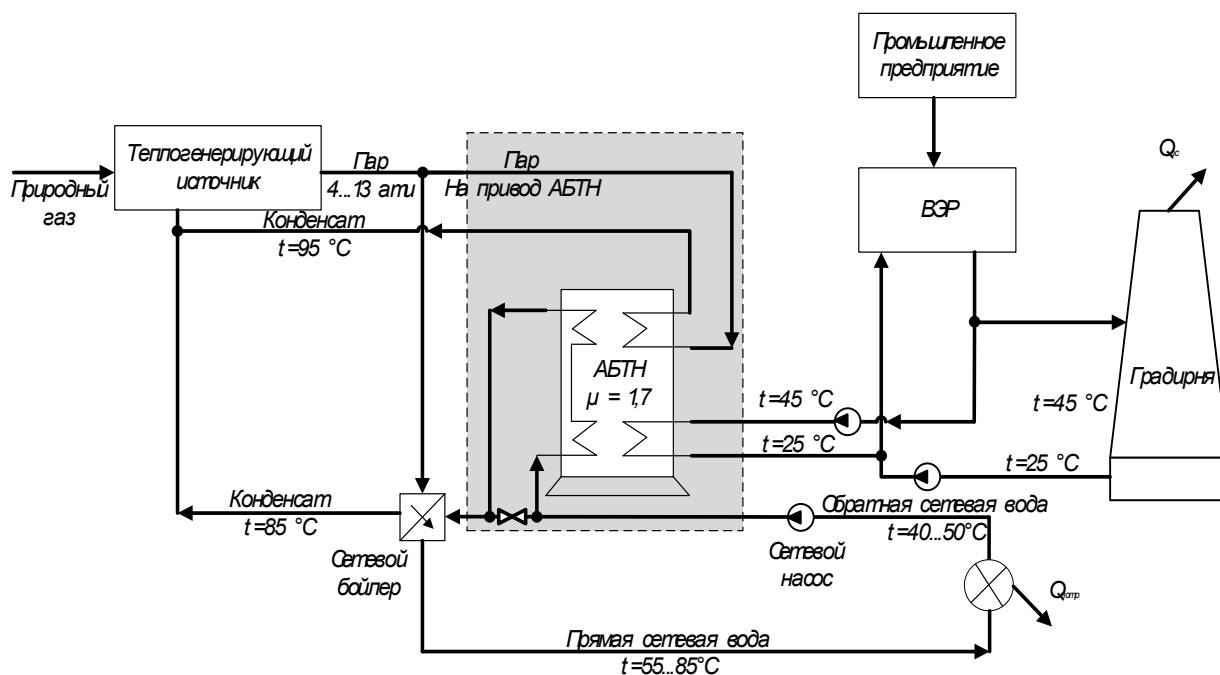


Рисунок 1 – Принципиальная схема включения АБТН на промышленном предприятии

Использование на котельной промышленного предприятия абсорбционного бромисто-литиевого теплового насоса по приведенной ниже схеме позволяет снизить потребление первичного энергоресурса до 40 % при отпуске потребителю того же количества тепловой энергии.

### **Заключение**

Таким образом, использование низкотемпературных тепловых ВЭР позволяет достичь высоких энергетических и экономических показателей и положительно сказывается на экологии планеты, так как может значительно снизить губительное влияние энергетики на природу. По этой и ряду других вышеперечисленных причин использование низкотемпературных вторичных энергетических ресурсов рассматривается как один из наиболее действенных методов предотвращения энергетического и экономического кризиса глобального масштаба [3].

### **Литература**

1. Михалевич, А.А. Энергетическая безопасность Республики Беларусь: компоненты, вызовы угрозы [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: [http://nmnby.eu/pub/0911/energy\\_security.pdf](http://nmnby.eu/pub/0911/energy_security.pdf). – Дата доступа: 26.03.2010.
2. Романюк, В.Н. Абсорбционные тепловые насосы в теплоэнергетических системах промышленных предприятий для снижения энергетических и финансовых затрат / В.Н. Романюк, А.А. Бобич, Д.Б. Муслина и др. // Энергия и Менеджмент. – 2013. - № 2(71). –С. 32 – 37.
3. Использование вторичных энергоресурсов/Электро-2021 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.elektro-expo.ru/](http://www.elektro-expo.ru/). – Дата доступа: 26.02.2021.

УДК 621.355.1

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СБОРКИ  
АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ В ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАБОРАТОРИИ  
SIMULATION OF SERIAL-PARALLEL CONNECTION OF BATTERIES IN  
THE ELECTRONIC LABORATORY**

А.В. Борщевский

Научный руководитель – Ю.В. Бладыко, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

eie@bntu.by

A. Borshchevsky

Supervisor – Y. Bladyko, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

**Аннотация:** В работе рассматривается моделирование процессов заряда-разряда сборок аккумуляторных батарей с учетом их деградации. Приводятся результаты симулирования циклической работы сборок батарей в электронной лаборатории Electronics Workbench. При моделировании учитывалось наличие в сборке одной «дефектной» батареи. Работа такой сборки сравнивалась с работой эталонной сборки. Рассматривалось последовательно-параллельное соединение батарей.

**Abstract:** The paper deals with the modeling of the processes of charge-discharge of battery connections, taking into account their degradation. The results of simulating the cyclic operation of battery connections in the Electronics Workbench electronic laboratory are presented. The simulation took into account the presence of one “defective” battery in the connection. The performance of such battery was compared with the performance of a reference one. A series-parallel connection of batteries was considered.

**Ключевые слова:** аккумулятор, заряд, разряд, емкость, соединение.

**Keywords:** battery, charge, discharge, capacity, connection.

### Введение

В электронной лаборатории Electronics Workbench (EWB) [1], была построена модель ячейки аккумуляторной батареи (АКБ). Программная среда предоставляет виртуальные инструменты: рабочий стол; библиотеку компонентов - аналоговых и цифровых устройств; контрольно-измерительные приборы; набор команд, обеспечивающих выполнение расчетов и выдачу на экран дисплея результатов моделирования в виде таблиц и графиков [2].

На рисунке 1 представлена модель аккумулятора в EWB [3]. Модель аккумулятора в EWB выполнена в виде подцепи ак. Ее основными элементами являются конденсатор  $C$ , сопротивление утечки  $R_{ут}$ , внутреннее сопротивление АКБ  $R_{внут}$ . Для контроля тока АКБ в модель включен преобразователь тока в напряжение *Current-Controlled Voltage Source*  $I*1$  Ohm. Для регистрации изменения заряда АКБ используется блок *Voltage Gain Block* с коэффициентом усиления напряжения, равным емкости конденсатора  $K = C$ .

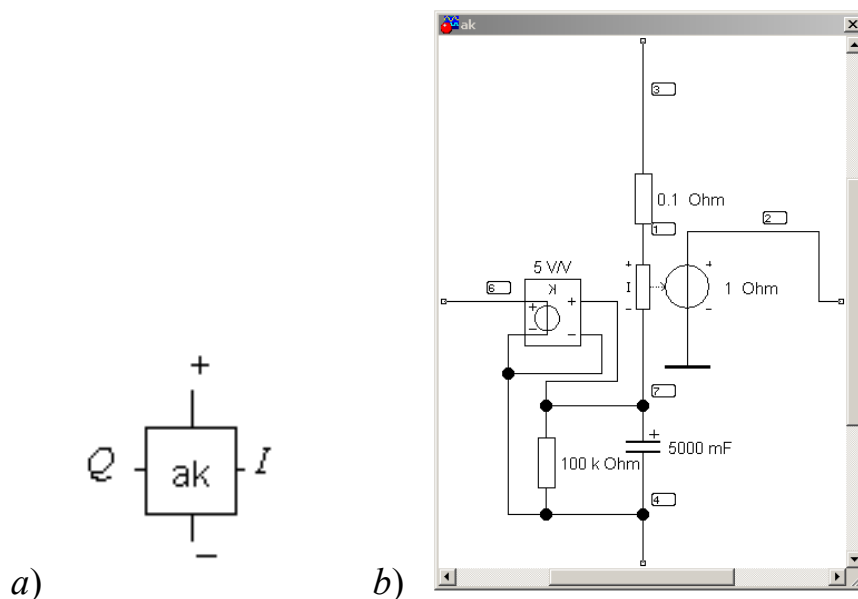


Рисунок 1 – Модель АКБ: *a* – аккумулятор в виде подцепы ак; *b* – подцепь ак: 1 – внутреннее сопротивление, 2 – индикатор тока на основе генератора напряжения, управляемого током, 3 – плюсовая клемма, 4 – минусовая клемма, 6 – индикатор заряда на основе *Voltage Gain Block*

### Основная часть

Рассмотрим поведение сборок 2x2 для случая последовательно-параллельного подключения (рисунок 2).

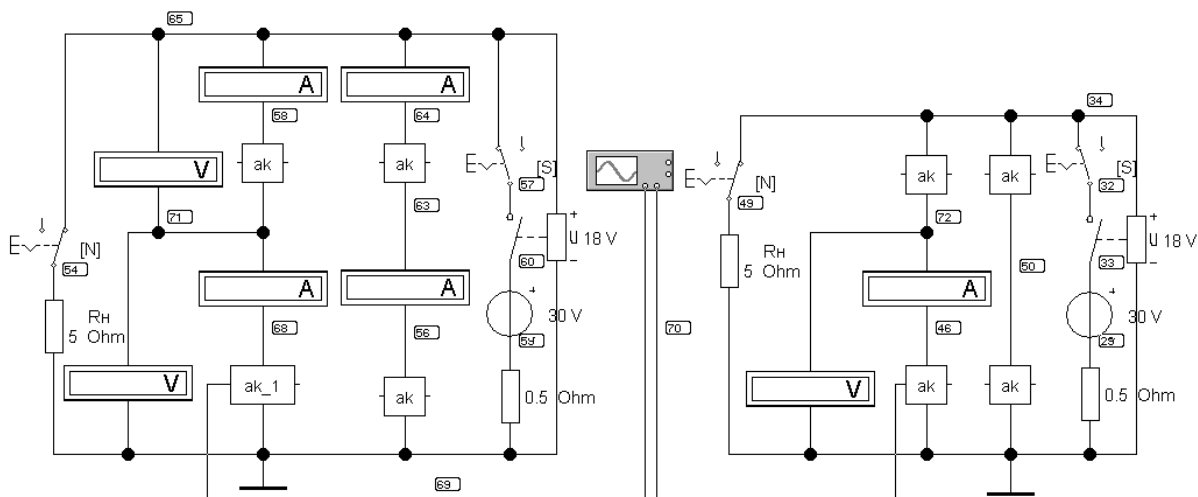


Рисунок 2 – Последовательно-параллельная сборка 4-х АКБ. Слева – исследуемая сборка с «дефектной» АКБ ак\_1, справа – эталонная сборка

Моделирование проводилось в электронной лаборатории Electronics Workbench по схеме, описанной в [3], с использованием критерия подобия. Емкость конденсатора моделирующего АКБ составляла 5 Ф, что соответствует емкости АКБ 60 А·ч напряжением 12 В при замене размерности оси времени с секунд на часы. Одновременно моделировались две сборки: эталонная сборка (на рисунке 2 справа), состоящая из одинаковых АКБ ак с номинальными параметрами

(5 Ф, что соответствует 60 А·ч, внутреннее сопротивление 0,1 Ом); тестируемая сборка (на рис. 2 слева) с одной «дефектной» АКБ ak\_1 с уменьшенной на 10 % емкостью (4,5 Ф, что соответствует 54 А·ч) и увеличенным внутренним сопротивлением 0,15 Ом.

На рисунке 3 представлена временная диаграмма состояния заряда исправного АКБ в эталонной сборке в ходе зарядно-разрядного циклирования и соответствующая диаграмма состояния заряда «дефектной» АКБ в тестируемой сборке. На графике виден тренд деградации емкости «дефектной» АКБ.

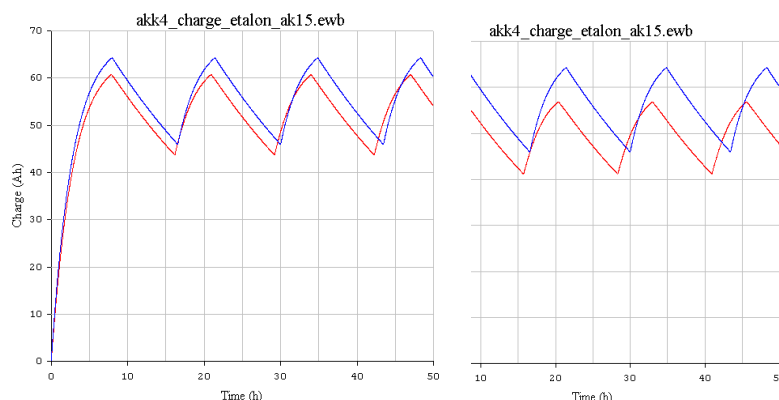


Рисунок 3 – Временная диаграмма состояния заряда исправной АКБ (синяя линия) в эталонной сборке и «дефектной» АКБ (красная линия). Правая часть – с учетом деградации параметров со временем

На рисунке 3 показано изменение заряда (емкости АКБ) в процессе нескольких циклов заряда-разряда с первоначальной деградацией параметров (левая часть) и с прогрессирующей деградацией (правая часть). В ходе циклирования происходит ускоренная деградация «дефектной» АКБ - дальнейшее уменьшение емкости с 4,5 до 4 Ф (до 48 А·ч) и увеличение внутреннего сопротивления с 0,15 до 0,2 Ом. Деградация параметров видна на рис. 3 и будет наблюдаться также на последующих рисунках.

На рисунке 4 представлена временная диаграмма состояния заряда «дефектной» АКБ и расположенной с ней параллельно в сборке нормальной АКБ.

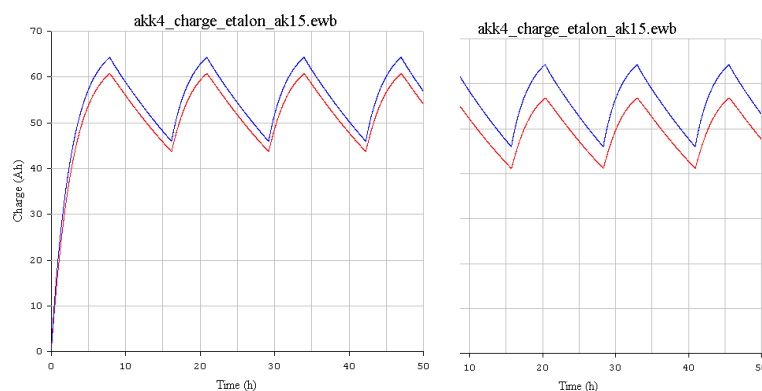


Рисунок 4 – Временная диаграмма состояния заряда исправной АКБ (синяя линия) и расположенной с ней параллельно «дефектной» АКБ (красная линия). Правая часть – с учетом деградации параметров со временем

На рисунке 5 представлена временная диаграмма состояния заряда «дефектной» АКБ и подключенной с ней последовательно в сборке нормальной АКБ.

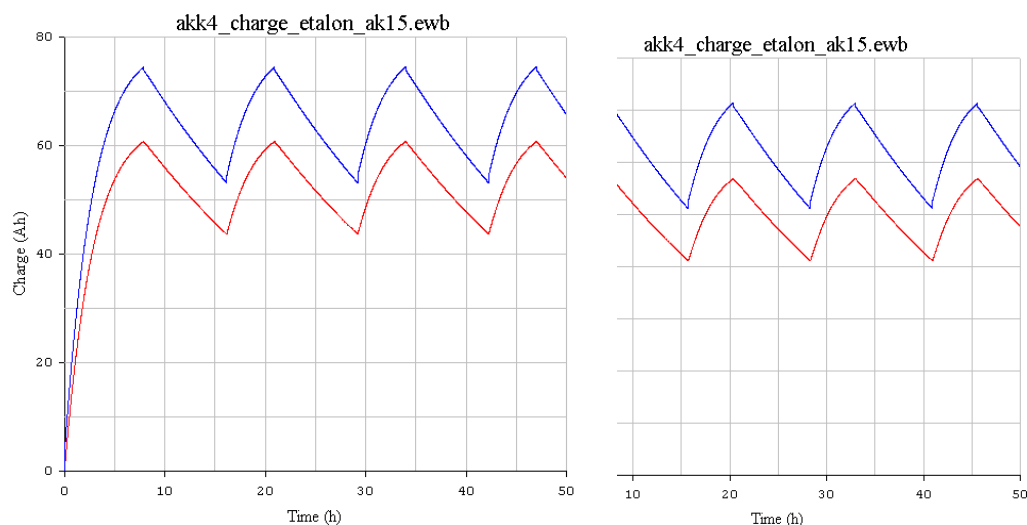


Рисунок 5 – Временная диаграмма состояния заряда исправной АКБ (синяя линия) и подключенной с ней последовательно «дефектной» АКБ (красная линия).  
Правая часть – с учетом деградации параметров со временем

На рисунках 6 – 9 представлены временные диаграммы изменения напряжений и токов «дефектной» АКБ по сравнению с изменениями эталонной и подсоединенных с ней последовательно и параллельно.

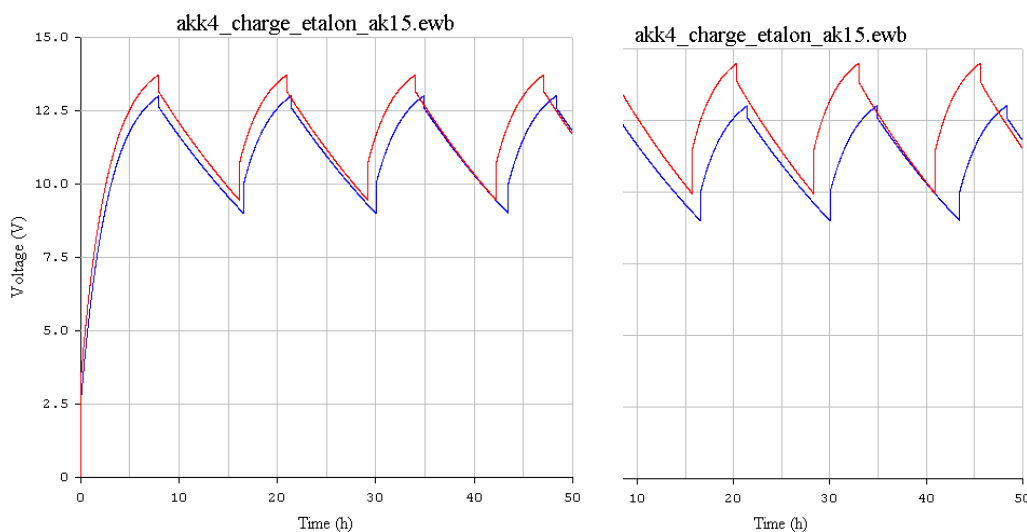


Рисунок 6 – Временная диаграмма напряжения исправной АКБ (синяя линия) в эталонной сборке и «дефектной» АКБ (красная линия).  
Правая часть – с учетом деградации параметров со временем



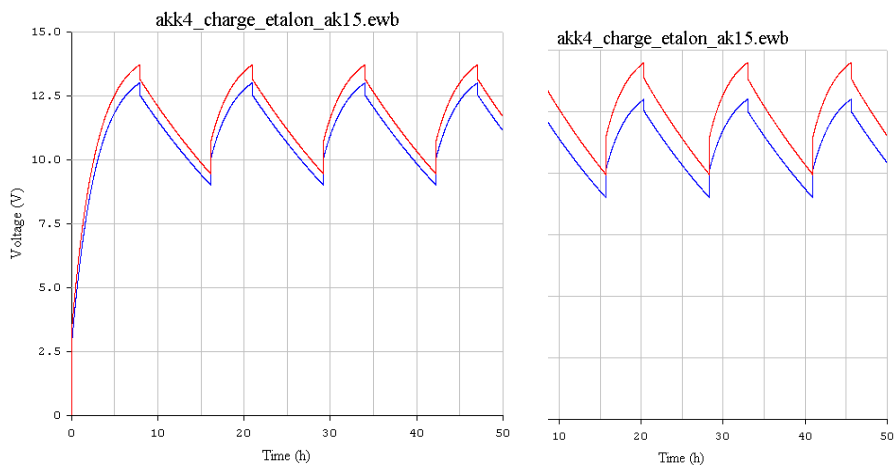


Рисунок 7 – Временная диаграмма напряжения исправной АКБ (синяя линия) и расположенной с ней параллельно «дефектной» АКБ (красная линия).  
Правая часть – с учетом деградации параметров со временем

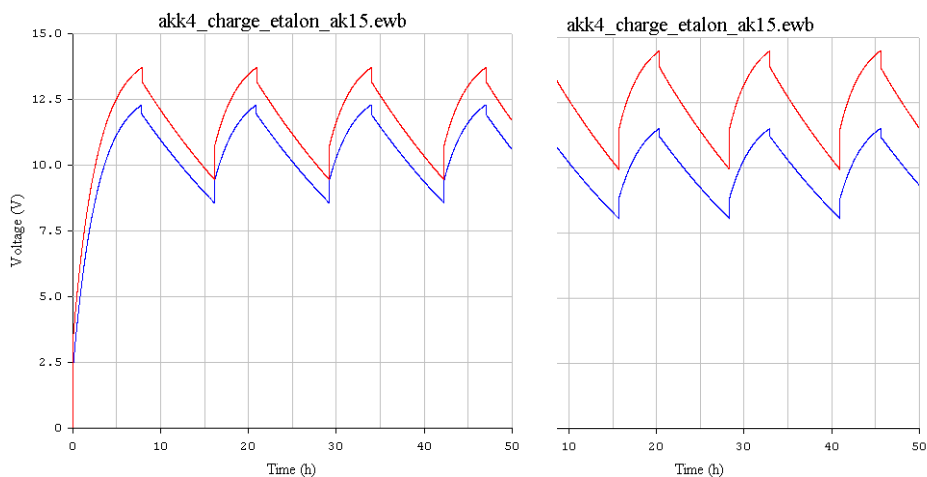


Рисунок 8 – Временная диаграмма напряжения исправной АКБ (синяя линия) и подключенной с ней последовательно «дефектной» АКБ (красная линия).  
Правая часть – с учетом деградации параметров со временем

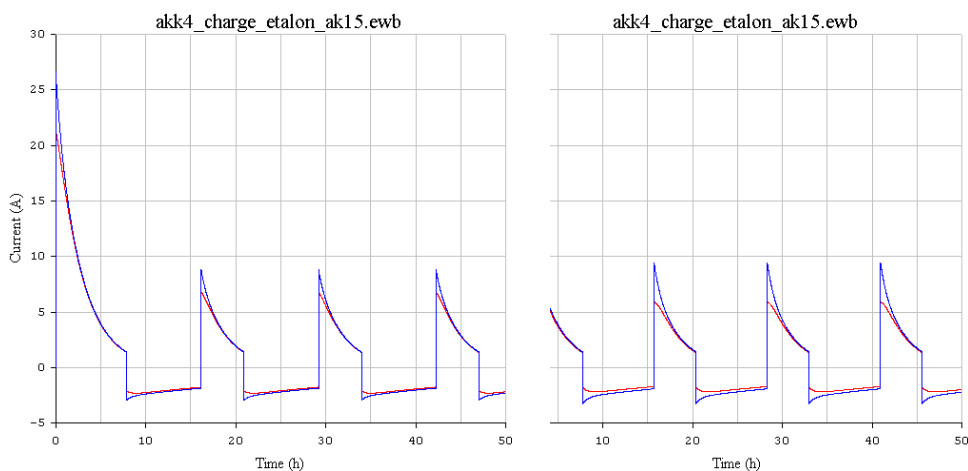


Рисунок 9 – Временная диаграмма тока исправной АКБ (синяя линия) и расположенной с ней параллельно «дефектной» АКБ (красная линия).  
Правая часть – с учетом деградации параметров со временем

Анализ графиков показывает, что наличие «дефектной» АКБ в сборке приводит к перераспределению токов и напряжений. Возрастает напряжение на «дефектной» АКБ, на остальных исправных АКБ напряжение понижается. Большая токовая нагрузка ложится на АКБ, расположенные параллельно дефектной. Параллельные «дефектной» АКБ помогают ей заряжаться, увеличивая свой ток разряда. Увеличиваются потери мощности у деградировавшей батареи.

### **Заключение**

Уменьшение емкости «дефектной» АКБ на 10 % и увеличение сопротивления дефектной АКБ (внутреннее сопротивление выросло с 0,1 до 0,15 Ом) приводит к сокращению времени разряда исследуемой сборки на 3,5 % по сравнению со временем разряда эталонной сборки. При дальнейшей деградации (уменьшение емкости на 20 % от эталонной и увеличение внутреннего сопротивления с 0,15 до 0,2 Ом) время разряда исследуемой сборки уменьшается на 6,9 % по сравнению со временем разряда эталонной сборки. Отличие напряжения по сравнению с напряжением эталонной батареи составляет 4,9 %, при прогрессировании деградации возрастает до 10,5 %. Если сравнивать напряжения «дефектной» АКБ и последовательно включенной, то разница напряжения возрастает при деградации с 10,3 % до 23,4 %. Потери мощности в «дефектной» АКБ возрастают при этом на 20 %.

### **Литература**

1. Карлашук, В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Лабораторный практикум на базе Electronics Workbench и MATLAB. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 800 с.
2. Бладыко, Ю.В. Электроника. Практикум. Мн.: ИВЦ Минфина, 2016. 190 с.
3. Доброго, К.В. Моделирование сборок аккумуляторных батарей в электронной лаборатории / К.В. Доброго, Ю.В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2021. Т. 64, № 1. С. 27-39.

УДК 621.355.1

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СБОРКИ  
АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ В ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАБОРАТОРИИ  
SIMULATION OF PARALLEL-SERIAL CONNECTION OF BATTERIES IN  
THE ELECTRONIC LABORATORY**

А.В. Борщевский

Научный руководитель – Ю.В. Бладыко, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

eie@bntu.by

A. Borshchevsky

Supervisor – Y. Bladyko, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

**Аннотация:** В работе рассматривается моделирование процессов заряда-разряда сборок аккумуляторных батарей с учетом их деградации. Приводятся результаты симулирования циклической работы сборок батарей в электронной лаборатории *Electronics Workbench*. При моделировании учитывалось наличие в сборке одной «дефектной» батареи. Работа такой сборки сравнивалась с работой эталонной сборки. Рассматривалось параллельно-последовательное соединение батарей.

**Abstract:** The paper deals with the modeling of the processes of charge-discharge of battery connections, taking into account their degradation. The results of simulating the cyclic operation of battery connections in the *Electronics Workbench* electronic laboratory are presented. The simulation took into account the presence of one “defective” battery in the connection. The performance of such battery was compared with the performance of a reference one. A parallel-series connection of batteries was considered.

**Ключевые слова:** аккумулятор, заряд, разряд, емкость, соединение.

**Keywords:** battery, charge, discharge, capacity, connection.

**Введение**

В настоящее время вопросы продления срока службы аккумуляторов (АКБ) и их сборок являются актуальными для ряда отраслей. При этом необходимо решать задачи оптимизации схем включения, управления работой больших сборок АКБ с учетом деградации параметров отдельных батарей в зависимости от типа, конструкции, режима заряда-разряда, условий эксплуатации. Компьютерное моделирование процессов заряда-разряда аккумуляторных батарей и их сборок с учетом эффектов деградации, может стать важным инструментом решения этой проблемы [1, 2].

В [3] была показана работоспособность электронной лаборатории *Electronics Workbench* для таких исследований. При использовании критерия подобия имеются перспективы к усложнению схем и анализу больших параллельно-последовательных сборок аккумуляторов.

### Основная часть

На рисунке 1 показана параллельно-последовательная сборка 4-х АКБ.

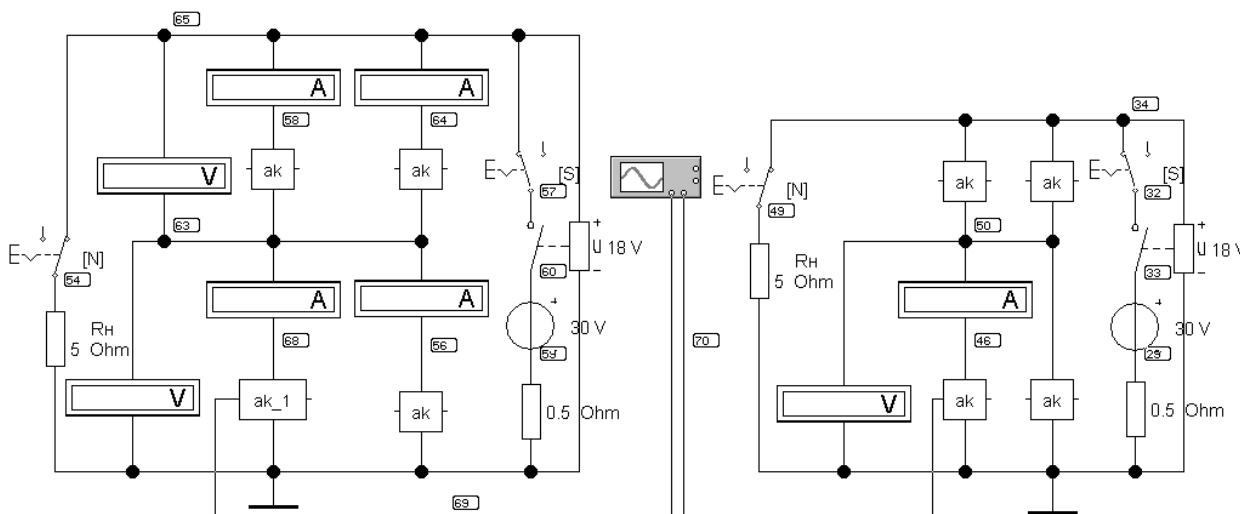


Рисунок 1 – Параллельно-последовательная сборка 4-х АКБ.  
Слева – исследуемая сборка, справа – эталонная сборка

На рисунке 2 представлена временная диаграмма состояния заряда исправного АКБ в эталонной сборке в ходе зарядно-разрядного циклирования и соответствующая диаграмма состояния заряда «дефектной» АКБ в тестируемой сборке. На графике виден тренд деградации емкости «дефектной» АКБ. Показано изменение заряда (емкости АКБ) в процессе нескольких циклов заряда-разряда с первоначальной деградацией параметров (левая часть) и с прогрессирующей деградацией (правая часть). В ходе циклирования происходит дальнейшая деградация «дефектной» АКБ, – уменьшение емкости с 4,5 до 4 Ф (до 48 А·ч) и увеличение внутреннего сопротивления с 0,15 до 0,2 Ом.

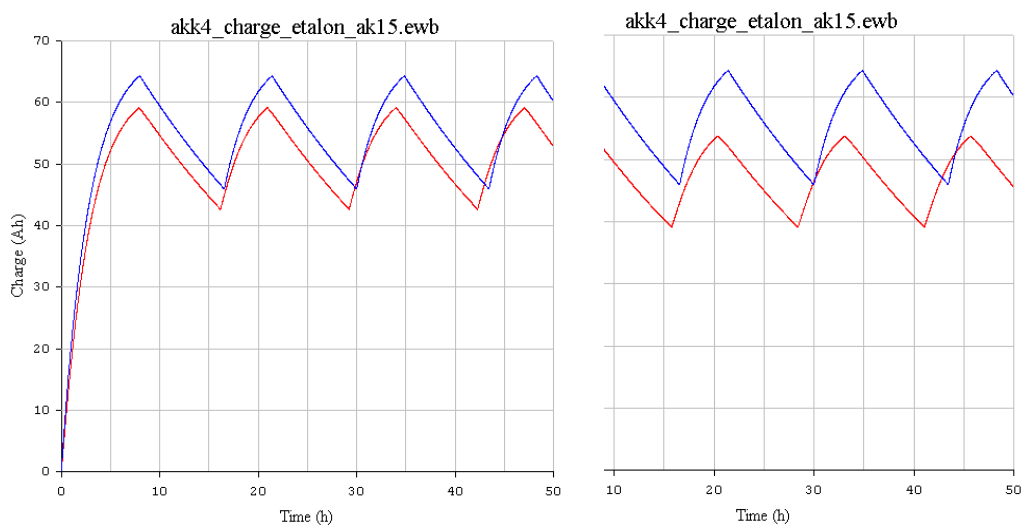


Рисунок 2 – Временная диаграмма состояния заряда исправной АКБ (синяя линия) в эталонной сборке и «дефектной» АКБ (красная линия).  
Правая часть – с учетом деградации параметров со временем

На рисунке 3 представлена временная диаграмма состояния заряда «дефектной» АКБ и включенной с ней параллельно в сборке нормальной АКБ.

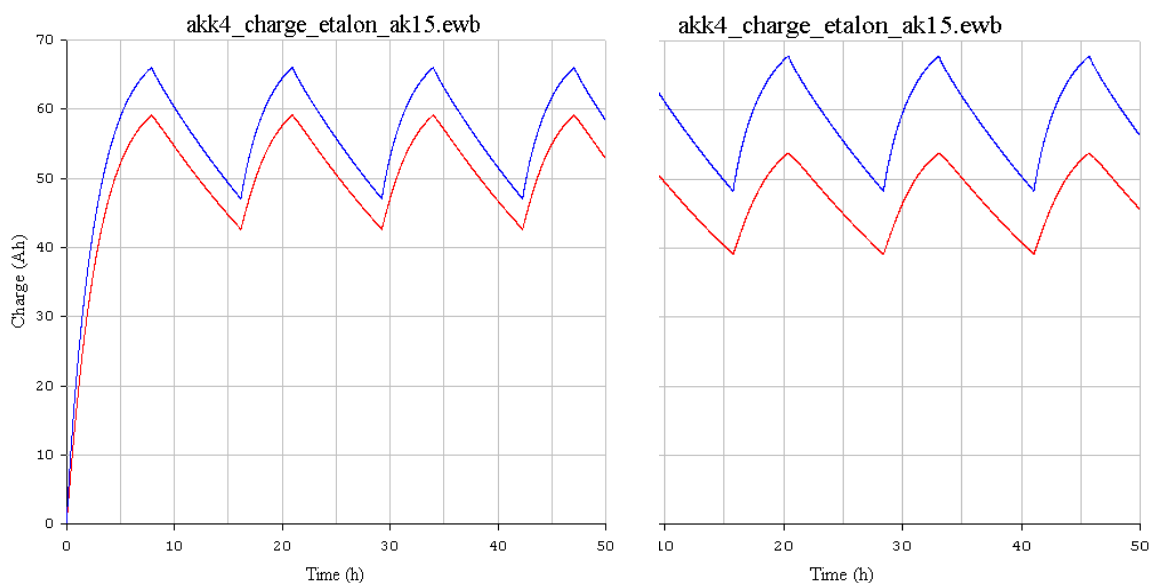


Рисунок 3 – Временная диаграмма состояния заряда исправной АКБ (синяя линия) и включенной с ней параллельно «дефектной» АКБ (красная линия).  
Правая часть – с учетом деградации параметров со временем

На рисунках 4–5 представлены временные диаграммы изменения напряжений «дефектной» АКБ по сравнению с изменениями эталонной и подсоединенных с ней последовательно и параллельно.

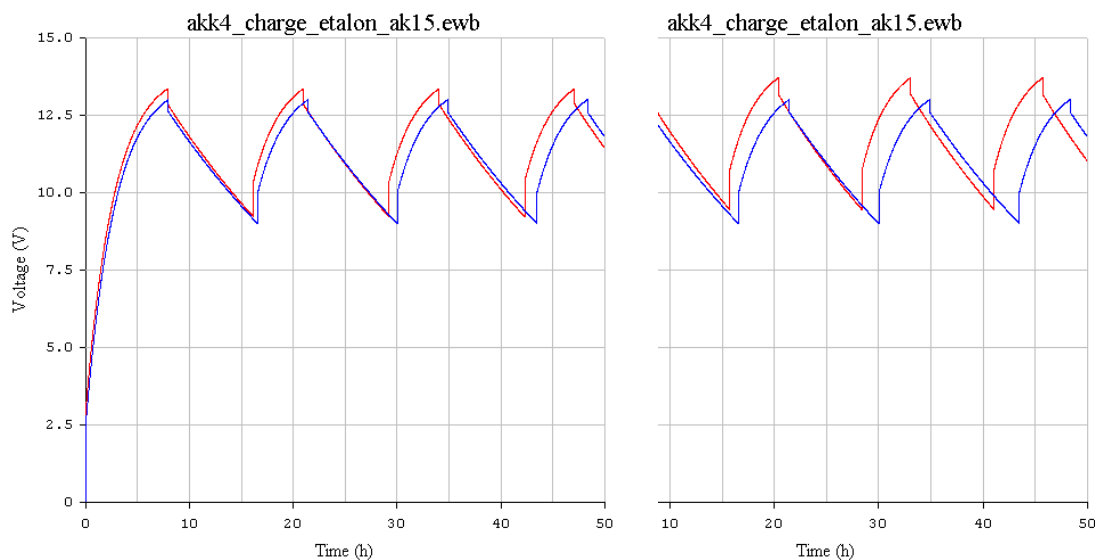


Рисунок 4 – Временная диаграмма напряжения исправной АКБ (синяя линия) в эталонной сборке и «дефектной» АКБ (красная линия).  
Правая часть – с учетом деградации параметров со временем

Уменьшение емкости дефектной АКБ на 10 % и увеличение сопротивления дефектной АКБ (внутреннее сопротивление выросло с 0,1 до 0,15 Ом) привело к сокращению времени разряда исследуемой сборки на 3,2 % по сравнению со

временем разряда эталонной сборки. При дальнейшей деградации (уменьшение емкости на 20 % от эталонной и увеличение внутреннего сопротивления с 0,15 до 0,2 Ом) время разряда исследуемой сборки уменьшается на 6,4 % по сравнению со временем разряда эталонной сборки. Изменение параметров зарядного устройства и нагрузки для разряда АКБ не выявило существенного влияния на указанные процентные соотношения

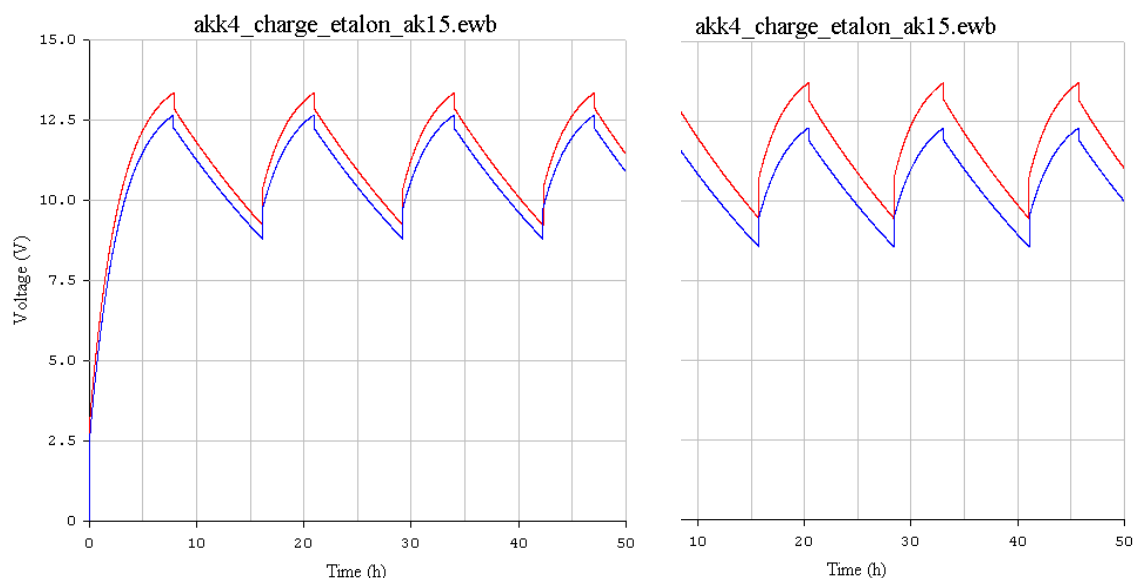


Рисунок 5 – Временная диаграмма напряжения исправной АКБ (синяя линия) и подключенной с ней последовательно «дефектной» АКБ (красная линия). Правая часть – с учетом деградации параметров со временем

Отличие напряжения по сравнению с напряжением эталонной батареи составляет 3,0 %, при прогрессировании деградации возрастает до 6,3 %. Если сравнивать напряжения «дефектной» АКБ и последовательно включенной, то разница напряжения возрастает при деградации с 5,0 % до 10,4 %. Потери мощности в «дефектной» АКБ возрастают при этом на 12,2 %.

### Заключение

При параллельно-последовательном подключении АКБ 2x2 уменьшение емкости дефектной АКБ на 10 % и увеличение сопротивления дефектной АКБ (внутреннее сопротивление выросло на 50 %) привело к сокращению времени разряда исследуемой сборки на 3,2 % по сравнению со временем разряда эталонной сборки. При дальнейшей деградации (уменьшение емкости на 20 % от эталонной и увеличение внутреннего сопротивления с 0,15 до 0,2 Ом) время разряда исследуемой сборки уменьшается на 6,4 % по сравнению со временем разряда эталонной сборки. Отличие напряжения по сравнению с напряжением эталонной батареи составляет 3,0 %, при прогрессировании деградации возрастает до 6,3 %. Если сравнивать напряжения «дефектной» АКБ и последовательно включенной, то разница напряжения возрастает при деградации с 5,0 % до 10,4 %. Потери мощности в «дефектной» АКБ возрастают при этом на 12,2 %.

При сравнении двух способов включения предпочтение отдается параллельно-последовательному подключению АКБ. Для такой сборки АКБ 2x2



практически не изменились временные параметры работы, однако более чем в два раза изменились различия в напряжениях «дефектной» и других АКБ. Потери мощности в «дефектной» АКБ снизились на 16,5 % при выборе параллельно-последовательной сборки.

### Литература

1. Карлащук, В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Лабораторный практикум на базе Electronics Workbench и MATLAB. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 800 с.
2. Бладыко, Ю.В. Электроника. Практикум. Мн.: ИВЦ Минфина, 2016. 190 с.
3. Доброго, К.В. Моделирование сборок аккумуляторных батарей в электронной лаборатории / К.В. Доброго, Ю.В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2021. Т. 64, № 1 . С. 27 – 39.

УДК 621.355.1

**ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНОГО  
СОЕДИНЕНИЯ БАТАРЕЙ В ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ  
SWITCHING SERIES-PARALLEL BATTERY CONNECTION TO  
PARALLEL-SERIAL**

А.В. Борщевский

Научный руководитель – Ю.В. Бладыко, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

eie@bntu.by

A. Borshchevsky

Supervisor – Y. Bladyko, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

**Аннотация:** В работе при помощи компьютерного моделирования анализируется «коллективное» поведение аккумуляторных ячеек в сборках, приводятся результаты такого симулирования, приводятся возможные схемы включения, рассматриваются варианты перекоммутации схем во время работы для продления срока службы сборки. Рассматриваются сборки из 4-х батарей, однако результаты могут быть распространены и на сборки с большим числом элементов.

**Abstract:** In this work, using computer simulation, the "collective" behavior of battery cells in connections is analyzed, the results of such a simulation are given, possible connection schemes are given, options for switching circuits during operation are considered to extend the service life of the connection. Connections of 4 batteries are considered, but the results can be extended to connections with a large number of cells.

**Ключевые слова:** аккумулятор, заряд, разряд, емкость, соединение.

**Keywords:** battery, charge, discharge, capacity, connection.

### **Введение**

Для моделирования сборок аккумуляторных батарей (АКБ) использовалась электронная лаборатория Electronics Workbench (EWB) [1 – 3].

Учитывая преимущества параллельно-последовательного подключения АКБ над последовательно-параллельным, в работе моделируется процесс переключения с одного соединения на другое с целью поиска наилучшего решения для продления срока службы АКБ.

### **Основная часть**

При сохранении всех параметров моделирования и применении метода подобия [3] в схему добавлен ключ для перекоммутирования АКБ. Сборка состоит из 4-х АКБ. Среди исправных АКБ ак имеется одна «дефектная» ак\_1, имеющая емкость на 10 % меньше и внутреннее сопротивление на 50 % больше, чем исправные АКБ. На рисунке 1 показан ключ, замыкающийся через 25 часов после начала включения сборки в цикл «заряд-разряд».

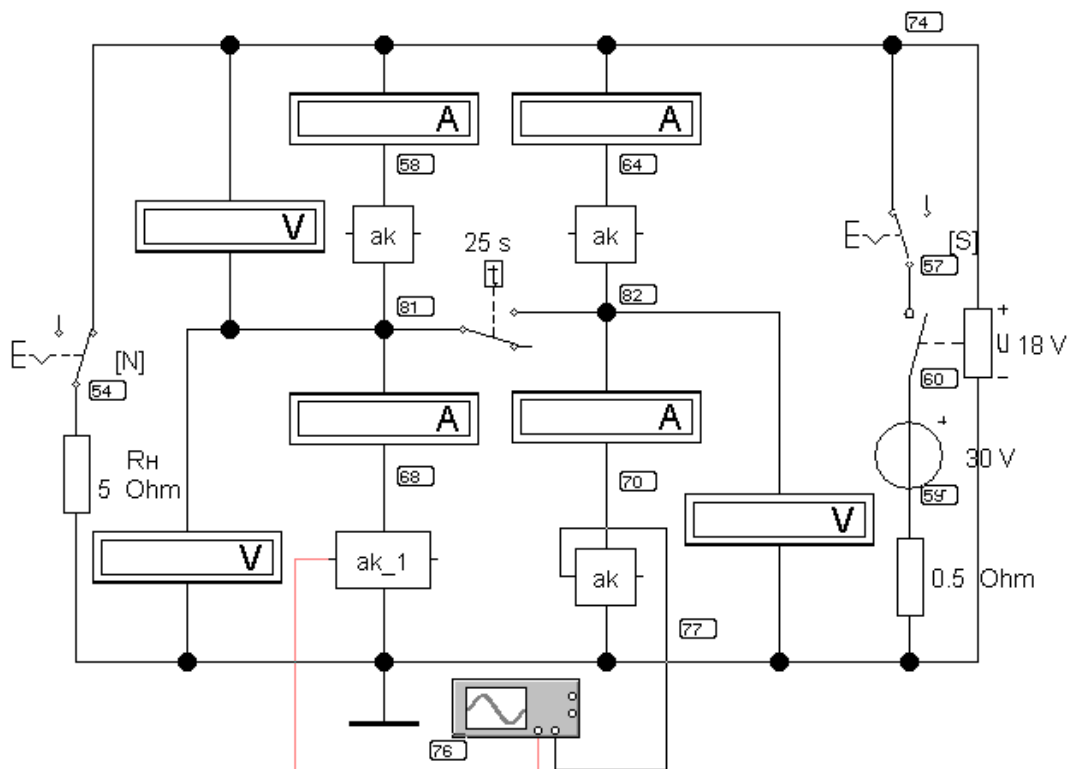


Рисунок 1 – Переключение сборки с последовательно-параллельного соединения в параллельно-последовательное

На рисунке 2 представлена временная диаграмма состояния заряда «дефектной» АКБ при подключении к ней параллельно исправной АКБ в ходе зарядно-разрядного циклирования. Ключ подключает последнюю через 25 часов и отключает через 28 часов.

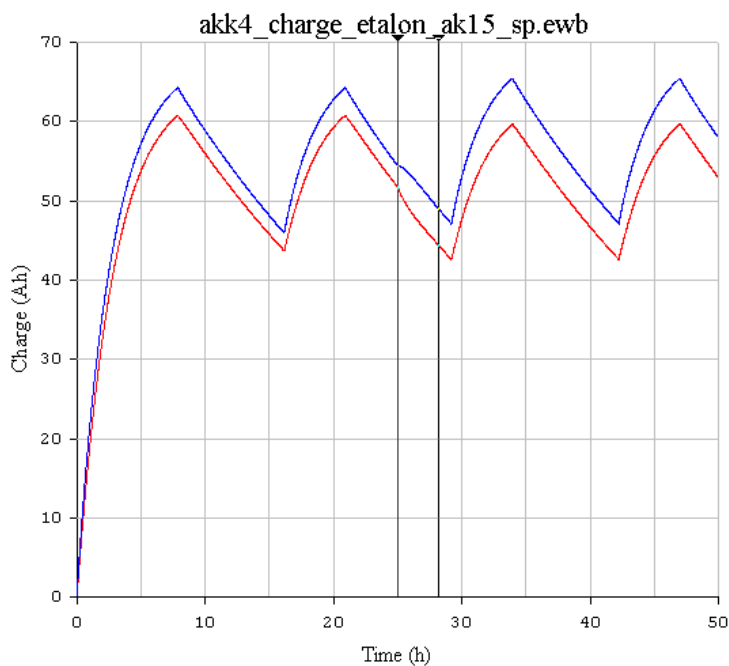


Рисунок 2 – Временная диаграмма состояния заряда исправной АКБ (синяя линия), подключаемой параллельно «дефектной» АКБ (красная линия)

На рисунках 3 и 4 представлены временные диаграммы изменения напряжений и токов «дефектной» АКБ по сравнению с подключаемой ей параллельно.

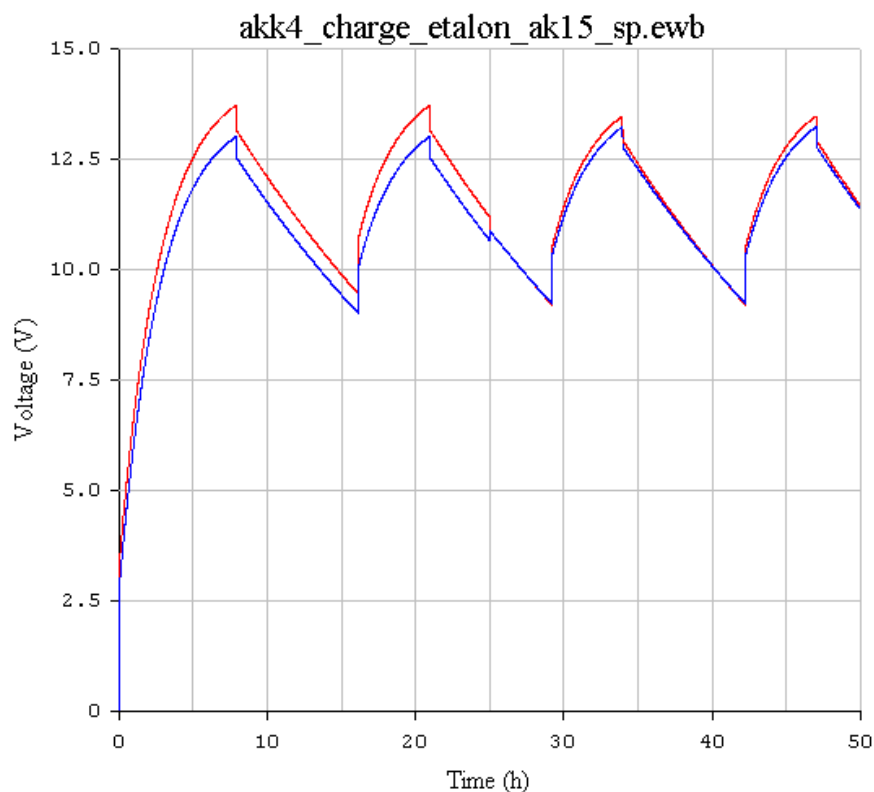


Рисунок 3 – Временная диаграмма напряжения исправной АКБ (синяя линия), подключаемой параллельно «дефектной» АКБ (красная линия)

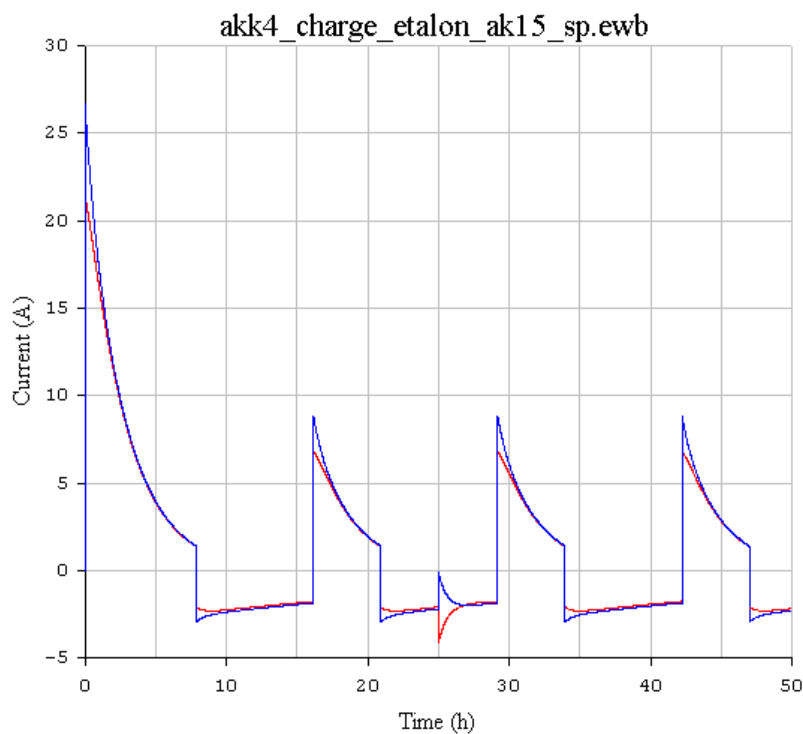


Рисунок 4 – Временная диаграмма тока исправной АКБ (синяя линия), подключаемой параллельно «дефектной» АКБ (красная линия)

Из-за выравнивания напряжений при подключении исправной АКБ происходит перераспределение зарядов и броски токов. Причем, как видно из диаграмм, это не приводит к увеличению емкости «дефектной» АКБ. В расчетах для других временных параметров переключений (менялись моменты его включения-выключения) проявляется такая же тенденция. Дальнейшая деградация параметров АКБ приводит лишь к более резким скачкам напряжения, заряда и тока. Рассмотренные процессы сборки из 4-х батарей могут быть распространены и на сборки с большим числом элементов. В них наблюдаются схожие временные диаграммы.

### **Заключение**

Переключение сборки с последовательно-параллельным соединением в параллельно-последовательное не приводит к компенсации деградации параметров АКБ.

### **Литература**

1. Карлащук, В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Лабораторный практикум на базе Electronics Workbench и MATLAB. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 800 с.
2. Бладыко, Ю.В. Электроника. Практикум. Мн.: ИВЦ Минфина, 2016. 190 с.
3. Доброго, К.В. Моделирование сборок аккумуляторных батарей в электронной лаборатории / К.В. Доброго, Ю.В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2021. Т. 64, № 1. С. 27 – 39.

УДК 621.355.1

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СБОРКИ  
АККУМУЛЯТОРОВ С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПОДПИТКОЙ  
SIMULATION OF PARALLEL-SERIAL BATTERY CONNECTION WITH  
ADDITIONAL FEEDING**

С.В. Лозицкая

Научный руководитель – Ю.В. Бладыко, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

eie@bntu.by

S. Lozitskaya

Supervisor – Y. Bladyko, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

**Аннотация:** Рассматриваются сборки из четырех батарей, одна из которых – «дефектная». Рассматривается возможность дополнительной подпитки энергией «дефектной» батареи, что поддерживает работоспособность всей сборки и продлевает срок службы сборки. Подпитка может быть выполнена подключением параллельно «дефектной» дополнительной батарее или конденсатора, что равносильно замене деградировавшей батареи на новую.

**Abstract:** Connection of four batteries are considered, one of which is “defective”. The possibility of additional feeding of the “defective” battery with energy is being considered, which maintains the operability of the entire connection and prolongs its service life. Make-up can be performed by connecting in parallel a “defective” additional battery or capacitor, which is tantamount to replacing a degraded battery with a new one.

**Ключевые слова:** аккумулятор, заряд, разряд, емкость, соединение.

**Keywords:** battery, charge, discharge, capacity, connection.

### **Введение**

Моделирование сборок аккумуляторных батарей (АКБ) выполнялось в электронной лаборатории Electronics Workbench (EWB) [1 – 3].

За основу взято параллельно-последовательное подключение АКБ. Наличие «дефектной» батареи в сборке требует принятия решения по увеличению срока службы сборки в целом. В работе предлагается включение параллельно «дефектной» АКБ дополнительной подпитки от источника.

### **Основная часть**

Рассмотрим поведение параллельно-последовательной сборки 2x2, состоящей из АКБ ак [3], при подключении подпитки энергией «дефектной» АКБ ак<sub>1</sub> (рисунок 1). Она реализуется подключением дополнительного источника постоянного тока параллельно деградировавшей АКБ.





### **Заключение**

На основании приведенных зависимостей можно сделать вывод, что дополнительная подпитка энергией «дефектной» АКБ поддерживает работоспособность всей сборки. Увеличение энергии подпитки повышает напряжение и заряд АКБ. Подпитка может быть выполнена подключением параллельно «дефектной» дополнительной батареи или конденсатора, что равносильно замене деградировавшей АКБ на новую. Поэтому актуальными остаются поиск «дефектной» АКБ в сборке, например, путем применения индикаторов и электронных схем контроля разряда батарей.

### **Литература**

1. Карлащук, В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Лабораторный практикум на базе Electronics Workbench и MATLAB. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 800 с.
2. Бладыко, Ю.В. Электроника. Практикум. Мн.: ИВЦ Минфина, 2016. 190 с.
3. Доброго, К.В. Моделирование сборок аккумуляторных батарей в электронной лаборатории / К.В. Доброго, Ю.В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2021. Т. 64, № 1. С. 27 – 39.

УДК 621.355.1

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДИКАТОРОВ БАТАРЕЙ АККУМУЛЯТОРОВ  
SIMULATION OF BATTERY INDICATORS**

С.В. Лозицкая

Научный руководитель – Ю.В. Бладыко, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

eie@bntu.by

S. Lozitskaya

Supervisor – Y. Bladyko, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

**Аннотация:** Рассматривается индикатор разряда аккумуляторной батареи, смоделированный в электронной лаборатории Electronics Workbench. Показана удовлетворительная работа для одного аккумулятора и неудовлетворительная для сборки батарей. Предлагается выявлять дефект по показаниям амперметров.

**Abstract:** The battery discharge indicator modeled in the Electronics Workbench is considered. Shows satisfactory performance for a single battery and unsatisfactory for battery connection. It is proposed to identify the defect according to the ammeter readings.

**Ключевые слова:** аккумулятор, заряд, разряд, светодиод, соединение.

**Keywords:** battery, charge, discharge, light-emitting diode, connection.

**Введение**

Моделирование индикаторов заряда-разряда аккумуляторных батарей (АКБ) выполнялось в электронной лаборатории Electronics Workbench (EWB) [1].

Рассматривается простейший индикатор на светодиодах [2]. Для моделирования число светодиодов ограничились тремя. Рассмотренные процессы можно перенести на любое число светодиодов, важно только правильно выбрать порог зажигания, так как свечение возможно при превышении этого значения. Большое число светящихся светодиодов отражает высокое напряжение АКБ, малое число свидетельствует о ее разряде. В работе стоит задача показать работоспособность индикатора для сборок АКБ [3].

**Основная часть**

В качестве примера работы индикатора разряда АКБ рассмотрим схему на трех светодиодах с током зажигания 10 мА и трех резисторах по 1 кОм (рисунок 1). Для исследования работы в схемы добавлены амперметры. Чем больше напряжение АКБ, тем больше будут значения токов индикатора и больше светящихся светодиодов.

Как видно из рисунка 1, при 6 В горит один светодиод, при 12 В – два, при 13 В – три. Однако при применении сборки АКБ происходит влияние параллельных АКБ на работу индикаторов (рисунок 2).

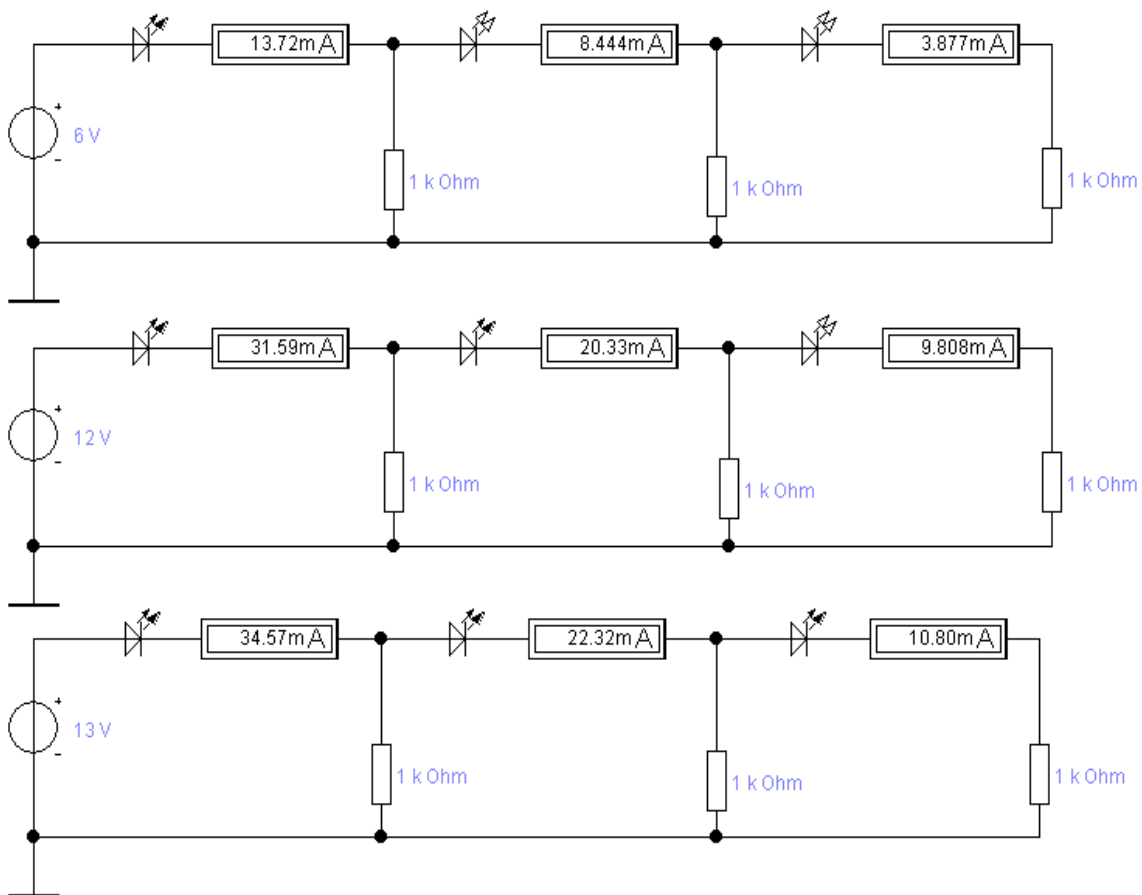


Рисунок 1 – Подключение индикатора к АКБ с напряжениями 6, 12 и 13 В соответственно

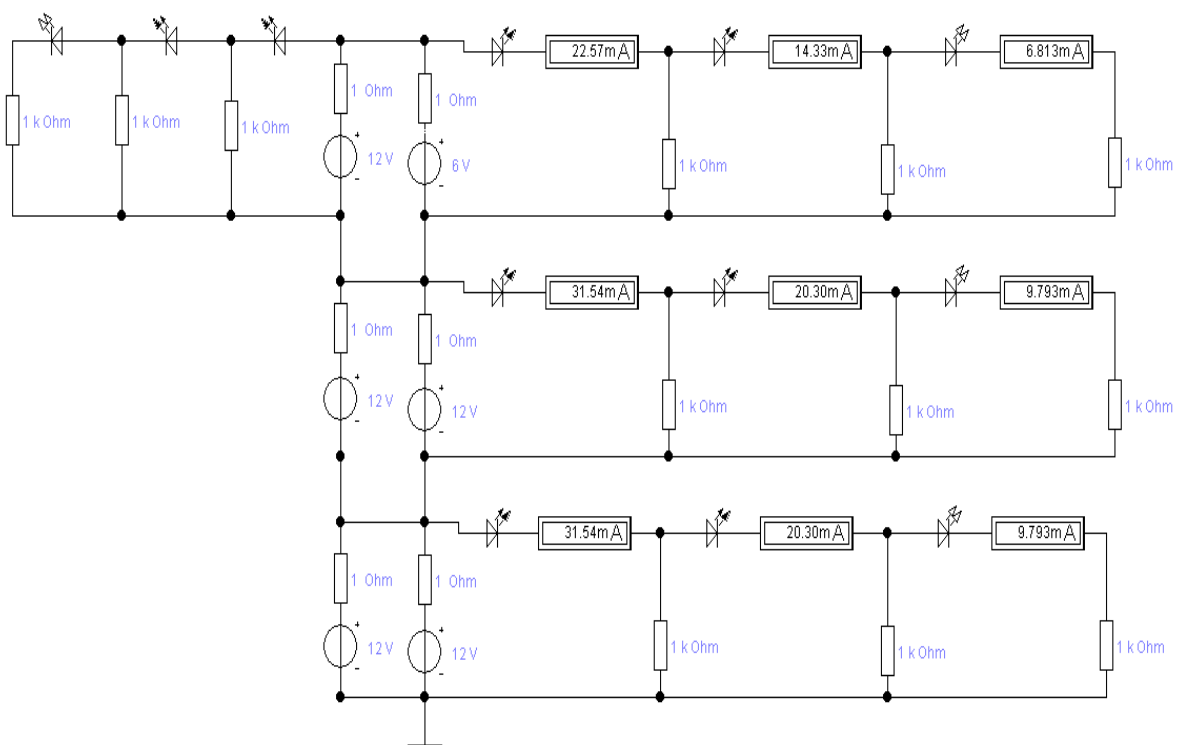


Рисунок 2 – Работа индикаторов в сборке при наличии одной «дефектной» АКБ

Как видно из рисунка 2, при работе в сборке и наличии «дефектной» АКБ индикатор не выявляет этот дефект. Однако локализовать дефект можно, если опираться на показания измерительных приборов. На рисунках 1 и 2 показаны показания амперметров в процессе запуска моделирования в электронной лаборатории. Видно, что при снижении напряжения (ведь индикаторы фиксируют этот параметр) уменьшаются токи.

Однако в сборках при подключении нескольких АКБ индикаторы работают неправильно. Ранее было замечено, что по показаниям амперметров можно судить о наличии дефекта несмотря на то, что сами индикаторы лгут. Обнаружить дефект возможно по уменьшенным токам последних светодиодов (рисунок 2). А для локализации предлагается включать амперметры в перемычки сборок (рисунки 3 и 4). Красным цветом на рисунках выделена «дефектная» АКБ с пониженным до 6 В напряжением. Знак показаний амперметров указывает, какая из АКБ при параллельном подключении – «дефектная». Так, при положительном значении тока «дефектная» АКБ находится справа (рисунок 3), при отрицательном – слева (рисунок 4).

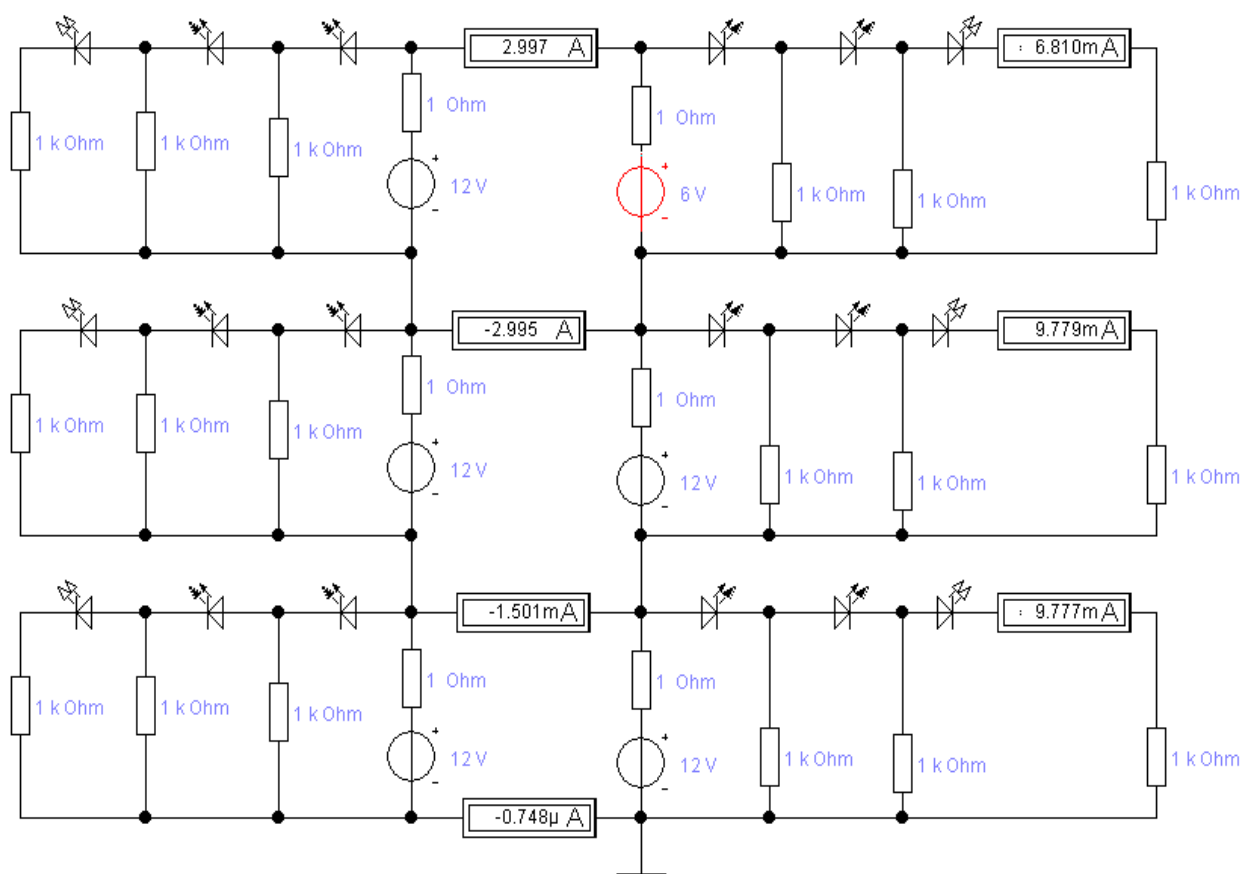


Рисунок 3 – Работа индикаторов в сборке с амперметрами при наличии одной «дефектной» АКБ вверху справа

При сборках АКБ с большим количеством батарей «дефектную» можно обнаружить по наибольшим показаниям ближайших амперметров (рисунки 5 – 8).

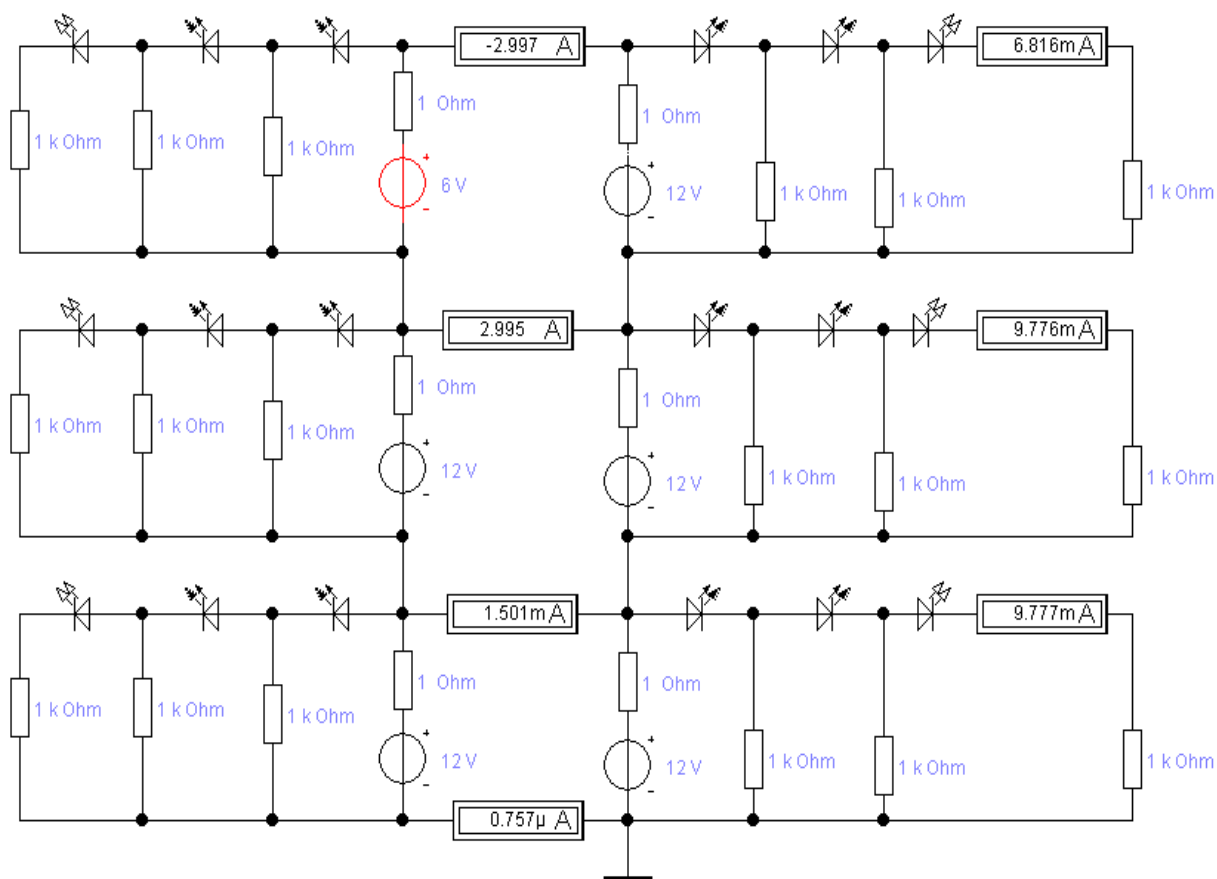


Рисунок 4 – Работа индикаторов в сборке с амперметрами при наличии одной «дефектной» АКБ вверху слева

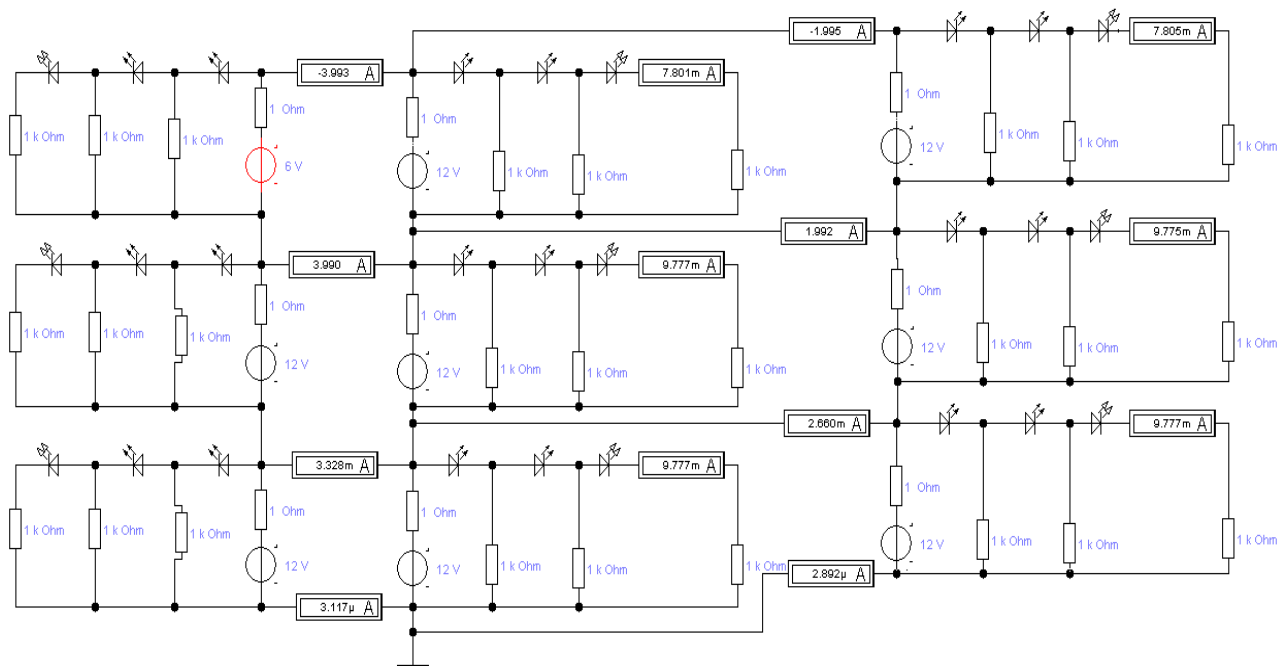


Рисунок 5 – Работа индикаторов в сборке 3x3 АКБ с амперметрами при наличии одной «дефектной» АКБ вверху слева



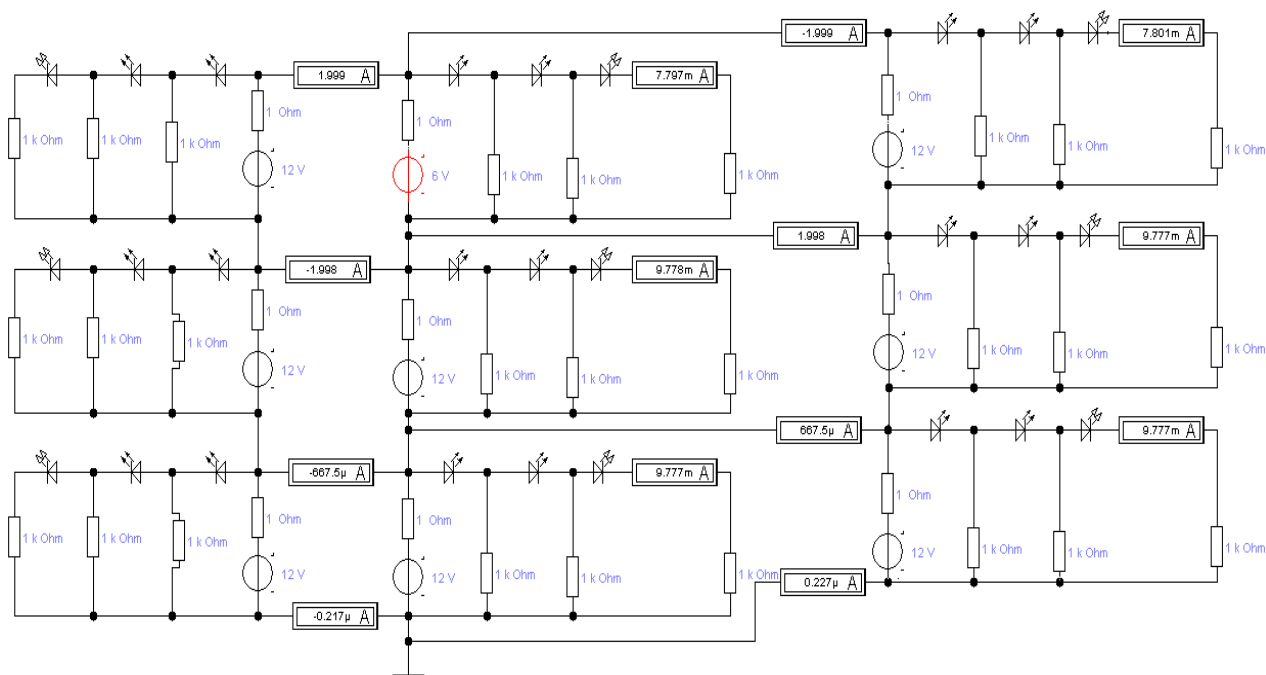


Рисунок 6 – Работа индикаторов в сборке 3x3 АКБ с амперметрами при наличии одной «дефектной» АКБ вверху посередине

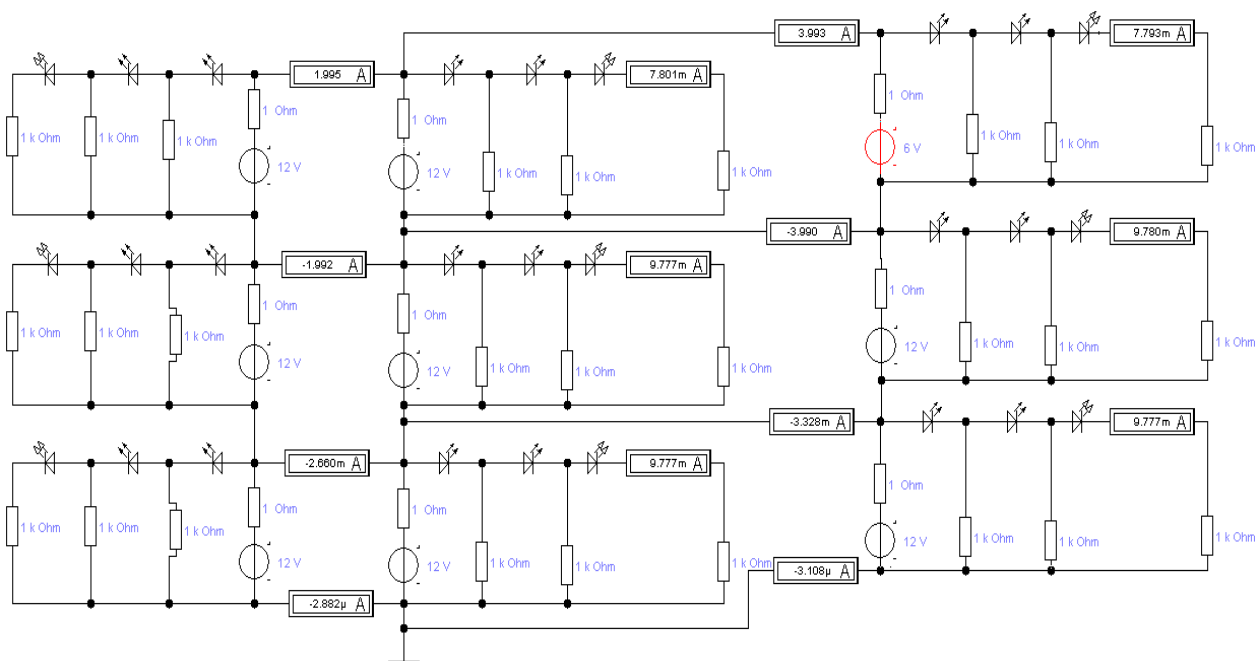


Рисунок 7 – Работа индикаторов в сборке 3x3 АКБ с амперметрами при наличии одной «дефектной» АКБ вверху справа

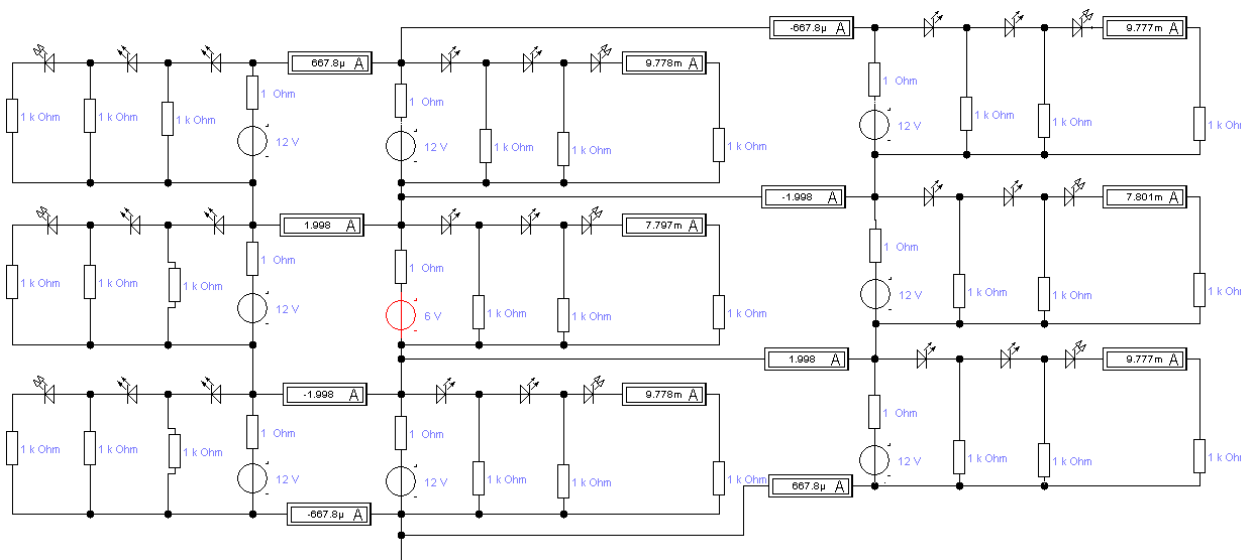


Рисунок 8 – Работа индикаторов в сборке 3x3 АКБ с амперметрами при наличии одной «дефектной» АКБ посередине

### Заключение

Известные схемы индикаторов разряда АКБ хорошо себя зарекомендовали при работе с одной батареей. При работе в сборке и наличии «дефектной» АКБ индикатор не выявляет этот дефект. Подобное влияние наблюдается практически во всех схемах индикаторов. Однако локализовать дефект можно, если использовать показания измерительных приборов. При снижении напряжения (ведь индикаторы фиксируют этот параметр) уменьшаются токи.

### Литература

1. Бладыко, Ю.В. Электроника. Практикум. Мн.: ИВЦ Минфина, 2016. 190 с.
2. Простейший индикатор уровня заряда батареи [Электронный ресурс]. – <https://sdelaysam-svoimirukami.ru/3867-prosteyshiy-indikator-urovnya-zaryada-batarei.html> (дата доступа: 16.04.2021)
3. Доброго, К.В. Моделирование сборок аккумуляторных батарей в электронной лаборатории / К.В. Доброго, Ю.В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2021. Т. 64, № 1. С. 27 – 39.

УДК 621.355.1

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДИКАТОРА ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРА  
SIMULATION OF BATTERY CHARGE INDICATOR**

С.В. Лоцицкая

Научный руководитель – Ю.В. Бладыко, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

eie@bntu.by

S. Lozitskaya

Supervisor – Y. Bladyko, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

**Аннотация:** Рассматривается индикатор заряда аккумуляторной батареи, смоделированный в электронной лаборатории Electronics Workbench. Показана удовлетворительная работа для одного аккумулятора и неудовлетворительная для сборки батарей. Предлагается выявлять дефект по показаниям амперметров.

**Abstract:** The battery charge indicator modeled in the Electronics Workbench is considered. Shows satisfactory performance for a single battery and unsatisfactory for battery connection. It is proposed to identify the defect according to the ammeter readings.

**Ключевые слова:** аккумулятор, заряд, разряд, светодиод, соединение.

**Keywords:** battery, charge, discharge, light-emitting diode, connection.

**Введение**

Моделирование индикаторов заряда-разряда аккумуляторных батарей (АКБ) выполнялось в электронной лаборатории Electronics Workbench (EWB) [1].

Рассматривается простейший индикатор на светодиоде и одном транзисторе. Светящийся светодиод свидетельствует о достаточном заряде аккумулятора (АКБ), негорящий - о ее разряде. В работе стоит задача показать работоспособность индикатора для сборок АКБ [2].

**Основная часть**

В качестве примера работы индикатора разряда АКБ рассмотрим схему на одном светодиоде с током зажигания 10 мА и одним транзисторе (рисунок 1). Для исследования работы в схемы добавлены амперметры. Чем больше напряжение АКБ, тем больше будут значения токов индикатора и светодиод будет светиться.

Как видно из рисунка 1, при напряжении АКБ 12 В горит светодиод, при 11 В – нет. Однако при применении сборки АКБ происходит влияние параллельных АКБ на работу индикаторов (рисунок 2).

Как видно из рисунка 2, при работе в сборке и наличии «дефектной» АКБ индикатор не выявляет этот дефект. Однако локализовать дефект можно, если опираться на показания измерительных приборов. На рисунках 1 и 2 показаны показания амперметров в процессе запуска моделирования в электронной лаборатории. Видно, что при снижении напряжения (ведь индикаторы фиксируют этот параметр) уменьшаются токи.

ИНДИКАТОР ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРА

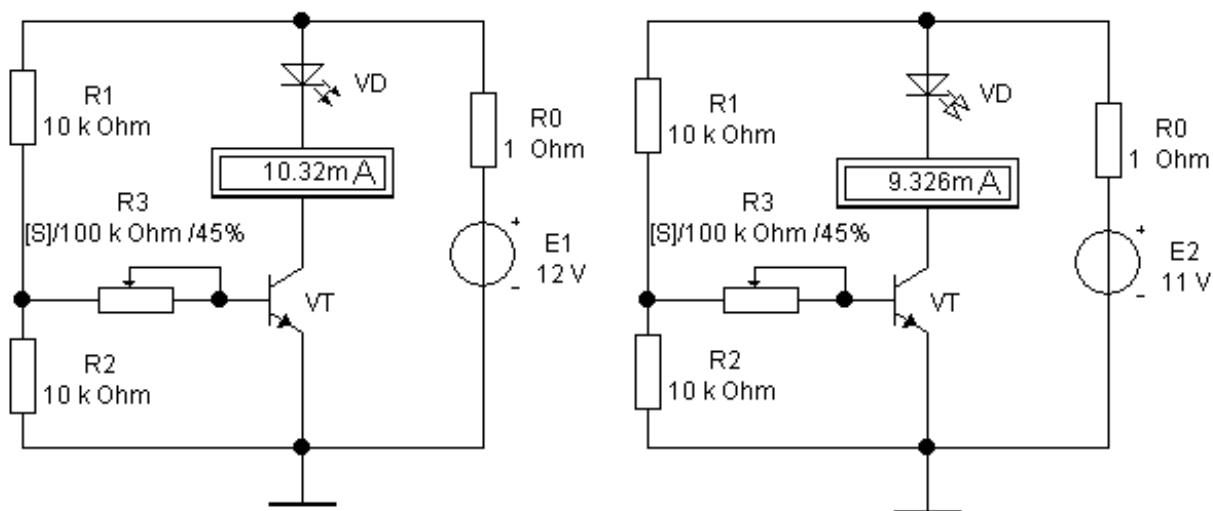


Рисунок 1 – Подключение индикатора к АКБ с напряжениями 12 и 11 В соответственно

ИНДИКАТОР ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРА

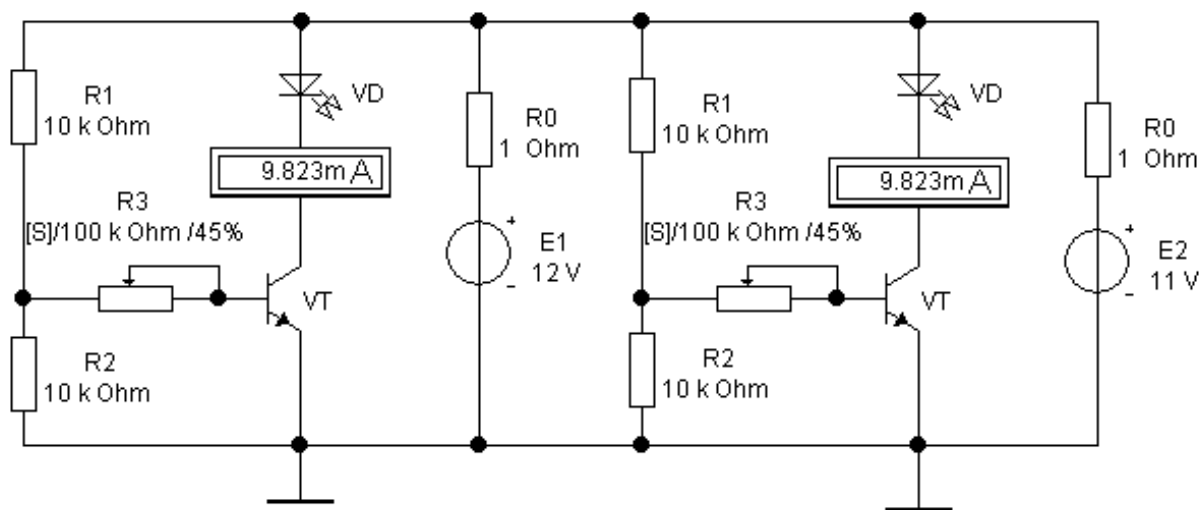


Рисунок 2 – Работа индикаторов в сборке при наличии одной «дефектной» АКБ

Однако в сборках при подключении нескольких АКБ индикаторы работают неправильно. Ранее было замечено, что по показаниям амперметров можно судить о наличии дефекта несмотря на то, что сами индикаторы лгут. Обнаружить дефект возможно по амперметрам в перемычках сборок (рисунок 3). Для обнаружения «дефектной» АКБ можно включить встречно-параллельные соединения светодиодов (рисунок 4), которые будут указывать на дефект. На рисунке 4 светодиод «светит» на «дефектную» (справа) АКБ с пониженным напряжением. Правда, наличие светодиодов нарушает омическое параллельное соединение АКБ.

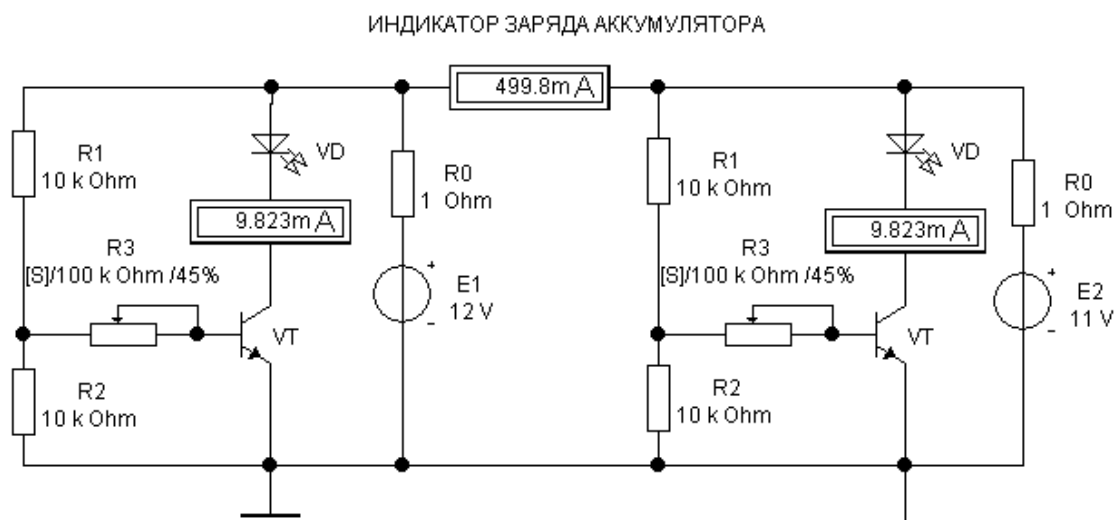


Рисунок 3 – Работа индикаторов в сборке с амперметрами при наличии одной «дефектной» АКБ

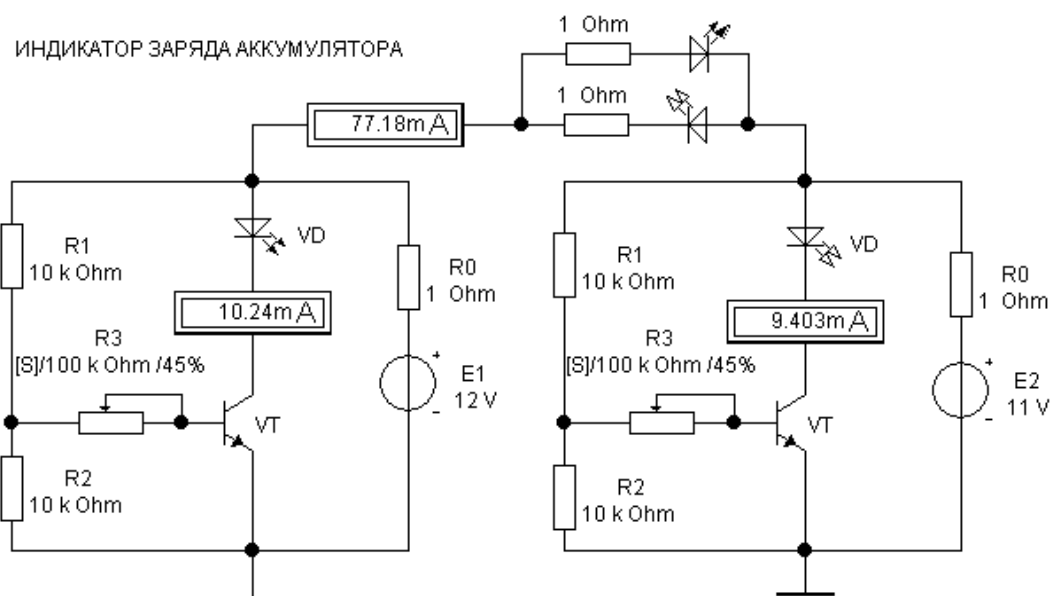


Рисунок 4 – Работа индикаторов в сборке со светодиодами в перемычке

### Заключение

Известные схемы индикаторов разряда АКБ хорошо себя зарекомендовали при работе с одной батареей. При работе в сборке и наличии «дефектной» АКБ индикатор не выявляет этот дефект. Подобное влияние наблюдается практически во всех схемах индикаторов. Не исключением является и рассмотренный индикатор на светодиоде и транзисторе. Однако локализовать дефект можно, если использовать показания измерительных приборов.

### Литература

1. Бладыко, Ю.В. Электроника. Практикум. Мн.: ИВЦ Минфина, 2016. 190 с.
2. Доброго, К.В. Моделирование сборок аккумуляторных батарей в электронной лаборатории / К.В. Доброго, Ю.В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2021. Т. 64, № 1 . С. 27 – 39.

УДК 338.314

ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА ПРИБЫЛИ И РЕНТАБЕЛЬНОСТИ  
НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ  
FEATURES OF THE ANALYSIS OF PROFIT AND PROFITABILITY AT  
ENERGY ENTERPRISES

В.В. Агафонова, И.Р. Шорохов

Научный руководитель – Н.А. Юдина, к.х.н., доцент  
Казанский государственный энергетический университет,  
г. Казань, Республика Татарстан  
agafonovavika92@gmail.com

V.V. Agafonova, I.R. Shorokhov

Scientific supervisor – N.A. Yudina, Associate Professor  
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Republic of Tatarstan

**Аннотация:** Прибыль является обобщающим показателем финансово-хозяйственной деятельности любого предприятия, в том числе и энергетического. Исходя из этого аспекта, выделяется ряд особенностей анализа прибыли и рентабельности, связанных, прежде всего со спецификой деятельности предприятий топливно-энергетического комплекса. Ввиду наличия данных отличительных черт, на практике применяются инновационные методики максимизации прибыли.

**Abstract:** Profit is a generalizing indicator of the financial and economic activity of any enterprise, including energy. Based on this aspect, a number of features of the analysis of profit and profitability are identified, primarily related to the specifics of the activities of enterprises of the fuel and energy complex. Due to the presence of these distinctive features, innovative methods of profit maximization are used in practice.

**Ключевые слова:** Анализ, прибыль, рентабельность, энергетическая сфера, себестоимость, продукция.

**Keywords:** Analysis, profit, profitability, energy sector, cost price, products.

### Введение

В условиях современной экономической действительности особое внимание уделяется не только максимизации финансового результата деятельности хозяйствующих субъектов, но и самим методикам его анализа. Во многом деятельность энергетических предприятий направлена на решение социально значимых задач, а также на формирование чистой прибыли, что является основополагающей целью каждого экономического субъекта, функционирующего на рынке товаров и услуг. Данный факт обусловлен необходимостью полноценного ведения производственного процесса, обеспечения его платежеспособности и финансовой устойчивости.

Прибыль является абсолютным показателем хозяйственной деятельности предприятий, охватывающим как процесс производства готового продукта, так и его реализацию, а также является источником средств для удовлетворения потребностей хозяйствующего субъекта, отрасли и общества в целом.



Финансовый результат деятельности, выраженный в виде чистой прибыли или убытка складывается из выручки от реализации продукции (работ, услуг), основных средств и иного имущества предприятия и доходов от внереализационных операций, уменьшенных на сумму расходов по этим операциям.

Рентабельность, в свою очередь, является относительным показателем экономической результативности деятельности предприятия. Рентабельность предприятия наиболее широко и многоаспектно отражает степень использования материальных, трудовых, денежных и иных ресурсов хозяйствующего субъекта.

### **Основная часть**

Основополагающей целью деятельности любого хозяйствующего субъекта в мировой практике является максимизация финансового результата, выраженного в виде прибыли. Прибыль является обобщающим показателем всей деятельности предприятий рыночной экономики, в том числе и энергетических. Топливо-энергетический комплекс охватывает широкий спектр предприятий, базирующихся на различных вариантах выработки энергии. Исходя из этого, становится очевидной необходимость учета этой специфики при расчете и анализе как прибыли, так и рентабельности. Ввиду этих обстоятельств, происходит модификация основных схем подсчета и анализа показателей финансово-хозяйственной деятельности, а также формируются и вводятся инновационные методики [1, с. 191].

Существуют традиционные способы увеличения прибыльности энергетических предприятий, такие как повышение эффективности используемого оборудования, обязательно поддерживаемого в хорошем техническом состоянии, так и снижение себестоимости, основные пути к которому можно найти при детальном анализе технико-экономических факторов. Опираясь на практику российских энергетических предприятий, главным источником снижения себестоимости, а также повышения эффективности производства является снижение удельных расходов топлива на единицу энергии.

Стоит отметить, что в распоряжении субъектов хозяйствования остается не вся балансовая прибыль, а лишь ее часть, выраженная в виде чистой прибыли, остающейся после вычета из нее налогов и обязательных платежей  $H$ , как указано в формуле 1.

$$P_{ч} = P_{б} - H. \quad (1)$$

Отдельного внимания заслуживает то, что в настоящее время часть налогов группируется в одну статью затрат в процессе включения их в себестоимость. Часть социальных отчислений учитывается в издержках по заработной плате, а наибольшая часть остатка выплачивается непосредственно из прибыли предприятия.

Переходя к результативности функционирования предприятия, невозможно обойти стороной такой важный показатель, как рентабельность.

Показатель рентабельности производственных фондов выражается отношением прибыли к стоимости оборотные средства и показывает, сколько прибыли дает каждый рубль, вложенный в оборотные средства.

В зависимости от вида прибыли рентабельность, может быть балансовой, как указано в формуле 2, и расчетной, как указано в формуле 3.

$$R_{\text{б}} = \frac{\text{П}_{\text{б}}}{K_{\text{нр.ф}}} = \frac{\text{П}_{\text{б}}}{K_{\text{ср.г}} + S_{\text{обор}}}, \quad (2)$$

где  $K_{\text{ср.г}}$  – среднегодовая стоимость основных производственных средств;  
 $\text{П}_{\text{б}}$  – балансовая прибыль;  
 $S_{\text{обор}}$  – среднегодовая стоимость нормируемых оборотных средств;  
 $K_{\text{нр.ф}}$  – стоимость производственных фондов.

$$R_{\text{р}} = \frac{\text{П}_{\text{ч}}}{K_{\text{нр.ф}}} = \frac{\text{П}_{\text{б}} - \text{Н}}{K_{\text{нр.ф}}}, \quad (3)$$

где  $\text{П}_{\text{ч}}$  – чистая прибыль;  
 $\text{Н}$  – налоги.

Для проведения более детального и полного анализа рентабельности применяются следующие группы показателей:

- рентабельность продаж, показывающая долю прибыли, которая получена с каждого рубля реализованной продукции;
- рентабельность активов, которая отражает степень доходности используемых активов предприятия и определяется как отношение прибыли предприятия к средней величине активов субъекта хозяйствования;
- рентабельность капитала, которая отражает степень эффективности использования собственного капитала предприятия, а также косвенно характеризует доходность инвестиций акционеров.

Однако анализ прибыли и рентабельности на этом не заканчивается. После обработки всех собранных данных необходимо разработать стратегию по максимизации прибыли и увеличению результативности энергетического предприятия. Добиться этого можно разными способами, среди которых [2, с. 72]:

- повышение продажной цены. Энергетические компании, безусловно, можно назвать монополистами в своей деятельности, что позволяет поднимать тарифы на свою продукцию в тех ограниченных пределах, которые выделяет государство. Стоит отметить, что даже совершенно несущественное повышение цены сбыта готовой продукции способно привести к огромному скачку выручки;
- снижение себестоимости продукции. Это может достигаться путем повышения эффективности деятельности, закупкой нового более совершенного оборудования, реконструкцией и модернизацией старого оборудования, совершенствованием и оптимизацией организации труда на предприятиях энергетической отрасли, использованием более эффективных ресурсов для выработки энергии;
- увеличение объемов производства. Специфика отрасли диктует особые правила реализации продукции, среди которых и то, что увеличение объемов производства должно непременно сопровождаться ростом рынков сбыта, что является достаточно трудоемким и затратным процессом, способным принести прибыль лишь в дальнейшей перспективе.

Приведенные особенности, заключенные в способах максимизации прибыли и расчета рентабельности, формируют инновационные методики и являются самыми весомыми при анализе прибыли и рентабельности энергетического предприятия.

### **Заключение**

Обобщая все вышесказанное, главной целью деятельности любого хозяйствующего субъекта является получение и максимизация финансового результата, выраженного в виде прибыли. Она характеризует всю деятельность предприятий рыночной экономики, в том числе и энергетических. Изучение прибыли является достаточно сложным, незаменимым и значимым процессом, что обуславливает проведение анализа финансового результата, на основе которого строится дальнейшая оценка результативности функционирования при помощи показателей рентабельности. Анализ не заканчивается на этом, а лишь дает основания для оценки прошлого предприятия и планирования его будущей деятельности. Так в ходе обработки всех собранных данных становится возможна разработка стратегии по максимизации прибыли и увеличению результативности энергетического предприятия. Добиться этих целей можно разными способами, которые формируют инновационные методики и являются наиболее значимыми при анализе прибыли и рентабельности энергетических предприятий.

### **Литература**

1. Куприн А.А. и др. Экономика: учебное пособие / А.В. Буга, И.И. Грозаву, Т.В. Данилова, Л.В. Дорофеева, В.С. Кудряшов, А.А. Куприн, А.Д. Шматко; под ред. А.А. Куприна; – СПб.: Астерион, 2018. – 456 с.

2. Анализ производственно-хозяйственной деятельности предприятия: учеб.-метод. пособие / О.Г. Быченко ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2017 – 199 с.

УДК 658

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЛОГИСТИКА: МИРОВОЙ ОПЫТ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА  
ECOLOGICAL LOGISTICS: WORLD EXPERIENCE OF  
ELECTROTRANSPORT USING**

Е.К. Башаркевич, А.Д. Максимчук

Научный руководитель – Е.П. Корсак, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

timaliza2@yandex.ru

E.K. Basharkevich, A.D. Maksimchuk

Supervisor – E.P. Korsak, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** В данной работе рассматриваются проблемы загрязнения окружающей среды, вызванные перегрузкой транспортных потоков и увеличения количества выбросов выхлопных газов. Осуществляется поиск инновационного решения, которое смогло бы решить экологические проблемы с помощью внедрения новых технологий в области автомобильной логистики, анализируется мировой опыт решения этой проблемы, а также оценивается перспектива внедрения электрических грузовиков.

**Abstract:** In this abstract are viewed such problems as pollution of the environment, which was caused by overloading of transport traffic and increasing of exhaust emissions. There is a search for an innovative decision, which could solve environmental problems using the implementation of new technologies in the area of automobile logistics. World experience of solving that problem is analysed and the perspective of implementation of ecological trucks is evaluated.

**Ключевые слова:** экологическая логистика, электрогрузовик, экология, электрофицированная дорога, грузоперевозки.

**Keywords:** ecological logistics, electric truck, ecology, electrified road, cargo transportation.

### **Введение**

На современном этапе развития общества мир невозможно представить без транспортных коммуникаций. Управление, контроль планирование и регулирование транспортных потоков, как на национальном, так и на международном уровне является неотъемлемой частью развития логистики, учитывая все специфические особенности и условия функционирования данного сектора. К 2050 году прогнозируется рост объема грузоперевозок в 2 раза. Если принять тот факт, что мир так и продолжит работать на дизельном топливе, то можно с уверенностью сделать вывод, что это явно не предвещает ничего хорошего для экологии. В последнее время вред, нанесенный человеком окружающей среде в ходе производственной и хозяйственной деятельности, начинает оборачиваться против него самого: по статистике всемирной организации здравоохранения, ежегодно в мире от загрязнения воздуха умирает

около 5,5 миллионов человек. Следовательно, использование экологически чистых технологий, которые позволяют выбрасывать в атмосферу меньшее количество вредных веществ, в том числе и на автомобильном транспорте, просто необходимы [1].

### **Основная часть**

Самым целесообразным способом достижения всего этого является экологическая логистика: она расширяет свои горизонты, ставя перед собой иные, не менее значимые проблемы экологической обстановки в мире. Это обусловлено тем, что 60 % загрязнений атмосферы приходится на транспортные средства, которые, в свою очередь, являются основной материальной базой производственных связей между участками логистической цепи [2].

Разработка новых технологий с целью уменьшения экологической нагрузки на окружающую среду стала одним из основных принципов экологической логистики, в основу чего легло внедрение электрогрузовиков и строительство электрофицированных дорог. Например, в ассортименте такой американской компании как Tesla появился грузовой электромобиль Semi, который на одной зарядке сможет проезжать до 1000 километров, а такая компания как Nikola создала четыре грузовика – One, Two, Tre и Refuse. Компания Volvo тоже участвует в разработке электрических грузовиков. На данный момент разработаны две модели: Volvo FL и Volvo FE. В России также началась опытная эксплуатация отечественного электромобиля Moskva, созданного компанией Drive Electro.

В начале мая 2019 года в Германии была введена в эксплуатацию первая электрофицированная дорога для грузовиков. В прогнозах компании Siemens, которая реализовала этот проект, стоит сокращение вредных выбросов от многотонных автомобилей. В ноябре 2017 года эта же компания создала первую в США дорогу для электрогрузовиков. Проект под названием eHighway (электрифицированное шоссе) реализован в Калифорнии [3].

### **Заключение**

Подводя итоги, электрогрузовики существенно изменят жизнь множества городов и упростят логистику для многих видов бизнеса. Применение таких экологических решений позволит компаниям осуществлять поставки в разное время суток, как рано утром, так и поздно вечером и даже ночью, так как шумовой фактор от электрогрузовиков будет сведен к минимуму. Это, несомненно, позволит систематизировать распределение транспортных потоков в часы пик, тем самым снижая загрязнение и улучшая транспортную ситуацию в крупных городах, благодаря чему городское планирование и развитие дорожной инфраструктуры выйдет на новый уровень.

### **Литература**

1. Экологическая логистика [Электронный ресурс] / экологическая логистика. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/54692520-Ekologicheskaya-logistika-elektromobil-mirovoy-opyt-i-perspektivy-ispolzovaniya-v-rossii.html/>. – Дата доступа: 07.04.2021

2. Экологическое направление развития логистики [Электронный ресурс] / Экологическое направление развития логистики. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskoe-napravlenie-razvitiya-logistiki/viewer/>. – Дата доступа: 07.04.2021
3. DW [Электронный ресурс] / DW. – Режим доступа: <https://www.dw.com/ru/>. – Дата доступа: 07.04.2021



УДК 331.28

**ТРУД, КАДРЫ И ОПЛАТА ТРУДА В ЭНЕРГЕТИКЕ  
LABOR, STUFF AND REMUNERATION IN THE ENERGY SECTOR**

Д.Р. Биктимирова

Научный руководитель – Ю.П. Васильева к.э.н., доцент  
Уфимский государственный нефтяной технический университет,

г. Уфа, Россия

vasilevajulia@bk.ru

D.R. Biktimirova

Supervisor – Y.P. Vasileva Docent, Candidate of Economic Sciences  
Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia

**Аннотация:** В данной статье представлено содержательное описание кадрового состава энергопредприятия, их условия труда и формы его материального вознаграждения. Особенностью энергетических предприятий является наличие большого количества рабочего персонала, их разнообразие, все это детально раскрыто и описано в статье. Так же еще одной особенностью энергопредприятия можно назвать то, что для него не характерно привычное определение производительности труда ввиду некоторых особенностей в процессе производства. Именно поэтому в этой статье указана и выведена характерная именно для энергетики формула подсчета производительности труда, так как это является важным показателем в оценке работы всего предприятия.

**Abstract:** This article presents a meaningful description of the personnel composition of the energy enterprise, their working conditions and the forms of its material remuneration. The peculiarity of energy enterprises is the presence of a large number of working personnel, their diversity, all this is disclosed in detail and described in the article. Also, another feature of the energy enterprise is that it is not characterized by the usual definition of labor productivity due to some features in the production process. That is why this article indicates and deduces a formula for calculating labor productivity that is characteristic of the energy sector, since this is an important indicator in evaluating the work of the entire enterprise.

**Ключевые слова:** энергетика, энергопредприятие, труд, оплата труда, заработная плата, персонал, работники, работа.

**Keywords:** energy, energy enterprise, labor, remuneration, wages, personnel, employees, work.

**Введение**

Энергетические предприятия представляют собой коллективы трудящихся, организованные государством, которые используя выделенные им государственные средства, осуществляют под руководством вышестоящего органа свою производственную деятельность. К энергетическим предприятиям относят электростанции, котельные, предприятия тепловых и электрических сетей. Продукцией энергетического предприятия является электроэнергия и тепло, а главной задачей – бесперебойное снабжение потребителей электроэнергией и теплом в необходимом количестве.

В связи с этим энергетические предприятия в отличие от других промышленных отраслей обладают характерными особенностями:

- наличие большого количества сложного оборудования;
- большая изношенность фондов;
- особые условия труда – высокая и низкая температуры, высокие напряжения, электромагнитные излучения.

Как и любое другое промышленное и непромышленное предприятие энергопредприятие обладает кадровым потенциалом, без которого оно мертво и бесполезно. Однако энергопредприятия являются наукоемкими производствами, вследствие чего удельный вес персонала, имеющего среднее и высшее образование довольно высок, и составляет 50 и более процентов от числа всего персонала. Профессия энергетика в 2021 году такая же востребованная, как и много лет назад. Специалисты по электроэнергетике должны получать серьезное образование, чтобы работать с электрическими сетями.

Оплата труда в энергетике зависит от многих факторов: в первую очередь от образования и занимаемой должности, однако молодые специалисты в энергетической сфере при наличии нужных знаний и желания работать могут быстро продвигаться по карьерной лестнице; также от продолжительности работы на одной должности; руководства молодыми сотрудниками; общения с коллегами из других стран.

Затрагивая систему оплаты труда, нужно отметить что, оплата труда в энергетике строится так же, как и во всей промышленности, здесь применяются сдельная, повременная заработная плата. Однако в отрасли энергетики есть свои особенности.

### **Основная часть**

Кадрами или персоналом организации являются работники, выполняющие различные производственно-финансовые функции.

Все работающие на всех промышленных, в том числе и энергетических, предприятиях подразделяется на две категории: промышленно-производственный персонал (ППП), который работает в основном, обеспечивая и обслуживая производство (работники основных и ремонтных цехов, аппарат управления), и непроизводственный или по-другому персонал непромышленных организаций (ПНО). Непроизводственный персонал включает работников, занятых в непромышленной сфере: в жилищно-бытовых, коммунальных, медицинских, продовольственных, пожарных службах, в столовых, военизированной охране и других подсобных подразделениях предприятия.

По сфере деятельности промышленно-производственный персонал энергопредприятия делится на эксплуатационный, занятый обслуживанием оборудования по выработке энергии, ремонтный – занятый ремонтом, техническим обслуживанием оборудования, и административно-управленческий – кадры предприятия, выполняющие управленческие функции, связанные с организацией работы предприятия.

Для успешной организации работы на энергопредприятиях, требуется большое количество различных профессий и специальностей. В зависимости от

выполняемых функций все работающие промышленно-производственного персонала подразделяются на отдельные категории:

- рабочие, непосредственно обслуживающие производственные процессы;
- служащие, выполняющие преимущественно вспомогательные и административно-управленческие функции;
- инженерно-технические работники (ИТР), осуществляющие техническое, экономическое и организационное руководство производственно-хозяйственной деятельности всего энергопредприятия;
- младший обслуживающий персонал (МОИ), выполняющий простые вспомогательные работы, не требующие профессиональной подготовки – уборку, охрану и т. п.;
- ученики (стажеры) различных специальностей и профессий – лица, проходящие производственное обучение непосредственно на производстве.

Для определения эффективной общественного производства предприятия используют некоторые показатели, главным из которых является показатель производительности труда. Производительность труда – показатель, характеризующий эффективность затрат труда в материальном производстве, и определяется количеством продукции, производимой единицу времени или затратами труда на производство единицы продукции.

Однако, в энергетике данное выше определение производительности труда не характерно, поскольку объем производства от рабочих-энергетиков практически не зависит. На условия труда влияет сезонность, то есть повышение нагрузок зимой и снижение их летом. Так, производительность труда работников отопительной котельной зимой будет гораздо выше, чем в к примеру осенью, хотя их фактические затраты труда практически не изменятся.

Более показательной для энергетической отрасли является оценка производительности труда по коэффициенту обслуживания ( $K$ ):

$$K = \frac{Q}{L} \text{ или } K = \frac{E}{L} ,$$

где  $K$  – коэффициент обслуживания, ед. производительности/чел;

$Q$  – часовая энергетическая производительность оборудования;

$E$  – количество единиц обслуживаемого энергетического оборудования;

В зависимости от условий, для других энергетических или неэнергетических объектов коэффициент обслуживания может рассчитываться с использованием других единиц.

Для соблюдения нормальных условий труда, поддержания эффективного уровня его производительности, планирования труда, правильного распределения рабочих сил и ресурсов труд должен нормироваться. Нормирование труда – элемент организации труда, процесс измерения затрат труда на изготовление единицы изделия или выполнение заданного объема работы в определенных организационно-технических условиях. Применяются следующие виды норм:

Норма выработки – установленный объем работ, который работник должен выполнить в единицу рабочего времени в определенных организационно-технических условиях.

Норма затрат труда – затраты рабочего времени установленные для выполнения единицы работы работником в определенных организационно-технических условиях.

Норма обслуживания – количество единиц оборудования, обслуживаемого одним работником в определенных организационно-технических условиях.

Любой труд должен быть правильно организован для эффективной и слаженной работы, от чего зависит успех всего энергопредприятия. Организация труда – вид деятельности, направленный на упорядочение элементов трудовых процессов.

Для нормирования управленческого труда применяется также норма управляемости – количество людей, которыми может эффективно управлять один руководитель. Это норма вычисляется исходя из психофизических возможностей человека эффективно руководить другими людьми. В среднем это составляет 7 – 8 человек, которые формируют собой одну бригаду.

Оплата труда в энергетике включает две формы заработной платы: сдельная и повременная.

Сдельная система оплаты труда применяется в тех случаях, когда для каждого отдельно взятого работника можно легко установить и проконтролировать его объем выполненной работы и ее результаты.

На энергопредприятиях сдельные формы оплаты труда применяются преимущественно в ремонтных работах, в строительном хозяйстве, в вспомогательных подразделениях, где объемы производства заранее известны или могут планироваться.

Сдельная оплата труда различает следующие системы: прямая сдельная, сдельно-прогрессивная, сдельно-премиальная и аккордная системы.

Повременная система оплаты труда, это способ расчета заработной платы, который определяется количеством отработанного времени. Данный вид заработной платы актуален в отрасли энергетике, так как основное энергетическое производство не зависит от объемов работы энергетика, и здесь трудно и почти невозможно определить вклад отдельно работника в процесс создания продукта, к тому же, в энергетике, продукта в традиционном понимании как такового нет.

Повременная система оплаты труда также имеет свои разновидности: система тарифных ставок и повременно-премиальная.

Система тарифных сеток недавно установилась единой для всех отраслей материального производства. В энергетике применяются свои тарифные сетки и коэффициенты. Единая тарифная сетка устанавливает для каждого разряда работников минимальный должностной оклад.

При повременной системе оплаты труда кроме основной заработной платы предусмотрена доплата за работу в ночные смены, в выходные и праздничные дни. Повременно-премиальная система имеет много разновидностей, различия между которыми в основном составляет предмет премирования. Главным условием премирования, как и во всех предприятиях, является выполнение особых специально установленных заданий или перевыполнение плана. Так же премии

начисляются должностному лицу, как и в большинстве предприятий, как надбавка за высокую квалификацию, доплата за совмещение профессий, выход на работу в внеурочное время, замещение других работников. Однако кроме традиционных условий премирования в энергетике можно выделить следующие показатели: освоение новой техники, экономия сырья, материалов, повышение качества продукции.

### **Заключение**

Персонал является трудовым ресурсом и основой любого предприятия. Энергетические предприятия обладают их многообразной структурой и составом. Кадры можно оценить количественно и качественно. Количественными показателями учета и планирования кадров являются явочный, списочный и среднесписочный состав. Так же для расчета численности работников на энергопредприятии используются: нормы времени, нормы выработки, нормы управления, нормы численности работников. Для оценки качественного показателя рассматривают производительность труда в расчете на одного работника и общую производительность, или коэффициент обслуживания.

Формы и системы оплаты труда являются необходимым элементом организации оплаты труда. Существуют две формы заработной платы – сдельная и повременная. Заработная плата как форма материального вознаграждения за труд в энергетике также имеет свои особенности. Она организована на основе тарифной системы. Ее нормативами являются квалификация работников, сложность выполняемой работы и ее условия, характер и интенсивность труда и т. п.

### **Литература**

1. Экономика и управление нефтегазовым производством [Электронный ресурс]. - А.Е. Тасмуханова, Д.Р. Мусина, Д.В. Котов – Уфа: УГНТУ, 2019 – Режим доступа: Раздел 2 Факторы производственной деятельности предприятия.pdf
2. Экономика энергетики: учебное пособие [Электронный ресурс]. – Нагорная В.Н. – Владивосток, 2007 – Режим доступа: [http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/909/49909/24558?p\\_page=1](http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/909/49909/24558?p_page=1)
3. Электронный журнал «Ступопедия». Организация труда в энергетике. [Электронный ресурс].- Режим доступа: [https://studopedia.ru/11\\_35248\\_organizatsiya-truda-v-energetike.html](https://studopedia.ru/11_35248_organizatsiya-truda-v-energetike.html)



УДК 338.45.01

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РОССИИ И ОПЕК В УСЛОВИЯХ  
НЕСТАБИЛЬНОСТИ НА МИРОВОМ НЕФТЯНОМ РЫНКЕ  
INTERACTION BETWEEN RUSSIA AND OPEC IN THE CONDITIONS OF  
INSTABILITY IN THE GLOBAL OIL MARKET**

А.С. Борисов

Научный руководитель – Ю.П. Васильева, к.э.н., доцент  
Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
г. Уфа, Россия

A.S. Borisov

Supervisor – Y.P. Vasilyeva, associate professor, Candidate of economic sciences  
Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia

**Аннотация:** В статье рассматривается вопрос о роли России во взаимодействии с ОПЕК+ в условиях неопределенности в отношении мирового спроса на нефть и нефтепродукты.

**Abstract:** The article discusses the role of Russia in cooperation with OPEC + in the face of uncertainty regarding world demand for oil and petroleum products.

**Ключевые слова:** ОПЕК +, добыча нефти, квоты, рынок нефти.

**Keywords:** OPEC +, oil production, quotas, oil market.

### **Введение**

С начала 2021 г. РФ добилась увеличения для себя квоты на добычу нефти согласно Соглашению ОПЕК + на февраль и март, что является очевидным признаком достаточно сильного экономического влияния нашей страны, позволяя России иметь лучшие условия по сделкам.

Экономика должна подкрепить будущие переговоры в 2021 году, и Россия, вероятно, продолжит настаивать на увеличении объемов производства, несмотря на неопределенность в отношении спроса.

Российские аналитики позитивно расценивают решение ОПЕК+ , позволившее РФ увеличить добычу на 65 тыс. баррелей/сутки в феврале и еще на 65 тыс. баррелей/сутки в марте 2021 г.

### **Основная часть**

Альянс ОПЕК+ решил сохранить квоты на добычу в основном неизменными в апреле, а Саудовская Аравия в одностороннем порядке продлила сокращение добычи на 1 млн баррелей/сутки на неопределенный срок. Только России и Казахстану было предоставлено увеличение квоты на добычу на 130 тыс. баррелей/сутки и 20 тыс. баррелей/сутки соответственно.

Решение коалиции означает, что она будет удерживать на рынке 8 млн баррелей нефти в сутки, по крайней мере еще на месяц. Рынок нефти отреагировал тем, что 4 марта 2021 г. индексы легкой малосернистой нефти Brent и NYMEX выросли на 4,17 % и 4,16 % до 66,74 \$ за баррель и 63,83 \$ за баррель соответственно. Большинство других членов группы сохраняют добычу на уровне января 2021 г.



Делегаты ОПЕК+ заявили, что такое решение было вызвано сохраняющейся неопределенностью по поводу экономического восстановления, которое все еще может быть сорвано из-за неравномерного развертывания вакцины и строгих мер изоляции.

Решение ОПЕК+ стало неожиданностью для рынка, который приготовился к возможности значительного увеличения предложения коалиции с апреля и, по крайней мере, ожидал, что Саудовская Аравия прекратит сокращение добычи на 1 млн баррелей в сутки.

Ожидания были высоки, что саудовцы прекратят свое добровольное сокращение добычи на 1 млн баррелей/сутки, а группа коллективно увеличит добычу на 500 тыс. баррелей.

Цены на нефть могут резко вырасти сейчас, когда летом рынок, вероятно, будет расти. Нефть WTI по цене 75 долларов за баррель больше не кажется диковинной, а нефть марки Brent может легко превысить 80 долларов за баррель к лету, считают эксперты.

Россия способна противостоять нефтяным потрясениям лучше, чем многие из ее союзников по ОПЕК+, в первую очередь из-за гибкого обменного курса к \$, валюте, используемой для определения цены на ее нефть. Стоимость рубля по отношению к \$ имеет тенденцию к падению при падении цен на нефть. Это позволяет российским производителям, чьи затраты в основном выражены в рублях, минимизировать влияние низких цен на свою деятельность.

6 марта 2020 года, когда Россия временно вышла из соглашения ОПЕК+, 1\$ стоил 66,2 руб. К 16 февраля 2021 года курс ослаб до 73,31 руб./\$. согласно данным ЦБ РФ.

Александр Новак, вице-премьер Правительства РФ, высказал уверенность, что в ближайшие месяцы перспективы для России будут еще более позитивными и появится возможность дальнейшего наращивания добычи нефти.

РФ намерена к июню 2021 г. нарастить производство до 2 млн баррелей/сутки. По оценкам аналитиков российская квота может прирасти еще на 80 тыс. баррелей/сутки в апреле-июне 2021 года, если Россия хочет достичь этой цели. Неопределенность в отношении ситуации со спросом затрудняет прогнозирование будущего формата взаимодействия России с ОПЕК.

Многие страны продолжают бороться с ростом числа случаев коронавируса и в последние месяцы ужесточили меры изоляции. Несмотря на то, что в отношении вакцин существует значительный оптимизм, существует также большая неопределенность в отношении того, как быстро их можно будет внедрить и когда это приведет к возвращению к нормальной экономической деятельности.

Даже при отрицательных прогнозах спроса Россия, вероятно, останется в относительно сильном экономическом положении. Помимо гибкости обменного курса рубля к доллару, бюджетное правило, введенное в 2017 году, снизило волатильность доходов и смягчило влияние колебаний цен на нефть на экономику и бюджет России.

Цены на нефть в начале 2021 года пока что выше тех, что заложены в госбюджет России. Утвержденный в конце прошлого года бюджет включает цены

на нефть марки Urals в размере 45,3 \$ за баррель в 2021 году, 46,6 \$ за баррель в 2022 году и 47,5 \$ за баррель в 2023 году.

Кроме того, Россия настаивает на сокращении зависимости государственного бюджета от доходов от нефти и газа, что на протяжении десятилетий подвергало российских производителей нефти значительным изменениям налогового режима во времена экономических потрясений. Производители часто говорят, что это усложняет планирование долгосрочных проектов развития, которые требуют стабильности налогообложения для точной оценки затрат. Президент России Владимир Путин заявил, что доходы от углеводородов составят 1/3 доходов бюджета в 2021 году по сравнению с 1/2 дохода в 2011 году.

В сценарии с положительным спросом эти факторы, вероятно, будут подкреплять стремление обеспечить дальнейшее увеличение добычи в конце 2021 года. В случае возникновения более негативного сценария с дальнейшим сокращением добычи, Россия, вероятно, будет добиваться меньших сокращений на более короткие сроки.

Многое будет зависеть от объемов добычи сланца в США. Риск потери доли рынка в пользу производителей из США уже давно рассматривается российскими производителями нефти как причина принятия обязательств по сокращению добычи сырой нефти.

### **Заключение**

Несмотря на экономические разногласия и вероятность дальнейших споров в 2021 году, аналитики ожидают, что Россия останется частью ОПЕК+, которую Владимир Путин продолжает поддерживать и которая стала ключевой частью внешней стратегии России.

По мнению многих экспертов цены на нефть могут резко вырасти к лету 2021 г. Нефть WTI по цене 75 \$ за баррель больше не кажется диковинной, а нефть марки Brent может легко превысить 80 \$ за баррель к середине 2021 г.

### **Литература**

1. Сайт Организации стран экспортеров нефти. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.opec.org/opec\\_web/en/press\\_room/6375.htm](https://www.opec.org/opec_web/en/press_room/6375.htm) (дата обращения: 04.03.2021).

2. Сотрудничество с ОПЕК / Министерство энергетики Российской Федерации. [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/496> (дата обращения: 04.03.2021).

УДК 330:620.91

**ИНДЕКС ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ТРИЛЕММЫ  
WORLD ENERGY TRILEMMA INDEX**

М.Н. Велитченко

Научный руководитель – Е.П. Корсак, старший преподаватель,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

kotyal@yandex.ru

M. Velitchenko

Supervisor – E. Korsak, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной работе рассмотрен индекс энергетической триллемы, методика расчета, группы показателей и входящие в них индикаторы, формирующие индекс.*

***Abstract:** This paper considers the energy security index, the calculation methodology, groups of indicators and the indicators included in them, that form the index.*

***Ключевые слова:** энергетическая безопасность, индекс, параметры.*

***Key words:** energy security, index, parameters.*

**Введение**

Энергетическая безопасность является неотъемлемым элементом общего процесса функционирования региона. Она затрагивает не только энергетику, но также и другие сектора экономики, окружающую среду и взаимоотношения с соседними государствами. В связи с этим для оценки эффективности деятельности этой отрасли разработан индекс энергетической триллемы, основанный на многих показателях и индикаторах. Он дает наиболее полную и многогранную оценку отрасли.

**Основная часть**

Преимуществом индекса энергетической триллемы является объективная возможность сравнить уровень разных стран и эффективности их мероприятий в данном направлении. Комплексная оценка позволяет ранжировать энергетические комплексы с наибольшей точностью, чем по отдельным параметрам.

Индекс энергетической триллемы включает 3 основных и 1 специфическую группы показателей: энергетическая безопасность, энергетическое равенство, экологическая устойчивость энергосистемы, а также особенности страны. Энергетическую безопасность характеризуют эффективность управления источниками, способность быстро возобновлять электроснабжение, способность полностью покрывать потребности населения и промышленности в энергии, топливе. Под энергетическим равенством понимают возможность страны стабильно обеспечивать себя энергоресурсами по приемлемой цене, доступность экологически чистых видов топлива, другими словами – обеспечение доступности объема энергии и топлива, необходимого для поддержания высокого уровня жизни. Экологическая устойчивость отражает готовность перехода энергетики к возобновляемым источникам энергии,

низкоуглеродным источникам энергии, оцениваются также меры по снижению воздействия на климат и окружающую среду.

Дополнительным четвертым измерителем являются внутренние особенности страны: макроэкономические показатели, политика правительства, система управления и ее характер. Эта совокупность показателей также говорит о привлекательности энергетической системы для инвесторов.

Каждый из показателей связан с основным компонентом общественной жизни: экономическим, социальным и экологическим. Т. е. каждое измерение является отражением вклада энергетической отрасли в развитие основных показателей народного хозяйства страны.

Индекс позволяет комплексно оценить состояние энергосистемы страны. Ранжирование происходит как по каждому измерителю в отдельности, так и по их совокупности. Основным измерителям присваиваются категории (А, В, С и D), что позволяет наглядно оценить сильные и слабые стороны энергетического сектора той или иной страны.

При помощи всех четырех измерений формируется количественный показатель рейтинга. Основные измерители и включенные в них индикаторы составляют по 30 % от Индекса энергетической трилеммы.

Энергетическая безопасность включает в себя 2 группы индикаторов: безопасность поставок и спроса на энергию, устойчивость энергетических систем. Первая группа имеет весовой коэффициент 12 % от итогового Индекса, характеризуется разнообразием источников энергии и зависимостью от импорта. Устойчивость энергосистем занимает 18 % и включает следующие индикаторы: разнообразие способов генерации электроэнергии, хранение энергии, стабильность системы и способность к восстановлению.

Энергетическое равенство состоит из трех категорий: доступ к энергии (рассчитывается исходя из доступности электроэнергии, возможности чистого приготовления пищи), доступ к качественной энергии, доступность (характеризуется ценами на электроэнергию, бензин и дизельное топливо, природный газ, доступностью электроэнергии для жителей). Весовой коэффициент каждой группы составляет 12 %, 6 % и 12 % соответственно.

Экологическая устойчивость энергетической системы рассматривается в разрезе трех основных категорий индикаторов: производительность энергетических ресурсов (весовой коэффициент 9 %), декарбонизация (весовой коэффициент 9 %), выбросы и загрязнения окружающей среды (весовой коэффициент 12 %).

Особенностями страны, принимаемыми во внимание при расчете Индекса энергетической трилеммы, являются макроэкономическая среда и ее стабильность, управление (эффективность государственного регулирования, политическая стабильность, верховенство закона, качество регулирования), стабильность для инвестиций и инноваций (чистый приток иностранных инвестиций, простота ведения бизнеса, восприятие коррупции, эффективность правовой базы при оспаривании нормативных актов, защита интеллектуальной собственности, инновационный потенциал страны).

К недостаткам Индекса можно отнести отсутствие полного перечня индикаторов и методики расчета в открытом доступе. Это ограничивает возможность ве-

дения самостоятельной научно-исследовательской деятельности, усложняет восприятие и понимание устройство Индекса, его компонентов и индикаторов.

Термин «World Energy Trilemma Index» набирает все большую популярность в научном сообществе и упоминается во многих работах, основанных на анализе эффективности энергосистемы. На его основе происходит разработка других интегральных индексов с большим числом измерений для всесторонней оценки не только энергетической отрасли, но и ее взаимодействия и влияния на другие сферы народного хозяйства, уровень жизни населения.

### **Заключение**

В связи с ростом актуальности вопроса обеспечения энергетической безопасности во всем мире, возрастает и значимость анализа процессов энергетической системы. Одним из наиболее применяемых является Индекс энергетической трилеммы, разработанный мировым энергетическим советом, благодаря комплексной оценке основных факторов и показателей энергобезопасности. Наличие единого Индекса с отработанной методологией расчета и сбора конкретных данных позволяет сравнивать результаты деятельности энергетических систем различных стран, анализировать динамику, сильные и слабые стороны через единую концепцию. Однако преградой для использования Индекса, несмотря на все его преимущества, является закрытость информации о нем от круга исследователей.

### **Литература**

1. Шилец Е.С. Энергетическая трилемма – основа устойчивого развития топливно-энергетического комплекса. / Е.С. Шилец, В.А. Кравченко, Т.В. Лукьянова // Вестник института экономических исследований 2017, №3. – 2017. – с. 27 – 34.
2. Энергетика и устойчивое развитие [Электронный ресурс] // Бюллетень МАГАТЭ 54-1-Март 2013. – URL: [http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull541/Russian/Bull54\\_1\\_Mar2013\\_ru.pdf](http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull541/Russian/Bull54_1_Mar2013_ru.pdf) (Дата обращения: 07.04.2021).



УДК 338.3

**АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КРУПНЕЙШИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ  
КОМПАНИЙ РОССИИ ОТНОСИТЕЛЬНО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ  
СТРАТЕГИИ 2035**

**ANALYSIS OF THE ACTIVITIES OF THE LARGEST OIL AND GAS  
COMPANIES IN RUSSIA REGARDING THE ENERGY STRATEGY 2035**

Д.З. Исьянов

Научный руководитель – И.И. Фазрахманов, к.э.н., доцент

ilvirus@inbox.ru

ФГБОУ ВО УГНТУ Уфимский государственный нефтяной технический  
университет, г. Уфа, Российская Федерация

D.Z. Isianov

Scientific adviser – I.I. Fazrakhmanov, head. Department of Economics and Strategic  
Development, Ph.D., Associate Professor ilvirus@inbox.ru

FGBOU VO USPTU Ufa State Petroleum Technical University, Ufa,  
Russian Federation

***Аннотация:** Статья посвящена вопросам по рассмотрению роли нефтяной отрасли в развитии экономики России (ПАО «НК «Роснефть» и «Газпром») в осуществлении Энергетической стратегии 2035.*

***Annotation:** The article is devoted to the issues of considering the role of the oil industry in the development of the Russian economy, PJSC NK Rosneft and Gazprom in the implementation of the Energy Strategy 2035.*

***Ключевые слова:** нефтегазовый сектор, энергетическая стратегия, энергобезопасность.*

***Key words:** oil and gas sector, energy strategy, energy security.*

### **Введение**

В ряде исследований, посвященных анализу экономической политики современной России, показано, что, несмотря на нефтяную зависимость страны, экономическая стратегия руководства страны оказалась успешной, гарантирующей стабильность в условиях западных санкций и низких цен на нефть.

### **Основная часть**

Вплоть до настоящего времени ведется активная дискуссия не только о факторах, способствующих развитию ресурсной зависимости, но и в большей степени о ее последствиях для экономики, структурных сдвигах в отраслевом, институциональном, организационном разрезах. Особый интерес вызывают исследования о влиянии ресурсной зависимости на экономические показатели развития стран, в первую очередь на темпы роста валового внутреннего продукта как главного индикатора эффективности устройства экономики.

За последнее время на международный рынок нефти, а также на ее стоимость оказывает влияние два ключевых фактора:

- торговая война между двумя сверхдержавами: США и Китай;
- итоги сделки ОПЕК+.



Влияние первого фактора принято связывать с тем, что международная стоимость нефти зависит от ограничений торговых взаимоотношений и замедления роста экономики. Это способствует тому, что происходит уменьшение спроса на нефть и, соответственно, уменьшается ее стоимость, если рассматривать международный рынок.

Фактический уровень ВВП демонстрировал динамику уменьшения на 8,5 % в годовом исчислении во II квартале 2020 года после повышения на 1,6 % в I квартале. В III квартале экономика также показала положительную тенденцию роста (в квартальном выражении), но при этом уменьшение международного спроса на нефть, соглашение об ограничении нефтедобычи с ОПЕК+ и уменьшение реальных располагаемых доходов общества ограничивают восстановление экономики нашей страны.

В рамках новой сделки ОПЕК+ Россия была обязана уменьшить объем добычи нефти. На РФ приходилось порядка 26 % от всего объема уменьшения добычи. В соответствии с взятыми обязательствами и, учитывая объемы газового конденсата, добыча в 2020 году сократится на 9 % по сравнению с 2019 годом – до 511 млн т.

В декабре 2020 года ПАО «НК «Роснефть» рассмотрела «План по углеродному менеджменту до 2035 года», предусматривающий основные цели:

- уменьшение интенсивности выбросов в нефтегазодобыче на 30 %;
- предотвращение выбросов в объеме 20 млн т  $CO_2$ -эквивалента парниковых газов;
- нулевое рутинное сжигание попутного газа;
- достижение интенсивности выбросов метана не более 0,25 % [11].

Данный документ учитывает позицию основных акционеров компании и представляет собой основу экологической повестки ПАО «НК «Роснефть» в контексте низкоуглеродного совершенствования экономики, с учетом управления климатическими рисками и выявления возможностей, которые связаны с дальнейшим спросом на энергию.

Компания продолжит осуществление программы энергосбережения и утилизации попутного нефтяного газа, представляя собственную цель, как достижение нулевого рутинного сжигания ПНГ. При этом компания ожидает повышение доли газа в общем портфеле более чем 25 %.

До 2035 года у крупнейших компаний, учитывая и ПАО «НК «Роснефть», могут возникнуть конкуренты на арктическом шельфе. Это предусмотрено рассматриваемой стратегией, в связи с тем, что одна из ее целей – это ускоренное освоение месторождений Арктической зоны и шельфа. На данный момент на шельфе в Арктике могут работать лишь ПАО «Газпром», ПАО «НК «Роснефть» и их дочерние компании.

У ПАО «Газпром» есть достаточные добычные мощности, чтобы повысить объем поставок природного газа, не только в Европу, но и в Восточные страны. При повышении потребности в импорте у ПАО «Газпром» будет возможность согласно имеющимся долгосрочным экспортным договорам увеличивать объем поставок природного газа в Европу на актуальных дого-

ворных условиях (включая и ценовые). Реализация дополнительных поставок газа в государства Европы иными отечественными поставщиками возможно только на менее выгодных (в первую очередь, ценовых) условиях относительно условий поставок ПАО «Газпром».

Нефтяная отрасль – это самый существенный сектор, оказывающий влияние не только на экономику страны, но и на ее экономический рост. Российская Федерация также не является исключением, в связи с этим, любые совершаемые изменения на международном нефтяном рынке, оказывают значительное влияние на экономику нашей страны (как положительное, так и отрицательное).

Во II квартале 2020 г. экономика нашей страны продемонстрировала наилучшие итоги, чем планировались, несмотря на то, что она существенно пострадала не только от COVID-19, но и от значительного снижения стоимости на нефть, если рассматривать мировой рынок.

В 2019 году уровень объем отечественного нефтесервисного рынка был равен порядка 27,5 млрд долл. США, если учитывать 3,8 млрд долл. США, которые были направлены на геологоразведку углеводородного сырья. На протяжении 2020 года планировались адаптировать программы капитальных затрат нефтяных компаний к стоимости на нефть порядка 40 долл. США за 1 барр и уменьшить финансирование услуг, направленные на нефтяное обслуживание.

До 2035 года у крупнейших компаний могут возникнуть конкуренты на арктическом шельфе. Это предусмотрено рассматриваемой стратегией, в связи с тем, что одна из ее целей – это ускоренное освоение месторождений Арктической зоны и шельфа. На данный момент на шельфе в Арктике могут работать лишь ПАО «Газпром», ПАО «НК «Роснефть» и их дочерние компании.

### **Заключение**

Предложения независимых производителей газа, направленные на разделение ПАО «Газпром», либерализации экспорта трубопроводного газа, регулированию доступа к подземным хранилищам газа могут способствовать уменьшению надежности энергообеспечения отечественных потребителей и, в целом, уровень энергобезопасности государства, а также стабильности бюджетных поступлений, сохранению поставок газа иностранным потребителям в рамках межправительственных соглашений, а также совершенствование энергетики РФ в целом. Осуществление данных инициатив может способствовать сокращению темпов развития газовой отрасли.

### **Литература**

1. Набиуллин Д.Р. Особенности деятельности нефтегазовых компаний в рамках реализации программы устойчивого развития // IACJ. 2021. С. 87 – 91
2. Новак М.А., Козлова Е.И., Кобзий А. Особенности ценообразования на мировом рынке нефти // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. – 2018. – № 3 (29). – С. 111 – 116.
3. Официальный сайт ПАО «Газпром» [Электронный доступ] URL: <https://www.gazprom.ru/> (дата обращения 21.03.2021 г.)
4. Официальный сайт ПАО «НК «Роснефть» [Электронный доступ] URL: <https://www.rosneft.ru/> (дата обращения 21.03.2021 г.)

5. Субботин М. ОПЕК+ и мировой рынок нефти // Европейская безопасность: события, оценки, прогнозы. – 2017. – № 46 (62). – С. 12 – 15.
6. Чистяков Д.А., Нечаева О.А. Экологический мониторинг разливов нефти и нефтепродуктов с использованием летательных аппаратов // Новая наука: Проблемы и перспективы. – 2016. – С. 18 – 23
7. Юриков А.С. Перспективы и тенденции развития нефтегазового бизнеса в условиях современного кризиса // IACJ. 2021. №1. С. 100 – 104
8. Bennaceur K. How the oil and gas industry is contributing to sustainability // Journal of Petroleum Technology. – 2019. URL: <https://pubs.spe.org/en/jpt/jpt-article-detail/?art=5152> (дата обращения 21.03.2021).
9. Ходковская Ю.В., Стояльцева А.А. Барьеры и эффекты внедрения цифровых технологий в нефтегазовый бизнес / Экономика и управление: научно-практический журнал. 2018. № 6 (144). С.27 32.
10. Пономарева Т.К., Васильева Ю.П. Мировые цены на нефть и их влияние на денежно-кредитную политику России / Евразийский юридический журнал. 2018. № 1 (116). С.376 – 377.

УДК 332.1

**ОЦЕНКА НЕРАВЕНСТВА БЛАГОСОСТОЯНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА  
БИЙСК**  
**ASSESSMENT OF INEQUALITY IN THE WELL-BEING OF THE  
POPULATION CITIES OF BIYSK**

А.С. Катаева

Научный руководитель – С.А. Фомина, к.э.н., доцент  
Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет  
им. В.М. Шукшина, г. Бийск, Российская Федерация  
ysr.biysk@mail.ru

А. Kataeva

Supervisor – S. Fomina, candidate of economic sciences, docent  
Altai state humanitarian and pedagogical university, Biysk, Russia

**Аннотация:** В статье освещаются результаты исследования неравенства благосостояния населения города Бийска. Предпринята попытка анализа уровня жизни населения на основе расчета и оценки показателей медианного дохода населения, коэффициентов неравенства доходов и богатства Джини. Осуществлен расчет медианного среднедушевого дохода населения в период с 2016 г. по 2020 г. и произведено дальнейшее его сравнение со среднедушевым денежным доходом населения, изучена структура денежных доходов населения по источникам поступления, рассчитан и проанализирован коэффициент неравенства доходов Джини в 2019 г.

**Abstract:** The article highlights the results of the study of the inequality of well-being of the population of the city of Biysk. An attempt is made to analyze the standard of living of the population based on the calculation and evaluation of the indicators of the median income of the population, the coefficients of income inequality and Gini wealth. The median per capita income of the population in the period from 2016 to 2020 was calculated and further compared with the average per capita monetary income of the population, the structure of monetary income of the population by sources of income was studied, the Gini income inequality coefficient in 2019 was calculated and analyzed.

**Ключевые слова:** благосостояние, уровень жизни, среднедушевой денежный доход, медианный доход, неравенство доходов, коэффициент Джини, потребительские расходы.

**Keywords:** wealth, standard of living, per capita monetary income, median income, income inequality, Gini coefficient, consumer spending.

### **Введение**

Проблема неравенства доходов населения волновала экспертов много столетий. И по сей день данный вопрос остается актуальным в экономической науке. Неравенство доходов определяется в первую очередь неравномерным распределением различных материальных благ. При рыночной экономике доходы распределяются на рынках различных факторов производства: труда, природных ресурсов, капитала. Степень обладания данными ресурсами определяет характер перераспределения благ, из-за чего появляется проблема неравенства доходов.

**Основная часть**

Французский экономист Томас Пиккети в труде «Капитал XXI века» сделал вывод, что рост экономики, конкуренции, технического прогресса в настоящее время ведет к накоплению частного капитала и концентрации богатства и власти в руках малой части населения [1].

В настоящей работе мы представляем статистический анализ показателей уровня жизни населения города Бийска и выработку рекомендаций по повышению его благосостояния. Оценка уровня жизни производится с помощью показателей доходов на душу населения и медианного дохода [2, с. 187]. Согласно мнениям экспертов, именно медианное значение заработной платы наиболее приближено к реальной заработной плате работников. Используя данные статистики, представленные в таблице 1, по распределению населения по величине среднедушевых денежных доходов города Бийска, рассчитали значения медианного среднедушевого дохода с 2016 г. по 2020 г. по формуле:

$$Me = X_{Me} + h_{Me} \frac{\frac{\sum_{i=1}^k n_i}{2} - S_{(Me-1)}}{n_{Me}} \tag{1}$$

где  $X_{Me}$  – минимальное значение медианного интервала;

$h_{Me}$  – величина медианного интервала;

$S_{(Me-1)}$  – сумма накопленных частот в интервале, предшествующем медианному;

$n_i$  – частота (или частотность)  $i$ -го интервала;

$k$  – общее количество интервалов вариационного ряда;

$n_{Me}$  – частота (или частотность) медианного интервала.

Таблица 1 – Распределение населения по величине среднедушевых денежных доходов, в %

	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Все население</b>	100	100	100	100	100
<b>В том числе со среднедушевыми денежными доходами в месяц, руб.:</b>					
До 7000,0	9,7	8,3	6,5	5,8	4,9
От 7000,1 до 9000,0	6,8	6,1	5,7	5,1	4,7
От 9000,1 до 12000,0	12,5	10,6	9,5	8,1	7,2
От 12000,1 до 15000,0	10,1	9,2	8,8	7,5	6,3
От 15000,1 до 20000,0	15,2	15,5	14,8	15,1	15,6
От 20000,1 до 25000,0	10,8	11,5	12,1	12,2	12,2
От 25000,1 до 30000,0	8,8	8,5	8,5	7,9	7,8
От 30000,1 до 35000,0	6,2	6,5	6,5	6,4	6,5
От 35000,1 до 40000,0	5,1	4,8	4,7	4,7	4,9
От 40000,1 до 50000,0	4,1	4,1	4,3	4,2	4,5
От 50000,1 до 60000,0	5,9	5,1	5,2	5,6	5,6

Проведя сравнительный анализ показателей медианного среднедушевого дохода и среднедушевого денежного дохода населения, было выявлено отставание первого от последнего показателя в экспериментальный период.

Для выявления степени дифференциации населения по доходам рассчитывается коэффициент Джини, используя следующую формулу:

$$G = 1 - 2 \times \sum_{i=1}^n f_i S_x + \sum_{i=1}^n f_i x_i \quad (2)$$

где  $f_i$  – доля населения, принадлежащая  $i$ -ой социальной группе в общей численности населения;

$x_i$  – доля доходов, сосредоточенная у  $i$ -ой социальной группы населения;

$S_x$  – накопленная частота денежного дохода.

Используя исходные данные таблицы 1, рассчитали данный коэффициент и выяснили, что он составляет 0,34. Критическим уровнем коэффициента Джини является отметка в 0,4 [3, с. 178]. Таким образом, можно сделать вывод, что в городе Бийск наблюдается сильная дифференциация населения по доходам.

Об уровне и качестве жизни населения можно судить также не только по доходам, но и по структуре потребительских расходов населения. Из анализа потребительской корзины среднестатистического гражданина города за 2019 год значительная доля расходов, а именно 45,7 %, приходилась на продукты питания, на одежду и обувь – 15,2 %, образование – 3,2 %, отдых и культуру – 3,4 %. Значительно возросла доля расходов на продукты питания, по сравнению со статистикой прошлого года (рисунок 1). Данный факт указывает на то, что население больше четверти своего дохода тратят на покупку продовольствия, что нельзя оценить положительно.

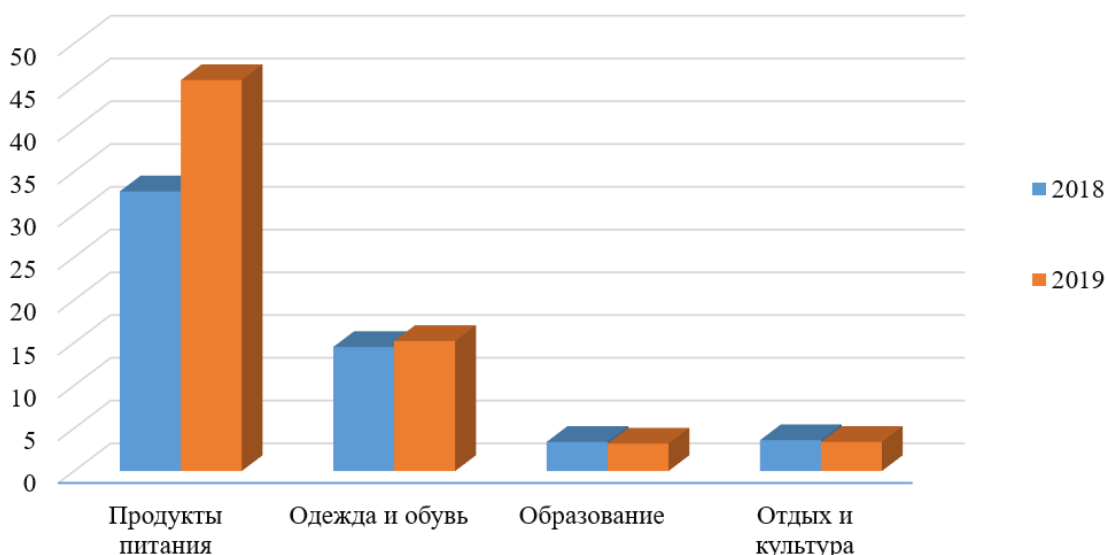


Рисунок 1 – Потребительские расходы населения г. Бийск за 2018 – 2019 гг.

### Заключение

Исходя из представленного выше анализа данных, можно заключить, что уровень жизни в городе Бийск остается достаточно низким. Основной опасностью растущего экономического неравенства является ослабление среднего класса в России.



Судя по реализуемым мероприятиям социально-экономической политики, можно говорить о том, что в большей степени предлагаются меры по борьбе с бедностью малоимущего населения. Данная проблема решается в настоящее время посредством реализации таких мероприятий как – повышение минимального размера оплаты труда, оказание адресных мер поддержки для малоимущих слоев населения, содействие занятости женщин и другие. При этом значительно меньше внимания уделяется мерам, направленным на повышение качества и уровня жизни основной социальной группы населения – среднего класса [4].

Можно предположить ряд направлений, которые будут способствовать сокращению неравенства различных групп населения:

1. Развитие государственных программ.
2. Развитие предпринимательства путем снижения процентов по кредитам, ослабления налоговой нагрузки.
3. Создание рабочих мест с достойным уровнем заработной платы.

### Литература

1. Piketty T. Capital in the twenty-first century / translated by Arthur Goldhammer. The Belknap Press of Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts London, England. [Электронный ресурс]. URL: <https://dowbor.org/blog/wp-content/uploads/2014/06/14Thomas-Piketty.pdf> (Дата обращения: 15.04.2021).

2. Зарубина Е.Ю., Мирзабалаева Ф.И. Повышение уровня жизни как фактор сокращения неравенства населения России. / Инновационные доминанты социальнотрудовой сферы: экономика и управление. Материалы ежегодной международной научно-практической конференции по проблемам социальнотрудовых отношений. - М.: 2019. – 185-189 с.

3. Забелина О.В. Оценка уровня доходов населения региона и экономической доступности продовольствия (на примере Тверской области) // Уровень жизни населения регионов России. – 2015. – № 1. – с. 175 – 185.

4. Росенко С.И. Средний класс в контексте социальной дифференциации современного российского общества // Общество. Среда. Развитие. – 2013. – № 3. – с. 97 – 100.

УДК 005.95

**РОЛИ МОТИВАЦИИ В УПРАВЛЕНИИ ПЕРСОНАЛОМ**  
**THE ROLE OF MOTIVATION IN HUMAN RESOURCES MANAGEMENT**

А.Д. Коробейникова, М.С. Василюванова  
Научный руководитель – С.А. Лившиц, доцент  
Казанский государственный энергетический университет,  
г. Казань, Республика Татарстан  
alena.korobeynikova.98@mail.ru

A.D.Korobeynikova, M.S.Vasilivanova  
Scientific supervisor - S. A. Livshits, Associate Professor  
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Republic of Tatarstan

***Аннотация.** Актуальной проблемой для любой организации является управление персоналом. Статья посвящена проблеме повышения мотивации, как один из методов увеличения эффективности работы организации. Механизм мотивации, используемый в конкретном предприятии зависит от определенных факторов, как внешний и внутренний. Цель исследования – раскрыть мотивационные процессы, обеспечивающие эффективную работу кадров на предприятиях в различных сферах.*

***Annotation.** An urgent problem for any organization is personnel management. The article is devoted to the problem of increasing motivation as one of the methods of increasing the efficiency of the organization. The motivation mechanism used in a particular enterprise depends on certain factors, both external and internal. The purpose of the study is to reveal the motivational processes that ensure the effective work of personnel at enterprises in various fields.*

***Ключевые слова:** мотивация, управление персоналом, стимулирование, методы, ключевые факторы.*

***Keywords:** motivation, personnel management, incentives, methods, key factors.*

**Введение**

Одной из важнейшей проблемы в управлении организации является повышение роли социальной мотивации персонала.

В настоящее время устойчивое развитие бизнеса предполагает использование эффективных систем мотивации персонала как один из важных элементов управления. В конечном итоге мотивация подразумевает рост производительности труда, использование материальных и нематериальных стимулов, предоставляемых сотрудникам руководством компании.

Основным элементом функционирования любой компании являются ее сотрудники. Наемные работники – это фактор производства "труд", который работает в бизнесе наряду с "землей" и "капиталом" – двумя другими факторами. Конечный результат деятельности, достижение организационных целей, задач и планов во многом зависит от уровня и эффективности человеческих ресурсов.

**Основная часть**

Мотивация – это цепной процесс, который начинается с ощущения потребности, недостатка или лишения [1, С. 492]. Оно сопровождается желанием

и ведет к напряжению и действию к цели, результатом которого является поведение движения к цели. Непрерывность этого процесса может привести к удовлетворению потребностей. Поэтому мотивация побуждает и убеждает людей что-то делать. Однако мотивация отражает общее желание. Позиция наказания и поощрения как сильная мотивация ясна во всех исследованиях. В связи с этим материальной составляющей являются деньги. Они рассматриваются как инструмент вознаграждения, но это не единственный мотивационный фактор.

Используя такой стандартный метод мотивации персонала, как фиксированная зарплата, руководитель не может заинтересовать сотрудника эффективно работать. Необходимо использовать несколько мотивационных факторов (ведь у человека много потребностей, и они не всегда ограничиваются материальным вознаграждением). Неэффективная система мотивации приводит только к временному успеху, учитывая высокий уровень конкуренции.

Неэффективная мотивация приводит к потере в виде текучести высококвалифицированных кадров из-за слабой взаимосвязи интересов компании и ее сотрудников, и социально-психологической напряженности внутри.

Основная задача эффективной мотивации персонала – это разработка и внедрение такой системы, которая будет интересна каждому сотруднику, независимо от его места в иерархической структуре, для получения высокого личностного результата, что, естественно, будет способствовать повышению эффективности деятельности компании в целом. Нет идеальной системы мотивации на современном этапе. Набор мотивационных инструментов, используемых в деятельности компаний, часто не отвечает требованиям рынка, все это требует внедрения более эффективного набора инструментов, формирующих систему мотивации персонала в компании, альтернативную существующей.

Топ-менеджеры, часто ориентированные на результат, знают, что мотивация с использованием эффективного социального пакета для сотрудников является неоспоримым элементом привлечения и поддержания необходимого уровня человеческих ресурсов и в достижении желаемого уровня производительности, необходимого для успеха организации. Исходя из вышеизложенного, на современном этапе развития страны проблема мотивации персонала приобретает очень серьезное значение.

Различные аспекты этого процесса рассматриваются многими авторами. Проблему совершенствования мотивационного механизма на российских предприятиях поднимают такие авторы, как Е.А. Колесниченко, М.В. Беспалов, И.Ю. Радюкова. В своей статье авторы рассматривают мотивацию как функцию управления персоналом.

В работе С.В. Ильченко, Е.В. Павловой рассматриваются основные элементы мотивационного процесса, и делается уклон в сторону необходимости разработки компонентов мотивационного механизма.

Возможно, на современном этапе развития возникает острая необходимость рассмотрения мотивации персонала в целом с учетом основных теорий мотивации, понимания термина, основных методов и инструментов мотивации, а также зарубежного опыта с точки зрения существующих моделей и их применения в зависимости от отрасли, производственных процессов на предприятии.

Значимость данной социальной проблемы заключается в сложности изучения мотивации персонала организации с учетом всех входящих элементов. А также в том, что проблема мотивации персонала на современном этапе, в условиях быстро меняющейся внешней среды, определяет развитие существующего или разработку нового механизма мотивации для каждого предприятия в зависимости от направления его деятельности и осуществляемых процессов.

Проблема мотивации персонала поднималась многими авторами, известными экономистами. Это следует отметить, что в развитие теории мотивации значительный вклад внесли такие авторы, как: Ф. Теолор, А. Дурак, Г. Лоуренс, П. Друкер, Х. Форд и др. С исследованием систем мотивации персонала, оценкой их эффективности работали такие авторы, как: Ф. Герцберг, Л. Портер, Э. Лоулер, С. Адамс и другие. Изучение вопросов, связанных с повышением эффективности труда, средств мотивации, как материальных, так и нематериальных, было выполнено такими авторами, как В.Н. Гринева, М.С. Доронин, С.И. Сотникова, П.Ф. Репин, Н.Н. Опарина и многими другими.

Важность проблемы мотивации персонала характеризует большое количество исследований, в этом направлении можно отметить таких авторов, как: А. Клибанов, А. Колота, С. Бандура, В. Жигалов, Н. Мартыненко и многих других авторов. В то же время экономическая литература не дает целостного представления о характере мотивационного процесса работника, особенностях формирования у работника ответственности за выполняемую им работу, формировании методов мотивации. Многие ученые доказали необходимость кадров мотивации в организации, но единый подход был выработан и не было универсального подхода, применимого ни на одном предприятии.

В целом необходимо отметить сложность и многообразие концепции мотивации, требующей всестороннего изучения данного вопроса. Точно так же это понятие представлено различными понятиями: совокупность мотивов, совокупность объективных и субъективных факторов, процесс стимулирования, внутренние и внешние движущие силы и многое другое.

Мотивацию можно представить, как основную функцию любого администратора (менеджера), именно эта функция помогает влиять на персонал и его поведение в компании. Разберем основные элементы мотивации. Процесс должен включать в себя: объекты мотивации, субъекты, внешние мотиваторы, а также систему официальных факторов.

Цели мотивации можно разделить в зависимости от объекта: цели, поставленные сотрудником и цели, поставленные организацией. Если рассматривать последнее, то основной целью мотивации является создание комплекса условий, побуждающих сотрудников к совершению действий, основной направленностью которых является максимальный эффект.

С точки зрения работника предприятия, основной целью мотивации является обеспечение для их личных нужд. Соответственно, в системе мотивации персонала каждая из сторон заинтересована в достижении личных целей.

Основные задачи мотивации персонала:

– формировать понимание мотивации, понимание сущности мотивации в трудовом процессе у работников предприятия;

– обучать персонал (а также управленческий персонал) основам поведения внутри организации, прежде всего психологическим основам;

– сформировать демократический подход к управлению у менеджеров за счет использования современных методов в процессе мотивации.

К основным функциям мотивации персонала можно отнести:

– побуждение к действию (разработка стимулов, имеющих определенную направленность для выполнения персоналом задач, необходимых для выполнения задач предприятия с наибольшим положительным эффектом);

– направление деятельности (направление деятельности сотрудников в определенное "русло" посредством грамотного распределения обязанностей);

– контроль деятельности работников (необходимость, связанная с возможным совершением ошибочных действий в процессе деятельности, также позволяющая переориентировать работников при отсутствии ожидаемого результата из разработанной стратегии);

– поддержание поведения (возможно уменьшение влияния стимула при достижении той или иной цели, чтобы избежать этого момента, необходимо обеспечить выбранный порядок мотивации).

Можно выделить следующие ключевые факторы мотивации, представленные Филипповой Т.А.:

– прямая мотивация – материальные, морально-психологические предложения для персонала, основной целью которых является отзывчивая деятельность, соответственно, основной целью мотивации в данном контексте является планируемый результат;

– косвенная мотивация – основной целью данного вида мотивации является изменение условий и обстоятельств, связанных с трудовым процессом, с целью влияния на результат труда как индивидуально, так и коллективно в целом. В рамках данного вида мотивации используются: улучшение условий труда, делегирование полномочий, повышение квалификации, а также другие мотиваторы [3, С. 440].

Система мотивации персонала формируется различными методами, выбор которых организацией осуществляется самостоятельно. Основные методы, которые относятся к расширенному составу инструментов:

– материальные методы;

– организационная;

– морально-психологические [4, С. 65].

Наиболее распространенным методом является материальный, представленный разнообразными инструментами, использование которых в организации может осуществляться как в совокупности, так и по отдельности. В этой ситуации можно говорить о следующих инструментах:

– личные надбавки (они в основном выплачиваются к должностным окладам);

– стимулирующие выплаты;

– компенсационные выплаты;

– разовые премии;

– системы льгот и компенсаций (в данной ситуации на уровне отдельных предприятий можно говорить о социальном пакете).



Справедливый уровень материального вознаграждения является мотивационным фактором для инициативы сотрудников при формировании приверженности данной организации. Это также является привлекательным фактором для новых сотрудников. Использование материального метода и инструментов мотивации позволит компании достичь поставленных целей и приведет к расширению ее возможностей.

Также возможно использование организационных методов мотивации персонала предприятия, основным направлением которых является обеспечение комфортных условий труда. В этой ситуации можно говорить об использовании таких инструментов, как:

- участие в делах предприятия;
- обучение за счет организации;
- вовлечение в реализацию важных стратегических проектов;
- индивидуальный график работы;
- зачисление в кадровый резерв и так далее [6, С. 144].

Морально-психологический метод мотивации сотрудников является наименее затратным методом по сравнению с другими, представленными такими инструментами, как:

- публикация статей о заслугах сотрудников (сайт организации, местные СМИ);
- атмосфера взаимного уважения;
- профессиональная гордость;
- награждение в виде писем и благодарностей, в том числе публичных;
- всевозможные награды;
- "доска почета" (отражение заслуг);
- ценные призы и многое другое.

Этот метод мотивации персонала также можно отнести к эффективным при правильном использовании инструментов и выявлении основных ценностей и потребностей персонала предприятия.

### **Заключение**

Внедрение и использование мотивационных систем в организации помогает привлечь высококвалифицированных специалистов, которые способны управлять любыми коллективами. Неэффективная мотивация или ее отсутствие может привести к снижению систем управления и социально-экономической деятельности сотрудников.

### **Литература**

1. Альберт М., Мескон М., Хедоури Ф. Основы менеджмента // М.: Дело. – 2016. – С. 492
2. Максимцов М.М., Игнатъева А.В.. Менеджмент: Учебник для вузов. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 2015. – 343 с.
3. Т.А. Филипповой Основы менеджмента. – М.: «ГНОМ-пресс», 2016. – 440 с.
4. Севек В.К. Управление качеством: учебное пособие / В.К. Севек, А.К.Х. Дадар. – Кызыл: Изд-во ТывГУ, 2010. – 65 с.



УДК 338.314

**ИНВЕСТИЦИИ В ЭКОНОМИКЕ ЭНЕРГЕТИКЕ**  
**INVESTMENTS IN THE ECONOMY AND ENERGY SECTOR**

А.Ф. Рахманова, В.С. Тихонова  
Научный руководитель – Т.Ю. Дунаева, доцент  
Казанский государственный энергетический университет,  
г. Казань, Россия  
eop1404@mail.ru

A. Rakhmanova, V. Tikhonova  
Supervisor – T.U. Dunaeva, docent  
Kazan State Engineering University, Kazan, Russia

**Аннотация:** В статье рассматривается проблема привлечения частных инвестиций в электроэнергетику, говорится о трудностях привлечения средств, а также предлагается вариант государственных преференций для создания благоприятных условий привлечения финансирования в электроэнергетику.

**Abstract:** The article deals with the problem of attracting private investment in the electric power industry, talks about the difficulties of raising funds, and also offers a variant of state preferences to create favorable conditions for attracting financing to the electric power industry.

**Ключевые слова:** инвестиции, энергетика экономика.

**Keywords:** investment, energy, economy.

**Введение**

В последние годы в электроэнергетике происходят структурные изменения. Государство уходит от контроля над этой сферой деятельности, уступая место рыночным механизмам.

Это связано с тем, что для модернизации оборудования и перехода к эффективному производству необходимы крупные финансовые вложения, которые не могут финансироваться только из бюджетных средств [2; 56].

**Основная часть**

Уникальность прошедшего года заключается еще и в том, что в 2020-м впервые в истории мы ввели больше электростанций на возобновляемых источниках энергии, нежели обычных тепловых станций. Надо отметить, что всего было введено небольшое количество, менее 2 ГВт мощностей, из которых 1,2 ГВт – это солнечные и ветровые станции. Таким образом, Россия следует мировой тенденции по переходу на зеленую генерацию – в мире последние пять-семь лет по вводам лидируют именно объекты ВИЭ.

Важный вопрос: какой ценой нашей стране достается переход на альтернативную энергетику? Отвечая на него, не нужно забывать про потребителей – именно они, включая промышленные предприятия всех отраслей, оплачивают развитие зеленой энергетики и обеспечивают возврат инвестиций участникам рынка. Это выражается, прежде всего, в росте цен на электроэнергию».

Эксперт подчеркнул, что в России инвестиции в электросетевое хозяйство в общем объеме вложений в электроэнергетику занимают порядка 40 %.

В мире, кстати, тенденция аналогичная. При этом драйвером для роста капиталовложений сетевых компаний в данный сектор может стать цифровизация сетей.

«Такие программы утверждаются на уровне правительства и в какой-то степени их можно назвать искусственными. Основная их особенность в том, что все подобные программы обеспечивают возврат инвестиций через тарифы.

Сетевой комплекс – регулируемый вид деятельности, здесь нет абсолютно никакой конкуренции. Компания «Россети», обладающая долей более 80 % всего рынка, чувствует себя комфортно в таких условиях, она готова наращивать инвестиции, делать более эффективной свою деятельность и энергосистему в целом», – заметил Дмитрий Пигарев. В связи с этим появляются новые частные компании, занимающиеся производством и передачей электроэнергии. Но я хотел бы отметить, что атомные и гидроэлектростанции находятся под контролем государства.

Сегодня инвестиции в энергетику – это прерогатива частных инвесторов. Несмотря на то, что их общее количество постоянно растет, отдача от инвестиций не является максимальной.

Особенностью является ориентация инвесторов на максимальную прибыль, которую можно извлечь за короткое время. Но известно, что энергетический сектор не предполагает быстрого оборота средств. Положительная отдача возможна только после очень длительного периода, определяемого десятками лет.

Исходя из этого, инвестиции в энергетический комплекс – это капитальные вложения, которые имеют повышенные риски. Поэтому не стоит рассматривать такую инвестицию как источник быстрого дохода.

Топливо-энергетический комплекс нашего государства характеризуется финансированием, которое имеет долгосрочные цели. Доля частных инвесторов составляет до 90 % от общего объема инвестиций, и только остальная их часть осуществляется из государственного бюджета. В то же время многие предприниматели все больше ориентируются на нестандартные источники энергии.

Территории и минерально-сырьевые ресурсы России достаточно богаты энергоресурсами, но перспективным считается развитие альтернативных источников энергии. Это особенно важно для тех регионов, где используется импортное топливо.

В европейских странах инвестиции в альтернативную энергетику уже давно дают ощутимый эффект. Например, Дания добилась того, что почти половина необходимой энергии добывается из альтернативных источников. А статистика по Евросоюзу показывает, что десятая часть энергии вырабатывается нетрадиционными методами.

Наша страна также заинтересована в строительстве альтернативных электростанций. Основное внимание уделяется солнечной энергии. Их планируется строить в различных регионах страны – на Алтае, в Якутии, в Туве. Но всему мешает недостаточное финансирование, потому что строительство таких объектов стоит очень дорого. Все расходы придется нести за счет бюджета страны, ведь такие объекты предназначены для обеспечения жизнедеятельности населенных пунктов в труднодоступных районах страны. Найти частных инвесторов для таких целей довольно сложно.

Для инвестиций в электроэнергетику необходим уровень цен, который будет позволять возвращать их, считает Председатель наблюдательного совета Ассоциации «Совет производителей электроэнергии» Александра Панина, пишет газета «Энергетика и промышленность России». По ее словам, если сравнить оборудование, которое можно купить в РФ и за рубежом: на сегодня проблема с локализацией не решена, поэтому речь идет об импортном оборудовании, оно стоит одинаково, в то время как локализованное выйдет еще дороже, потому что в РФ сейчас инвестиции направлены в локализацию.

«У нас прошло много разных конкурсов – на модернизацию, на строительство солнечных и ветряных электростанций, атомных блоков. Одноставочная цена любого энергетического проекта существенно превышает нашу рыночную цену», - подчеркивает Александра Панина.

Она также отмечает, что большую роль в неопределенности для окупаемости проектов играет коэффициент использования установленной мощности (КИУМ). Например, за счет ввода большого количества возобновляемых источников энергии (ВИЭ) КИУМ тепловой генерации в Германии снизился с 2012 года на 6 %. На ОРЭМ России вообще нет механизма, который позволил бы инвестору договориться, законтрактовать свою выработку (свой КИУМ) с крупным потребителем.

«Что касается гарантированной долгосрочности правил, здесь тоже остаются вопросы: учитывая, что регулярно на разных уровнях принимается большое количество изменений, инвестор не может быть уверенным, что за период окупаемости проекта правила не изменятся кардинально», – говорит эксперт.

Александра Панина подчеркнула, что в мире есть опыт привлечения инвестиций в отрасль без специальных надбавок – за счет рыночной цены. К примеру, на рынке Норд Пул обновление мощностей идет за счет одноставочной цены и «длинных свободных двусторонних договоров», которые заключаются на 20 – 30 лет. Она полагает, что в России возможно привлечь инвестиции на общерыночных принципах, но для начала нужно серьезно взвесить все за и против.

### **Заключение**

Таким образом, можно также двигаться в сторону уменьшения доли надбавок путем внедрения технологически нейтральных конкурсов, когда потребность в электроэнергии и мощности покрывается строительством любого типа генерации (ТЭС, АЭС, ВИЭ, Гидростанции и т.д.) с наименьшей стоимостью. «Тем более, уже сейчас конкурсы КОММОД проходят по одноставочной цене. Только что вышло Постановление Правительства РФ по ДПМ ВИЭ-2, отбор по которым будет также вестись по одноставочной цене», – заключила Александра Панина.

Также можно двигаться в сторону уменьшения доли надбавок путем внедрения технологически нейтральных конкурсов, когда потребность в электроэнергии и мощности покрывается строительством любого типа генерации (ТЭС, АЭС, ВИЭ, ГЭС и т.д.) с наименьшей стоимостью. Тем более, уже сейчас конкурсы КОММОД проходят по одноставочной цене. Только что вышло Постановление Правительства РФ по ДПМ ВИЭ-2, отбор по которым будет также вестись по одноставочной цене.

### Литература

1. Исследование ЕУ «Индекс привлекательности стран для развития отрасли возобновляемой энергетики» (Renewable Energy Country Attractiveness Index (RECAI)) 2014г. – URL: <http://www.eu.com/> (дата обращения: 12.05.2015).
2. ЕУ: доходы «зеленой» энергетики привлекают инвесторов 2013г. – URL: <http://www.vestifinance.ru/articles/37019> (дата обращения: 10.05.2015).

УДК 338.242

**ЗЕЛЕННЫЕ СЕРТИФИКАТЫ  
GREEN CERTIFICATES**

А.Д. Рыдзевская, В.В. Пирогова

Научный руководитель – Е.П. Корсак, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

alina-rydzevskaya@mail.ru

A. Rydzevskaya, V. Pirogova

Supervisor – E. Korsak, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** Политика по продвижению возобновляемой электроэнергии все чаще рассматривается в качестве способа, способствующего уменьшению негативного воздействия на окружающую среду, связанного с высоким уровнем потребления электроэнергии. В данной статье рассматривается понятие «зеленые сертификаты», их суть и цели, а также международный опыт использования и механизм выпуска и оборота зеленых сертификатов.

**Abstract:** Renewable electricity policies are increasingly seen as a way to help reduce the negative environmental impacts associated with high electricity consumption. This article discusses the concept of "green certificates", their essence and goals, as well as international experience in the use and mechanism of issuing and circulation of green certificates.

**Ключевые слова:** зеленые сертификаты, экология, зеленая энергия, «гарантия происхождения», возобновляемая энергетика.

**Keywords:** green certificates, ecology, green energy, Guarantees of Origin, renewable energy.

**Введение**

В современном мире с каждым годом все больше возрастает использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Мировые бренды, предприятия и компании ставят перед собой задачи, которые позволяют улучшить состояние окружающей среды, а именно: закупать электроэнергию, ориентированную на их стабильное функционирование, от ВИЭ. Можно сказать, что данные компании служат примером другим, а также мотивируют энергетические предприятия заниматься «чистым» производством энергии, способствуя сокращению вредных выбросов и улучшению мировой экологии.

**Основная часть**

Для популяризации и развития ВИЭ используют такой инструмент, как зеленые сертификаты. Наибольшее распространение они получили в США (Renewable Energy Certificates) и Европе (Guarantees of Origin или «гарантия происхождения»).

Традиционные источники энергии постепенно заменяются возобновляемыми. Мировая энергетика отдает приоритет чистым и безопасным способам выработки электроэнергии. Но зачастую себестоимость «зеленой» энергии го-

раздо больше, чем любой другой, по этой причине необходима непосредственно государственная помощь. Выделяются субсидии и льготы для «зеленых» производителей, т. е. для тех, кто использует ВИЭ.

Пример зеленого сертификата представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Зеленый сертификат

Данные, которые включаются в зеленый сертификат, представлены на рис. 2.

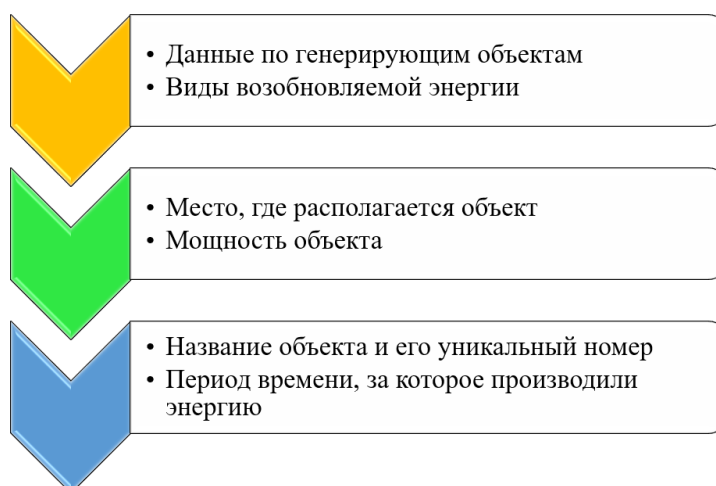


Рисунок 2 – Содержание зеленого сертификата

За каждый произведенный 1 МВт·ч «зеленой» электроэнергии организация приобретает сертификат, которому присваивается уникальный номер. Затем данная энергия может быть подана в сеть, а сертификат может быть продан на открытом рынке. У сертификатов нет установленной цены, она определяется в соответствии с



предложением и спросом на рынке. Их можно покупать и продавать в независимости от того, вырабатывает организация «зеленую» энергию или нет.

Система выдачи и обращения сертификатов представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Система выдачи и обращения сертификатов

В некоторых странах производство «зеленой» энергии является обязательным для различных компаний и организаций. Отсюда понятна причина спроса и распространения зеленых сертификатов. Компании, которые не успевают или не могут выполнить свои условия по квотам, связанные с ВИЭ, вынуждены приобретать зеленые сертификаты.

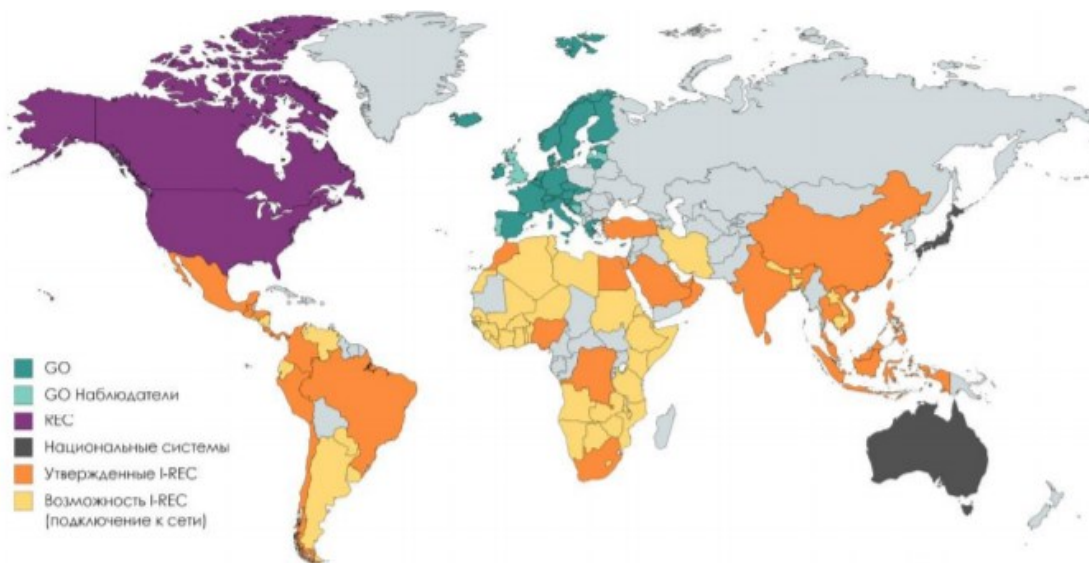


Рисунок 4 – Распространение зеленых сертификатов в мире

Зеленые сертификаты можно не только продать, но и использовать как кредит для будущего потребления, т. е. сейчас отдать в сеть, а позже взять обратно.

Европейские «гарантии происхождения» на рынке составили около 595 млрд кВт·ч в 2019 г., а американские сертификаты достигли 410 млрд кВт·ч в 2018 году.

Существует Европейская система сертификации электроэнергии, объединяющая 24 органа сертификации из 21 страны, в состав которых входят, помимо стран ЕС, Швейцария, Норвегия и Исландия. Некоторые страны занимают позицию наблюдателей (Рисунок 4).

### **Заключение**

Зеленые сертификаты являются отличным способом для поддержания и развития ВИЭ, что способствует улучшению экологической ситуации в мире. Необходимо продвигать зеленые сертификаты и в других странах. Для этого следует выполнять следующие меры:

- развивать информационную среду, а именно: информировать население о преимуществах ВИЭ и потенциале снижения затрат и рисков;
- развитие партнерских поощрительных программ для потенциальных потребителей: консультирование, введение почетных званий и так далее;
- ввести маркировку товаров, которые произведены с использованием «зеленой» электроэнергии;
- поощрять инвестиции, которые направлены на постройку новой генерации ВИЭ;
- создание национальной системы, которая позволит вести учет выдачи, перехода прав и погашения зеленых сертификатов.

### **Литература**

1. Зеленые сертификаты: мировой опыт. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/\\_energy\\_jan\\_2020.pdf](https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/_energy_jan_2020.pdf). – Дата доступа: 08.04.2021.
2. Понятие «зеленые сертификаты». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://forexdengi.com/threads/161185-что-такое-зеленые-сертификаты-renewable-energy-certificates>. – Дата доступа: 09.04.2021.
3. Добровольный спрос на «зеленую» электроэнергию как фактор развития возобновляемой энергетики. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.np-sr.ru/sites/default/files/2\\_dobrovolnyy\\_spros\\_1.pdf](https://www.np-sr.ru/sites/default/files/2_dobrovolnyy_spros_1.pdf). – Дата доступа: 09.04.2021.

УДК 336.763

**ИНВЕСТИЦИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СЕКТОР РОССИИ.  
INVESTMENTS IN THE RUSSIAN ENERGY SECTOR.**

А.Д. Тараторкина

Научный руководитель – Ю.П. Васильева к.э.н., доцент  
Уфимский государственный нефтяной технический университет,

г. Уфа, Россия

vasilevajulia@bk.ru

A.D.Taratorkina

Supervisor – Y.P.Vasileva Docent, Candidate of Economic Sciences  
Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia

***Аннотация:** Цель исследования – анализ состояния энергетической отрасли и проблема ее финансирования, объект исследования - энергетический комплекс России. В результате, составлено представление об инвестиционных вложениях в энергетическую отрасль.*

***Abstract:** The purpose of the study is to analyze the state of the energy industry and the problem of its financing. The object of the study is the energy complex of Russia. As a result, an idea of investment investments in the energy sector is compiled.*

***Ключевые слова:** энергетика, инвестиции, проекты, прибыль, Россия.*

***Keywords:** energetics, investments, projects, profit, Russia.*

**Введение**

Энергетика является основным компонентом экономики России. И конечно же, такая значимая отрасль не может существовать без денежных вложений, необходимых, прежде всего, для ее развития. Существовавшая ранее плановая система позволяла осуществлять крупные финансовые вливания в отрасль энергетики. При этом, была возможность вовремя модернизировать отрасль и постоянно увеличивать мощности производства. Сейчас же, когда энергетический комплекс не может рассчитывать на субсидирование государства, привлечение капитала со стороны играет наиболее важную роль для поддержания данной области экономики. Вот, почему тема инвестирования в энергетику так актуальна на сегодняшний день.

Задачи работы:

- Установление роли инвестиций для энергетического сектора РФ
- Анализ проектов для поддержания отрасли

**Основная часть**

Существуют разные способы привлечения инвестиций, а именно:

1. Собственные вложения
2. Прямое инвестирование
3. Выпуск компаниями дополнительных акций, облигаций
4. Привлечение кредитов

Поскольку большая часть энергетического комплекса России не субсидируется государством, а производить самофинансирование сможет позволить себе далеко не каждая компания, часто прибегают к прямому инвестированию.

Инвесторы в большинстве своем ориентированы на максимальную прибыль в краткосрочном периоде, но исходя из того, что энергетическая отрасль не предполагает быстрого оборота средств и положительная отдача может занять продолжительное время, имея высокие риски, идет недостаток финансирования энергетики.

Энергетическая отрасль включает в себя: 1. электроэнергетику, которая подразделяется на: тепловую и гидроэнергетику, а также малая доля приходится на альтернативные источники. 2. Топливную энергетику, в нее входит нефтегазовая отрасль, добыча угля и других горючих ископаемых.

Производство первичной энергии в России более чем в два раза превышает внутреннее потребление, гарантируя энергетическую безопасность страны. Ежегодные инвестиции компаний ТЭК на сумму более 3,5 трлн руб. являются важным фактором социально-экономического развития страны и дают существенный импульс развитию высокотехнологичных отраслей российской промышленности. Россия обладает колоссальным опытом в создании и эксплуатации энергетической инфраструктуры, и управлении энергоснабжением обширных территорий.

Рассмотрим динамику инвестиционных вложений в Российскую энергетику. В 2018 энергетический комплекс получил инвестирование на сумму около 5 трлн. руб., так как рост капитальных вложений связан с ростом цен на энергоносители на мировом рынке. 2020 год, Борьба с COVID-19 привела к резкому снижению экономической активности, мирового спроса на энергоресурсы и обрушению цен на них. Инвестирование в мировую энергетику снизились на 20 % в сравнении с 2019 годом, что несомненно отразилось и на российском рынке.

Альтернативная энергетика - это энергетика, которая основана на использовании возобновляемых источников энергии (ВИЭ), а именно: энергии ветра, солнца, приливов и тепла Земли. Основным преимуществом является экологичность всех альтернативных источников энергии. Во время работы подобных станций, не происходит никаких вредных для окружающей среды выбросов. А также, даже если случится авария на альтернативной электростанции, это приведет только к материальным затратам, и не приведет к глобальным экологическим бедствиям, чего нельзя сказать об АЭС. Россия продолжительное время не торопилась вести исследования в данной сфере, одна из причин прекращения работ стала высокая цена на нефть, тогда государство почти прекратило вкладывать средства в поиски новых способов получения энергии. Несмотря на это, Россия все же имеет развитую сеть станций возобновляемой энергетики. В данный период времени доля альтернативной энергетики в России очень мала, но государство уже заинтересовано переходом на более дешевые, по сравнению с традиционными, виды добычи энергии.

Инвестиционные проекты:

1. Долгосрочный проект для развития энергетики на основе возобновляемых источников (ВИЭ): в 2020 году председатель Правительства Российской Федерации Михаил Мишустин утвердил Энергетическую стратегию на период до 2035 года, которая призвана вывести отрасль на новый уровень, соответствующий ди-

намичному социально-экономическому развитию и обеспечению национальной безопасности страны. Для достижения целей, в документе прописан ряд мер:

- Повышение эффективности электроснабжения
- Дальнейшее внедрение цифровых технологий
- Развитие и производство водорода. В дальнейшем, вхождение России в число мировых лидеров водородной энергетики.
- Повышение инновационной активности энергокомпаний, а также
- Развитие альтернативных источников энергии.

2. Долгосрочный проект для развития гидроэнергетики: инвестиционная программа компании "РусГидро" на 2020 – 2024 гг. с перспективой до 2029, примерный объем финансирования которого составляет 15,5 млн. руб., целями являются: Повышение экономической и операционной эффективности деятельности компаний Группы РусГидро за счет внедрения инновационных технических и управленческих решений, повышение энергоэффективности производства и транспортировки электрической и тепловой энергии и т.д.

3. Долгосрочная программа для развития атомной энергетики - «Развитие техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии в России на период до 2024 года», в которую вошли пять федеральных проектов, оценивается в 700 – 800 млрд рублей. Одна из основных целей – сохранение и укрепление национальных компетенций в области термоядерных технологий, развитие исследовательской инфраструктуры, продвижение к освоению и использованию термоядерной энергии.

4. Долгосрочный проект для развития тепловой энергетики, программа масштабной модернизации теплоэлектростанций в 2022 – 2031 годах, которая может составить 422 млрд. руб., задачи: планируется модернизировать около 39 ГВт установленной мощности генерирующих объектов.

5. Долгосрочный проект для развития нефтегазовой отрасли – «Восток-ойл», целями которого являются: освоение нефтяных месторождений в Краснодарском крае, строительство порта в бухте Север (полуостров Таймыр) для вывоза нефти с месторождений и строительству нефтепровода к порту.

6. Программы развития угольной промышленности России на период до 2030 года, которые направлены на развитие сырьевой базы, создание новых центров угледобычи, развитие внутреннего рынка угольной продукции и т.д.. Объем финансирования составляет 3,7 трлн. руб.

Рассмотрим на примере крупных компаний, сколько может заработать человек (инвестор) вкладывая деньги в покупку акций данных организаций:

1. РусГидро: в 2018 установился самый низкий показатель 0,48 руб. за акцию, далее 2020 г. – 0,63 руб. за акцию и в данный момент на 2021 составляет – 0,825
2. Росатом: 2018 – 4,05 руб., 2020 – 4,65 и 2021 – 4,95 руб. за акцию
3. Роснефть: 2018 – 436,1 руб., 2020 – 411,45 руб., 2021 – 555,4 руб./акция

### **Заключение**

На сегодняшний день, тема привлечения инвестиций в энергетический комплекс является наиболее актуальной. В РФ разработано много планов по усовершенствованию отрасли, внедрению в нее новых технологий, а также по



новым экологичным видам добычи энергии. Но для реализации этих проектов нужно много вложений в энергетический комплекс, но так как всего 10 % финансирование идет от государства, то необходимо привлечение прямых инвестиций, которые составляют все остальные 90 %. Чтобы вкладчику получить больше выгоды в долгосрочной перспективе при высоких рисках вложений, ему нужно сделать глубокий анализ компаний и отрасли в целом. Ранее была представлена динамика роста цены на акцию по трем крупным компаниям энергетического комплекса, которая показывает активные продажи и хороший отчет организаций, вследствие чего, инвестор остается в выигрыше от своих вкладов. При «умном» распределении финансов выиграет как сам вкладчик, так и страна в целом, поэтому несомненно стоит вкладываться в энергетический комплекс России.

### Литература

1. «Долгосрочная программа развития угольной промышленности на период до 2030 года», Распоряжение правительства от 24.01.2012 г. № 14-р [Электронный ресурс] – Документы – Правительство России (government.ru)
2. ПАО Московская Биржа, 2011 – 2021 [Электронный ресурс] – статья «Инвестпрограмма "РусГидро" на 2020 – 2024 годы», Режим доступа – Инвестпрограмма "РусГидро" на 2020 – 2024 годы составит 347,7 млрд рублей (moex.com)
3. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года «О стратегическом планировании в Российской Федерации»: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 г. № 1523-р [Электронный ресурс] – Энергетическая стратегия России на период до 2035 года (minenergo.gov.ru).



УДК 629.735

**ВНЕДРЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА НА  
ПРЕДПРИЯТИЯХ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ**  
**IMPLEMENTATION OF THE ASKUE SYSTEM AT ENTERPRISES IN  
ORDER TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY**

О.Г. Царик

Научный руководитель – Н.А. Самосюк, к.э.н, доцент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

Tasha712@tut.by

O. Tsarik

Supervisor – N. Samosyuk, Candidate of Economic Sciences  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной статье рассмотрены этапы и особенности внедрения энергетического менеджмента на предприятиях. Приведены критерии оценки эффективности мероприятий энергоменеджмента.*

***Abstract:** This article discusses the stages and features of the implementation of energy management at enterprises. Evaluations of the effectiveness of energy management measures are given.*

***Ключевые слова:** энергосбережение, энергетический менеджмент, энергетическая эффективность, энергетический аудит.*

***Keywords:** energy saving, energy management, energy efficiency, energy audit.*

### **Введение**

Одной из главных проблем предприятий Республики Беларусь в настоящее время является энергосбережение. Наша страна энергозависима от поставок энергоресурсов из других стран. Поэтому важно уменьшать количество потребления топлива и повышать энергетическую эффективность. Для повышения уровня энергоэффективности на предприятиях возможно внедрение системы энергетического менеджмента (СЭнМ).

### **Основная часть**

Основой энергосбережения на предприятии является создание системы энергетического менеджмента – комплекса мероприятий, которые направлены на увеличение эффективности потребления топливно-энергетических ресурсов.

Энергоменеджмент играет значительную роль в повышении экономической эффективности и экологической безопасности.

Система энергоменеджмента представляет собой комплекс связанных между собой элементов, которые направлены на формирование энергетической политики, постановку целей и разработку мер для достижения этих целей. Такая система помогает руководству принимать оперативные управленческие решения для потребления минимального количества необходимых ресурсов. Для успешного внедрения энергетического менеджмента следует провести через несколько этапов, которые приведены на рисунке 1.

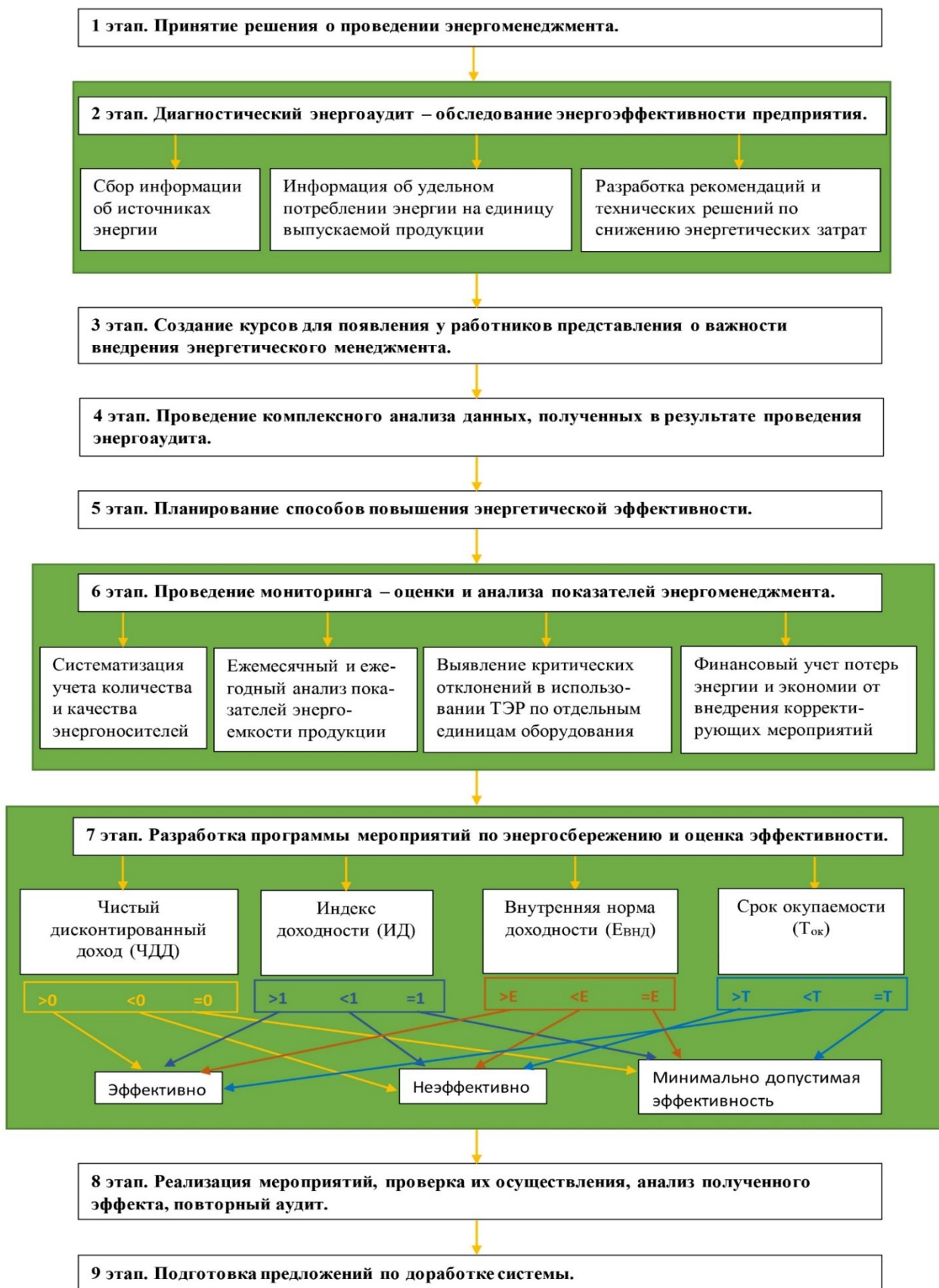


Рисунок 1 – Этапы проведения энергетического менеджмента предприятия

Одним из важнейших этапов является диагностический аудит – обследование предприятия для разработки мероприятий по снижению затрат.

Сначала следует внедрить регулирование потребления и расходов на энергоресурсы. Для этого необходимо составить энергетический баланс предприятия. Затем происходит анализ разнообразных систем, котельных и оборудования. На этом этапе также устанавливаются различные необоснованные потери.

Энергоаудит предприятий предоставляет возможность сделать необходимые выводы для более качественной организации циклов на производстве. Энергообследование позволит выявить и ликвидировать неисправности в местах, где происходят большие потери энергоресурсов, приводящие к непредсказуемым расходам [1].

Далее следует этап мониторинга и планирования. Это означает сбор информации о потреблении энергии и создание рекомендаций по самым неэффективно используемым топливно-энергетическим ресурсам.

После проведения всех анализов, а также разработки программ энергосберегающих мероприятий проводится расчет экономической эффективности и их целесообразности.

При расчете эффективности внедрения энергоменеджмента следует обратить внимание на такие показатели, как: чистый дисконтированный доход, индекс доходности, внутренняя норма доходности и срок окупаемости [2].

В случае, если эти показатели покажут, что модернизация оборудования, внедрение различных систем и т.п. эффективны, следует этап осуществления самих мероприятий.

### **Заключение**

После окончания всех стадий следует проанализировать достигнутый эффект, рассмотреть возможные способы улучшения результатов и снова проводить энергоменеджмент.

За счет внедрения энергетического менеджмента возможны оптимизация потребления топливно-энергетических ресурсов, уменьшение потерь и себестоимости благодаря сокращению энергетической составляющей. А также это позволит повысить энергетическую безопасность.

### **Литература**

1. Царик О.Г., Круподёрова Е.Д. Система энергетического менеджмента как инструмент повышения энергетической эффективности предприятия / О.Г. Царик, Е.Д. Круподёрова, науч. руководитель Н.А. Самосюк // Инновационный потенциал развития науки в современном мире: технологии, инновации, достижения / Сборник научных статей по материалам III Международной научно-практической конференции (28 июля 2020 г., г. Уфа) / – Уфа: Изд. НИЦ Вестник науки, 2020. – с. 51 – 54.

2. Романькова, Т.В. Энергоэффективность предприятия: показатели, факторы и механизмы повышения: монография / Т.В. Романькова, М.Н. Гриневич, О.В. Голушкова – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2013. – 147 с.