

Министерство образования Республики Беларусь  
Белорусский национальный технический университет  
Энергетический факультет

## **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ**



**Материалы 77 – й  
научно – технической  
конференции студентов  
и аспирантов  
(Апрель 2021г.)**

Часть 3

## **ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ**

**Минск 2021**

УДК 621.311  
ББК 31 я 43  
А 43

**Редакционная коллегия:**

Пономаренко Евгений Геннадьевич – декан энергетического факультета БНТУ, кандидат технических наук, доцент;  
Фурсанов Михаил Иванович – заведующий кафедрой «Электрические системы», д.т.н., профессор.

**Составитель:**

Жуковская Т.Е. – 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.). Часть 3 «Электроэнергетические системы и сети».

Статьи печатаются в авторской редакции

Белорусский национальный технический университет.  
Энергетический факультет.  
пр - т Независимости, 65/2, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.: (017) 292-42-32 Факс: 292-71-73  
E-mail: ef@bntu.by  
<http://www.bntu.by/ef.html>

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>БИОДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО НА ОСНОВЕ РАПСОВОГО МАСЛА .....</b>	<b>8</b>
П.А. МАТУСЕВИЧ .....	8
Научный руководитель – Н.С. ПЕТРАШЕВИЧ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ .....	8
<b>ЭНЕРГОРЕСУРСЫ: ЗАПАСЫ, СПОСОБЫ ДОБЫЧИ ПОДЗЕМНЫХ ПРИРОДНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ. КАРЬЕРЫ, ШАХТЫ, СКВАЖИНЫ .....</b>	<b>12</b>
Д.М. АНДРОСИК .....	12
Научный руководитель – Е.В. МЫШКОВЕЦ .....	12
<b>ТЕРМОЯДЕНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: ПЕРСПЕКТИВЫ И РАЗВИТИЕ .....</b>	<b>15</b>
М.Э. АСТРЕМСКИЙ .....	15
Научный руководитель – Н.С. ПЕТРАШЕВИЧ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ .....	15
<b>ТЕРМОЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА КАК ШАГ В БУДУЩЕЕ .....</b>	<b>18</b>
А. А. АХРЕМКО .....	18
Научный руководитель – В. А. ХАНЕВСКАЯ, ИНЖЕНЕР .....	18
<b>ВОДОРОД. ПОЛУЧЕНИЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ .....</b>	<b>21</b>
А.А. БАНДЮКЕВИЧ .....	21
Научный руководитель – Е.В. МЫШКОВЕЦ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ .....	21
<b>ВЫБОР МОЩНОСТИ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ УРОВНЕЙ ПОТЕРЬ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ .....</b>	<b>24</b>
П.Г. БАРАНОВСКИЙ .....	24
Научный руководитель – М.И. ФУРСАНОВ, ДОКТОР ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ПРОФЕССОР .....	24
<b>АЭС. КЛАССИФИКАЦИЯ ПО ТИПУ РЕАКТОРОВ. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕАКТОРОВ .....</b>	<b>29</b>
Н.С. БОЛТУТЬ .....	29
Научный руководитель – Е.В. МЫШКОВЕЦ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ .....	29
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ .....</b>	<b>33</b>
К.Д. БОРЩЕВСКАЯ, И.С. МАЛАШЕНКО .....	33
Научный руководитель – А.Л. СТАРЖИНСКИЙ, К.Т.Н., ДОЦЕНТ .....	33
<b>ПИРИНГОВАЯ ТОРГОВЛЯ КАК НОВЫЙ ВИД ВЗАИМООТНОШЕНИЙ "ПРОИЗВОДИТЕЛЬ- ПОТРЕБИТЕЛЬ" .....</b>	<b>37</b>
А.В. БОРЩЕВСКИЙ, А.П. АЛЕКСЕЕВ, М.Н. БУЛИН .....	37
Научный руководитель – Е.М. ГЕЦМАН, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ .....	37
<b>ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ .....</b>	<b>41</b>
А. П. АЛЕКСЕЕВ, А.В. БОРЩЕВСКИЙ, Д.Д. ТАРАСЕВИЧ .....	41
Научный руководитель – Е. М. ГЕЦМАН, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ .....	41
<b>GE HALIAD-Х – САМЫЙ БОЛЬШОЙ В МИРЕ ВЕТРЯНОЙ ГЕНЕРАТОР .....</b>	<b>45</b>
Д.А. БУРДИН, Д.С. ЛЯЛЮК, Н.М. НИКОЛАЕВ .....	45
Научный руководитель – инженер В.А. ХАНЕВСКАЯ .....	45
<b>КРУПНЕЙШИЕ ТЭС МИРА .....</b>	<b>48</b>
ВАСИЛЬЕВА А.И. ....	48
Научный руководитель – ПЕТРАШЕВИЧ Н.С. ....	48
<b>ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ .....</b>	<b>51</b>
М.Н. ВЕЛИТЧЕНКО .....	51
Научный руководитель – В.В. МАКАРЕВИЧ СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ .....	51

<b>ЭНЕРГОРЕСУРСЫ ИСКУССТВЕННЫЕ: ВОДОРОД - ХРАНЕНИЕ, ТРАНСПОРТИРОВКА.....</b>	<b>54</b>
И.Д.Винников .....	54
Научный руководитель – Е.В. Мышковаец, старший преподаватель .....	54
<b>СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СХЕМ РУ СРАВНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ ПРИСОЕДИНЕНИЙ.....</b>	<b>59</b>
В.Н. Годун, Е.В. Мятлев, А.И. Петрович.....	59
Научный руководитель -А.Л. Старжинский к.т.н., доцент .....	59
<b>ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ: ГЭС, ГЭАС. ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ. ПРОГРАММА РАЗВИТИЯ ГЭС В БЕЛАРУСИ.....</b>	<b>63</b>
В.В. Голуб .....	63
Научный руководитель – Е.В. Мышковаец, старший преподаватель .....	63
<b>ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ПРИ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....</b>	<b>67</b>
М.В. Дехтерёнок .....	67
Научный руководитель – М.И. Фурсанов, доктор технических наук, профессор .....	67
<b>ВЫБОР СХЕМЫ С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ТАБЛИЧНО-ЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА .....</b>	<b>71</b>
М.В. Дехтерёнок, П.Г. Барановский .....	71
Научный руководитель – А.Л. Старжинский, к.т.н., доцент .....	71
<b>СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА. ТЕХНОЛОГИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И ОСНОВНЫЕ ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ. ПЛЮСЫ, МИНУСЫ, ПЕРСПЕКТИВА .....</b>	<b>76</b>
Е.В. Драневский .....	76
Научный руководитель – Е.В. Мышковаец, старший преподаватель .....	76
<b>ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ БЕЛАРУСИ: СОСТАВ, ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ, ПЛАНЫ РАЗВИТИЯ .....</b>	<b>80</b>
Е.В. Езерская .....	80
Научный руководитель – Н.С. Петрашевич .....	80
<b>ПРИМЕНЕНИЕ РЕКЛОУЗЕРОВ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ.....</b>	<b>84</b>
Д.О. Жаркова, А.Э. Мартынович .....	84
Научный руководитель – Н. А. Попкова, ассистент, магистр технических наук.....	84
<b>СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕТРАДИЦИОННЫХ ЭНЕРГОИСТОЧНИКОВ И ТЕХНОЛОГИЙ.....</b>	<b>88</b>
А.А. Захарченко .....	88
Научный руководитель – Е.В. Мышковаец, старший преподаватель. ....	88
<b>УРАН И ЕГО ИЗОТОПЫ. СВОЙСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ.....</b>	<b>92</b>
С.В. Зеньков.....	92
Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель .....	92
<b>РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ С УЧЕТОМ БЕЛАЭС .....</b>	<b>95</b>
Т.Д. Ковалева .....	95
Научный руководитель – Е.М.Гецман, старший преподаватель .....	95
<b>ЭНЕРГОРЕСУРСЫ: СОЛНЦЕ, ВЕТЕР, ВОДА РЕК – ЗАПАСЫ, ДОСТУПНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ .....</b>	<b>100</b>
И.В. Ковалец .....	100
Научный руководитель – Е.В. Мышковаец, старший преподаватель .....	100
<b>ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ .....</b>	<b>105</b>
А.А. Ковзан .....	105
Научный руководитель – М.И.Фурсанов, доктор технических наук, профессор .....	105

<b>МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПУТЕМ УСТАНОВКИ АКТИВНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА .....</b>	<b>108</b>
А.А. КОВЗАН .....	108
Научный руководитель – Н.А. ПОПКОВА, МАГИСТР ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, АССИСТЕНТ .....	108
<b>РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ГЛАВНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ТЭЦ260 МВТ .....</b>	<b>111</b>
С.Н. КОРОТЧЕНКО, М.Н. ПОЗДНЯКОВ, Н.Г. ШАЛЫГИН .....	111
Научный руководитель—А.Л. СТАРЖИНСКИЙ, КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ДОЦЕНТ .....	111
<b>КРУПНЕЙШИЕ АЭС В МИРЕ .....</b>	<b>116</b>
В.Н. КОРШУН .....	116
Научный руководитель – Н.С. ПЕТРАШЕВИЧ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ. ....	116
<b>УМНЫЕ СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....</b>	<b>121</b>
Е.В. КУДЕЛЬКО .....	121
Научный руководитель – Н.С. ПЕТРАШЕВИЧ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ. ....	121
<b>НОМИНАЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И СИСТЕМ .....</b>	<b>124</b>
В.В. ЛЕСЮКОВА .....	124
Научный руководитель – В.В. МАКАРЕВИЧ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ.....	124
<b>ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЛАЗЕРОМ.....</b>	<b>127</b>
Д.С. ЛЯЛЮК, Д.А. БУРДИН, И.В. ГУЦЕВ.....	127
Научный руководитель – В.А. ХАНЕВСКАЯ, ИНЖЕНЕР .....	127
<b>ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА. ТЕХНОЛОГИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ. ПЛЮСЫ, МИНУСЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ.....</b>	<b>130</b>
А.В. МАНЬКО.....	130
Научный руководитель – Н.С. ПЕТРАШЕВИЧ .....	130
<b>НАЗНАЧЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА .....</b>	<b>136</b>
А.Э. МАРТЫНОВИЧ, Д.О. ЖАРКОВА .....	136
Научный руководитель – А. А. ВОЛКОВ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ .....	136
<b>ВЫБОР ПРАВИЛЬНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ .....</b>	<b>139</b>
К.А. МАРЧУК .....	139
Научный руководитель - Е.М. ГЕЦМАН СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ .....	139
<b>ПОТЕРИ МОЩНОСТИ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И ТРАНСФОРМАТОРАХ.....</b>	<b>144</b>
Е.В. МАТУС .....	144
Научный руководитель –В.В. МАКАРЕВИЧ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ .....	144
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ .....</b>	<b>150</b>
А.С. МЕНЗЕЛЕЕВ, И.В. СМЕРТЬЕВА, А.И. НОСОВА .....	150
Научный руководитель – доц. СТАРЖИНСКИЙ А. Л. ....	150
<b>ГИБРИДНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ.....</b>	<b>156</b>
А. С. МЕНЗЕЛЕЕВ.....	156
Научный руководитель –Е. В. КАЛЕНТИОНОК, К.Т.Н., ДОЦЕНТ.....	156
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ.....</b>	<b>159</b>
Д.Д. МИХАЛЁВ .....	159
Научный руководитель –Н.А. ПОПКОВА, АССИСТЕНТ .....	159
<b>ОПТИМИЗАЦИЯ НА ОСНОВЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЗАМКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С ВОЛЬТОДОБАВОЧНЫМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ .....</b>	<b>163</b>
Е.В. МЯТЛЕВ.....	163
Научный руководитель -М.И. ФУРСАНОВ, ДОКТОР ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ПРОФЕССОР.....	163

<b>ГЕНЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ ИЗ КАПЕЛЬ ДОЖДЯ.....</b>	<b>169</b>
Н.М. Николаев, И.В. Гуцев, Д.А. Бурдин.....	169
Научный руководитель – В.А. Ханевская, инженер.....	169
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ЧЕТВЕРТИ ВОЛНЫ.....</b>	<b>172</b>
Н.А. Бруцкий-Стемпковский, А. В. Острейко.....	172
Научный руководитель – к.т.н., доцент Старжинский А. Л. ....	172
<b>ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС БЕЛАРУСИ, ПРОБЛЕМЫ, ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ .....</b>	<b>179</b>
Н.Ю. Подоба.....	179
Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель .....	179
<b>КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И СПОСОБЫ КОМПЕНСАЦИИ НАРУШЕНИЙ.....</b>	<b>183</b>
М.Г. Прокопович .....	183
Научный руководитель – Д.А. Секацкий.....	183
<b>РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ СХЕМЫ СОБСТВЕННЫХ НУЖД БЛОКА ВВЭР-1000 МЕТОДОМ ДЕРЕВА ОТКАЗОВ.....</b>	<b>189</b>
А.И. Протасевич, И.М. Сергеенко, А.В. Старовойтов .....	189
Научный руководитель – А.Л. Старжинский, к.т.н., доцент .....	189
<b>ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ.....</b>	<b>195</b>
Н.Е. Пурлан.....	195
Научный руководитель –С.Г. Гапанюк, старший преподаватель .....	195
<b>ЗАКОН РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ «О ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ».....</b>	<b>199</b>
Р.А. Пыпоть .....	199
Научный руководитель – С.Г. Гапанюк, старший преподаватель.....	199
<b>ЭНЕРГОРЕСУРСЫ: БИОМАССА. ИСТОЧНИКИ, ВИДЫ, СПОСОБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, ПРОГРАММА РАЗВИТИЯ В БЕЛАРУСИ .....</b>	<b>202</b>
В.Д. Слесарев .....	202
Научный руководитель – С.Г. Гапанюк, старший преподаватель.....	202
<b>МАЗУТ, ПОЛЕЗНЫЕ КАЧЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ОСНОВНОГО РЕЗЕРВНОГО ТОПЛИВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ .....</b>	<b>206</b>
К. Д. Сосик, Е. А. Филипенко .....	206
Научный руководитель – В. А. Ханевская, инженер.....	206
<b>ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ. МЕТОДЫПОВЫШЕНИЯЭФФЕКТИВНОСТИ .....</b>	<b>209</b>
Д.Д. Тарасевич, М.Н. Булин, А.П. Алексеев .....	209
Научный руководитель–Н.А.Попкова, старший преподаватель.....	209
<b>СРАВНЕНИЕ ГЛАВНЫХ СХЕМ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ ПРИВЕДЕННЫХ ЗАТРАТ С УЧЁТОМ НАДЁЖНОСТИ .....</b>	<b>213</b>
А.Д. Титов, И.В. Хитров .....	213
Научный руководитель – А.Л. Старжинский, кандидат технических наук .....	213
<b>УТИЛИЗАЦИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.....</b>	<b>218</b>
И.С. Хитров.....	218
Научный руководитель – В.А. Ханевская, инженер .....	218
<b>ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА УГЛЕВОДОРОДНОМ ТОПЛИВЕ .....</b>	<b>220</b>
М.А. Шешко.....	220
Научный руководитель – С.Г. Гапанюк, старший преподаватель.....	220

<b>СИСТЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ .....</b>	<b>224</b>
С. А. ШИМАНОВИЧ.....	224
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – В. А. ХАНЕВСКАЯ, ИНЖЕНЕР .....	224
<b>ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ .....</b>	<b>229</b>
Е.В. ТАРАНКО .....	229
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Е.М. ГЕЦМАН, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ .....	229
<b>ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МЕСТА УСТАНОВКИ УСТРОЙСТВА КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 10 КВ .....</b>	<b>235</b>
В.В. ДЮРОВ.....	235
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – С.Г. ГАПАНЮК, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ .....	235

УДК 620.952

## БИОДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО НА ОСНОВЕ РАПСОВОГО МАСЛА BIODIESEL BASED ON RAPESEED OIL

П.А. Матусевич

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

nik.petrashevitch@gmail.com

P. Matusevich

Supervisor – N. Petrashevich, Senior Lecturer,  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной статье рассматривается тема биодизельного топлива, а именно его определение, назначение, роль в современном мире и механизм получения. Также сравниваются биодизельные топлива на основе различных масел растительного происхождения и делается вывод о преимуществах использования рапсового масла.*

***Abstract:** this article discusses the topic of biodiesel, namely its definition, purpose, role in the modern world and the mechanism of production. Biodiesel fuels based on various oils of vegetable origin are also compared and the advantages of using rapeseed oil are concluded.*

***Ключевые слова:** биодизельное топливо, растительное масло, показатели качества топлива, рапсовое масло, биоразлагаемость.*

***Key words:** biodiesel, vegetable oil, fuel quality indicators, rapeseed oil, biodegradability.*

### **Введение**

Биодизель (дизельное биотопливо) - это соединение метилового эфира со свойствами дизельного топлива, получаемое из масел растительного или животного происхождения. Биодизель в основном производится из масличных масел: рапсового, подсолнечного, пальмового,

### **Основная часть**

Добавление биотоплива к обычным моторным топливам может улучшить экологические характеристики выхлопных газов двигателей. Внедрение биотоплива позволило странам с небольшими запасами ископаемых энергоресурсов снизить свою экономическую и политическую зависимость от импортных поставок топлива. Однако себестоимость производства биоэтанола и биодизеля в большинстве стран мира выше себестоимости нефтепродуктов, включая себестоимость импортной продукции, а рентабельность биотопливного бизнеса ниже, чем у нефтепереработки. В последние годы общественное недовольство биотопливной промышленностью возросло из-за роста цен на сельскохозяйственную продукцию. Эти причины делают развитие рынка биотоплива (компоненты производства и потребления) экономически нецелесообразным без соответствующего уровня государственной поддержки, которая заключается в ряде поощрительных мер и различных стимулов.



Механизмом получения биодизеля является реакция этерификации-взаимодействие жирных кислот с метанолом в присутствии катализатора (основного или кислотного). Соотношение растительного масла к метанолу составляет около 9:1.

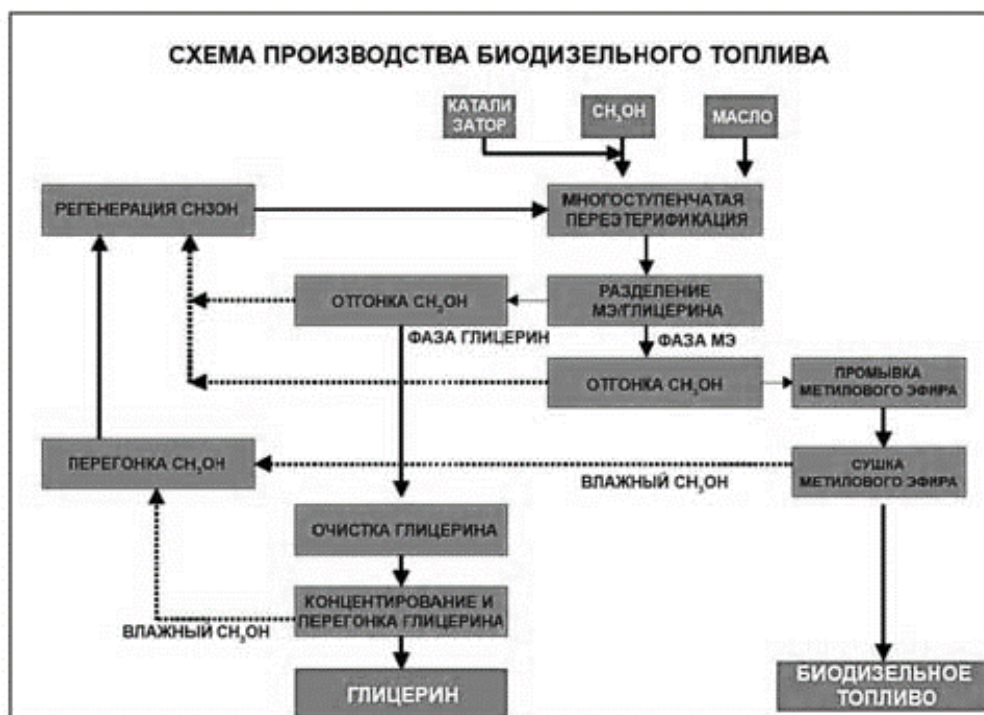


Рисунок 1 –Схема производства биодизельного топлива [1]

Реакция начинается медленно, в зависимости от смеси, она занимает всего 3-6 минут. Чтобы получить хороший выход биодизеля, её необходимо проводить дважды. Затем все это декантируется: глицерин-на дно, а верхняя фракция-эфир-переносится на вторую стадию реакции. Аналогично, через несколько минут простое смешивание метанола и катализатора завершит процесс этерификации, а второй статический декантер отделит глицериновую и эфирную фракции.

Реакцию проводят при любой температуре, т. е. допустимым является диапазон от 20°C до 90°C. Поскольку метанол кипит при температуре 65°C, поэтому, удваивая скорость реакции каждые 10°C, некоторые источники рекомендуют температуру 55°C для повышения безопасности процесса [1].

Из одной тонны растительного масла и 111 кг спирта (в присутствии 12 кг катализатора) получается приблизительно 970 кг (1100 л) биодизеля и 153 кг первичного глицерина. Для производства биодизеля подходят любые растительные масла, твердые масла животного происхождения, отходы масложирового производства или скотобоен. Подсолнечник, рапс, лен – все перечисленные культуры можно использовать как растительное масло. Показатели качества биотоплива варьируются в зависимости от используемого сырья. Пальмовое биодизельное топливо, например, имеет самую высокую калорийность, но быстро замерзает при относительно высоких температурах. Рапсовое биодизельное топливо немного уступает пальмовому по калорийности, но лучше переносит холод.

Таблица 1 – Объем производства растительного масла с 1 га некоторых сельхозкультур  
 [2]

Сырье	Литров масла с 1 га
Соя	446
Лен	478
Кунжут	696
Подсолнечник	952
Арахис	1 059
Рапс	1 190
Олива	1 212
Пальмовое масло	5 950

Лучшим сырьем для производства биодизеля является рапс. Доля произведенного дизельного топлива на 1 тонну рапсового масла составляет 96%. Рапс-третий по величине в мире производитель масличных семян после сои и хлопка, опередив подсолнечник. Существует два сорта рапса – озимый и яровой, с несколько отличающимися показателями урожайности и масличности. Урожайность масличных культур озимых сортов рапса может достигать 60 ц с га, яровых – 45 ц с га. Среднее содержание масла в семенах составляет 40-50%. Рапс-культура, подходящая для пшеничного севооборота. Он хорошо структурирует почву, что приводит к увеличению урожайности зерна до 10-15 ц с га после посева рапса.

Основным преимуществом топлива, получаемого из рапсового масла, является практически полная биоразлагаемость. Содержащийся в нем 10-12% кислорода позволяет значительно снизить выбросы вредных веществ, таких как углеводород и сажа, а также оксиды азота - за счет снижения температуры сгорания. Рапсовое масло фактически не содержит соединений серы; также оно не содержит и полициклические ароматические углеводороды, которые являются распространенными канцерогенами в выхлопных газах дизельных двигателей.

Наивно думать, что биодизель как моторное топливо не имеет недостатков. Конечно, они есть, и противники этого вида топлива всячески подчеркивают их. Так, биодизельное топливо более агрессивно по отношению к резиновым компонентам двигателя, чем обычное дизельное топливо. При низких температурах на форсунках, соплах и других калибровочных отверстиях могут образовываться отложения в виде кристаллов воска, что приводит к их засорению. Отмечены случаи неисправности насоса высокого давления и топливного фильтра. Поэтому производители дизельных двигателей вносят конструктивные изменения, чтобы приспособить их к использованию биотоплива. Биодизель может испортить краску кузова автомобиля. Поэтому в случае такой утечки топлива, жидкость из кузова необходимо немедленно

удалить. В холодное время года биодизельное топливо гораздо менее эффективно, чем дизельное.

Еще одна проблема, возникающая при работе дизеля на рапсовом масле, — повышенная вязкость последнего: при нормальной (293 К, или 20 °С) температуре она на порядок выше, чем у стандартного дизельного топлива (соответственно 75 и 3,8 мм<sup>2</sup>/с). Однако при повышении температуры эта разница уменьшается. Например, при 313 К (40 °С) вязкость рапсового масла — 36 мм<sup>2</sup>/с, т. е. уменьшается вдвое, а при 343 К (70 °С) — до 17,5 мм<sup>2</sup>/с, или еще более чем вдвое. Но главное в том, что существенно меньшей вязкостью обладают смеси рапсового масла с дизельным топливом. Так, вязкость смеси, содержащей (по объему) 80 % дизельного топлива и 20 % рапсового масла, при температуре 292 К (20 °С) составляет 9 мм<sup>2</sup>/с, а при 313 К (40 °С), характерной для условий систем топливоподачи дизелей, — 5 мм<sup>2</sup>/с. Иначе говоря, становится соизмеримой с вязкостью чистого дизельного топлива (норматив: 3—6 мм<sup>2</sup>/с).

### **Заключение**

Таким образом, поскольку рапсовое масло по своим физико-химическим свойствам отличается от стандартного дизельного топлива, его целесообразно применять в смеси с последним. Тем более, что эти компоненты хорошо смешиваются, а смеси имеют свойства, позволяющие сжигать их в дизеле без внесения изменений в его конструкцию.

### **Литература**

1. Производство биодизеля из рапса [Электронный ресурс]/Производство биодизеля из рапса. -Режим доступа: <https://24techno-guide.ru/proizvodstvo-biodizelya-iz-rapsa.php/>. – Дата доступа: 21.04.2021.
2. Рапсовое масло как альтернативное топливо для дизеля [Электронный ресурс]/Рапсовое масло как альтернативное топливо для дизеля. -Режим доступа: <http://www.avtomash.ru/guravto/2006/20060201.htm/>. – Дата доступа: 21.04.2021.

УДК 621.311

**ЭНЕРГОРЕСУРСЫ: ЗАПАСЫ, СПОСОБЫ ДОБЫЧИ ПОДЗЕМНЫХ ПРИРОДНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ. КАРЬЕРЫ, ШАХТЫ, СКВАЖИНЫ**  
**ENERGY RESOURCES: RESERVES, METHODS OF PRODUCTION OF UNDERGROUND NATURAL ENERGY RESOURCES. CAREERS, MINES, WELLS**

Д.М. Андросик

Научный руководитель – Е.В. Мышковец  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
nik.petrashevitch@gmail.com

D. Androsick

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

*Аннотация:* подземные энергоресурсы, их виды. Запасы подземных энергоресурсов, их распределение. Способы добычи, их преимущества и недостатки. Карьеры, шахты, скважины.

*Abstract:* underground energy resources, their types. Stocks of underground energy resources, their distribution. Production methods, their advantages and disadvantages. Quarries, mines, wells.

*Ключевые слова:* подземные энергоресурсы, уголь, нефть, природный газ, карьеры, шахты, скважины.

*Keywords:* underground energy resources, coal, oil, natural gas, quarries, mines, wells.

### **Введение**

Энергетические ресурсы — это источники различных видов энергии, которые доступны для использования в энергетике в промышленных и бытовых целях. К подземным энергоресурсам относятся нефть, природный газ, каменный и бурый уголь, горючие сланцы, торф. Они являются невозобновляемыми энергетическими ресурсами. Невозобновляемые ресурсы – это ресурсы, запасы которых по мере их добычи необратимо уменьшаются. [1]

### **Основная часть**

Необходимо отметить, что различные виды энергоресурсов неравномерно распределены по районам Земли, по странам, а также внутри стран, а места их наибольшего сосредоточения обычно не совпадают с местами потребления. Например, большинство всех мировых запасов нефти находятся в районах Среднего и Ближнего Востока, а потребление энергоресурсов в этих районах в четыре раза ниже среднемирового.

Уголь. Общие геологические запасы угля в мире оцениваются в 61–114 млн. ТВт·ч (7500–14000 млрд. т. у. т.), из которых 24,4 млн. ТВт·ч. (3000 млрд. т. у. т.) относятся к достоверным запасам. Наибольшими достоверными запасами располагают Россия и Соединенные Штаты. Значительные достоверные запасы имеются в ФРГ, КНР и в других странах.

**Нефть.** В настоящее время особый интерес представляет оценка мировых запасов нефти. Это обусловлено быстрым ростом ее потребления и тем, что во многих странах при производстве электроэнергии нефть вытеснила уголь, хотя в последнее время этот процесс приостановился. Мировые геологические запасы нефти оцениваются в 200 млрд т, из которых 53 млрд т составляют достоверные запасы. Более половины всех достоверных запасов нефти находятся в странах Среднего и Ближнего Востока

**Природный газ.** Мировые геологические запасы оцениваются в 140–160 трлн. м<sup>3</sup>, из которых около 50 трлн. м<sup>3</sup> приходится на долю России и 42 трлн. м<sup>3</sup> – на долю стран Ближнего и Среднего Востока. [2]

**Способы добычи природных энергоресурсов**

Самыми распространенными способами добычи природных энергоресурсов считаются: карьерный, шахтный и скважинный.

**Открытый способ, либо карьерный способ.** Преимуществом такого способа добычи является его относительная дешевизна, наибольшая производительность и трудоемкость, безопасные условия труда, а недостатками — большое снижение качества сырья из-за того, что в нем содержится много пустых пород, негативные последствия по отношению к окружающей среде. Этот способ обычно используется при добыче таких природных энергетических ресурсов, как торф и уголь.

**Закрытый способ, либо подземный или шахтный способ.** Этим способом обычно добывают твердые ископаемые, которые находятся на достаточно большой глубине залегания, поэтому чтобы добраться до ископаемых, требуется сооружать подземные шахты. Главным недостатком такого способа добычи является его огромный риск для рабочих, так как шахта может обвалиться или взорваться от выходящих, накопленных под землей газов. Таким способом обычно добывают каменный уголь.

**Геотехнологический способ, либо скважинный способ.** Используют при добыче специальных видов сырья, имеющих газообразное или жидкое состояние. Этим способом обычно добывают газ и нефть. [3]

### **Заключение**

Несмотря на развитие разных альтернативных источников энергии, ископаемые виды топлива по-прежнему играют главную роль в топливно-энергетическом балансе на нашей планете, в том числе и Беларуси. Ученые прогнозируют, что потребление энергоресурсов, в течение ближайших 30 лет возрастет на 50 %. При этом запасы природных ресурсов истощаются, при этом для их возобновления требуется достаточно много времени. Новые крупные месторождения открываются все реже. Использование же угля, нефти и природного газа не бесконечно и наносит ущерб экологии. Поэтому скудные запасы обычных углеводородов необходимо компенсировать по направлениям, связанных, прежде всего с их экономией и поиском новых альтернативных методов решения энергетических проблем.

### **Литература**

1. Энергетические ресурсы [Электронный ресурс]/общие сведения. -Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki>– Дата доступа: 20.04.2021.

2. Запасы энергетических ресурсов [Электронный ресурс]/запасы энергетических ресурсов. -Режим доступа: <https://helpiks.org> – Дата доступа: 20.04.2021.

3.Способы добычи полезных ископаемых [Электронный ресурс]/ добыча полезных ископаемых. -Режим доступа:<https://bytrina11.ru/kladovaya-zemli/sposobyi-dobyichi-poleznyih-iskopaemyih-v-okruzhayushhey-nas-prirodnoy-srede.html>– Дата доступа: 22.04.2021.

УДК 621.3

## ТЕРМОЯДЕНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: ПЕРСПЕКТИВЫ И РАЗВИТИЕ FUSION ENERGY: PROSPECT AND DEVELOPMENT

М.Э. Астремский

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

nik.petrashevitch@gmail.com

M. Astremski

Supervisor – N. Petrashevitch, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** В данной статье рассказывается о термоядерной энергетике ее развитии в мире, перспективах на будущее, о преимуществах и недостатках по сравнению с ядерной электроэнергетикой.

**Abstract:** This article describes the development of fusion energy of her in the world, the prospects for the future, about the advantages and disadvantages when compared to nuclear power generation.

**Ключевые слова:** термоядерный синтез, токамак, ITER.

**Keywords:** nuclear fusion, tokamak, ITER.

### Введение:

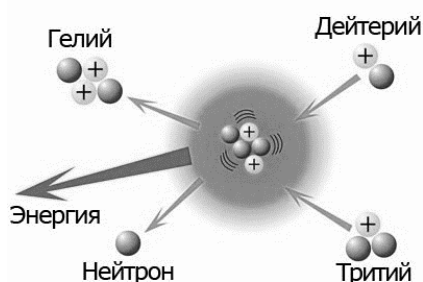


Рисунок 1 – Термоядерный синтез.

Термоядерный синтез (рисунок 1) – это процесс, происходящий внутри звезд, который характеризуется сливанием двух ядер изотопов водорода и выделением колоссальной энергии, такое происходит из-за сверхвысоких температур и давления в звездах. Так как такой метод производства энергии имеет много достоинств, то МАГАТЭ поддерживает научные разработки в области термоядерной энергетике и предоставляет государствам-членам помощь в исследовании, накоплении и обмене знаний, разработки технологий термоядерного синтеза.

Так как при нормальных условиях на Земле невозможно достичь термоядерного синтеза, для этого создают термоядерные реакторы. В основе термоядерного реактора ITER лежит токамак.

Токамак («тороидальная камера с магнитными катушками») – это камера которая служит для удержания плазмы. Намотанные вокруг камеры реактора сверхпроводящие магнитные катушки в данном случае применяются для того,

чтобы создать специальное поле, удерживающее плазму от соприкосновения с её стенками, так как температура плазмы превышает 150 млн.<sup>0</sup>С.

Современные токамаки не позволяют выделить больше энергии чем потребляют на нагрев системы. Наилучший результат – у британского JET который возвращает до 67% затраченной энергии. [2]

**Основная часть:**

За последнее время в мире достигли поражающих результатов в исследованиях в области термоядерного синтеза и физики плазмы [1]. Исследования в данной областях науки реализуются более 50 государств-членов МАГАТЭ.

МАГАТЭ способствует развитию международного сотрудничества и координации с целью предоставления помощи в устранении существующих проблем в области физики, технологий, регулирования и дальнейшего развития использования термоядерной энергии в мирных целях. Деятельность МАГАТЭ в этой области охватывает, физику плазмы и энергетику, технологии и материалы термоядерного синтеза как с магнитным, так и с инерционным удержанием плазмы.

Самым масштабным и современным проектом в области термоядерной энергетики считается проект международного экспериментального реактора (ИТЭР), реализацией которого занимаются семь стран (Индия, Китай, Южная Корея, Япония, Европейский союз, Российская Федерация и Соединенные Штаты Америки). Место под площадку для сооружения ИТЕР выделила Франция, в Кадараше. Создатели реактора рассчитывают на выделение энергии в 10 раз больше потребляемой, с номинальной мощностью 500 мегаватт (МВт).

Еще одним проектом в области термоядерной энергетики является Международная установка по облучению материалов для термоядерного синтеза (ИФМИФ). Данный проект является совместным инициативой Европейского союза и Японии, площадку под построение данного проекта предоставила Япония, и будет работать вместе с ИТЭР. На ИФМИФ будут тестироваться и отбираться материалы, способные выдерживать экстремальные условия, возникающие при генерации нейтронов высоких энергий в будущих термоядерных реакторах.

При удачном эксперименте с ИТЭР, следующим этапом будет построение прототипов термоядерного реактора для электростанций DEMO с 2040-2050-х.

Преимущества термоядерной энергетики:

- Продуктами термоядерного синтеза являются гелий-4, безвредный инертный газ, и тритий, который используется в качестве дополнительного топлива.
- Доступность топливных ресурсов
- Не выделяет парниковые, угарные газы или пылевые загрязнения, в отличие от электростанций на природном или урановом топливе
- Термоядерный синтез в земных условиях не является цепной реакцией, так как для создания плазмы требуются особые условия. Реактор не взорвется при не правильной эксплуатации в отличие от АЭС.

Недостатки термоядерной энергетики:



Дороговизна, из-за использования дорогих материалов которые в меньшей степени подвержены бомбардировке нейтронов.

- В время работы небольшое количество радиоактивного трития может быть выброшено в окружающую среду.

- Скептицизм общественности по поводу безопасности термоядерных реакторов.

- Стоимость такого проекта намного превышает стоимости обычного ядерного реактора.

#### **Заключение:**

Термоядерная энергетика является перспективной областью развития, так как преимущества от данной области намного превышают недостатки и это видят многие страны, поэтому продолжают развиваться в данном направлении. И смотря на доступность энергоресурсов и экологичность термоядерных реакторов по сравнению со всеми остальными можно сделать вывод, что термоядерная энергетика в будущем может заменить ядерную и тепловую.

#### **Литература:**

1. Термоядерная энергетика [Электронный ресурс]/ Термоядерный синтез. – Режим доступа: <https://www.iaea.org/ru/temy/termoyadernyy-sintez>. – Дата доступа 22.04.2021

2. Термоядерная энергетика [Электронный ресурс]/ Термоядерный синтез. – Режим доступа: <https://www.currenttime.tv/a/iter-to-be-or-not-to-be/30192898.html>. – Дата доступа 22.04.2021

УДК: 621.039

**ТЕРМОЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА КАК ШАГ В БУДУЩЕЕ**  
**THERMONUCLEAR ENERGY AS A STEP INTO THE FUTURE**

А. А. Ахремко

научный руководитель – В. А. Ханевская, инженер  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
haneuskaya@bntu.by

A. Akhremko

Supervisor – V. Khanevskaya, Engineer  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной работе рассматривается термоядерная энергия как способ получения электрической энергии. Осуществляется рассмотрение плюсов и минусов термоядерного синтеза, а также проблемы, с которыми столкнулись учёные при постройке термоядерных электрических станций.*

***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:** термоядерная энергия, энергия, экология, термоядерный синтез, плазма*

***Keywords:** thermonuclear energy, energy, ecology, thermonuclear fusion, plasma*

**Введение**

Вечный двигатель, увы, остался в прошлом и почти никто не пытается его создать – а вот проблема обеспечения огромного количества потребителей энергией при малых затратах стоит наиболее актуально. Распад тяжёлых ядер уже занял свою нишу на атомных электростанциях. А вот синтез лёгких атомов выглядит очень перспективно.

**Основная часть**

Для того, чтобы произвести синтез тяжёлых ядер, предположим, дейтерий и тритий, двум атомам нужна куча энергии. И тут возникает проблема в виде Кулоновского барьера, так как ядра положительные. Значит, нужно приложить такую силу, которая будет больше силы Кулона, либо создавать такие состояния, при которых она будет незначительна.

Физики сделали упор на иной путь: водород разогревают до состояния плазмы (около 50 миллионов градусов по Цельсию и выше). Тогда его атомы начинают получать достаточное количество энергии, при котором Кулоновское сопротивление останется незначительной помехой.

И вот тут начинаются основные проблемы синтеза тяжёлых ядер. Безусловно, такую температуру можно получить при помощи современных сверхмощных лазеров. Но пока еще не получается поддерживать работу

достаточно долго и эффективно, чтобы извлечь достаточное количество энергии, которую можно отправить в путь по сети [1].

Особенность термоядерной энергии состоит в том, что она сравнительно безопасна и экологически нейтральна. На выходе только гелий, энергия и рабочие места. В этом её можно поставить в один ряд с АЭС, да и к предубеждениям со стороны прессы она едва ли им уступит: до сих пор ссылаются и Фукусиму и Чернобыль с их не самыми успешными реакциями, которые вызывают опасения и недоверия к атомной энергетике до сегодняшнего дня. Однако при всех прочих реакция синтеза не использует, как атомные станции, радиоактивные изотопы урана, дефицит которых – дело времени. Тут используются дейтерий и тритий, который могут реагировать при наиболее низкой температуре с выделением 17,6 МэВ. Продуктом такой реакции является гелий и высокоактивный нейтрон. Однако это не говорит, что реакция D-Т является единственным возможным видом реакции. Но для всего этого нужно огромное количество тепловой энергии, а также энергии, которая будет удерживать плазму. Основой такого магнита служит шнур, длиной 20 километров, намотка которого включает в себя в себя ещё и охлаждающий трубопровод. Всего таких катушек нужно 18. Суммарное магнитное поле будет достигать 12 Тесла [3].

Вот тут учёные и начинаются главные сложности. На данный момент человечество не может изъять из термоядерных установок лишнее количество энергии, чего уж там: пока что они требуют намного больше энергии, чем потребляют сами. Проблема в электрических магнитах, которые удерживают раскалённую плазму от соприкосновения со стенками катушек станций. Именно они потребляют крайне много электроэнергии. Например, одна такая катушка, произведенная в 2020 году, весит 320 тонн, высотой достигает 17 метров, а ширина конструкции 9 метров. Выполнена в форме буквы “D”

К 2020 году ни один проект не смог осилить достаточной мощности, чтобы хотя бы выйти в равенство по затратам энергии. И это при том, что для коммерческой реализации электростанции она должна отдавать миру примерно в 20 раз больше энергии, чем сама потребляет. Пока из реальных и существующих проектов у нас есть:

- EAST Китайский токамак, по официальной информации самих китайцев, держал температуру плазмы в 50 миллионов Кельвинов на протяжении 102 секунд — это самое протяжённое время на сегодняшний момент [3].

- ITER (международный экспериментальный термоядерный реактор). Огромный тор 30x30 метров, который должен выдавить из себя примерно в 10 раз больше энергии, чем потребляет. Однако есть трудности: он ещё не построен, да и не понятно, когда будет, так как сроки туманны. Тем не менее, на него возлагают большие надежды.

- Проект Массачусетского технологического института (MIT). Его инженеры при помощи покровительства и спонсорства пары крупных компаний обещают построить эффективный реактор уже к 2033 году. Смогут ли они стать амбициознее чем Итер? Покажет время.

### **Заключение**

На сегодняшний момент термоядерные электростанции не готовы уже завтра заменить все станции мира, однако и говорить о том, что это дело будущих поколений тоже рано. По оценкам оптимистов, первые термоядерные реакторы могут ввести в эксплуатацию примерно в 2050 году. Если же всё затянется, то ожидания придётся сдвинуть на первую половину 2060-х годов.

### **Литература**

1. Хабр [Электронный ресурс] / Хабр. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/167523/>. –Дата доступа: 13.04.2021
2. Электрик инфо [Электронный ресурс] / Электрик инфо. – Режим доступа <http://elektrik.info/main/fakty/656-termoyadernaya-energetika-sostoyanie-i-perspektivu.html>. –Дата доступа: 13.04.2021
3. Популярная Механика [Электронный ресурс] / Популярная механика. – Режим доступа <https://www.popmech.ru/technologies/news-55534-izgotovlen-supermagnit-sposobnyu-uderzhat-energiyu-solnca/> –Дата доступа 13.04.2021

УДК 620.93

**ВОДОРОД. ПОЛУЧЕНИЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**  
**HYDROGEN. PRODUCTION, USE. PROBLEMS AND PROSPECTS**

А.А. Бандюкевич

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

A. Bandziukevich

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

***Аннотация:** При текущих объемах запасов и объемах добычи газа не более чем на 60 лет, а нефти хватит не более чем на 50 лет. Человечеству жизненно необходимо найти альтернативные источники энергии, которые смогли бы заменить углеводородное топливо. В связи с этим огромную популярность приобрёл термин «Водородная энергетика». Водород является экологичным и практически неисчерпаемым топливом, однако его получение на данный момент достаточно затратно.*

***Abstract:** At current levels of proven reserves and production, oil will not last more than 50 years and gas no more than 60 years. It is vital for mankind to find alternative energy sources to replace hydrocarbon fuels. In this connection, the term "hydrogen energy" has become very popular. Hydrogen is an environmentally friendly and virtually inexhaustible fuel, but it is currently quite expensive to produce.*

***Ключевые слова:** водород, топливо будущего, энергетика, нефть, газ.*

***Keywords:** hydrogen, fuel of the future, energy, oil, gas.*

### **Введение**

Водородная энергетика -область энергетики, направление производства и потребления энергии людьми, основанное на применении водорода. На фоне ухудшения экологии и истощения углеводородных ресурсов, привлекательно выглядит использование альтернативных видов топлива. Одним из таких является водород. Электролиз воды, на данный момент является одним из самых перспективных способов его получения, так как продуктом сгорания водорода является вода и никаких вредных соединений выброшено в атмосферу не будет. На первый взгляд замечательный источник энергии. Имеется несколько проблем. Для электролиза нужна энергия, в частности, электричество. Вспомним про термоядерные реакции в звёздах. Человечество создало водородную бомбу, энергия в которой моментально освобождается, принося невероятные разрушения. В звёздах реакция проходит медленно (миллионы лет) и достаточно стабильно. На данный момент ученые пытаются научиться управлять термоядерными реакциями, что надолго, если не навсегда, обеспечит нас энергией.

### **Основная часть**

Свойства. Водород - бесцветным газом, без запаха и без вкуса в свободном состоянии и при нормальных условиях. Он в 14 раз менее плотный относительно воздуха. Как правило он часто находится в соединении с химическими элементами, такими как, углерод (метан) и кислород (вода).

Использование. Водород применяют во многих промышленных отраслях. На производство аммиака уходит достаточно много водорода. После чего, из аммиака производят лекарства, удобрения и пластмассы. Из водорода и хлора так же получают соляную кислоту и хлороводород. Смесь водорода с угарным газом используют для производства метилового спирта. В пищевой промышленности водород задействуют при производстве маргарина. Некоторые металлы из их оксидов восстанавливают с помощью водорода. Когда водород горит, температура достигает 3000 градусов, что позволяет плавить металлы. Жидкий водород можно использовать как топливо для самолётов и ракет.

Производство. Способы получения водорода в промышленности: конверсия метана, кокса или электролиз воды, а также извлечение и концентрирование из газовых смесей. Чаще всего извлечение водорода выполняется следующими двумя методами. Концентрирование с помощью мембранных установок. Этот способ разделения газовых смесей позволяет выделять водород с малыми потерями. Преимущества данного метода: понятное аппаратное оформление, низкие расходы на техобслуживание и длительный срок службы мембран. Так же данный метод позволяет быстро изменить масштаб производства. Извлечение чистого водорода с помощью адсорбционных установок. В основе данного способа лежит технология адсорбции при непостоянном давлении, которая использует принцип поглощения примесей водородсодержащего газа на поверхности адсорбирующих материалов. Количество удерживаемых адсорбентом примесей напрямую зависит от давления, поэтому данные установки по производству водорода позволяют проводить процесс адсорбции примесей и регенерации адсорбента изменением давления. Этим способом получают очень чистый водород, с минимальными потерями давления. Единственным минусом этого способа получения водорода можно назвать достаточно высокую стоимость.

Проблемы использования. На планете отсутствуют месторождения чистого водорода. Для его получения всё еще необходимо использовать углеводороды. Водород можно получить при помощи электролиза. Однако, для этого нужно затратить много энергии. Так же при электролизе должен использоваться катализатор - платина. Добыча и обработка платины - очень затратный процесс. Платиновый катализатор должен работать около 30 лет, чтобы получаемая энергия начала окупаться. Водород не так эффективен, как нефтяное и газовое горючее из-за низкой плотности и объемной теплотворной способности. Вследствие этому, переход на водород будет означать использование большего количества топлива для получения такого же количества энергии, увеличение производственных площадей и более дорогую транспортировку. Так же у водорода, по сравнению с углеводородами более широкие пределы взрываемости и более высокая температура воспламенения.

Перспективы применения. Водород является неисчерпаемым источником энергии. При сгорании он образует воду. Водород экологичен, легко испаряется, не образуя зон скопления. По сравнению с углеводородами: весовая теплотворная способность водорода в 2.8 раза выше, максимальная скорость распространения фронта пламени в 8 раз больше, энергия воспламенения в 15 раз меньше, излучение пламени в 10 раз меньше.

### **Заключение**

По расчётам при современных темпов потребления нефти, газа, угля, этих ресурсов хватит 100-200 лет. Необходимо искать альтернативные и выгодные источники энергии. Водород выглядит заманчиво на фоне остальных источников энергии и предоставляет ряд выгод. Появилось немало энтузиастов водородной энергетики. На данный момент в мире извлекают около 31 миллиона тонн водорода в год. По перспективным прогнозам, за ближайшие 35-40 лет производство водорода увеличится в 20-30 раз, что радует. Однако это только прогнозы. В настоящее время водород извлекают в основном из природного газа. Человечеству предстоит заменить данный источник на более доступное сырьё (на воду) с помощью атомной энергетики.

### **Литература**

1. Грасис [Электронный ресурс]/ Способы и методы извлечения водорода. - Режим доступа: <https://www.grasys.ru/o-kompanii/articles/2597/>. – Дата доступа: 14.04.2021.
2. Науколандия [Электронный ресурс]/ Применение водорода. –Режим доступа: <https://scienceland.info/chemistry8/hydrogen3>. – Дата доступа: 14.04.2021.

УДК 621.311

**ВЫБОР МОЩНОСТИ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ  
ОПТИМИЗАЦИИ УРОВНЕЙ ПОТЕРЬ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ  
POWER SELECTION OF COMPENSATING DEVICES TO OPTIMIZE  
THE LEVEL OF LOSSES IN THE ELECTRIC NETWORK**

П.Г. Барановский

Научный руководитель – М.И. Фурсанов, доктор технических наук, профессор  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
mfursanov@bntu.by

P. Baranovsky

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

***Аннотация:** Одной из основных задач в электрических сетях является задача оптимизации режима и сокращения потерь мощности. Одним из решений данной задачи является применение статических конденсаторных батарей. Рассматривается оптимизация режима работы радиальной схемы электрической сети. Методом нелинейного программирования произведен расчет мощности компенсирующих устройств. Также выполнен анализ потерь активной и реактивной мощности в элементах сети.*

***Abstract:** One of the main tasks in electrical networks is the task of optimizing the mode and reducing power losses. One of the solutions to this problem is the use of static capacitor banks. Optimization of the operating mode of the radial circuit of the electrical network is considered. The nonlinear programming method was used to calculate the power of the compensating devices. The analysis of active and reactive power losses in the network elements is also carried out.*

***Ключевые слова:** оптимизация, потери мощности, батареи статических конденсаторов, метод нелинейного программирования.*

***Keywords:** optimization, power loss, capacitor banks, non-linear programming method.*

### **Введение**

Оптимизацией режима называется задача, которая определяет процесс распределения мощностей в электрической сети по критерию оптимальности.

Управление режимами энергосистемы – это сложная комплексная задача при постоянно меняющихся нагрузок. Уменьшение потерь мощности при управлении режимами электроэнергетической системы – одна из главных целей оптимизации.

Задачи, решаемые в процессе оптимизации:

– определение оптимальной стратегии развития энергосистемы (ее проектирование или реконструкция) и отдельных объектов (выбор места расположения, мощности, установка сроков введения в работу новых электростанций, линий электропередач, подстанций);

– выбор наилучшей конфигурации электрической сети;



- распределение нагрузки между отдельными электростанциями;
- выбор стратегии, обеспечивающей лучшее использование материальных ресурсов (виды топлива и т. д.).

Во время оптимизации в возможности изменения параметров режима производят выбор таких значений параметров, которые обеспечивают меньшие общие потери активной мощности в сети или меньший общий расход условного топлива.

С целью оптимизации режима работы и снижения потерь мощности возможно использовать батареи статических конденсаторов (БСК). Помимо увеличения напряжения на шинах, уменьшения потерь в сетях, поддержания необходимого уровня напряжения, БСК позволяют поддерживать показатели качества электроэнергии.

Достоинствами конденсатора в качестве компенсатора реактивной мощности являются незначительные потери активной мощности, лежащие в пределах 0,3–0,45 кВт на 100 квар, более простая и дешевая эксплуатация, чем других компенсирующих устройств, удобство в обслуживании и относительно не большая стоимость. К основным недостаткам относится отсутствие плавного регулирования мощности, выдаваемой в сеть, выдаваемая в сеть мощность зависит от напряжения, большая вероятность выхода из строя в сетях с высшими гармониками [3].

При любом допустимом режиме должны обеспечиваться условия качества электрической энергии и надежности электроснабжения. При расчете допустимого режима условия надежности и качества учитывают по типу ограничений (равенств и неравенств) на контролируемые параметры режима.

Существует много методов оптимизации режимов энергосистемы [1]. В данной работе рассматривается метод нелинейного программирования.

### **Основная часть**

Метод нелинейного программирования.

Общим для различных методов нелинейного программирования является то, что целевая функция – нелинейная. В свою очередь, налагаемые ограничения возможны и линейные, и нелинейные.

Задача нелинейного программирования заключается в отыскании экстремума целевой функции  $\psi(x_1, x_2, \dots, x_n)$  при заданных ограничениях в виде равенств и неравенств.

Методы нелинейного программирования различны. При выборе метода необходимо иметь в виду следующие факторы: надежность отыскания оптимума, скорость его достижения, удобство подготовки начальных данных, возможность учета ограничивающих параметров, наличие имеющихся алгоритмов и программ для использования метода на ЭВМ [2].

Для применения метода нелинейного программирования будем использовать схему электрической сети, изображенную на рисунке 1. Данная сеть состоит из 7 подстанций с трансформаторами Т1-Т7, мощность которых отмечена на рисунке, и 14 линий электропередач (W1-W14).

Марка и длина каждой линии электропередач указаны на рисунке 1. Нагрузки подстанций (N1-N7) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Нагрузки подстанций

№ узла	4 (N1)	7 (N2)	10 (N3)	13 (N4)	16 (N5)	19 (N6)	22 (N7)
P, кВт	150	250	250	70	65	80	160
Q, квар	80	130	130	40	35	45	72

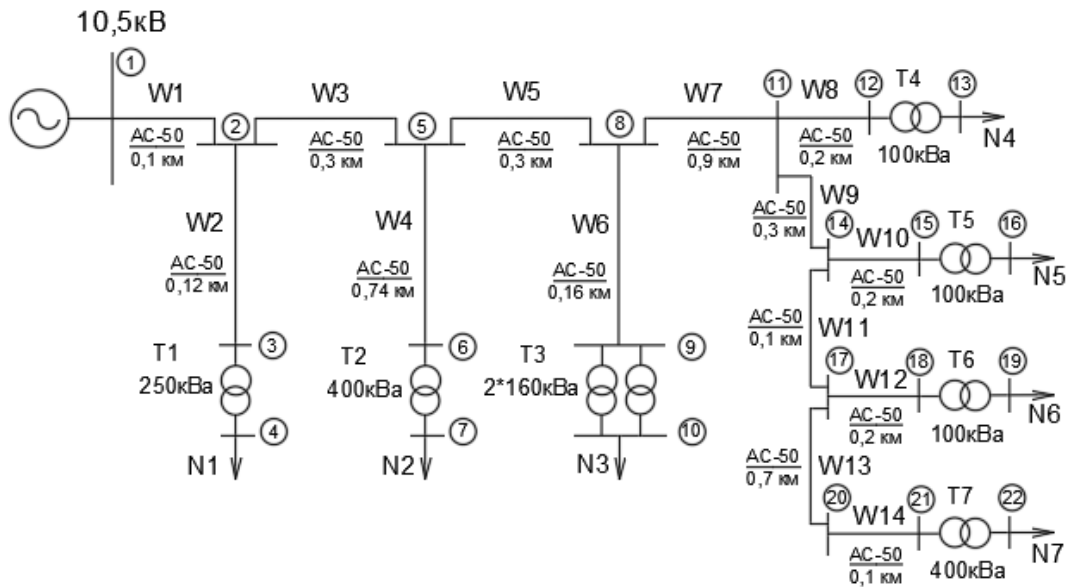


Рисунок 1 – Схема электрической сети

В местах расположения нагрузок установим компенсирующие устройства БСК1-БСК7, расчет мощности которых осуществим методом нелинейного программирования. Для этого рассмотрим участок цепи, состоящий из линий электропередач W13–W14 и нагрузки трансформатора T7 (N7). Целевая функция в этом случае будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \Delta P_{\Sigma} = & \Delta P_{W1} + \Delta P_{W2} + \Delta P_{W3} + \Delta P_{W4} + \Delta P_{W5} + \Delta P_{W6} + \Delta P_{W7} + \\ & + \Delta P_{W8} + \Delta P_{W9} + \Delta P_{W10} + \Delta P_{W11} + \Delta P_{W12} + \Delta P_{W13} + \Delta P_{W14} + \\ & + \Delta P_{T1} + \Delta P_{T2} + \Delta P_{T3} + \Delta P_{T4} + \Delta P_{T5} + \Delta P_{T6} + \Delta P_{T7}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\Delta P_{\Sigma}$  – суммарные потери в электрической сети;

$\Delta P_{W_i}$  – потери активной мощности в i-ой линии;

$\Delta P_{T_j}$  – потери активной мощности в j-ом трансформаторе.

Потери мощности  $\Delta P_T$  в трансформаторе T7:

$$\Delta P_{T7} = \frac{P_{N7}^2 + (Q_{N7} - Q_{БСК7})^2}{U_{ном}^2} \cdot R_{T7}, \quad (2)$$

где  $P_{N7}$  – активная мощность нагрузки N7;

$Q_{N7}$  – реактивная мощность нагрузки N7;

$Q_{БСК7}$  – мощность БСК, установленного в месте расположения нагрузки N7;

$U_{ном}$  – номинальное напряжение сети;

$R_{T7}$  – активное сопротивление трансформатора Т7.

Тогда мощность  $P_T$  перед трансформатором Т7 будет равна:

$$P_{T7} = P_{N7} + \Delta P_{T7}. \quad (3)$$

Потери мощности  $\Delta P_W$  в линии W14:

$$\Delta P_{W14} = \frac{P_{T7}^2 + (Q_{N7} - Q_{БСК7})^2}{U_{ном}^2} \cdot R_{W14}. \quad (4)$$

Мощность  $P_W$  в начале линии W14 равна:

$$P_{W14} = P_{T7} + \Delta P_{W14}. \quad (5)$$

Аналогично рассчитываем потери  $\Delta P_W$  и мощность  $P_W$  в начале линии W13:

$$\Delta P_{W13} = \frac{P_{W14}^2 + (Q_{N7} - Q_{БСК7})^2}{U_{ном}^2} \cdot R_{W13}. \quad (6)$$

$$P_{W13} = P_{N7} + \frac{P_{N7}^2 + (Q_{N7} - Q_{БСК7})^2}{U_{ном}^2} \cdot R_{T7} + \frac{P_{T7}^2 + (Q_{N7} - Q_{БСК7})^2}{U_{ном}^2} \cdot R_{W14} + \frac{P_{W14}^2 + (Q_{N7} - Q_{БСК7})^2}{U_{ном}^2} \cdot R_{W13}. \quad (7)$$

Подставив полученные выражения в целевую функцию и продифференцировав ее по величине  $Q_{БСК7}$ , получим следующее выражение:

$$-2(Q_{N7} - Q_{БСК7}) \cdot R_{T7} - 2(Q_{T7} - Q_{БСК7}) \cdot R_{W14} - 2(Q_{W14} - Q_{БСК7}) \cdot R_{W13} = 0; \quad (8)$$

$$-Q_{N7} \cdot R_{T7} - Q_{T7} \cdot R_{W14} - Q_{W14} \cdot R_{W13} + Q_{БСК7}(R_{T7} + R_{W14} + R_{W13}) = 0. \quad (9)$$

Далее выразим из полученного уравнения  $Q_{БСК7}$ :

$$Q_{БСК7} = \frac{Q_{N7} \cdot R_{T7} - Q_{T7} \cdot R_{W14} - Q_{W14} \cdot R_{W13}}{R_{T7} + R_{W14} + R_{W13}}; \quad (10)$$

$$Q_{БСК7} = \frac{170 \cdot 3,38 + 199 \cdot 0,065 + 200 \cdot 0,455}{3,38 + 0,065 + 0,455} = 147 \text{ Мвар.}$$

Далее аналогичным образом произведем расчет для остальных участков сети с нагрузками N1-N6 для определения мощностей БСК1-БСК6.

С установкой БСК уровни напряжений на шинах потребителей повысились. Это видно из графика напряжений в узлах подключения нагрузки на рисунке 2.

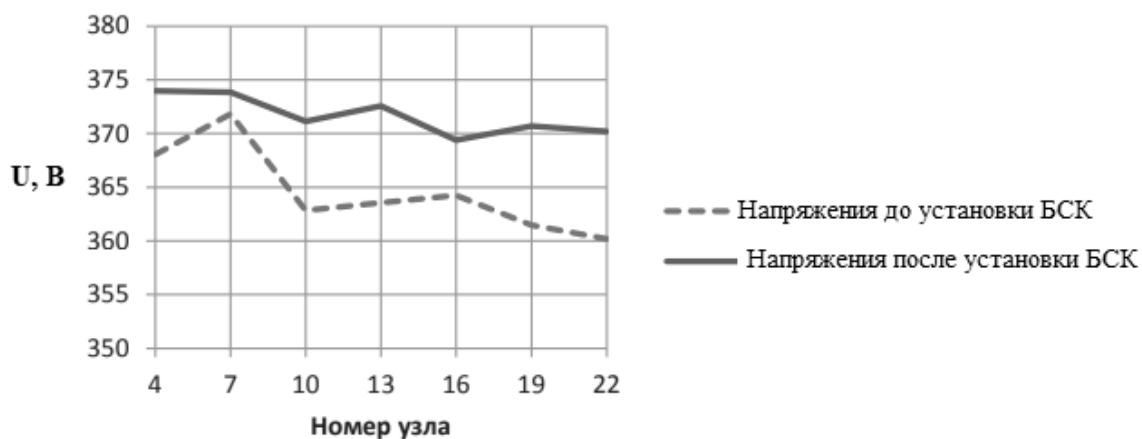


Рисунок 2 – Графики напряжения в узлах подключения нагрузки

Далее проведем анализ потерь активной  $\Delta P$  и реактивной  $\Delta Q$  мощности ЛЭП и трансформаторов. Результаты этого анализа представлены на графиках, изображенных на рисунке 3.

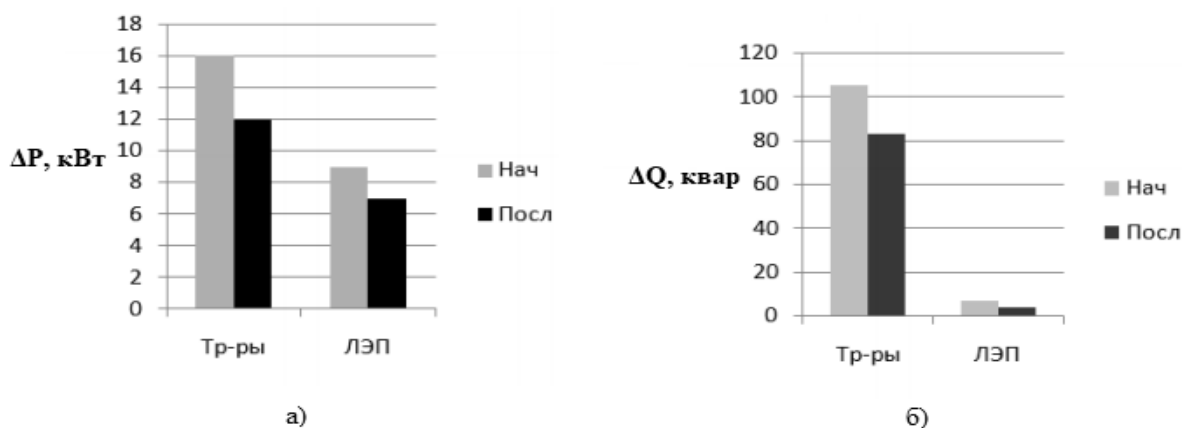


Рисунок 3 – Графики суммарных потерь мощностей для ЛЭП и трансформаторов:  
 а) – активной мощности; б) – реактивной мощности

### Заключение

Для распределительной сети методом нелинейного программирования были рассчитаны мощности БСК для их установки вблизи потребителей. Анализ полученных результатов показал увеличение уровня напряжения на шинах низкого напряжения подстанций и сокращение уровня потерь активной и реактивной мощностей во всей сети.

### Литература

1. АСУ и оптимизация режимов энергосистем: учеб. пособие для студентов вузов / Арзамасцев Д.А., Бартоломей П.И., Холян А.М.; Под.ред. Д.А. Арзамасцева. – М.: Высш. шк., 1983. – 208 с.
2. Методы моделирования и оптимизации в задачах электроэнергетики: учеб. пособие / Сост. Л.А. Гурина. – Благовещенск, 2012. – 91 с.
3. Передача и распределение электрической энергии: Учебное пособие/А.А. Герасименко, В.Т. Федин. – Ростов-н/Д: Феникс; Красноярск: Издательские проекты, 2006. – 720. (Серия «Высшее образование»).

УДК 621.039

**АЭС. КЛАССИФИКАЦИЯ ПО ТИПУ РЕАКТОРОВ. СРАВНИТЕЛЬНАЯ  
ХАРАКТЕРИСТИКА РЕАКТОРОВ  
NPP. CLASIFICATION BY REACTOR TYPE. COMPARATIVE  
CHARACTERISTIC OF REACTOR**

Н.С. Болтуть

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

Boltuts

Supervisor – E. Mishkovets, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** На сегодня самым оптимальным вариантом для получения энергии является атомная энергетика. Ведь она обладает следующими достоинствами: экологичность, большая мощность, а также экономичность при условии правильного использования. В сравнении с тепловыми традиционными электростанциями, атомные станции имеют преимущества в топливных расходах, что особенно заметно в тех регионах, где существуют сложности с обеспечением топливно-энергетическими ресурсами и присутствует устойчивая тенденция роста затрат на выработку и добычу органического топлива.

**Abstract:** At present, the best option for generating energy is nuclear power. In fact, it has the following advantages: it is green, it has more capacity, and it is economical if used correctly. Compared to traditional thermal power plants, nuclear plants have an advantage in fuel costs, especially in regions where fuel supply is difficult energy resources and there is a steady upward trend in the cost of producing and extracting fossil fuels.

**Ключевые слова:** АЭС, реактор, энергетика.

**Keywords:** Nuclear power plant, reactor, power.

### **Введение**

Атомная энергетика играет ключевую роль в современном мире. Человек уже на протяжении 50 лет пытается приручить атом и у него это получается. В данной статье мы рассмотрим: что же такое АЭС? Как получается энергия? Какие виды реакторов бывают?

### **Основная часть**

АЭС (атомная электрическая станция) — комплекс необходимых систем, устройств, оборудования, сооружений, предназначенный для производства электрической энергии. Основное топливо - уран-235. Использование этого топлива отличает атомную станцию от других

В ходе работы АЭС происходит три главных и взаимных преобразований энергии.

Ядерная энергия переходит в тепловую. Сердцем АЭС является наличие реактора - конструктивно выделенный объем, где происходит цепная реакция

под управлением рабочего персонала и куда происходит загрузка ядерного топлива.

Тепловая энергия преобразовывается в механическую. Тепло выходит из активной зоны реактора при использовании теплоносителя - это жидкое или газообразное вещество, проходящее через её объем. Тепловая энергия необходима для получения водяного пара в парогенераторе.

Механическая энергия преобразуется в электрическую. Механическая энергия пара направляется к турбогенератору, где и происходит процесс превращения в электрическую энергию и потом по проводам поступает к потребителю. [2]

### **Физические процессы, происходящие в ядре**

Ядро включает нейтрон и протон, упакованные ядерными силами, действующие на очень близком расстоянии. Масса энергии взаимопревращается в друг друга. В ядерном превращении изменение массы и энергии намного выше, чем в химическом превращении.

Источниками ядерной энергии могут быть:

- Деление ядер тяжёлых металлов
- Синтез лёгких ядер газа

Ядерные реакции происходят за счёт деления ядер, под воздействием нейтронов образуются осколки ядра и свободные нейтроны. Разрыв ядер приводит к высвобождению энергии в виде кинетической энергии осколков. Торможение осколков вызывает разогрев окружающей среды.

Для работы ядерного реактора необходимо:

- Критическая масса топлива
- Должное количество свободных нейтронов
- Управление ограниченности процесса деления

Ядерная реакция – это регулируемая самоподдерживающаяся цепная реакция деления ядра тяжелых металлов, под действием нейтронов в ядерном реакторе. [1]

Реакторы можно подразделять по некоторым критериям:

По типу замедления:

- Легководные
- Тяжеловодные
- Графитные

По виду нейтронов:

- С реакторами на тепловых нейтронах (уран-235)
- С реакторами на быстрых нейтронах (уран-238)

Реакторы на тепловых нейтронах включают в себя:

- Водо-водяные
- Кипящие
- Тяжеловодные
- Газоохлаждаемые
- Графитовые
- Высокотемпературные газоохлаждаемые
- Тяжеловодные газоохлаждаемые

- Тяжеловодные водоохлаждаемые
- Кипящие тяжеловодные

По виду отпускаемой энергии

- АЭС, предназначенные для выработки элетроэнергии
- АТЭЦ (атомные теплоэлектроцентраль), для выработки только тепловой энергии

### Конструктивное решение

Энергия, выделяемая в активной зоне реактора, передаётся теплоносителям, поступает в теплообменник парогенератора, где нагревают до кипения воды 2-го контура. Полученный при этом пар поступает в турбины, вращающие электрогенераторы. На выходе из турбины пар поступает в конденсатор, где охлаждается большим количеством воды, поступающим из водохранилища. [2]

Компенсатор давления представляет собой довольно сложную и громоздкую конструкцию, которая служит для выравнивания колебаний давления в контуре во время работы реактора, возникающий за счёт теплового расширения теплоносителя.

Давление в первом контуре может достигать до 160 атмосфер. Помимо воды в различных реакторах в качестве теплоносителя и охладителя могут применяться расплавы металла: натрий, олово, сплав свинца с висмутом и др.

Таблица 1 - Сравнительная характеристика реакторов

1.Название	РБМК 1000/1500	ВЛР(бойлерный реактор)	ВВЭР(водо-водяной энергетический реактор)
2.Тип	Водографитовый кипящий	Водо-водяной кипящий	Водо-водяной некипящий
3.Эл.мощность	1000-1500	444;760;1070;1344	660;1000;1200
4.Замедлитель	графит	вода	вода
5.Теплоноситель	вода	вода	вода
6.Число контуров	1	1	2
7.Загрузка топлива	192 т.	-	66 т.
8.Габариты акт.зоны	7*12*12	-	3*3*3
9.температура	280°С	280°С	300-320°С

Использование жидкометаллического теплоносителя позволяет упростить конструкцию оболочки активной зоны (в отличии от водяного контура давление в жидкометаллическом контуре не превышает атмосферного). [2]

### Заключение

Эти данные нам помогут в следующем выбрать реактор для АЭС, который будет подходить и соответствовать параметрам и характеристикам станции.

### Литература

1. Википедия [Электронный ресурс]/ Атомная электростанция. -Режим доступа: [[https://ru.wikipedia.org/wiki/Атомная\\_электростанция.](https://ru.wikipedia.org/wiki/Атомная_электростанция.)] – Дата доступа: 22.04.2021.
2. Росатом [Электронный ресурс]/ Строящиеся АЭС. –Режим доступа: [<https://rosatom.ru/>] – Дата доступа: 22.04.2021.



УДК 621.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЁЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

## RESEARCH OF THE RELIABILITY OF SWITCHGEAR

К.Д. Борщевская, И.С. Малашенко

Научный руководитель – А.Л. Старжинский, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
astarginsky@bntu.by

K. Borshchevskaya, I. Malashenko

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

**Аннотация:** В системе электроснабжения некоторые элементы могут быть некачественно спроектированы, что негативно скажется на надёжности работы системы. Надёжность распределительных систем является важным показателем при их разработке. При анализе изменения этих показателей можно определить, какие элементы имеют большее влияние на надёжность системы.

**Abstract:** In the power system, some elements may be poorly designed, that will negatively affect the reliability of the system. The reliability of distribution systems is an important factor in their design. In the analysis of changes in these factors, you can determine which elements have a greater impact on system reliability.

**Ключевые слова:** схема, надёжность, электроустановки, распределительное устройство.

**Keywords:** network, reliability, electrical installations, switchgear.

### Введение

Система электроснабжения представляет собой совокупность электроустановок, которые служат для производства, передачи и распределения электроэнергии. К ним могут относиться: генераторы, трансформаторы, реакторы, линии электропередач, средства автоматики и защиты, различные приёмники энергии. Каждое из этих устройств должно отвечать установленным требованиям и обладать надёжностью.

Для обеспечения надёжного электроснабжения необходима бесперебойная работа всех элементов электроустановок. Это способствует бесперебойному электроснабжению потребителей электроэнергией требуемого качества и количества. Также не маловажным свойством надёжности является способность сохранять ограниченную работоспособность при отказе некоторых элементов системы, вызванным наличием дефектов или повреждений.

Для расчёта исходной схемы будем использовать комплекс Topas.

### Основная часть

В качестве исследуемой схемы распределительного устройства примем ОРУ 220 кВ КЭС 300 МВт. Составим основную и расчётную схемы РУ (рисунок 1). Расчётная схема состоит из узлов и ветвей, где ветвями являются

выключатели, а узлами – другие элементы. Все узлы и ветви нумеруются последовательно, начиная с единицы.

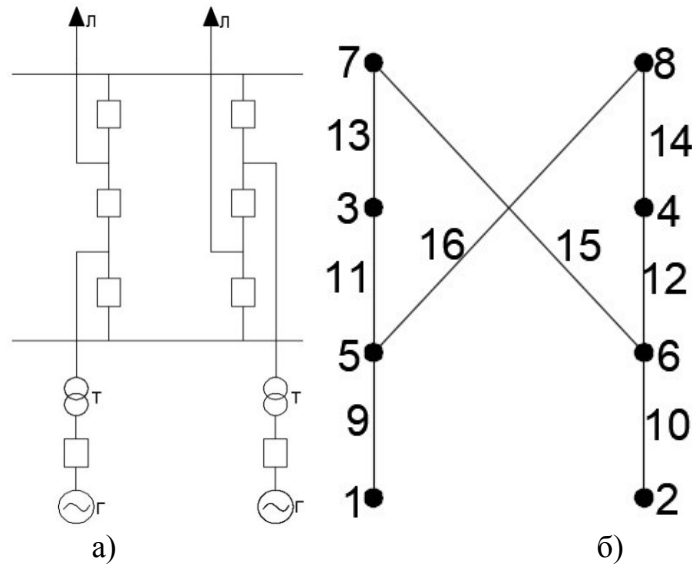


Рисунок 1 – а) основная схема ОРУ, б) расчётная схема (1, 2 – генераторы; 3, 4 – линии; 5, 6 – блочные трансформаторы; 7, 8 – сборные шины 220 кВ)

Составим матрицу связей узлов и ветвей, в которой для каждой ветви в порядке увеличения их номеров записываются номера двух примыкающих к ней узлов (таблица 1).

Таблица 1 – Матрица связей узлов и ветвей

Номер КА	9	10	11	12	13	14	15	16
1-ый узел	1	2	3	4	3	4	6	5
2-ой узел	5	6	5	6	7	8	7	8

Для каждой группы элементов запишем исходные данные для последующего расчёта в комплексе Toras (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели надежности оборудования

Элементы схемы	Частота отказа, 1/год	Время п-авар. восст., ч	Частота план-го рем-та, 1/год	Длит. план-го рем-та, ч	Вероятн. отказа при откл. КЗ, о.е.	Вероятн. отказа в сраб- нии РЗ, о.е.
1-2	0,55	91,0	1,0	540,0	-	0,001
3-4	0,0015	8,0	0,5	17,0	-	0,001
5-6	0,02	60,0	0,4	8,5	-	0,001
7-8	0,039	4,0	0,498	9,0	-	0,001
9-10	0,01	10,0	0,2	10,0	0,012	-
11-16	0,01	25,0	0,2	24,0	0,003	-

Расчётные режимы данной схемы описываются характеристиками, представленными в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики расчётных режимов

Номер отключаемого элемента	Длительность режима, ч/год
Г1	7121,75
Г2	540,0
Г1-Г2	540,0
Т5	540,0
Т6	3,4
Т5-Т6	3,4
Г1-Т5	3,4
Г2-Т6	3,4
В9	0,1
В10	0,1
В9-В10	0,1
В11	0,25
В12	0,25
В11-В12	0,25
В9-В11	0,1
В10-В12	0,1

По исходным данным произведём расчёт надёжности схемы по отключаемым элементам (таблица 4) и по количеству отключаемых элементов (таблица 5).

Таблица 4 – Результаты анализа надёжности по отключаемым элементам

Код аварии	Для событий, зависящих от структуры схемы						Суммарная частота, 1/год	Среднее время восст., ч
	На время восст. рем.			На время опер. переключ.				
	Частота, 1/год	Длит., ч	Число к-ций	Частота, 1/год	Длит., ч	Число к-ций		
Г1	0,447	91	1	0,0244	43,3	18	0,48	87,02
Г1-Л3-Л4	0,0341	91	2	0,00186	43,33	4	0,0372	85,56
Г1-Г2-Л3-Л4	0,893E-3	90,89	14	0,674E-4	4,16	26	0,975E-3	83,53
Г1-Л4	0,164E-4	87,65	5	0,711E-5	6,44	8	0,771E-4	19,2
Г2	0,447	91	1	0,0244	43,3	18	0,48	87,02
Г2-Л3-Л4	0,0341	91	2	0,00186	43,33	4	0,0372	85,56
Г2-Л3	0,164E-4	87,65	5	0,711E-5	6,44	8	0,771E-4	19,2
Л3	0,00141	8	1	0,285E-4	12,76	7	0,0115	1,01
Г1-Л3	0,616E-6	8	3	0,236E-4	4,09	6	0,00828	0,01
Л3-Л4	0,185E-3	8	2	0,0122	22,28	12	0,0124	22,07
Л4	0,00141	8	1	0,285E-4	12,76	7	0,0115	1,01
Г2-Л4	0,616E-6	8	3	0,236E-4	4,09	6	0,00828	0,01

Таблица 5 – Результаты анализа надежности по количеству отключаемых элементов

Код аварии	Для событий, зависящих от структуры схемы						Суммарная частота, 1/год	Среднее время восст., ч
	На время восст. рем.			На время опер. перекл.				
	Частота, 1/год	Длит., ч	Число к-ций	Частота, 1/год	Длит., ч	Число к-ций		
1Г	0,895	91	2	0,0488	43,3	36	0,96	87,02
1Г 2Л	0,0682	91	4	0,00372	43,33	8	0,0745	85,56
2Г 2Л	0,893E-3	90,89	14	0,647E-4	4,16	26	0,975E-3	83,53
1Г 1Л	0,339E-4	84,76	16	0,614E-4	4,64	28	0,0167	0,19
1Л	0,00281	8	2	0,569E-4	12,76	14	0,023	1,01
2Л	0,185E-3	8	2	0,0122	22,28	12	0,0124	22,07

### Заключение

Как видно из результатов расчёта наиболее уязвимыми по показателям надёжности являются генераторы, так как при их авариях мы получили наибольшее среднее время восстановления и наибольшую частоту отключения, по сравнению с остальными элементами. При отключении разного количества элементов показатели надёжности схемы также изменяются. Так, при отключении одного генератора среднее время восстановления и вероятность данного события наибольшее, что доказывает то, что генератор является наиболее уязвимым элементом системы.

Для улучшения показателей надёжности системы необходимо применять такие мероприятия как улучшение защиты электрооборудования, применение современных методов по контролю изоляции, сокращение времени восстановления электрооборудования после аварий, замена электрооборудования на более надёжное.

### Литература

1. Надёжность и качество электроснабжения предприятий: учебное А 46 пособие / Д. С. Александров, Е. Ф. Щербаков. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 155 с.
2. Надёжность электроснабжения потребителей агропромышленного комплекса: учеб. пособие / Т. В. Алферова, О. Ю. Пухальская, А. А. Алферов; М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. – 112 с.

УДК 004.338

**ПИРИНГОВАЯ ТОРГОВЛЯ КАК НОВЫЙ ВИД ВЗАИМООТНОШЕНИЙ  
"ПРОИЗВОДИТЕЛЬ-ПОТРЕБИТЕЛЬ"  
P2P TRADE AS A NEW TYPE OF RELATIONSHIPS " PRODUCER-  
CONSUMER"**

А.В. Борщевский, А.П. Алексеев, М.Н. Булин  
Научный руководитель – Е.М. Гецман, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
myshk-ekaterina@yandex.ru  
A. Borshchevsky, A. Alexeev, M.N. Bulin  
Supervisor – E. Getsman, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** в данной работе рассмотрены примеры применения технологии блокчейна в сфере купли-продажи электроэнергии между элементами микрогрида и энергосистемы страны.

**Abstract:** in this paper examples of the use of blockchain technology in the field of buying and selling electricity between microgrid elements and state's power grid are considered.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, пиринговая торговля энергией, блокчейн, солнечные панели, просьюмер, микрогрид.

**Keywords:** renewable energy sources, P2P energytrade, blockchain, solarpanels, prosumer, microgrid.

### **Введение**

С ростом увеличения доли, возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергобалансе многих стран мира традиционные потребители энергии становятся просьюмерами, которые могут как потреблять, так и генерировать энергию. Выработка электроэнергии ВИЭ обычно носит непостоянный характер и трудно прогнозируема. Когда у потребителей наблюдается избыток электроэнергии, они могут ее накапливать с помощью накопителей энергии, экспортировать обратно в энергосистему или продавать другим потребителям энергии. Прямая торговля энергией между потребителями и производителями называется пиринговая или одноранговая торговля, которая разработана на основе концепции "P2P economy" (известной как sharing economy) [1] и обычно реализуется в рамках локальной системы распределения электроэнергии. Данная технология открывает новые возможности для всех участников сети, например, выбирать, кому продать электроэнергию и у кого ее покупать.

В настоящее время избыток солнечной энергии экспортируется обратно в сеть по небольшой тарифной ставке. Однако этот метод становится устаревшим, поскольку все больше людей ищут гибкость и контроль в управлении распределением своих ресурсов.

### **Основная часть**

Как было упомянуто ранее, двумя основными причинами, по которым была изобретена модель P2P – это рост строительства распределенных энергетических ресурсов: солнечные батареи и ветряные электростанции, подключенные к электрическим сетям, и содействие дальнейшего развития энергетического процесса. Благодаря этой технологии покупатели могут менять свою роль в торговом процессе. С одной стороны, напрямую продают электроэнергию другим потребителям и получают прибыль при относительно высоких тарифах и относительно низких выкупных. С другой стороны, покупатели имеют возможность сэкономить, в то время как продавцы могут получать прибыль [1]. Процесс торговли между субъектами технологии на основе модели P2P представлен схематической структурой на рисунке 1.

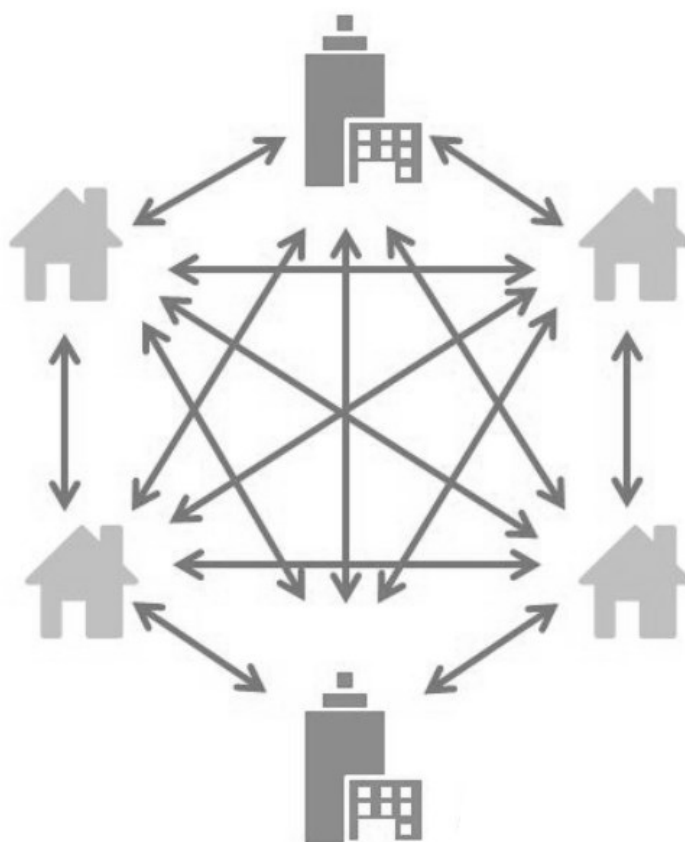


Рисунок 1 – Структура торговли энергией P2P

Данная технология взаимоотношений между элементами энергосистемы хорошо зарекомендовала себя в микрогридах, как Бруклинский [2]. Однако ее применение возможно и в более крупных масштабах: объединённых энергосистемах стран. Ярким примером крупного масштаба является проект SonnenCommunity [3].

SonnenCommunity был разработан компанией SonnenBatterie – производителем аккумуляторных батарей в Германии. Это сообщество владельцев SonnenBatterie, которые делятся собственной энергией с другими по тарифу, предоставляемому SonnenCommunity. С помощью системы SonnenBatterie и фотоэлектрических панелей члены клуба могут полностью покрыть свои собственные потребности в энергии в солнечные дни и даже иметь избыток энергии. Эта избыточная энергия подается не в энергосистему, а в

аккумуляторные накопители энергии, используемые для поддержки электроснабжения членов Sonnencommunity, в то время, когда они не могут производить достаточно энергии из-за плохой погоды (рисунок 2). Для связи и контроля всех членов sonnenCommunity разработано центральное программное обеспечение, позволяющее балансировать спрос и предложение энергии [3].

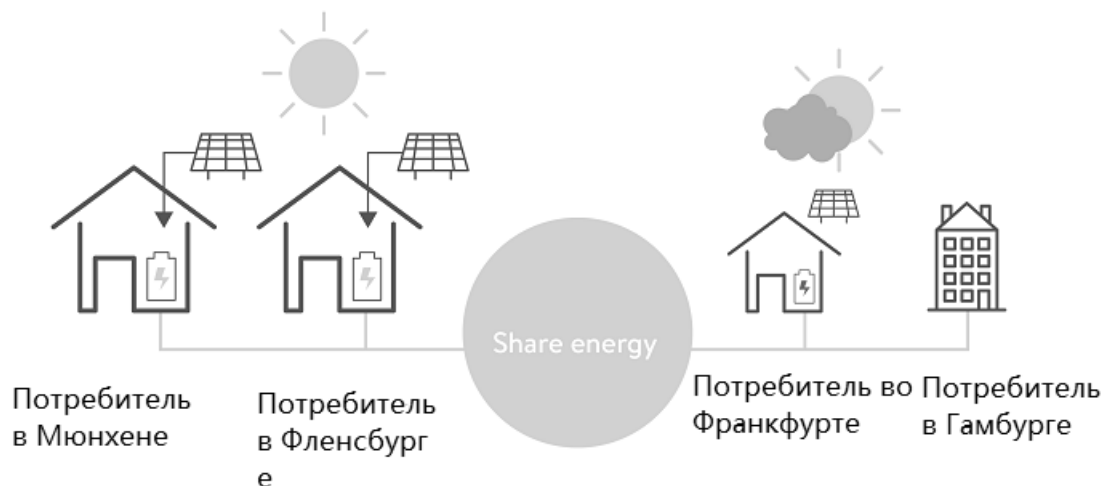


Рисунок 2 – Структура SonnenCommunity

Применение блокчейна и элементов пиринговой торговли в Sonnencommunity открыли новые механизмы взаимодействия данного общества с общей энергосистемой для наблюдения избытка вырабатываемой электроэнергии в сети. Когда в течение дня скорость ветра намного выше обычного (при шторме), что приводит к избытку электроэнергии, вырабатываемой ветром, баланс между спросом и предложением нарушается. В свою очередь это приводит к перегрузке электросети общего пользования и более того, может привести к повышению частоты тока в сети. Наиболее простым решением служит отключение ветряков, однако Sonnencommunity смогла решить эту проблему еще проще и лучше. Преимущество в виде виртуального хранилища, состоящего из тысяч sonnenBatteries, хранит в себе огромное количество избыточной энергии для последующего использования (механизм работы представлен на рисунке 3). Данная функция снимает нагрузку на энергосистему и сохраняет ее работу стабильной.

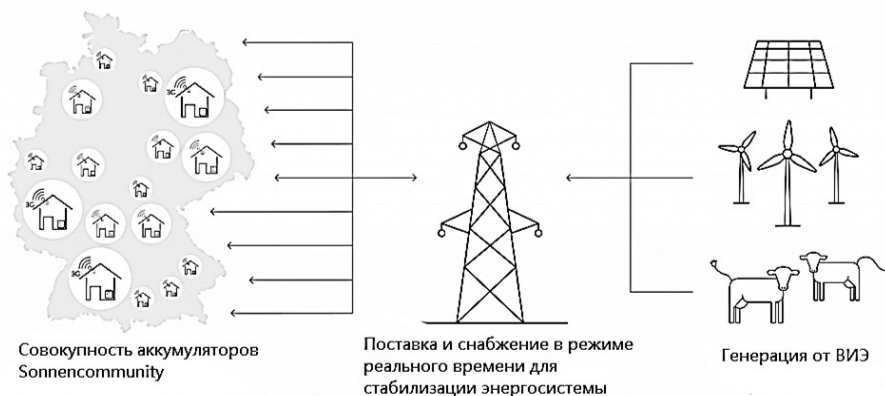


Рисунок 3 – Структура механизма работы регулирования энергодобавки

В другом случае, когда нагрузка в энергосистеме превышает генерацию, частота становится меньше, что может привести к лавинообразному отключению генераторов в энергосистеме, так как будет нарушена параллельная их работа. Энергия, накопленная в батареях, будет выдаваться в энергосистему, и способствовать повышению частоты до нормальных пределов.

### **Заключение**

В целом, механизм пиринговой торговли нашла свое активное применение в микрогридах, систематизируя генерацию и потребление электроэнергии из ВИЭ. Однако новые продукты, как SonnenCommunity, показывают, что интегрирование данной технологии в энергосистему всей страны вполне выполнимая задача, позволяющая решить проблему ВИЭ не только как источник непостоянной генерации, но и интегрирование их в общую энергосистему.

### **Литература**

1. Peer-to-Peer energy trading in a Microgrid / Zhang Chenghua [идр.] // AppliedEnergy. – 2018. – № 220. – С. 1-12.
2. Brooklynmicrogrid [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.brooklyn.energy/>. – Дата доступа: 11.04.2021.
3. Sonnen [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sonnen.de/sonnencommunity/>. – Дата доступа: 11.04.2021.



УДК 004.338

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN ELECTRICITY DISTRIBUTION AND CONSUMPTION

А. П. Алексеев, 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

A. Alekseev, A. Borshchevsky, D. Tarasevich  
Supervisor – E. Getsman, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** в данной статье рассмотрены возможные варианты потенциального применения технологии блокчейн для совершенствования существующих сетей и введения пиринговой торговли.

**Abstract:** this article includes information about the protentional usage of the blockchain technology for the development of current grids and establishing Peer-to-Peer trading.

**Ключевые слова:** блокчейн, пиринговая торговля, блок, хеш, транзакция, токен.

**Key words:** blockchain, Peer-to-Peer trading, block, hash, transaction, token.

### Введение

Блокчейн - на сегодняшний день, одна из самых перспективных технологий, способная изменять многие сферы человеческой жизнедеятельности, а также сделать ее более безопасной, быстрой и эффективной. По сути, блокчейн – это база данных, однако имеет значительные отличия от привычных нам массивов информации. В обычных базах, данных вся информация хранится на одном центральном сервере и может быть изменена авторизованными пользователями. Ключевая особенность блокчейна от обычных баз данных заключается в том, что информация хранится не на одном сервере, а на устройствах многих пользователей, подключенных к сети. Благодаря специальному программному обеспечению, информация всегда сохраняется в неизменном виде и никаким образом не может быть удалена или изменена, то есть существует возможность добавлять только новые данные.

### Основная часть

Что же представляет из себя блок? По сути, блок – это сформированная определенным информация. Информация может быть любой и содержать всевозможные сведения: будь то информация о пациентах для клиники, информация об отданных голосах на любых референдумах или умные контракты. В блоке также содержатся сведения о времени его создания, на основании которого каждому блоку присваивается хеш. Хеш можно сравнить с отпечатком пальца у человека: у каждого блока он свой и уникальный. Как видно на рисунке 1, помимо своего собственного хеша, в блоке находится информация о хеше предыдущего блока, благодаря чему и создается цепочка из

взаимосвязанных блоков. Такая структура и дала название технологии - блокчейн (англ. blockchain - цепочка блоков).

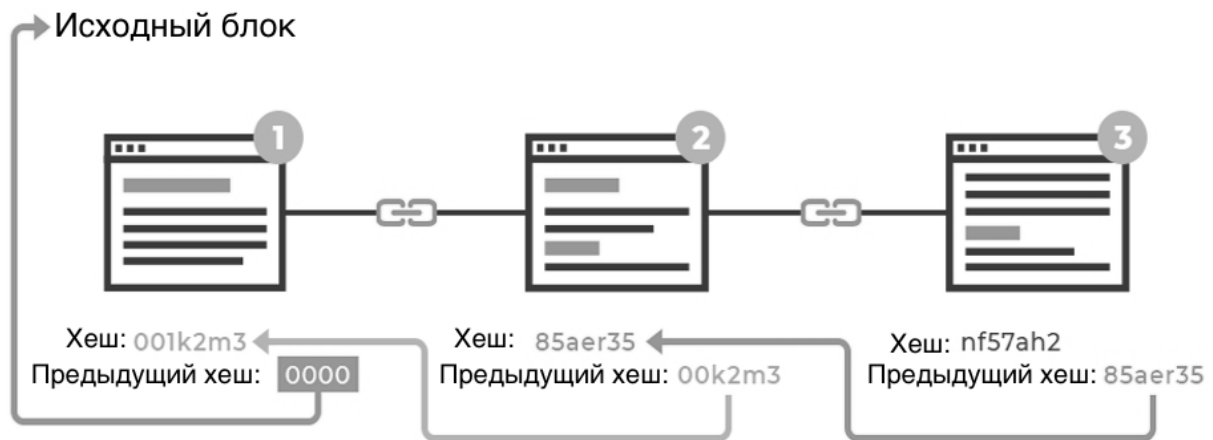


Рисунок 1 - Структура блокчейна

Давайте разберемся, как технология блокчейн может быть применена к текущим электрическим сетям. В настоящий момент структура рынка мира энергии является централизованной, что тормозит увеличение доли возобновляемых источников энергии. Блокчейн позволяет помочь реализовать идею пиринговой торговли, когда люди могут как потреблять, так и продавать выработанную электроэнергию. Схема данной технологии показана на рисунке 2. К слову, министерство энергетики Великобритании планирует выделить в этом году 17 миллионов евро на развитие пиринговой торговли в королевстве.

В пиринговой торговле блок цепочки состоит из следующих составляющих: идентификационный номер данного блока, шапка, а также время заключения сделки между продавцом и покупателем, и временем присоединения блока к цепочке. Часть блока, содержащая в себе информацию о транзакции, создается после запроса покупателем на приобретение энергии. Она содержит в себе идентификационный номер транзакции, идентификационный номер счетчика, отправившего запрос на покупку энергии, количество запрошенной и переданной электроэнергии. Также в ней находятся данные о количестве переданных токенов (электронных денег) и электронные подписи продавца и стороны, вносящей информацию в блок. Это необходимо для подтверждения успешного проведения транзакции. Помимо вышесказанного, эта часть блока включает в себя время оставления запроса на покупку энергии и время, затраченное на обработку запроса. Одним словом – часть блока содержит в себе всю необходимую информацию о каждой транзакции [1].

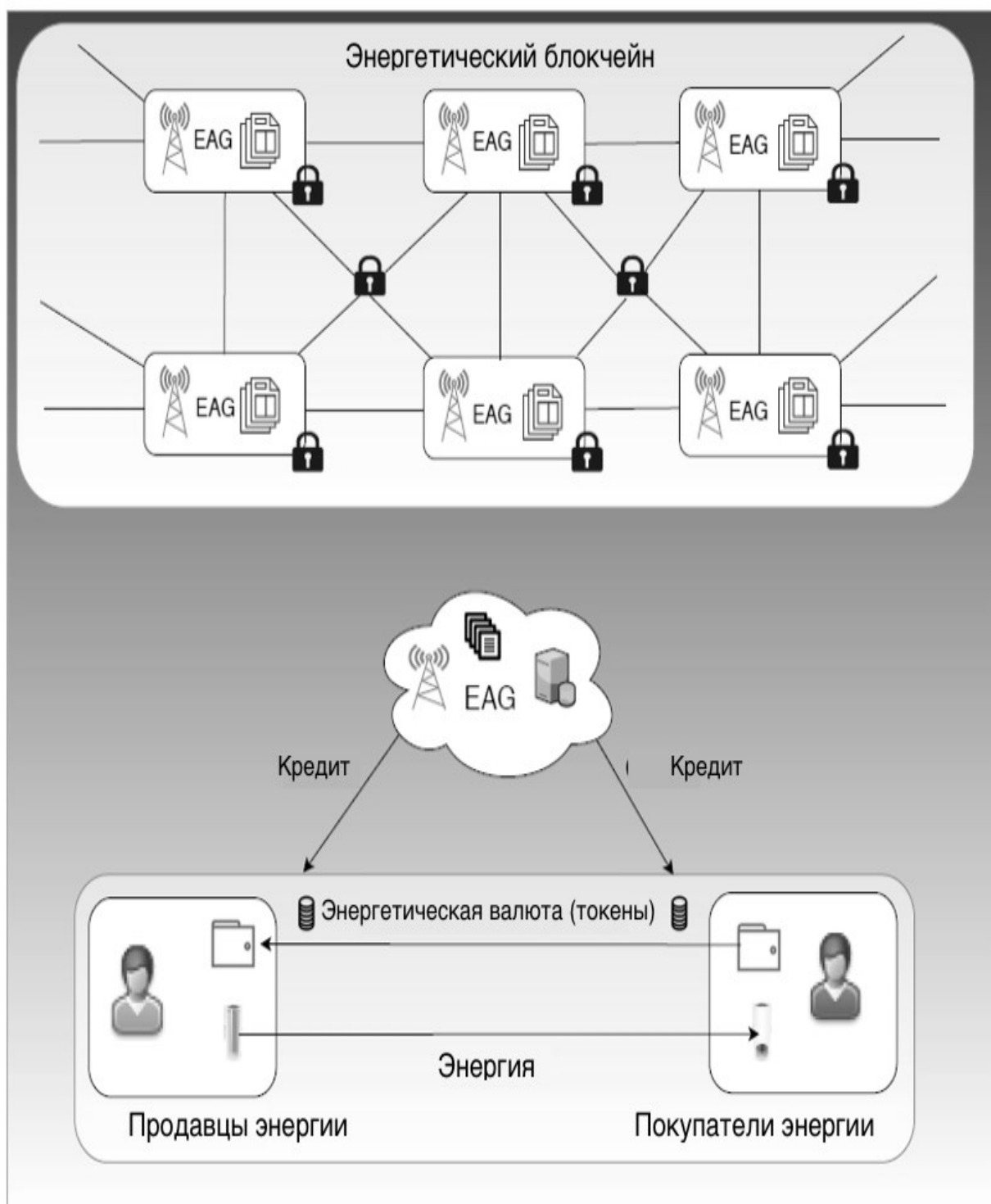


Рисунок 2–Реализация пиринговой торговли

Помимо применения блокчейна в пиринговой торговле, также у данной технологии есть большой потенциал в следующих сферах энергетики:

1. Автоматическая отправка счетов за электроэнергию потребителям.
2. Увеличение контроля за работой децентрализованных сетей.
3. Взаимодействие умных счетчиков с другими умными устройствами внутри сети [2].
4. Помощь в обслуживании сетей.

Несмотря на все преимущества, выделенные в данной технологии для энергетики, при использовании блокчейна в уже существующих электрических сетях придется решать множество проблем. Например, таких как:

1. Необходимость изменения многих существующих законов, касающихся энергетической сферы.
2. Проблема модернизации текущего оборудования для работы его в сети блокчейн.
3. Смогут ли приложения, созданные для пользователей сети, соответствовать уровню безопасности системы блокчейн.

### **Заключение**

Блокчейн - перспективная технология, которая может быть применена во многих сферах энергетики. В первую очередь для повышения стабильности работы, безопасности оплаты и эффективности сетей. Несмотря на все плюсы, технология еще не нашла широкого применения в сфере энергетики и для ее внедрения придется решить множество встающих вопросов.

### **Литература**

1. Tejasvi Alladi. Blockchain in Smart Grids: A Review on Different Use Cases [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/337120813\\_Blockchain\\_in\\_Smart\\_Grids\\_A\\_Review\\_on\\_Different\\_Use\\_Cases](https://www.researchgate.net/publication/337120813_Blockchain_in_Smart_Grids_A_Review_on_Different_Use_Cases). - Дата доступа: 30.01.2021.
2. Merlinda Andoni. Blockchain Technology in the Energy Sector: A Systematic Review of Challenges and Opportunities [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118307184>. - Дата доступа: 01.02.2021.

УДК 621.313.12

## GE HALIADE-X – САМЫЙ БОЛЬШОЙ В МИРЕ ВЕТРЯНОЙ ГЕНЕРАТОР

## GE HALIADE-X – THE BIGGEST WIND GENERATOR IN THE WORLD

Д.А. Бурдин, Д.С. Лялюк, Н.М. Николаев  
Научный руководитель – инженер В.А. Ханевская  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
hanevskaya@bntu.by  
D. Burdin, D. Lyalyuk, N. Nikolaev  
Supervisor –engineer V. Khanevskaya  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** в данной работе проводится анализ перспектив развития ветряной энергетики. Рассмотрен самый мощный ветряной генератор.

**Abstract:** this article analyzes the prospects for the development of the global state of wind power. Also the biggest wind generator by today is considered.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии (ВИЭ), ветроэнергетика, оффшорная ветроэнергетика, возобновляемая энергетика.

**Keywords:** renewable energy sources (RES), wind energy, offshore wind energy, renewable energy.

### Введение

Огромный шаг в развитии ветровой энергетики сделала компания, которая произвела самый мощный, на сегодняшний день, ветряной генератор HALIADE-X. В свою очередь сама ветряная энергетика развивается быстрыми темпами, что жизненно необходимо для некоторых районов, где она является неотъемлемой частью производства электроэнергии. В данной работе было рассмотрено, как именно влияет рост размеров и мощности ветрогенераторов на конечную производительность.

### Основная часть

Ветроэнергостановка Haliade-X является самой мощной оффшорной ветряной турбиной в мире. Haliade-X также является наиболее эффективной морской ветроэнергетической платформой с лидирующим коэффициентом мощности 60-64%. Развитие и совершенствование Haliade-X делает ветер более экономичным и конкурентоспособным источником чистой энергии.

Почему ветряной генератор Haliade-X особенный?

К ключевым особенностям морской ветряной турбины Haliade-X можно отнести следующие показатели:

- имеет мощность 14 МВт, 13 МВт или 12 МВт;
- 220-метровый ротор;
- 107-метровую лопасть и цифровые возможности;
- масса гондолы Haliade-X 600 тонн, плюс 165 тонн лопастей и расчетная масса ступицы 60 тонн, в сумме дают массу головы в 825 тонн. Это соответствует

удельной массе 68,8 тонны на мегаватт (68,8 т / МВт) для номинальной мощности 12 МВт. Для сравнения: Vestas V164-8MW дает около 62,5 Т/МВт, а Siemens Gamesa SWT 7.0-154 - около 51,4 Т / МВт.

•Haliade-X работает на номинальной скорости 7,81 об / мин, что дает скромную номинальную скорость наконечника 89,2 м/с.

Это отражает нерешительность ветроэнергетики по поводу повышения скорости опускания на шельфе до более высокого уровня, несмотря на прогнозы некоторых ведущих экспертов, около десяти лет назад, это неизбежно произойдет, поскольку шум не является основной проблемой на море [1].

Haliade-X – это не только самая большая и мощная ветряная турбина в мире, но также она имеет коэффициент мощности 60-64%, что существенно выше отраслевого стандарта. Коэффициент мощности сравнивает, сколько энергии было произведено с максимумом, который мог бы быть произведен при непрерывной работе на полной мощности в течение определенного периода времени.

#### Мощность и эффективность

Сочетание более крупного ротора, более длинных лопастей и более высокого коэффициента мощности делает Haliade-X менее чувствительным к изменениям скорости ветра, повышая предсказуемость и способность генерировать больше энергии при низких скоростях ветра. Haliade-X может улавливать больше годовой выработки энергии (АЕР), чем любая другая оффшорная ветряная турбина, даже при слабом ветре. Одна турбина Haliade-X мощностью 14 МВт может генерировать до 74 ГВт-ч валового годового производства энергии, экономя до 52 000 метрических тонн  $CO_2$ , что эквивалентно выбросам, производимым 11 000 транспортных средств.

Таблица 1 – Технические характеристики

Haliade-X	12 МВт	13МВт	14 МВт
Мощность, МВт	12	13	14
Диаметр ротора, м	220	220	220
Общая высота, м	248	248	248
Частота, Гц	50 и 60	50 и 60	50 и 60
Валовой коэффициент, %	68	71	74
КПД, %	63	60-64	60-64

Рост размеров и мощности ветрогенераторов позволяет снижать удельные капитальные затраты и стоимость морской ветровой электроэнергии. Развитие последних двух лет показало, что экономика оффшорной ветроэнергетики улучшается быстрее, чем ожидалось, сектор становится конкурентоспособным даже без субсидий [2].

Haliade-X мощностью 12 МВт будет производить на 45 процентов больше энергии, чем любая другая оффшорная ветряная турбина, доступная сегодня, и будет вырабатывать до 67 ГВт\*ч ежегодно, что достаточно для снабжения электроэнергией до 16 000 домов [3]. Такое кардинальное увеличение эффективности является следствием не только увеличения размеров турбины, но и использования в ее конструкции целого ряда самых современных инновационных технологий.

### **Заключение**

Данный ветряной генератор HALIADE-X внедрен во многие проекты и рассматривается в качестве основной ветровой турбины. Быстрыми темпами развивается альтернативная энергетика – согласно основным прогнозам через три десятилетия огромные страны мира перестанут использовать ископаемое топливо. Чистая энергетика, в частности ветровая, тормозится нехваткой площадок для размещения ветрогенераторов на суше и отсутствием постоянных мощных ветров на материковых участках. Решением данной проблемы является выдвигание ветрогенераторов в открытое море. Морская турбина Haliade-X 12 МВт подходит для средней и высокой скорости ветра, а ее большая мощность будет вырабатывать энергию даже при низких скоростях ветра, значительно снижая стоимость электроэнергии и увеличивая прибыль. Данный ветрогенератор, несомненно, смелый шаг и огромный прорыв в ветряной энергетике.

### **Литература**

1. The first prototype of GE's Haliade-X [Электронный ресурс] // Haliade-X uncovered: GE aims for 14MW.- 2019. – <https://www.windpowermonthly.com/article/1577816/haliade-x-uncovered-ge-aims-14mw/> – Дата доступа: 21.03.2021.
2. GERenewableEnergy[Электронный ресурс]//hightech.plus.- 2019. – <https://itc.ua/blogs/ge-renewable-energy-vvela-v-stroj-prototip-samoj-moshhnoj-ofshornoj-vetrovoj-turbiny/>– Дата доступа: 20.03.2021.
3. GeneralElectric (GE) [Электронный ресурс]//GEHaliade-X. - 2018. – Режим доступа: <https://renen.ru/ge-unveiled-an-offshore-wind-turbine-with-a-capacity-of-12-mw/> – Дата доступа: 17.03.2021.

УДК 621.3

## КРУПНЕЙШИЕ ТЭС МИРА THE LARGEST THERMAL POWER PLANTS IN THE WORLD

Васильева А.И.

Научный руководитель – Петрашевич Н.С.  
 Белорусский национальный технический университет,  
 г. Минск, Республика Беларусь  
 nik.petrashevitch@gmail.com

A. Vasileva

Supervisor– N. Petrashevitch, Senior Lecturer  
 Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** представлен список первых пяти крупных ТЭС мира и их характеристики, особенности.*

***Abstract:** this article presents the list of the largest thermal power plants in the world and its characteristics.*

***Ключевые слова:** крупнейшие ТЭС мира, первая ТЭС в мире, первая станция на торфе.*

***Keywords:** the largest thermal power plants, the first power plant on peat.*

### **Введение**

Тепловая электростанция или сокращенно ТЭС – это электрическая станция, вырабатывающая электрическую энергию в результате преобразования теплоты, которая выделяется при сжигании топлива. Первые ТЭС появились в Нью-Йорке (1882 год), в Санкт-Петербурге (1883 год), в Берлине (1884 год), а после стали преимущественно распространяться.

### **Основная часть**

Представим в виде таблицы по порядку убывания самые крупные ТЭС мира, а также их мощность, на каком топливе работают и в каком государстве располагается.

Таблица 1- Крупные ТЭС мира

Наименование	Мощность (МВт)	Топливо	Государство
«Токэто»	6600	уголь	Китай
Тайчжунская	5824	уголь	Китай (Тайвань)
Сургутская ГРЭС-2	5597,1	попутный и природный газ	Россия
«Bełchatów» (Белхатувская)	5354	уголь	Польша
«Фуццу»	5040	попутный и природный газ	Япония



### 1. Tuoketuo

Состав станции: 5 энергоблоков, которые включают в себя еще по 2 блока единичной мощностью 600 МВт. Для собственных нужд установлено 2 блока суммарной мощностью 600 МВт. Уголь добывают примерно в 50 км от нее, а потребность в воде удовлетворяется путем откачки воды с Желтой реки, расположенной в 12 км. Площадь станции составляет свыше 2,5 км<sup>2</sup>. Среднегодовая выработка электроэнергии составляет 33,317 млрд кВт\*ч.

«Токэто» принадлежит рекорд по строительству энергоисточников. Интервал между строительством двух блоков составил 50 дней.

### 2. Тайчжунская ТЭС

До 2011 года занимала первое место. Затем ее опередили Сургутская ГРЭС-2 и Tuoketuo. Но после установки дополнительных блоков она заняла второе место.

Состав станции: 10 энергоблоков по 550 МВт каждый на угле и 4 дополнительных блока по 70 МВт на природном газе. Используется 22 ветровые турбины суммарной мощностью 44 МВт. Среднегодовая выработка электроэнергии составляет 42 млрд. кВт\*ч. Тайчжунская ТЭС занимает территорию 2,5 x 1,5 км.

Станция считается самым крупным загрязнителем атмосферы на Земле. Также славится тем, что каждая труба является произведением искусств.

### 3. Сургутская ГРЭС-2

Состоит из 8 энергоблоков: 6x800 МВт и 2x400 МВт. Работает на попутном нефтяном газе и природном газе (их соотношение 70/30 %). Площадь станции составляет 0,85 км<sup>2</sup>. Выработка электроэнергии – 30,2 млрд кВт\*ч.

Построена в суровых условиях Сибири, где применялись все доступные технологии на тот момент. А сейчас находится под контролем немецкой компании Unipro. В 2011 была произведена замена старых энергоблоков на два современных.

### 4. Белхатувская ТЭС

Состоит из 13 энергоблоков: 12x370/380 МВт и 1x858 МВт. Является крупнейшей в Европе, которая работает на ископаемом топливе. Работает на буром угле, добываемой вблизи станции. Общая площадь составляет 7,5 км<sup>2</sup>.

Выбрасывает много CO<sub>2</sub> в атмосферный воздух. В 2014 году Европейская комиссия присвоила станции статус, как оказывающей наибольшее воздействие на изменение климата в Европе.

### 5. Futtsu Power Plant

Состоит из четырех блоков: 2 по 1000 МВт и 2 по 1520 МВт. Самая мощная станция в Японии на ископаемом топливе. И вторая после Сургутской ГРЭС-2 работающей на газе.

Хотелось бы отметить следующие теплоэлектростанции:

- Лукомльская ГРЭС

Занимает 92 место в списке крупнейших ТЭС мира. Является самой крупной в Беларуси с установленной мощностью 2890 МВт. Площадь примерно 2,3 км<sup>2</sup>.

- Экибастузская ГРЭС-2

Находиться в Казахстане. Ей принадлежит мировой рекорд, который занесен в книгу рекордов Гиннеса. Высота дымовой трубы составляет 420 м и является самой высокой дымовой трубой в мире. Среди рейтинга самых высоких зданий занимает 27 место, выше даже Эйфелевой башни.

•Первая ТЭС в мире

Находится в Нью-Йорке и приступила к работе 4 сентября 1882 года. Построена при поддержке Edison Illuminating Company, которую возглавлял знаменитый изобретатель Томас Эдисон. И его генераторы были установлены на станции, мощностью свыше 500 кВт. За первый год работы обеспечила электричеством чуть более 80 клиентов (400 лампочек). Но в 1890 году станцию уничтожил пожар.

•Первая станция на торфе

Использовать торф в качестве топлива предложил русский инженер Роберт Классон. И первая такая станция построена в Ногинске в 1914 году. Также она является одной из старейших действующих ТЭС в мире. Электрическая мощность составляет 548 МВт, а установленная тепловая мощность – 277 Гкал/ч.

**Заключение**

Несмотря на бурное развитие альтернативной энергетики станции ТЭС остаются более востребованными. Доля вырабатываемой ТЭС электроэнергии в мире составляет примерно 80%.

**Литература**

1. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции: Учебник для вузов/ Под ред. В.Я. Гиршвельда. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 448 с.

2. Крупнейшие электростанции мира [Электронный ресурс] / «ЭНЕКА»- Режим доступа : <https://eneca.by/novosti/energetika-i-energoeffektivnost/krupneyshie-elektrostancii-mira> .- Дата доступа : 12.03.2021.

3. Тепловая электростанция [Электронный ресурс] / Большая российская энциклопедия - 2015. - Режим доступа : [https://bigenc.ru/technology\\_and\\_technique/text/4187983](https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/4187983).- Дата доступа : 12.03.2021.

УДК 504

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ  
СРЕДУ  
ENVIRONMENTAL IMPACT OF POWER LINES**

М.Н. Велитченко

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

[elsyst@bntu.by](mailto:elsyst@bntu.by)

M. Velitchenko

Supervisor – V. Makarevich, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной работе рассмотрены основные факторы влияния линий электропередачи на окружающую среду, связанные с их эксплуатацией и требованиями по установке, методы борьбы с негативными последствиями.*

***Abstract:** This paper discusses the main factors of the impact of power transmission lines on the environment, associated with their operation and installation requirements, methods of dealing with negative consequences.*

***Ключевые слова:** линии электропередачи, экология, окружающая среда.*

***Key words:** power lines, ecology, environment.*

### **Введение**

В связи с активным развитием промышленности происходит активная электрификация региона. В первую очередь она несёт за собой строительство воздушных линий электропередачи. Передача электрической энергии на высоком напряжении (500-750 кВ) и освоение ультравысокого напряжения 1150 кВ и выше, связанная с её экономической выгодой, влечёт за собой негативные последствия для окружающей среды, о которых пойдёт речь в данной работе.

### **Основная часть**

Высокая напряжённость электромагнитного поля, образующегося вокруг линий электропередач (далее ЛЭП) вынуждает закладывать в проект строительства территории под отчуждение, чтобы предотвратить её отрицательное влияние на живые организмы. С другой стороны, падение деревьев или веток на ЛЭП нередко приводит к прерыванию электроснабжения. Следовательно, вырубке подлежат леса, кормовые и охотничьи угодья, по которым пролегает линия. Правилами устройства электроустановок (далее ПУЭ) при прохождении ВЛ с деревянными опорами по лесам, сухим болотам и другим местам, где возможны низовые пожары, должна быть предусмотрена одна из следующих мер:

–устройство канавы глубиной 0,4 м и шириной 0,6 м на расстоянии 2 м вокруг каждой стойки опоры;

–уничтожение травы и кустарника и очистка от них площадки радиусом 2 м вокруг каждой опоры. [1]

При прохождении воздушных линий по насаждениям (лес) должны прорубаться просеки. При этом учитываются данные, приведённые в Таблице 1 (согласно ПУЭ).

При расчётах учитываются также радиусы проекции крон деревьев различных пород.

Таблица 1 – Наименьшее расстояние по горизонтали между проводами ВЛ и кронами деревьев

Напряжение ВЛ, кВ	До 20	35-110	150-220	330-500	750
Наименьшее расстояние, м	3	4	5	6	7

Следствием вырубki леса является активное развитие сорняков, что может нарушать равновесие флоры и фауны. Во избежание зарастания трасс прибегают к химической обработке почв, что дополнительно загрязняет окружающую среду. Также вывод лесов из процесса регенерации кислорода негативно сказывается на атмосферном воздухе региона.

В 2017 году была принята инструкция об устранении опасных деревьев, угрожающих бесперебойной работе ВЛ. Этот документ должен урегулировать взаимодействие лесоводов и организаций, обслуживающих линии электропередач. [2]

Что касается воздействия ЛЭП напряжения 500-750 кВ и выше на живые существа, в том числе на человека, речь идёт о негативном влиянии на сердечно-сосудистую систему, нервную систему, мышцы и ткани и впоследствии – другие органы. Без учета длительности воздействия на человека допустимая удельная напряженность электрического поля указана в таблице 2.

Таблица 2. – Напряжённость эл. поля для различных зон

Зона прохождения ЛЭП	Напряжённость, кВ/м
Труднодоступная местность	20
Ненаселённая местность	15
Пересечения с дорогами	10
Населённая местность	5

При напряженности 0,5 кВ/м на границах жилых застроек допускается пребывание человека в электрическом поле по 24 ч в сутки в течение всей жизни.

Ограничивается также время пребывания персонала в электрическом поле. Во избежание необратимых последствий на организм или их сокращения предусмотрены различные меры защиты: экранирование рабочих мест, тросовые экраны над дорогами, экранирующие козырьки и навесы над шкафами управления, вертикальные экраны между фазами, съёмные экраны при ремонтных работах и др. В труднодоступных местах роль экрана могут выполнять насаждения кустарников и деревьев, т.к. они обладают достаточной проводимостью.

Высокая напряжённость поля вокруг ЛЭП приводит к эффекту «коронирования». Кроме высокого уровня травмопасности при работе с высоким напряжением для персонала, возникает акустический шум (треск),

который значительно усиливается при дожде и высокой влажности. Однако в странах СНГ предел допустимой громкости не нормируется.

Для населённых районов свойственна эстетическая проблема, связанная с размерами и высотой опор, их формами и окраской. Решением является подбор соответствующих архитектурных проектов, применение насаждений в качестве естественных экранов, маскировка их за счёт применения красок, регулирование высоты и др.

### **Заключение**

Несмотря на негативные факторы, развитие сети электроснабжения приводит к улучшению уровня жизни региона, его экономическому и промышленному развитию, а также является неотъемлемым элементом развития общества в целом, с чем связано возникновение всё новых средств защиты, маскировки линий электропередач.

### **Литература**

1. Правила устройства электроустановок. – изд. «Энергопресс». –1985 г.
2. Расчистка просек в зоне ЛЭП, Е.Пестунова[Электронный ресурс]. – lesgazeta.by. – Белорусская лесная газета, Министерство лесного хозяйств РБ, 26.10.2017. – Режим доступа: <http://lesgazeta.by/people/aktualnyj-kommentarij/raschistka-prosek-v-zone-ljep>. – Дата доступа: 25.03.2021.

УДК 546.1

**ЭНЕРГОРЕСУРСЫ ИСКУССТВЕННЫЕ: ВОДОРОД - ХРАНЕНИЕ,  
ТРАНСПОРТИРОВКА**

**ARTIFICIAL ENERGY RESOURCES: HYDROGEN - STORAGE,  
TRANSPORTATION**

И.Д.Винников

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

I. Vinnikov

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

**Аннотация:** *Электроэнергия - это наиболее удобный вид энергии, поскольку ее можно легко контролировать, транспортировать и преобразовывать в тепло, а также работать с очень высокой эффективностью. Единственный недостаток электроэнергии в том, что ее нельзя хранить в больших количествах. Альтернативная энергия будущего - это водородная энергия, которую можно легко хранить в дополнение к другим качествам электрической энергии.*

**Abstract:** *Electrical energy is the most convenient form of energy because it can be easily controlled, transported and converted into heat and work at very high efficiencies. The only shortcoming of electrical energy is that it cannot be stored in large quantities. Alternative energy of future is hydrogen energy which can also be easily stored in addition to other qualities of electrical energy.*

**Ключевые слова:** *водород, энергетика, искусственные энергоресурсы, водородная энергетика.*

**Keywords:** *hydrogen, energy, artificial energy resources, hydrogen energy.*

### **Введение**

В последнее десятилетие стало совершенно очевидным, что дальнейшее развитие современной энергетики ведет человечество к огромному экологическому кризису. Быстрое сокращение запасов ископаемого сырья будет принуждать индустриально развитые страны увеличивать сеть атомных энергоустановок, которые станут повышать опасность при их использовании. Резко обострится проблема утилизации радиоактивных отходов. Учитывая эту тревожную тенденцию, многие ученые и практики определенно высказываются в пользу ускоренного поиска альтернативных нетрадиционных источников энергии. В особенности, их взгляды обращаются к водороду, запасы которого водах Мирового океана неограничены.

### **Основная часть**

Транспортировка и распределение водорода создают определенные проблемы с точки зрения безопасности. Эти проблемы тесно связаны с химическими и физическими свойствами водорода: его способность делать материалы хрупкими, его легкость выхода из защитной оболочки, его широкий

диапазон воспламеняемости и ограниченное количество энергии, необходимое для его воспламенения, - все это представляет собой препятствия для безопасного использования. В то же время его чрезвычайно низкая плотность является гарантией того, что газ, скорее всего, поднимется вверх, а не образует плотные опасные облака, как это делают другие опасные газы.

Рассмотрим пять основных методов хранения водорода: 1. Хранение сжатого газа. Для многих применений водород удобно хранить в баллонах с более высоким давлением. Метод довольно дорогой и громоздкий. 2. Хранение жидкости в качестве криогенного хранилища в резервуарах с вакуумной изоляцией или очень изолированными резервуарами. Жидкое водородное топливо, используемое в космической программе в качестве ракетного топлива, хранится в больших резервуарах. 3. Система линейных блоков, где разрешено изменять давление в системе передачи и распределения. 4. Подземное хранение газообразного водорода на истощенных месторождениях нефти и газа или в системах водоносных горизонтов. Это самый дешевый способ хранения большого количества водорода для последующего распределения. 5. Хранение в виде гидридов металлов в химически связанной форме. Ряд металлов и сплавов образуют твердые соединения в результате прямой реакции с газообразным водородом. Гидриды металлов можно транспортировать в твердой форме. Когда гидрид нагревается, водород выделяется для использования. [2]

Привлекательность водорода как многофункционального энергоносителя определяется чистотой, гибкостью и эффективностью процессов преобразования энергии с его участием. Технологии разномасштабного получения водорода достаточно хорошо освоены и имеют практически неограниченную сырьевую базу. Однако низкая плотность газообразного водорода, низкая температура его сжижения, а также высокая взрывоопасность в сочетании с негативным воздействием на свойства конструкционных материалов, ставят на первый план проблемы разработки эффективных и безопасных систем хранения водорода - именно эти проблемы сдерживают развитие водородной энергетики и технологии в настоящее время. В соответствии с классификацией департамента энергетики США, методы хранения водородного топлива делят на 2 большие группы: Первая группа предполагает физические методы, которые используют физические процессы (главным образом, компрессирование или сжижение) для перевода газообразного водорода в компактное состояние. Водород, хранимый с помощью физических методов, состоит из молекул  $H_2$ , слабо взаимодействующих со средой хранения. На сегодняшний день реализованы следующие физические методы, хранения водорода:

Сжатый газообразный водород: газовые баллоны; стационарные огромные системы хранения, включая подземные резервуары; хранение в трубопроводах; стеклянные микросферы. Вторая группа включает химические методы, в которых хранение водорода обеспечивается физическими или химическими процессами его взаимодействия с некоторыми материалами. Хранение водорода. Данные методы характеризуются сильным взаимодействием молекулярного либо атомарного водорода с материалом среды хранения и являются следующими:

В химических методах хранения водорода обеспечивается физическими или химическими процессами его взаимодействия с некоторыми материалами. Данные методы характеризуются сильным взаимодействием молекулярного либо атомарного водорода с материалом среды хранения.

Хранение газообразного водорода не является более сложной проблемой, чем хранение природного газа. На практике для этого используют газгольдеры, естественные подземные резервуары (водоносные породы, выработанные месторождения нефти и газа), хранилища, созданные подземными атомными взрывами. Для хранения газообразного водорода при давлении до 100 МПа используют сварные сосуды с двух- или многослойными стенками. Для этих задач используют и бесшовные толстостенные сосуды из низкоуглеродистых сталей, рассчитанных на давление до 40 – 70 МПа. [1, стр.148]

Одним из наиболее перспективных способов хранения больших количеств водорода является хранение его в водоносных горизонтах. Годовые потери составляют при таком способе хранения 1 – 3%. Эту величину потерь подтверждает опыт хранения природного газа. Газообразный водород возможно хранить и перевозить в сосудах из стали под давлением до 20 МПа. Такие резервуары можно подвозить к месту потребления на автомобильных или железнодорожных платформах, как в стандартной таре, так и в специально сконструированных контейнерах.

#### Транспортировка водорода

Первоначальные методы хранения и транспортировки сжиженного водорода состояли из стальных резервуаров, в которых водород находился в жидкой форме при давлении около 2000 фунтов на квадратный дюйм. Это оказалось эффективным способом хранения, и, поскольку водород не вызывает коррозии, не было никаких проблем с деградацией стальных контейнеров. Тем не менее, благодаря новым достижениям в хранении водорода внутренняя часть этих стальных резервуаров покрыта композитным материалом из углеродного волокна, который значительно повышает прочность примерно в 10 раз по сравнению с прочностью одной стали и может даже выдерживать столкновение со скоростью 100 миль в час без взлома. Эти достижения в обращении с сжиженным водородом позволяют более безопасно транспортировать его на рынок и делают его гораздо более безопасным и привлекательным источником энергии.

Один из текущих методов транспортировки водорода на рынок - это совместное использование одного трубопровода, в котором и природный газ, и водородный газ находятся в одном трубопроводе, где два газа затем разделяются перед использованием. Это очень эффективный способ транспортировки, учитывая, что существующая инфраструктура для природного газа уже существует. Кроме того, присутствие природного газа позволяет быстрее обнаружить утечку в трубопроводе из-за одорантов, добавляемых в природный газ. Также преимуществом является сохранение потенциальной энергии по сравнению с таким источником энергии, как электрический; поскольку есть определенное количество потерянной энергии из-за сопротивления в силовых кабелях на больших расстояниях. Однако с водородом потери потенциальной



энергии отсутствуют, и это делает его экономически эффективным методом транспортировки.

Водород для транспортировки потребителям продается в различных формах в зависимости от требуемой потребности в энергии и дальности действия одного резервуара; Существует 2 обычных и 1 менее распространенная форма водорода, которые используются для транспортировки. Первый - это сжатый газообразный водород, который подается при давлении 5000 или 10000 фунтов на квадратный дюйм. Это обычная форма для автомобилей и автобусов. Другой распространенной формой является криогенный переохлажденный жидкий водород. Третья форма водорода - это жидкая суспензия, которая представляет собой соединение, богатое водородом. Часто используется гидрид лития или гидрид магния, и это многообещающая форма, учитывая, что его можно хранить при нормальной температуре жизни и обрабатывать таким же образом, как и любую другую жидкость, учитывая ее более высокую стабильность. Преимущество суспензии над криогенным водородом состоит в том, что она имеет вдвое большую удельную энергию и намного дешевле в производстве и транспортировке. [3]

В недавнем исследовании (Herrmannetal. 2018) изучалась экономическая эффективность водородного топливного элемента на базе ТЭЦ и наблюдались его текущие применения в Германии. Эта европейская страна хорошо подходит для водородной экономики благодаря тому, что здесь находится второй по величине водородный трубопровод, а также Германия получает около 35% своей энергии из возобновляемых источников, что делает производство водорода с использованием этой энергии очень экологически чистым. Водород, полученный путем парового риформинга природного газа, имеет самую низкую общую стоимость при применении в бытовой энергосистеме ТЭЦ. Отсюда и причина, по которой европейский проект ene.field намерен развернуть до 1000 бытовых систем ТЭЦ в 11 европейских странах. Если использовать жидкий водород в автомобиле, необходимо иметь тяжелую криогенную систему обеспечения. Резервуар должен быть достаточно холодным в целях безопасности. Если прибавить изоляцию, вес увеличится.

### **Заключение**

В будущем водород присоединится к электросистеме в качестве важного энергоносителя, так как его можно безопасно производить из возобновляемых источников энергии, и он почти не загрязняет окружающую среду.

Он также будет использоваться в качестве топлива для транспортных средств с нулевым уровнем выбросов, для обогрева домов и офисов, для воспроизводства электроэнергии и для заправки летательных аппаратов.

### **Литература**

1. Радченко Р.В., Мокрушкин А.С., Тюльпа В.В. Водород в энергетике. Учебное пособие. - ЕКБ, 2014.

2. Водородная энергетика [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.engineeringnotes.com/essay/hydrogen-energy/essay-on-hydrogen-energy-types-renewable-energy-energy-management/20253> Дата доступа: 20.04.2021.

3. Водородные топливные элементы [Электронный ресурс].- Режим  
доступа:<https://www.essaysauce.com/science-essays/hydrogen-fuel-cells/> Дата  
доступа:20.04.21.

УДК 621.3

**СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СХЕМ РУ СРАВНЫМ  
КОЛИЧЕСТВОМ ПРИСОЕДИНЕНИЙ**

**COMPARISON OF RELIABILITY INDICATORS WITH THE SAME  
NUMBER OF CONNECTIONS**

В.Н. Годун, Е.В. Мятлев, А.И. Петрович  
Научный руководитель -А.Л. Старжинский к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

[astarginsky@bntu.by](mailto:astarginsky@bntu.by)

V. Godun, M. Myatlev, A. Petrovich  
Supervisor-A. Starzhinsky, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** Построение схем сетей основывается на принципах формирования конфигурации сети и присоединения подстанций к сети. При этом в каждом конкретном случае руководствуются требованиями обеспечения надежности в соответствии с категориями присоединяемых потребителей. Одним из главных критериев их выбора является надежность.

**Abstract:** The construction of network diagrams is based on the principles of forming a network configuration and connecting substations to the network. In this case, in each specific case, they are guided by the requirements for ensuring reliability in accordance with the categories of connected consumers. Reliability is one of the main criteria for their selection.

**Ключевые слова:** схема, конфигурация сети, надежность, потребители.

**Keywords:** network, network configuration, selection, consumers.

**Введение**

Надёжность – это свойство объекта выполнять заданные функции в заданном объеме при определенном условии функционирования. Применительно к ЭС заданной функцией является снабжение потребителей электрической энергией в необходимых объемах и требуемого качества, исключения ситуаций, опасных для людей и окружающей среды. Невыполнение этой функции имеют место при отказах ЭС.

Под определением надежности понимается получение различных показателей надежности систем, которые позволяют принимать оптимальные решения в практической деятельности. Многообразие практических задач приводит к необходимости при изучении сложных систем использовать различные методы определения надежности. При расчёте будем пользоваться таблично-логическим методом. Данный метод позволяет выявить все виды аварий, возникающих при совпадении событий отказов элементов главной схемы электрических соединений ПС на ремонтные и эксплуатационные режимы, которые отличаются составом и повреждаемостью оборудования. Кроме того, влияют все виды возникающих аварий при развитии аварии из-за отказов срабатывания устройств релейной защиты, коммутационных аппаратов и устройств противопожарной автоматики.

### Основная часть

Рассмотрим подробнее рассматриваемые схемы и области их применения.

Схемы состоящих из сборных шин и одним выключателем на одно присоединение называют схемой с одной секционированной системой шин. При наличии пяти или более присоединений она широко применяется в проектировании. Схема используется на напряжение 35-220 кВ.

Одним условием является наличие парных линий или линий, которые запитываются от других ПС, и также не резервируемых, но не более одной на любой из секций. Эта схема сочетает надежность схемы со сборными шинами с маневренностью схемы многоугольник. Так же имеет большую эксплуатационную гибкость. При раздельной работе трансформаторов токи КЗ снижаются на стороне вторичного напряжения.

Вторая из рассматриваемых схем – шестиугольник. Схемы РУ подстанций должны удовлетворять экономически целесообразному уровню надежности. Уровень надежности схемы РУ в различных режимах работы может быть жестко регламентирован. В схемах многоугольников для образования кольца, выключатели соединяются между собой. Таким образом линия и трансформатор присоединяется между двумя соседними выключателями. Основным достоинством схем многоугольников является использование разъединителей только для ремонтных работ, а само количество операций ими невелико. Именно поэтому мы выбрали для сравнения схему шестиугольника.

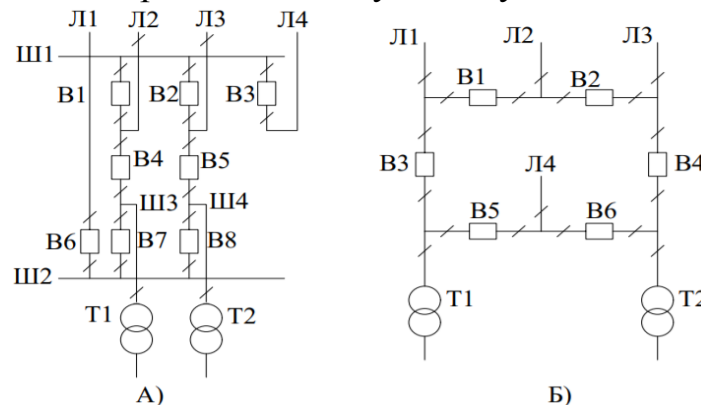


Рисунок 1- Схемы РУ принятые для сравнения: А) одна рабочая секционированная система шин с подключением ответственных присоединений через «полуторную» цепочку, Б) шестиугольник.

В случае, если у нас происходит замыкание в выключателе или происходит отказ в нем при внешнем КЗ, то это будет связано с отключением двух присоединений. Минусом этой схемы является то, что при размыкании кольца, это случается при ремонте выключателя, короткое замыкание является причиной отключения одновременно двух рядом стоящих присоединений, одним из которых является поврежденным, однако вероятность такого случая мала. В целом, эту схему можно охарактеризовать так: надежная и недорогостоящая. Данную схему целесообразно использовать для двухтрансформаторных ПС 110/330 кВ с четырьмя ВЛ.

При помощи программы TOPAS рассчитали показатели надежности для каждой из схем.

Таблица 1 – Показатели надежности элементов элементов схемы РУ

Элементы схемы	Ном. напряжение $U_n$ , кВ	$\lambda_i$ , 1/год	$t_{с,ч}$	$\lambda_{э,1/год}$	$t_{нз,ч}$
Силовые трансформаторы	110	0,015	75,0	0,800	30,0
Воздушные линии 1 км	110	0,550	15,0	2,000	13,5
Сборные шины	110	0,500	6,0	0,160	4,5
Выключатели	110	0,011	30,0	0,090	100

Чтобы оценить уровень надежности одной из рассматриваемых схем, потребуется воспользоваться коэффициентом неготовности, который находится по выражению (1), зависящий от частоты погашений потребителей и длительности погашений.

Коэффициент неготовности потребителей:

$$K_{нз} = \frac{\lambda \cdot T}{8760}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – частота погашений потребителей, 1/год;

$T$  – длительность погашений потребителей.

Таблица 2 – Результаты расчета надежности элементов схемы А

Аварии	$\lambda$ , 1/год	$T$ , ч	$K_{нз}$ , о.е.
Отказ одного трансформатора	0,13125	21,25	$3,184 \cdot 10^{-4}$
Отказ одного трансформатора и одной линии	0,04620	0,61	$3,216 \cdot 10^{-6}$
Отказ одного трансформатора и двух линий	0,00152	0,81	$1,407 \cdot 10^{-7}$
Отказ одного трансформатора и трех линий	0,00130	1,34	$1,985 \cdot 10^{-7}$
Отказ двух трансформаторов и четырех линий	0,00006	0,5	$0,346 \cdot 10^{-8}$
Отказ одной линии	2,29950	14,64	$3,843 \cdot 10^{-3}$
Отказ двух линий	0,02762	2,22	$6,998 \cdot 10^{-6}$

Таблица 3 – Результаты расчета надежности элементов схемы Б

Аварии	$\lambda$ , 1/год	T, ч	$K_{нг}$ , о.е.
Отказ одного трансформатора	0,13230	22,31	$3,209 \cdot 10^{-4}$
Отказ одного трансформатора и одной линии	0,04809	0,56	$2,909 \cdot 10^{-6}$
Отказ одного трансформатора и двух линий	0,00147	0,87	$1,386 \cdot 10^{-7}$
Отказ одного трансформатора и трех линий	0,00192	1,38	$2,866 \cdot 10^{-7}$
Отказ двух трансформаторов и четырех линий	0,00061	0,53	$3,36 \cdot 10^{-8}$
Отказ одной линии	2,28900	15,21	$3,786 \cdot 10^{-3}$
Отказ двух линий	0,02762	0,59	$1,765 \cdot 10^{-6}$

### Заключение

В результате сравнения схем в различных аварийных ситуациях выяснили, что схема «одна рабочая секционированная система шин с подключением ответственных присоединений через «полупорную» цепочку» является более надежной, чем схема «шестиугольник», так как коэффициент неготовности, исходя из которого делаем анализ, в первой схеме меньше, чем во второй. Исходя из этого можно сделать вывод, что первая схема является более надежной и имеет лучшую эксплуатационную гибкость.

### Литература

1. Розанов, М. Н. Надежность электроэнергетических систем – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 200с.
2. Основы надежности систем электроснабжения / В.А. Анищенко и И.В. Колосова; кол. авт. Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Электроснабжение". - Минск : БНТУ, 2007. - 150 с.: ил.

УДК 620.93

**ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ: ГЭС, ГЭАС. ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ.  
ПРОГРАММА РАЗВИТИЯ ГЭС В БЕЛАРУСИ  
POWER PLANTS: HES, GEAS. EQUIPMENT, TECHNOLOGIES. THE  
PROGRAM FOR THE DEVELOPMENT OF HYDROELECTRIC POWER  
PLANTS IN BELARUS**

В.В. Голуб

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

V.V. Golub

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

***Аннотация:** При текущих объемах запасов и объемах добычи газа не более чем на 60 лет, а нефти хватит не более чем на 50 лет. Человечеству жизненно необходимо найти альтернативные источники энергии, которые смогли бы заменить углеводородное топливо. Поэтому в настоящее время большое внимание гидроэнергетике. Гидроэнергетика – уже довольно хорошо изученный, активно применяемый и относительно дешевый метод получения электроэнергии. Сейчас многие страны стараются перейти на этот вид получения электроэнергии, так как вода является возобновляемым источником энергии.*

***Abstract:** At current levels of proven reserves and production, oil will not last more than 50 years and gas no more than 60 years. It is vital for mankind to find alternative energy sources to replace hydrocarbon fuels. Therefore, at present, much attention is paid to hydropower. Hydropower is already a fairly well-studied, actively used and relatively cheap method of generating electricity. Now many countries are trying to switch to this type of electricity generation, since water is a renewable energy source.*

***Ключевые слова:** вода, гидроэнергетика, гидроэлектростанции, гидроаккумулирующие электростанции, мощность.*

***Keywords:** water, hydropower, hydroelectric power plants, pumped storage power plants, power.*

**Введение**

На фоне ухудшения экологии и истощения углеводородных ресурсов, привлекательно выглядит использование водных ресурсов. Люди могут использовать кинетическую и потенциальную энергии падающей воды для получения электроэнергии. Этот процесс называется гидроэнергетикой. Гидроэнергетика является относительно дешевым способом получения электроэнергии, хоть и гидроэлектростанции очень зависят от места строительства. Постоянный поток воды и высокий угол наклона реки – это два необходимых условия для постройки гидроэлектростанции.

В связи с неоднородностью годового графика нагрузок появляется потребность в ее накоплении во время малого электропотребления и отдачи в пиковые моменты ее потребления, тем самым уменьшается необходимость изменять мощность в течении суток атомных и тепловых электростанций, человечество придумала гидроаккумулирующие электростанции.

### **Основная часть**

#### **Принцип работы ГЭС:**

Общий принцип работы ГЭС достаточно понятен. Сооруженные гидротехнические сооружения обеспечивают постоянный напор воды, которые в свою очередь поступает на лопасти турбины. Турбина, под действием этого напора, приходит в движение, тем самими вращая генератор. После этого полученная электроэнергия по линиям электропередачи поступает потребителю.

Основная проблема этого сооружения – обеспечение постоянного напора воды. Эта проблема решается построением плотины. Благодаря ей большой объем воды концентрируется в одном месте. Иногда используют естественный ток воды, а иногда плотину и естественное течение применяют совместно.

С самого сооружения ГЭС в основном находится оборудование, которое предназначена для преобразования механической энергии воды в электрическую. Эти процессом занимается генератор. Также используется и другое оборудование для контроля работы электростанции, распределяющие устройства и трансформаторные станции.

Основные элементы электростанции:

Гидравлическая турбина (гидротурбина) – это двигатель, преобразующий кинетическую энергию движущейся воды в механическую энергию вращения. Роторы, гидротурбины и гидрогенератора посажены на общий вал. Такое соединение образует сложную конструкцию, которая называется гидроагрегатом.

Гидрогенератор – это электрическая устройство, которая преобразует механическую энергию вращения (полученную после гидротурбины) в электрическую энергию. На ГЭС применяются в качестве генераторов синхронные машины трехфазного переменного тока.

Статор гидрогенератора состоит из сердечника и корпуса.

Сердечник представляет большое стальное кольцо, сделанное из довольно тонких (до 0,5 мм) листов электротехнической стали.

Ротор – это большой и тяжелый узел генератора, его диаметр в основном около 15 м, масса больше чем 1000т. Обод, полюса, спицы и втулки — это основные детали ротора.

Подпятник – самый сложный и важный узел генератора. Подпятник должен обеспечивать постоянное и беспрепятственное вращение, хоть при этом и передает огромные усилия на конструкцию зданий гидроэлектростанции, получаемое от давления воды на колесо турбины и от веса вращающихся частей гидрогенератора.



Существует несколько видов ГЭС, которые определяются по количеству вырабатываемой мощности:

1. Мощные – вырабатывают более 25 МВт.
2. Средние – вырабатывают до 25 МВт.
3. Малые – вырабатывают до 5 МВт.

Мощность ГЭС зависит от в первую очередь от потока воды и КПД самого генератора, который на ней применяется. Но даже самая эффективная установка не сможет производить большие объемы электроэнергии при слабом напоре воды. Также стоит учитывать, что мощность гидроэлектростанции не является постоянной. В силу естественных природных причин уровень воды в дамбе может увеличиваться или уменьшаться [1].

Гидроаккумулирующие электростанции могут работать в двух режимах: турбинном (генераторный) и насосный. Когда ГЭС работает в насосном режиме, то вода перекачивается гидроагрегатами из нижнего водоема в верхний водоем. В этом режиме ГЭС работает обычно ночью, из-за снижения нагрузок в энергосистема и получается избыток электроэнергии, которую и потребляет ГЭС. В турбинном режиме работает по-другому. Вода сбрасывается из верхнего водоема в нижний через специальные гидроагрегаты ГЭС. И электроэнергия, которая при этом вырабатывается, идет потребителям. В этом режиме ГЭС работает в период максимальной загруженности энергосистемы.

В состав ГЭС входит: верхний бассейн, напорный водопровод (железобетонный или металлический), водоприёмник, который подает воду в верхний бассейн, когда электростанция работает в насосном режиме, или забирает воду в моменты, когда он работает в турбинном режиме. В здании электростанции находятся турбина, генератор-электродвигатель или только генератор с обратимой турбиной (турбина-насос) [2].

В большинстве случаев гидроаккумулирующие электростанции устанавливаются недалеко от мощных потребителей и недалеко от тепловых или атомных электростанций, если это позволяют гидрологические, географические и топографические факторы. Так же обязательно, чтобы местность имела возможность возведения верхнего бассейна и нижнего водохранилища в непосредственной близости друг от друга. Коэффициент полезного действия ГЭС находится в диапазоне от 0,6-0,7.

По способу и схеме аккумуляирования ГЭС разделяют на несколько видов:

1. ГЭС простого аккумуляирования («чистые» ГЭС). Они характеризуются, тем, что у них отсутствует приток воды в верхний водоем. В этом случаи энергия вырабатывается только за счет ранее запасенной воды.
2. ГЭС смешанного типа. ГЭС этого типа характеризуется, что за счет притока воды в верхний водоем, при сработке которого в турбинном режиме получается дополнительная энергия.

Программа развития ГЭС в Республике Беларусь.

В основном ландшафт Беларуси – это равнины. Но ее гидроэнергетические ресурсы оцениваются в 850-1000 МВт. В 60-е года прошлого столетия в РБ насчитывалось около 180 ГЭС, общая выработка которых была 21 МВт. В Республике Беларусь сейчас идет восстановления старых гидроэлектростанций, путем ремонта и заменой старого оборудования на новое, сооружение новых ГЭС на водохранилищах комплексного назначения, а также строительство новых бесплотинных ГЭС энергия на которых получается за счет кинетической энергии воды. Вот эти станции не особо затратные, легки в обслуживании и монтаже и удобны в использовании при электроснабжении потребителей небольшой мощности, которые располагаются вблизи рек и водохранилищ. В результате работ по восстановлению ГЭС уже были восстановлены некоторые гидроэлектростанции:

Добромыслянская -200 кВт;

Голонес – 250 кВт;

Тетеренская – 600 кВт;

1-ая очередь Вилейской ГЭС – 600кВт и другие;

На данный момент количество ГЭС составляет около 20 штук, а их суммарная мощность составляет 20 МВт. К 2020 году планировалось, чтобы общая выработка энергии составляла 210 МВт. Это позволит покрывать около 4% общей выработки электроэнергии в стране. При этом нужно учитывать, что с ростом цены на топливо будет становиться и более экономично эксплуатировать ГЭС по сравнению с тепловыми электростанциями.

В масштабе РБ реализуется проект по восстановлению, реконструкции и строительству гидроэлектростанций, подписанный советом Министров. Согласно этому проекту в РБ планируется в недалеком будущем, чтобы суммарная выработка электроэнергии составляла 25% от всей электроэнергии.

### **Заключение**

По расчётам при современных темпов потребления нефти, газа, угля, этих ресурсов хватит 100-200 лет. Необходимо искать альтернативные и выгодные источники энергии. Получение электроэнергии из воды является довольно практичным и удобным методом. Поэтому во многих странах гидроэнергетика уже получила лидирующие позиции. Например, в Канаде 58% электроэнергии получают за счет гидроэнергетики, в Бразилии – 86%, а в Норвегии (известной как экологически чистой стране) – 99%. Даже в нашей небольшой стране уже взят курс на развитие гидроэнергетики.

### **Литература**

1. ГЭС [Электронный ресурс]/ Принцип работы, схема, оборудование, мощность - Режим доступа <https://www.kakprosto.ru/kak-968316-ges-princip-raboty-shema-oborudovanie-moschnost>– Дата доступа: 19.04.2021.

2. ГАЭС [Электронный ресурс]/ Гидроаккумулирующие электростанции, принцип действия ГАЭС, устройство–Режим доступа: <https://pue8.ru/elektricheskie-seti/376-akkumuliruyushchie-elektrostantsii.html>. – Дата доступа: 19.04.2021.

УДК 621.3

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ПРИ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
EVALUATION OF OPERATION EFFICIENCY OF DISTRIBUTION  
NETWORKS AT OPTIMIZATION OF MODES OF ELECTRIC POWER  
SYSTEMS**

М.В. Дехтерёнок

Научный руководитель – М.И. Фурсанов, доктор технических наук, профессор  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

[mfursanov@bntu.by](mailto:mfursanov@bntu.by)

M. Dekhterenok

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

***Аннотация:** Задача оптимизации в энергосистеме на сегодняшний день является одной из главных областей изучения в энергетике. Внимание в работе в основном уделяется оптимизации режимов электроэнергетических систем и оптимизации проектных решений в распределительных электросетях.*

***Abstract:** The problem of optimization in the power system is currently one of the main areas of study in the energy sector. The focus of the work is mainly on optimizing the modes of electric power systems and optimizing design solutions in distribution power grids.*

***Ключевые слова:** оптимизация режимов, потери электроэнергии, задачи оптимизации, критерии оптимизации, энергетический баланс.*

***Keywords:** optimization of modes, power loss, optimization problems, optimization criteria, energy balance.*

### **Введение**

Нынешние электроэнергетические системы (ЭЭС) представляют собой сложные, многосвязные объекты, работающие в условиях переменчивости их структур, параметров и режимов работы при различных внутренних и внешних возмущениях. Режим работы ЭЭС характеризуется параметрами, которые можно регулировать. К ним относят активные и реактивные мощности электростанций, нагрузки и токи линий электропередачи (ЛЭП), нагрузки потребителей, коэффициенты трансформации трансформаторов, напряжения в узлах схемы электросети.

Задача оптимизации ЭЭС сейчас является одной из главных областей изучения в энергетике. Главной причиной пристального внимания к задаче оптимизации является возможность без дополнительных вложений на оборудование или другие мероприятия путем оптимизации и анализа достичь экономии затрат для ее достижения.

### **Основная часть**

На данный момент существует большое количество методов оптимизации для разных задач в энергетике. Но некоторые методы будут эффективными

только для определенной задачи и абсолютно бесполезными для других. Обычно, самые мощные методы требуют больших затрат машинного времени. С другой стороны, быстрые методы менее надежно сходятся и для них нужны допущения при моделировании [4]. Ни один из используемых на практике методов не гарантирует решение поставленной задачи и определение глобального оптимума.

Проектирование, сооружение объектов электросети и их эксплуатация связаны с высокими материальными затратами. Важно, чтобы эти затраты были вовлечены с максимальной эффективностью.

Если разглядеть показатели, характеризующие эффективность оптимизации в динамике, то заметна печальная картина. За период с 1999г. в Беларуси ухудшились все индикаторы эффективности: потери в электрических сетях выросли в два раза, удельный расход топлива на кВтч увеличился на 20%, выросли затраты на поддержание качества электроэнергии.

Актуальность задач оптимизации определяется и госпрограммой энергосбережения. Если увеличить ее эффективность, то КПД энергообъектов увеличится на несколько процентов и это огромная экономия [3].

Эффективность работы распределительных сетей зависит от принятых решений при проектировании сетей. При этом оптимизация проектных решений – задача комплексная, в которой в качестве критериев оптимизации используются такие важные показатели как качество электроэнергии, пропускная способность, капитальные затраты, надежность электроснабжения, потери электроэнергии.

Один из основных параметров, выбираемых при проектировании сети – это ее номинальное напряжение. Использование высоких напряжений приводит к увеличению пропускной способности. Если расчетная нагрузка не изменяется, то снижаются нагрузочные потери мощности и энергии. В итоге если вместо напряжения 220 В применить напряжение 380 В, то потери мощности снизятся в  $(380/220)^2 \approx 3$  раза. Аналогичное снижение потерь будет при применении напряжения 10кВ вместо 6 кВ:  $(10/6)^2 \approx 2,8$ .

Следующим важным параметром является величина мощности компенсирующих устройств. Установка компенсирующих устройств положительно влияет на режим сети, т. к. позволяет уменьшить не только потери энергии и мощности, но и улучшить качество напряжения. Дополнительная эффективность компенсирующих устройств может быть достигнута за счет установки автоматического регулирования мощности. Их целесообразность определяется условием [2]:

$$\Delta W - Za > 0, \quad (1)$$

где  $\Delta W$  – годовое снижение потерь электроэнергии за счет автоматического регулирования мощности компенсирующего устройства;

$Za$  – приведенные затраты на установку средств автоматики.

В условиях модернизации и реконструкции сети также возможны различные пути оптимизации проектных решений. Иногда эффективно упорядочение мощностей трансформаторов, а также замена устаревших

трансформаторов. Также с течением времени неизбежны отклонения реальных нагрузок трансформаторов от проектных. Когда трансформаторы перегружаются, по техническим условиям необходима их замена на трансформаторы большей мощности. При этом снижение потерь электроэнергии  $\Delta W$  проявляется в виде сопутствующего эффекта. Это связано с тем, что уменьшение нагрузочных потерь  $\Delta W_n$  оказывается больше, чем увеличение потерь холостого хода [2]:

$$\Delta W = \Delta W_n - \Delta W_x > 0 \quad (2)$$

Когда трансформаторы существенно недогружены относительно их номинальных мощностей, то целесообразным будет получить экономию на потерях холостого хода, хоть и нагрузочные потери при этом несколько увеличатся [2]:

$$\Delta W = \Delta W_x - \Delta W_n > 0 \quad (3)$$

Эффекта от снижения потерь энергии холостого хода можно достичь при замене морально устаревших трансформаторов на трансформаторы с меньшими потерями холостого хода:

$$\Delta W = \Delta W_{1x} - \Delta W_{2x}, \quad (4)$$

где  $\Delta W_{1x}$ ,  $\Delta W_{2x}$  — потери холостого хода до и после замены трансформатора.

Аналогичный результат можно получить заменой проводов воздушных линий, которая может быть осуществлена с целью повышения пропускной способности. Тогда сопутствующий эффект от снижения потерь при немаксимальных нагрузках будет равен [2]:

$$\Delta W = 3I_{нб}^2 \tau L (R_{01} - R_{02}), \quad (5)$$

где  $L$  — длина линии,

$R_{01}$ ,  $R_{02}$  — удельные сопротивления до и после замены проводов.

Для оптимизации параметров предварительно необходимо выбрать критерий оптимизации. В основном в качестве показателя эффективности решений выступает не один, а несколько критериев. В качестве критериев могут выступать потери электроэнергии, пропускная способность сети, капитальные затраты, степень надежности электроснабжения и др.

Фактически задачу оптимизации параметров решают уже на стадии выбора основных проектных решений, таких как выбор конфигурации сети, номинального напряжения линий, площади сечений их проводов и др.

В условиях эксплуатации задачи оптимизации отличаются от проектных тем, что поиск лучшего режима происходит без дополнительных капитальных затрат. Поэтому в качестве наиболее общего критерия оптимизации выбирают ежегодные издержки. Если оптимизация режима производится за определенный период времени, то в качестве критерия используют потери электроэнергии [2]:

$$\Delta W = \sum_{i=1}^n \Delta W_i \rightarrow \min, \quad (6)$$

где  $\Delta W_i$  – потери электроэнергии в  $i$ -м элементе сети за рассматриваемый период,  $n$  – количество элементов сети.

В том случае, когда оптимизация проводится для данного момента времени, можно использовать более простой критерий в виде потерь активной мощности:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n \Delta P_i \rightarrow \min, \quad (7)$$

где  $\Delta P_i$  – потери мощности в  $i$ -ом элементе сети в рассматриваемый момент времени.

### **Заключение**

Проблема оптимизации режимов ЭЭС актуальна. Оптимизация режимов направлена на удовлетворение требований потребителей к экономности энергоснабжения. При оптимизации повышается эффективность использования оборудования, ресурсов, энергетических процессов. Оптимизация уменьшает затраты и увеличивает преимущества энергетического предприятия на рынке. На сегодняшний день этим задачам уделяется огромное внимание.

### **Литература**

1. Холмский В. Г. Расчет и оптимизация режимов электрических сетей – М.: Высшая школа, 1975. - 280 с.
2. Гиршин С.С., Владимиров Л.В. Методы расчета и оптимизация режимов электроэнергетических систем – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. - 48 с.
3. Филиппова Т.А., Русина А.Г., Дронова Ю.В. Модели и методы прогнозирования электроэнергии и мощности при управлении режимами электроэнергетических систем – НГТУ, 2009. – 368с.
4. Анализ безопасности и оптимизация [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.kv.by/content/bezopasnost-i-optimizatsiya/>. – Дата доступа: 10.04.2021.

УДК 621.321

**ВЫБОР СХЕМЫ С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ С ПОМОЩЬЮ  
ТАБЛИЧНО-ЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА  
SELECTION CONTROL SYSTEM SCHEME TAKING INTO  
ACCOUNT RELIABILITY USING THE TABULAR-LOGICAL METHOD**

М.В. Дехтерёнок, П.Г. Барановский

Научный руководитель – А.Л. Старжинский, к.т.н, доцент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
alexeystminsk@gmail.com

M. Dekhterenok, P. Baranovsky

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

**Аннотация:** *Распределительные устройства (РУ) являются весьма ответственным звеном электрических сетей и в значительной мере определяют надёжность электроснабжения потребителей. В данной работе рассматривается выбор схемы РУ ВН и вычисление ее надёжности с помощью таблично-логического метода.*

**Abstract:** *Switchgears (switchgears) are a very important part of electrical networks and largely determine the reliability of power supply to consumers. In this paper, we consider the choice of the LV control system scheme and the calculation of its reliability using tabular-logical method.*

**Ключевые слова:** *выбор распределительного устройства, расчет надёжности, таблично-логический метод, надёжность электроснабжения.*

**Keywords:** *switchgear selection, reliability calculation, tabular logic method, power supply reliability.*

### **Введение**

Выбор схемы РУ ВН неоднозначен, поскольку с одной стороны установка выключателей на стороне высшего напряжения в связи с дороговизной кажется экономически необоснованной, но с другой стороны применение их в электроснабжении промышленных предприятий приводит к снижению экономических потерь во много раз при авариях и перерывах электроснабжения. Так как в схеме с выключателем время восстановления напряжения значительно ниже, то происходят меньшие нарушения технологического процесса, а также предотвращается развитие аварий технологических установок. Особенно это важно в нефтеперерабатывающей и химической промышленности, т. к. перерывы в электроснабжении могут привести к значительному экономическому ущербу в технологии [1].

### **Основная часть**

При выборе схем распределительных устройств должна учитываться надёжность электроснабжения потребителей различных категорий [3]. Для этого используется таблично-логический метод, его применяют при сравнении вариантов схем распределительных устройств различного напряжения по комплексному показателю надёжности – среднегодовому недоотпуску

электроэнергии в систему электростанций из-за отказов элементов распределительных устройств [2].

Рассмотрим выбор распределительных устройств на стороне высшего напряжения на примере КЭС 1280 МВт с напряжением на высшей стороне 500 кВ и генераторным напряжением 20 кВ. На рисунке 1 представлена структурная схема станции с распределением потоков активной мощности.

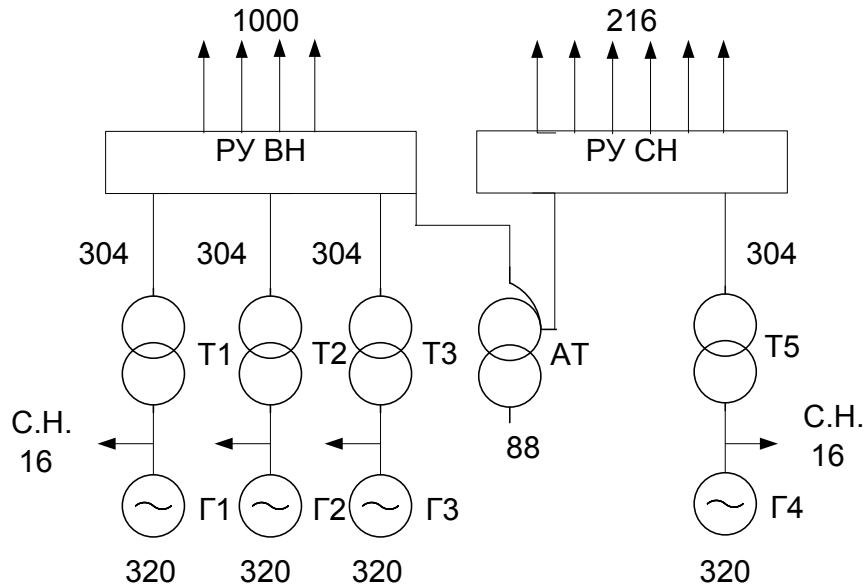


Рисунок 1 – Структурная схема КЭС

Выбор РУ ВН будем производить из трех представленных ниже вариантов.

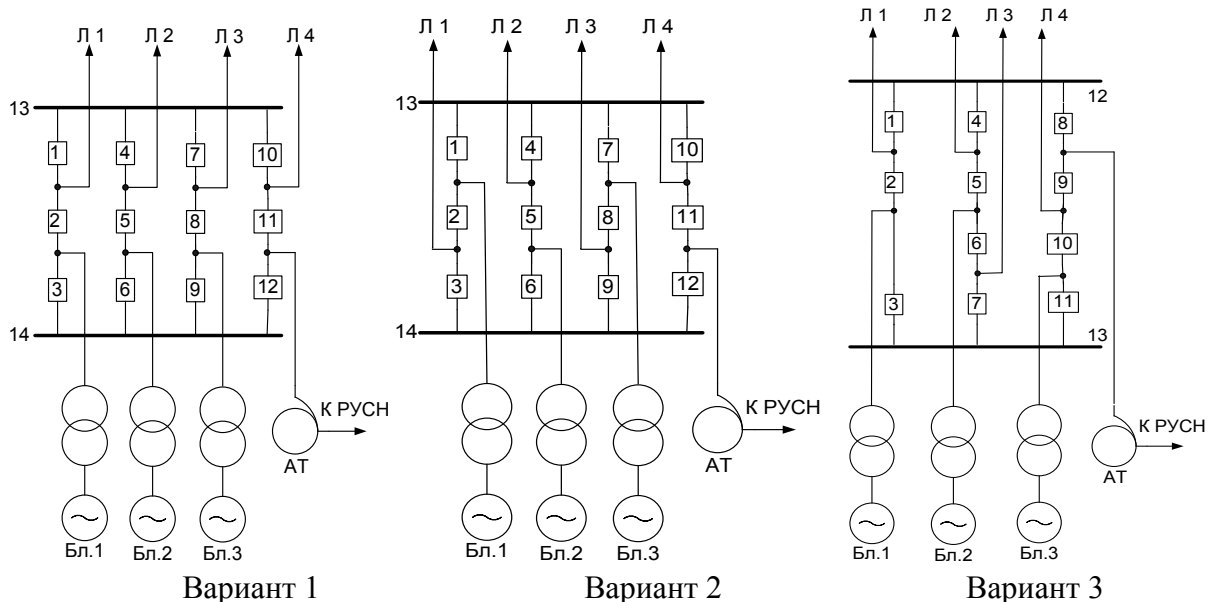


Рисунок 2 – Варианты схем РУ ВН

Все высоковольтные выключатели на подстанции одного типа – ВГУ-500. Представим характеристики оборудования схем в таблице 1.



Таблица 1 – Характеристики оборудования

Объект	$\omega$ , 1/год	$T_B$ , ч	$\mu_{nl}$ , 1/год	$T_{пл}$ , ч
Выключатели	0,01	38,5	0,05	300
Шины (на 1 присоединение)	0,013	5	0,166	5

Произведем расчет показателей надежности схемы 3/2 (вариант 1).

Блоки мощностью по 320 МВт (без учета собственных нужд), от РУ СН системе передается мощность 88 МВт.

1)  $t_p=1$  год=8760 ч.

2) Каждому элементу зададим свой номер,  $i=1 \dots 14$ .

3) Зададим расчетные режимы:  $j=0$  – нормальный режим,  $j=1 \dots 14$  – режим планового ремонта.

Определим  $\tau_j$  – относительную продолжительность существования режима с номером  $j$  (вероятность застать объект в состоянии режима с номером  $j$ ).

$$\tau_j = \frac{t_j}{t_p}, \quad (1)$$

где  $t_j$  - продолжительность режима  $j$  в часах.

$$t_j = \mu_{nl.k} T_{nl.k}, \quad (2)$$

где  $\mu_{nl.k}$  - частота плановых ремонтов,

$T_{nl.k}$  - средняя продолжительность планового ремонта.

$$\tau_{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12} = \frac{\mu_{nl1} \cdot T_{nl1}}{t_p} = \frac{0,05 \cdot 300}{8760} = 1,71 \cdot 10^{-3},$$

$$\tau_{13,14} = \frac{\mu_{nl11} \cdot T_{nl11}}{t_p} = \frac{5 \cdot 4 \cdot 0,166}{8760} = 3,79 \cdot 10^{-4},$$

$$\tau_0 = 1 - \sum_{j=1}^{11} \tau_j = 1 - (1,71 \cdot 10^{-3} \cdot 12 + 3,79 \cdot 10^{-4} \cdot 2) = 0,98. \quad (3)$$

4) Расчетные виды аварии. Будем принимать во внимание только те виды аварии, которые в конечном результате приводят к недоотпуску электроэнергии.

В рассматриваемом случае от РУ ВН отходят линии 4\*АС-400/51 (допустимый ток 825 А). При отключении одной или двух линий, передача мощности не прерывается. При отключении трех линий, максимальная мощность, которую мы можем передать по одной линии равна:

$$P = 0,825 \cdot \sqrt{3} \cdot 500 \cdot 0,8 = 571 \text{ МВт}. \quad (4)$$

Расчетные виды аварии ( $\cos \varphi_T = \cos \varphi_H = \cos \varphi_{СН}$ ):

I. Отключен один блок.  $\Delta P = 320 - 0,05 \cdot 320 = 304$  МВт.

II. Отключены два блока.  $\Delta P = 608$  МВт.

III. Отключен АТ связи.  $\Delta P = 88$  МВт.

IV. Отключен блок и АТ связи.  $\Delta P = 304 + 88 = 392$  МВт.

5) Определим времена существования каждого из недоотпусков. Время оперативных переключений примем равным 0,5 часа.  $T_c = 3$  ч.

$$T_{B3,2} = T_{B3} - \frac{T_{B3}^2}{2T_{P2}} = 38,5 - \frac{38,5^2}{2 \cdot 300} = 36 \text{ ч},$$

$$T_{B2,3} = T_{B2} - \frac{T_{B2}^2}{2T_{P3}} = 38,5 - \frac{38,5^2}{2 \cdot 300} = 36 \text{ ч},$$

$$T_{B14,2} = \frac{T_{B14}}{2} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ ч},$$

$$T_{B6,5} = T_{B6} - \frac{T_{B6}^2}{2T_{P5}} = 38,5 - \frac{38,5^2}{2 \cdot 300} = 36 \text{ ч},$$

$$T_{B5,6} = T_{B5} - \frac{T_{B5}^2}{2T_{P6}} = 38,5 - \frac{38,5^2}{2 \cdot 300} = 36 \text{ ч},$$

$$T_{B14,5} = \frac{T_{B14}}{2} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ ч},$$

$$T_{B9,8} = T_{B9} - \frac{T_{B9}^2}{2T_{P8}} = 38,5 - \frac{38,5^2}{2 \cdot 300} = 36 \text{ ч},$$

$$T_{B8,9} = T_{B8} - \frac{T_{B8}^2}{2T_{P9}} = 38,5 - \frac{38,5^2}{2 \cdot 300} = 36 \text{ ч},$$

$$T_{B11,12} = T_{B12,11} = 36 \text{ ч},$$

$$T_{B14,8} = T_{B14,11} = 2,5 \text{ ч},$$

$$T_{B2,14} = T_{B5,14} = T_{B8,14} = T_{B11,14} = \frac{38,5}{2} = 19,25 \text{ ч},$$

6) Для каждого из расчетных видов аварий определим коэффициент вынужденного простоя (вероятность заставить объект в состоянии данной аварии).

$$k_{el} = \frac{1}{t_p} \left( \tau_0 \sum_{i=1}^{12} \omega_i T_{li0} x_{li0} + \tau_1 \sum_{i=1}^{12} \omega_i T_{li1} x_{li1} + \dots + \tau_{12} \sum_{i=1}^{12} \omega_i T_{li12} x_{li12} \right), \quad (5)$$

$$k_{elI} = 2,628 \cdot 10^{-5}, k_{elII} = 4,099 \cdot 10^{-8}, k_{elIII} = 1,594 \cdot 10^{-6}, k_{elIV} = 5,856 \cdot 10^{-9}.$$

7) Математическое ожидание недоотпущенной электроэнергии из-за отказа элемента.

$$M[\Delta W] = \sum_{l=I}^{l=IV} (k_{el} \cdot \Delta W_{ysl}), \quad (6)$$

где  $\Delta W_{ysl}$  - условная недоотпущенная электроэнергия в состоянии аварии вида  $l$  ( $\Delta W_{ysl} = \Delta P_l \cdot t_p$ ).

$$\Delta W_{yslI} = 304 \cdot 8760 = 2663040 \text{ МВт} \cdot \text{ч}, \Delta W_{yslII} = 608 \cdot 8760 = 5326080 \text{ МВт} \cdot \text{ч},$$

$$\Delta W_{yslIII} = 88 \cdot 8760 = 770880 \text{ МВт} \cdot \text{ч}, \Delta W_{yslIV} = 392 \cdot 8760 = 3433920 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

$$M[\Delta W] = \sum_{l=I}^{l=IV} (k_{el} \cdot \Delta W_{ysl}) = 71,443 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

8) Определяется математическое ожидание ущерба из-за ненадежности.

$$M[Y] = Y_0 \cdot M[\Delta W], \quad (7)$$

где  $Y_0$  - удельный ущерб (70 у.е./кВт·ч).

$$M[Y] = 70 \cdot 70,883 \cdot 10^3 = 5001000 \text{ у.е.}$$

9) Определение затрат.

$$E_H = 0,15, K_{яч} = 23400 \text{ тыс.у.е.}, K = 12 \cdot K_{яч} = 280800 \text{ тыс.у.е.}$$

$$I = I' + I'' = 4,9\% \cdot K + 15\% \cdot K \quad (8)$$

$$З = E_H \cdot K + I + M[Y] \quad (9)$$

$$З = 0,15 \cdot 280800 + (0,049 \cdot 280800 + 0,15 \cdot 280800) + 5001 = 103000 \text{ тыс.у.е.}$$

$$З = 103 \cdot 10^6 \text{ у.е.}$$

Аналогично рассчитаем показатели надежности вариантов 2 и 3. Результаты расчета сведем в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов

Вариант	$M[\Delta W]$ , МВт·ч.	$M[Y]$ , у.е.	З, у.е.
1	71,443	5001000	$103 \cdot 10^6$
2	71,323	4993000	$103 \cdot 10^6$
3	69,613	4873000	$94,71 \cdot 10^6$

Отдаем предпочтение самому экономичному варианту, схеме 4/3– вариант №3.

### Заключение

Таблично-логический метод является достаточно простым и удобным для расчета надежности различных схем. По результатам расчета можно сказать, что в нашем случае оптимальной схемой РУ ВН будет схема 4/3, так как она обеспечивает необходимую надежность и является наиболее экономичной из рассматриваемых вариантов.

### Литература

1. Розанов, М. Н. Надежность электроэнергетических систем – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 200с
2. Основы надежности систем электроснабжения / В.А. Анищенко и И.В. Колосова; кол. авт. Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Электроснабжение". - Минск: БНТУ, 2007. - 150 с.: ил.
3. Электротехнический справочник: В 4 т. Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИВ.Г. Герасимова и др. (гл. редактор А.И. Попов). – 9-е изд. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 964 с.

УДК 620.93

**СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА. ТЕХНОЛОГИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И  
ОСНОВНЫЕ ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ. ПЛЮСЫ, МИНУСЫ,  
ПЕРСПЕКТИВА**

**SOLAR ENERGY. TRANSFORMATION TECHNOLOGIES AND ITS  
BASIC CHARACTERISTICS. PROS, CONS, PERSPECTIVE**

Е.В. Драневский

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

E.V. Dranevskiy

Supervisor – E. Mishkovets, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** Популярность на альтернативную энергию все больше и больше набирает обороты. И в самом центре внимания появляются возобновляемые источники энергии такие как: приливы, ветер, солнце. Солнечная энергия (или по-научному фотоэнергетика) является одним из самых динамично развивающихся отраслевых секторов в настоящее время. Вы довольно часто могли слышать громкие заявления вроде того, что вся энергетика будущего времени будет специализироваться на солнечной энергетике.*

***Abstract:** The fashion for alternative energy is gaining momentum. Moreover, the focus is on renewable energy sources - tides, wind, sun. Solar energy (or photovoltaics) is considered one of the fastest growing industrial sectors. Quite often very optimistic statements like the fact that all the energy of the coming times will, no less, be based on solar energy.*

***Ключевые слова:** Солнце, топливо будущего, энергетика, экологически чистое.*

***Keywords** Sun, fuel of the future, energy, environmentally clean.*

**Введение**

Фотогальванический эффект (другими словами появление стационарного тока в однородном материале при его однородном фотовозбуждении) был открыт в 1839 году французским физиком Бекверелом. Немного позже англичанин Уиллобай Смит и немец Генрих Герц, они никак не были связаны между собой, открыли фотопроводимость селена и ультрафиолетовую фотопроводимость. В 1888 году в Америке было запатентовано первое «устройство утилизации солнечного излучения». [1] Самые первые открытия наших соседей из России, ученых в области фотопроводимости, относятся к 1938 году. Тогда академик Абрама Иоффе в своей личной лаборатории, впервые за все время открыл элемент для преобразования солнечной энергии, который весь мир планировал применять в солнечной энергетике. Развитию солнечной энергетике способствовала усидчивость и большая работа ученых в области солнечных батарей космического назначения. Они смогли сами, без какой-либо помощи создать в Ленинградском физикотехническом институте серноталлиевые фотоэлементы, КПД которых равнялся всего 1%, но это настоящий рекорд в то время.

### Основная часть

Все из нас так или иначе сталкивались или хотя бы слышали с солнечными элементами. Кто-то из нас, может быть, даже пользовался или пользуется солнечными батареями для получения электричества в своих личных целях, кто-то использует малую по площади солнечную панель для зарядки телефона в домашних условиях, а кто-то видел маленький солнечный элемент на калькуляторе. Может быть даже кто-то из нас смог побывать на солнечной электростанции. Но кто-то из вас задумывался о том, как происходит процесс преобразования солнечной энергии в энергию электрическую? Какое физическое явление лежит в основе работы всех этих солнечных элементов?

Давайте обратимся к физике и разберемся в этом процессе детально. Как сказал бы наш преподаватель по физике Любовь Васильевна, электрическая энергия получается благодаря фотонам солнечного излучения. Эти фотоны можно представить себе, как поток непрерывно движется от Солнца. У каждого из них имеется энергия, и поэтому весь световой поток несет в себе какую-то энергию. С каждого квадратного метра поверхности Солнца непрерывно излучается по 63 МВт энергии в форме излучения![2] Максимальная интенсивность этого излучения приходится на диапазон видимого спектра - волны с длиной от 400 до 800 нм.

Так вот, ученые определили, что плотность энергии потока солнечного света на расстоянии от Солнца до Земли в 149600000 километров, после того как он проходит через атмосферу земли, и по достижении поверхности планеты, получается в среднем приблизительно 900 Вт на квадратный метр.[5] Здесь такую энергию нужно принять и попытаться получить из нее электричество, то есть преобразовать энергию светового потока пришедшую от Солнца - в энергию движущихся заряженных частиц, другими словами - электрический ток. Для преобразования света в электричество требуется фотоэлектрический преобразователь. Такие преобразователи очень популярные, их можно встретить в свободной продаже, это так называемые солнечные ячейки — фотоэлектрические преобразователи в виде вырезанных из кремния пластин.

Самые лучшие из всех — монокристаллические, они обладают КПД порядка 18%, таким образом если поток фотонов от солнца обладает плотностью энергии в 900 Вт/кв.м, то можно рассчитывать на получение 160 Вт электричества с квадратного метра батареи, собранной из таких ячеек. Работает здесь явление, называемое «фотоэффектом». Фотоэффект или фотоэлектрический эффект — это такое явление испускания электронов веществом под действием света или любого другого электромагнитного излучения.

### Плюсы солнечной энергии

Во-первых, ресурсов Солнца хватит на очень-очень долго — продолжительность существования звезды оценивается учеными примерно в 5 млрд. лет.

Во-вторых, использование солнечной энергии не грозит никакими выбросами, например, парниковых газов, глобальным потеплением и общим

загрязнением окружающей среды, другими словами не влияет на экологический баланс планеты.

Солнечные батареи можно установить где угодно, например, на даче, в отличие от энергии ветра которая зависит от скорости ветра, солнечная может получаться даже в пасмурную погоду, пусть и не в полную силу. [4]

### **Минусы солнечной энергии**

Во-первых, все еще недостаточно высокий КПД, во-вторых, недостаточно низкая себестоимость киловатт-часа – то, что вызывает вопросы в связи с широким использованием любого возобновляемого источника энергии.

К этому добавляется тот факт, что изрядное количество солнечных излучений у поверхности Земли рассеивается неконтролируемо.

Экологическая безопасность тоже, строго говоря, под вопросом – ведь как быть с утилизацией отработанных элементов, пока ещё неясно.

Ну и, наконец, степень изученности солнечной энергетики – что бы ни говорили – пока далека от совершенства.

Самым «слабым звеном» солнечной энергетики является достаточно низкий КПД батарей, но решение этой проблемы – вопрос лишь времени. [3]

### **Заключение**

На сегодняшний день рассматривается возможность абсолютно нереальных, с точки зрения обычного человека, способов использования солнечной энергетики. Например, проекты орбитальных солнечных станций или, что еще фантастичнее, солнечных электростанций, допустим, на Луне. И такие проекты действительно есть. Ведь в мире ученых говорят, что пока человечество совершает лишь первые маленькие шаги в раскрытии истинного потенциала Солнца. Рано или поздно на солнце начнется горение гелия, его размеры увеличатся в 100 раз и солнце перейдет в разряд красных гигантов, потом оно сожмется до размеров земли и превратится в белого карлика, когда Солнце совсем остынет, то закончит свой век холодным темным телом, черным карликом, но случится это не скоро как минимум 5млрд лет мы сможем пользоваться солнечной энергией, а вот запасов нефти ли газа на планете хватит всего на 60 лет, если в человечество не придумает новый вид энергии то солнечная энергия станет передовым.

### **Литература**

1. БелТА [Электронный ресурс]/Киловатты света: плюсы, минусы и перспективы солнечной энергетики в Беларуси. –Режим доступа: <https://www.belta.by/comments/view/kilovatty-sveta-pljusy-minusy-i-perspektivy-solnechnoj-energetiki-v-belarusi-7643/> . – Дата доступа: 10.04.2021.
2. Реферат [Электронный ресурс]/ Развитие фотоэлектрической энергетики. –Режим доступа: <https://xreferat.com/102/1864-6-solnechnaya-energetika.html>. – Дата доступа: 10.04.2021.
3. Пандия [Электронный ресурс]/Нетрадиционные источники энергии. –Режим доступа: <https://pandia.ru/text/78/494/27274-2.php>. – Дата доступа: 10.04.2021.

4. Икнет [Электронный ресурс]/ Преимущества и недостатки СЭС. – Режим доступа: <https://iknet.com.ua/ru/articles/useful-to-know/advantages-and-disadantages/>. – Дата доступа: 10.04.2021.
5. Палитра [Электронный ресурс]/ Что такое солнечная энергетика. – Режим доступа: <https://palitrabazar.ru/raznoe/что-такое-солнечная-энергетика.html>. – Дата доступа: 10.04.2021.

УДК 621.311

**ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ БЕЛАРУСИ: СОСТАВ, ПРОБЛЕМЫ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ, ПЛАНЫ РАЗВИТИЯ  
POWER PLANTS OF BELARUS: COMPOSITION, FUNCTIONING  
PROBLEMS, DEVELOPMENT PLANS**

Е.В. Езерская

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
nik.petrashevitch@gmail.com

E. Ezerskaya

Supervisors -N. Petrashevitch, Senior Lecturers  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** используемые источники энергии, виды электростанций в Беларуси, местонахождение солнечных электрических станций и гидроэлектростанций, дальнейшее развитие электростанций, проблемы использования электростанций.*

***Abstract:** energy sources used, types of power plants in Belarus, location of solar power plants and hydroelectric power plants, further development of power plants, problems of using power plants.*

***Ключевые слова:** электростанции, солнечная электростанция, гидроэлектростанции, ветровые электрические станции, проблемы функционирования.*

***Keywords:** power plants, solar power plant, hydroelectric power plants, wind power plants, functioning problems.*

### **Введение**

Известно, что наиболее освоенными и широко используемыми источниками энергии на Земле в настоящее время являются: полезные ископаемые органического происхождения, возобновляемые источники энергии также органического происхождения (древесное топливо и т. п.), а также источники гидравлической энергии (пригодные для этой цели реки и другие водоемы), в совокупности удовлетворяющие современные потребности человечества в энергии приблизительно на 80%. Однако: запасы полезных ископаемых довольно ограничены и распределены на Земле весьма неравномерно с геополитической точки зрения; возобновляемые источники энергии (древесное топливо и т. п.) недостаточно калорийны и их широкое использование для удовлетворения существующих сегодня потребностей грозит очевидной экологической катастрофой; возможности использования энергии водоемов также весьма ограничены и сопряжены с негативным влиянием на экологию, поэтому, наиболее авторитетных ученые отечественной и зарубежной науки полагают, что перспективным направлением для развития энергосистем в ближайшем будущем все еще будет оставаться ядерная энергетика, несмотря на возможные опасности связанные с использованием радиоактивных материалов,



как основного топлива ядерных энергетических установок. Так же, к возобновляемым источникам относится Солнце. [1]

### **Основная часть**

Электростанция — это электрическая станция, совокупность энергетических установок, оборудования и аппаратуры, используемых для преобразования природной энергии в электрическую, а также необходимые для этого сооружения и здания, расположенные на какой-либо территории. [1]

Электростанции в Беларуси:

- Чигиринская ГЭС (Могилевская область, Кировский район)
- Светлогорская ТЭЦ (Гомельская область, Светлогорск)
- Гидроэлектростанция (Минская область, Жодино)
- БелАЭС (Гродненская область, Островецкий район)
- Могилёвская Тэц-2 (Могилев)
- Тетеринская ГЭС (Могилевская область)
- Белорусская ГРЭС (Витебская область, Оршанский район)
- Гродненская ГЭС (Гродно)
- Борисовская ТЭЦ (Борисов)
- Лепельская ГЭС (Витебская область, Лепель)
- Солнечная ЭС (Могилевская область)

Солнечная электростанция- это инженерное сооружение, преобразующее солнечную радиацию в электрическую энергию. Солнечные электростанции бывают разных типов, в зависимости от способа преобразования энергии. Это один из самых распространенных типов СЭС. В Беларуси работает 55 фото электростанций, возводятся новые объекты. Возобновляемые источники энергии дают в электросеть страны около 400 МВт. Самая крупная солнечная электростанция в Беларуси расположена в Мядельском районе. Её площадь занимает около 15 гектар и состоит из 22600 солнечных панелей. Так же имеются и другие солнечные электрические станции, например, которая расположена в Могилевской области, возле Чигиринского водохранилища. [1]

Гидроэлектростанция (ГЭС) — электростанция, использующая в качестве источника энергии движение водных масс в русловых водотоках и приливных движениях. Гидроэлектростанции обычно строят на реках, сооружая плотины и водохранилища. Для эффективного производства электроэнергии на ГЭС необходимы два основных фактора: гарантированная обеспеченность водой круглый год и возможно большие уклоны реки, благоприятствуют гидростроительству каньон образные виды рельефа. [4] Ветровая электростанция (ВЭС) — это несколько ветряных электрических установок, собранных в одном или нескольких местах и объединённых в единую сеть. Крупные ветровые электростанции могут состоять из 100 и более ветряных генераторов. Иногда ветровые электростанции называют «ветряными парками» (ветропарками). [5]

### **Проблемы функционирования**

Одной из серьёзных проблем функционирования электрических станций является слабость межсистемных, а иногда и системообразующих связей в энергосистеме, что приводит к «запиранию» мощностей электрических станций.

Слабость межсистемных связей в электрических станциях обусловлена ее территориальной расположенностью. Ограничения в использовании связей между различными электрическими станциями и большинства наиболее важных связей внутри электрических станций определяются в основном условиями статической устойчивости; для ЛЭП, обеспечивающих выдачу мощности крупных электростанций, и ряда транзитных связей определяющими могут быть условия динамической устойчивости. [2]

Дальнейший план развития

Правительство скорректировало комплексный план развития электроэнергетической сферы до 2025 года с учетом ввода Белорусской атомной электростанции. Это предусмотрено постановлением Совета Министров №582 от 6 октября 2020 года. Правки внесли в комплексный план развития электроэнергетики с учетом ввода Белорусской АЭС и в межотраслевой комплекс мер по увеличению потребления электроэнергии до 2025 года. В частности, правительство Беларуси продлило до 2022 года сроки ввода в эксплуатацию Белорусской АЭС с учетом фактически сложившейся обстановки. Кроме того, на этот же срок решено продлить строительство пиково-резервных энергетических источников, которые будут возводиться только на базе газотурбинных установок. Кроме того, в новой редакции изложены межотраслевой комплекс мер по увеличению потребления электроэнергии до 2025 года и перечень инвестиционных проектов по строительству резервных энергетических источников и установке электрических котлов. Белорусская АЭС с двумя реакторами ВВЭР-1200, мощностью 2400 МВт строится по российскому проекту АЭС-2006 вблизи Островца Гродненской области. Генеральным подрядчиком выступает государственная корпорация "Росатом". Постановлением Министерства энергетики Республики Беларусь от 25 февраля 2020 г. № 7 одобрена Концепция развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года. Документ направлен на реализацию положений Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь и описывает базовый сценарий развития Объединенной энергетической системы. При его подготовке проанализированы основные тренды мировой электроэнергетики и сопредельных государств в прогнозируемом периоде, ход реализации Комплексного плана развития электроэнергетической сферы до 2025 года с учетом ввода Белорусской атомной электростанции, утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 1 марта 2016 г. № 169, существующая структура и изменение установленной мощности генерирующих источников, эффективность существующих систем передачи электроэнергии. В текущем году Министерством энергетики с целью выполнения задач Концепции развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года будет разработана среднесрочная программа на 2021-2025 годы, в которой планируется определить мероприятия по всем электроэнергетическим направлениям в увязке с условиями и параметрами развития национальной экономики. Концепция развития электрических генерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года

размещена на сайте Министерства энергетики в подразделе «Концепции, программы и комплексные планы» раздела «Законодательство».[3]

### **Заключение**

Современный мир активно потребляет энергию, по факту, он живет благодаря ей. Электроэнергетика Беларуси представляет собой постоянно развивающийся автоматизированный комплекс, объединённый общим режимом работы и единым централизованным диспетчерским управлением. Солнечная энергия преимущественна тем, что она всегда будет существовать, запасы её теоретически неисчерпаемы. Преимущества гидроэлектростанций, можно полагать, такие же, как и у солнечной энергии, ведь вода- это возобновляемый источник энергии. Работа ГЭС не сопровождается выделением угарного газа и углекислоты, окислов азота и серы, пылевых загрязнителей и других вредных отходов, не загрязняет почву. Про ветряные электрические станции можно сказать, что эти электростанции считаются действительно эко логичными, ведь во время их работы не происходит выброс токсичных веществ, которые могли бы негативно повлиять на окружающую среду.

### **Литература**

1. Электростанции. [Электронный ресурс] -Режим доступа <https://ru.wikipedia.org/wiki/>Дата доступа: 10.04.2021
2. Проблемы функционирования ЭС. [Электронный ресурс] –Режим доступа <https://urist-edu.ru/fizika/78963/index.html>Дата доступа: 16.04.2021
3. Планы развития ЭС. [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://pandia.ru/text/81/114/60401.php>Дата доступа: 16.04.2021
4. Гидроэлектростанция. [Электронный ресурс] –Режим доступа <https://ru.wikipedia.org/wiki/>Дата доступа: 21.04.2021
5. Ветряные электрические станции. [Электронный ресурс] –Режим доступа <https://ru.wikipedia.org/wiki/>Дата доступа: 21.04.2021

УДК 621.3

**ПРИМЕНЕНИЕ РЕКЛОУЗЕРОВ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ  
APPLICATION OF RECLOSERS IN ELECTRIC DISTRIBUTION  
NETWORKS**

Д.О. Жаркова, А.Э. Мартынович

Научный руководитель – Н. А. Попкова, ассистент, магистр технических наук  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
popkova@bntu.by

D. Zharkova, A. Martynovich

Supervisor – N. Popkova, Assistant, Master of Engineering Science  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В работе рассмотрены возможные сценарии использования реклоузеров в электрических сетях. Проанализированы технические особенности исполнения реклоузера, а также его основные характеристики.*

***Abstract:** The article considers possible scenarios for the use of reclosers in electrical networks. The technical features of the recloser design as well as its main characteristics are analyzed.*

***Ключевые слова:** реклоузер, фидер, повторное включение, высоковольтный модуль, шкаф управления.*

***Keywords:** recloser, feeder, reclosing, high-voltage module, control cabinet.*

**Введение**

Реклоузер — это автоматический высоковольтный электрический выключатель. Распределительный реклоузер предназначен для прерывания как нагрузки, так и тока неисправности. Кроме того, согласно своему дословному переводу (англ. reclose), он предназначен для “повторного включения” в заранее определенной последовательности в попытке устранить неисправность. Реклоузеры в основном располагают на распределительном устройстве, хотя по мере увеличения номинальных непрерывного и прерывистого токов они, скорее всего, теперь будут устанавливаться на подстанциях, где традиционно располагался бы автоматический выключатель. [1] Подобно автоматическому выключателю на бытовых электрических линиях, он отключает электроэнергию при возникновении неполадок, таких как короткое замыкание. Там, где бытовой автоматический выключатель остается выключенным до тех пор, пока он не будет сброшен вручную, реклоузер автоматически проверяет электрическую линию, чтобы определить, была ли устранена неисправность. И, если проблема была только временной, реклоузер автоматически сбрасывает себя и восстанавливает электроэнергию.

**Основная часть**

Реклоузеры ответственны за две основные функции в системе: надежность и защиту от перегрузки потока. Исходя из того, что одной из главных задач реклоузера является повышение надежности, ранее они использовались по

причине того, что прерыватель фидера не имел защитной досягаемости до конца фидера. Это было связано с тем, что реальное значение тока отключения меньше, чем то, которое устанавливалось под влиянием высоких токов нагрузки.

Сегодня применение реклоузеров все чаще связано с показателями надежностью, которая обуславливается возможностью повторного включения, а также однофазным повторным включением. [1]

**Повторное включение.** Повторное включение в течение более чем 30 лет являлось нормальной практикой для всех коммунальных служб, поскольку большинство линий электропередачи были накладными, и большинство временных неисправностей могли быть устранены повторным выключателем до срабатывания предохранителя (селективная ретрансляция фидера). Современные реклоузеры имеют время открытия всего 100 миллисекунд, что для человека является незаметным, т. к. бытовые приборы не успеют отреагировать за это время.

**Однофазное повторное включение.** Однофазные реклоузеры используются для защиты однофазных линий, таких как ответвления или отводы трехфазного питателя. Их также можно использовать на трехфазных цепях, где нагрузка преимущественно однофазная. Когда происходит постоянное замыкание на землю, одна фаза может быть заблокирована, в то время как обслуживание поддерживается для оставшихся двух третей системы.

Из-за меньшего веса однофазного реклоузера по сравнению с более крупными трехфазными реклоузерами однофазные реклоузеры обычно монтируются непосредственно к столбу или стальной конструкции подстанции индивидуально с помощью встроенного монтажного кронштейна подвески, что исключает необходимость в дополнительной монтажной раме.

Однофазные реклоузеры могут управляться с помощью гидравлического управления (встроенного в бак реклоузера) или электронного управления (размещенного в отдельном корпусе), основанного на конструкции реклоузера.

Реклоузер состоит из двух основных частей: вакуумного коммутационного модуля (рисунок 1) со встроенной системой измерения токов и напряжения и шкафа управления (рисунок 2) с микропроцессорной системой РЗА. [2]



Рисунок 1 – Высоковольтный модуль реклоузера РВА/TEL "Таврида Электрик"

Высоковольтный модуль устанавливают на опоре, подключая к линии с помощью проходных изоляторов. Внутри высоковольтного модуля находятся:

вакуумный выключатель, трансформаторы тока и трансформатор собственных нужд.



Рисунок 2 - Шкаф управления реклоузера ПСС-10

Шкаф управления реклоузера обычно устанавливают на опоре так, чтобы человеку было удобно к нему подобраться, стоя на земле. В нем находится микропроцессорное устройство защиты и органы ручного управления реклоузером. Пыле-влагозащищенный модульный корпус шкафа управления имеет сборно-сварную металлическую оцинкованную конструкцию, покрытую порошковой краской и имеющую отверстия и элементы крепления на опоре воздушной линии. [2] Для отдельного доступа к оборудованию внутри шкафа предусмотрены внешняя и внутренняя запираемые дверцы. Имеющийся резиновый уплотнитель обеспечивает должную степень защиты внутреннего оборудования. На дне шкафа смонтирован дренажный клапан для удаления из корпуса сконденсировавшейся влаги, а также разъем для вторичных соединений, герметичные вводы для кабельных и внешних подключений. На корпусе предусмотрен зажим для присоединения внешнего заземления. Шкаф управления реклоузером монтируется на опоре воздушной линии или на специальной металлоконструкции (при двухопорном размещении секционирующего устройства). Высота установки шкафа управления определяется проектом Заказчика.

На высоковольтных электрических линиях от 80 до 90 процентов происходящих аварий являются внезапными и временными – такими, как молния, падающие ветви деревьев на провода, птицы или грызуны. Реклоузер чувствует, когда возникает проблема, и автоматически отключает питание. Мгновение спустя (продолжительность времени может быть заметна только как мерцание лампочки), реклоузер снова включает питание, но, если проблема все еще присутствует, он снова отключает его. Если проблема все еще присутствует после трех таких попыток, реклоузер запрограммирован на рассмотрение проблема постоянная, и она остается выключенной. Затем бригада энергетической компании должна устранить неполадку на линии и сбросить реклоузер для восстановления питания.

Реклоузеры экономят электроэнергетическим компаниям значительное время и затраты, поскольку они позволяют автоматически восстанавливать

электроэнергию после одного-двух мерцаний. А при отключениях, требующих ремонтной бригады, реклоузеры минимизируют площадь отключения и помогают экипажам чтобы быстро найти проблему и восстановить питание. Потребители электроэнергии— жилые, деловые, промышленные и институциональные— избавлены от расходов и неудобств, которые могут вызвать частые отключения электроэнергии.

### **Заключение**

Использование реклоузеров приносит сетевым операторам много преимуществ, не последнее из которых заключается в том, что они минимизируют время прерывания питания в результате неисправностей. Это помогает операторам сетей повысить свою производительность по отношению к стандартам. В свою очередь, это означает снижение потерь дохода. Другие преимущества использования реклоузеров включают повышенную стабильность системы и снижение требований к рабочей силе, так как нет необходимости посещать место неисправности для сброса выключателя. Повышается удовлетворенность клиентов, так как перебои в подаче электроэнергии становятся короче. Кроме того, использование реклоузеров облегчает эксплуатацию подстанций без дежурного персонала.

### **Литература**

1. ABBLibrary [Электронный ресурс]/Distribution reliability using reclosers and sectionalisers-Режим доступа: <https://library.e.abb.com/public/9a7bdfb0769f75c885256e2f004e7cd8/Reliability%20Using%20Reclosers%20and%20switches.pdf/>. – Дата доступа: 05.04.2021.
2. Новости электротехники [Электронный ресурс]/Реклоузер – новый уровень автоматизации и управления ВЛ 6(10) кВ. -Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/33/11.php/>. – Дата доступа: 05.04.2021.

УДК 621.3

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕТРАДИЦИОННЫХ  
ЭНЕРГОИСТОЧНИКОВ И ТЕХНОЛОГИЙ  
COMPARATIVE ANALYSIS OF NON-CONVENTIONAL POWER  
SOURCES AND TECHNOLOGIES**

А.А. Захарченко

Научный руководитель – Е.В. Мышковец, старший преподаватель.

Белорусский национальный технический университет,

Минск, Республика Беларусь

Zakharchenko A.A.

Supervisor- E. Myshkovets, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** Энергетическая проблема сегодня является одной из самых актуальных для всего человечества. Традиционные источники, такие как нефть, газ и прочие ископаемые, постепенно теряют свою актуальность, становятся более дорогими и, конечно же, наносят огромный вред окружающей среде. Именно поэтому всевозможные солнечные батареи, ветровые и гидроэлектростанции, а также биореакторы становятся столь популярными сегодня. Все они относятся к альтернативным или зеленым источникам энергии, о которых и пойдет речь ниже.

**Abstract:** The energy problem today is one of the most urgent for all of humanity. Traditional sources such as oil, gas and other minerals are gradually losing their relevance, becoming more expensive and, of course, causing great harm to the environment. That is why all kinds of solar panels, wind and hydroelectric power plants, as well as bioreactors are becoming so popular today. They all use alternative or green energy sources.

**Ключевые слова:** зеленая энергетика, альтернативная энергия, источники энергии.

**Keywords:** green energy, alternative energy, energy sources.

**Введение.**

Энергетическая проблема - одна из самых актуальных на сегодняшний день для всего человечества. В наше время происходит все больше загрязнение окружающей среды. Нарушение теплового баланса атмосферы постепенно приводит к глобальному изменению климата. Энергетический дефицит и ограниченный запас топлива показывает неизбежность перехода на нетрадиционные, альтернативные источники энергии. Они экологичны, возобновляемы и основаны на энергии Солнца и Земли [3].

**Альтернативная энергетика** – это энергетика, которая основана на использовании возобновляемых источников энергии (ВИЭ)- солнечного излучения, тепла Земли, энергии ветра, приливов [2].

Возобновляемая энергия, часто называемая чистой энергией, поступает из природных источников, которые постоянно пополняются. Например, солнечный свет или ветер продолжают светить и дуть, даже если их наличие зависит от времени и погоды.



В то время как возобновляемая энергия часто рассматривается как новая технология, использование энергии природы уже давно используется для отопления, транспорта, освещения и многого другого. Ветер привел в движение лодки для плавания по морям и ветряные мельницы для измельчения зерна. Солнце согревало днем и помогало разжигать костры до вечера. Но за последние 500 лет или около того люди все чаще обращались к более дешевым и грязным источникам энергии, таким как уголь и фракционный газ.

В этой статье я хотела бы остановиться на производстве электроэнергии из таких природных источников, как падающая вода, ветер и солнечная энергия.

Эти методы производства электроэнергии представляются более мягкими с точки зрения воздействия на окружающую среду, чем сжигание ископаемого топлива или деление ядерного урана. Кроме того, все вышеупомянутые источники энергии являются возобновляемыми, что означает, что они доступны почти всегда и везде [2].

### **Основная часть.**

Человечество развивается, потребность людей в услугах растет, следовательно, потребность в энергии будет расти.

Для получения любого вида энергии необходим определенный источник. Как известно, есть традиционные и нетрадиционные источники энергии. Их обычно называют альтернативными.

Традиционные источники энергии - нефть, уголь, природный газ. Запасы этих источников энергии не вечны, они подлежат длительному восстановлению, а также негативно влияют на экологию планеты [2].

Использование ископаемого топлива за последние 60 лет привело к выбросу избыточного тепла и углекислого газа в окружающую среду, что способствовало изменению характера экологии Земли. Кроме того, эти органические ресурсы медленно обновляются и поэтому в будущем закончатся. Поэтому в большинстве стран мира производство энергии ограничивается использованием альтернативных источников в качестве основного направления развития энергетики [3].

### **Ветроэнергетика**

Мы далеко ушли от старых ветряных мельниц. Сегодня турбины высотой с небоскребы - с турбинами почти такого же диаметра - привлекают внимание во всем мире. Энергия ветра вращает лопасти турбины, которая питает электрический генератор и производит электричество.

Чаще всего описанные агрегаты устанавливаются в прибрежной зоне, которая считается наиболее перспективной в данной сфере. Интересно, что ветряные мельницы практически не требуют обычного топлива для своей работы. Подсчитано, что один генератор мощностью 1 МВт за 20 лет своей работы экономит около 92 тысяч баррелей нефти или порядка 29 тысяч тонн каменного угля [3].

Неблагоприятные факторы в ветроэнергетике:

- отчуждение земельных участков;
- местные климатические изменения;
- опасность для перелетных птиц и насекомых [1].

### **Гидроэнергетика**

Основным источником в данном случае является вода, а точнее потенциал ее потока. Более того, сегодня это наиболее часто используемая форма зеленой энергии. С одной стороны, строительство гидроэлектростанций является самым дорогостоящим, но с другой стороны, они окупаются намного быстрее, а стоимость вырабатываемой ими энергии намного ниже по сравнению с ветровой или солнечной.

Еще один недостаток гидроэлектростанций - при строительстве приходится затоплять довольно большие площади. Что является не очень хорошим фактором для окружающей среды [3].

### **Геотермальная энергия**

В этом случае в качестве носителя используется вода, добываемая из горячих источников. Такие станции считаются наиболее экономичными, чем обычные тепловые электростанции. Это связано с тем, что для их работы не требуется дополнительно нагревать воду. Чаще всего геотермальные станции устанавливают в вулканических регионах, где вода нагревается до необходимой температуры на относительно небольших глубинах. Оптимальный вариант - это использовать носитель, полученный из газовой колонки. Но если их нет рядом, придется прибегнуть к бурению [3].

Неблагоприятное воздействие геотермальной энергии на окружающую среду:

- выделение тепла в атмосферу или поверхностные воды;
- сброс отравленной воды и конденсата, в небольших количествах загрязненного аммиаком, ртутью, кремнеземом;
- загрязнение водоносных слоев, засоление почв [1].

### **Биоэнергетика**

В этом случае энергия, как электрическая, так и тепловая, производится из ископаемого топлива. Последние делятся на три поколения. В первую из них входят продукты, полученные в результате переработки отходов. Этот вариант считается наиболее доступным, но и наименее эффективным.

Биотопливо второго поколения включает продукты, полученные путем пиролиза, то есть быстрого превращения массы в жидкость. Последний намного легче транспортировать и впоследствии превращается в топливо для автомобилей или электростанций. Источниками описываемого сырья могут быть водоросли, а также некоторые виды культурных растений, такие как кукуруза, сахарный тростник, рапс и другие [3].

Неблагоприятное воздействие биоэнергетики на окружающую среду:

- выброс тепла, изменение теплового баланса;
- опасность взрыва;
- большое количество отходов в виде побочных продуктов [1].

### **Солнечная энергия**

Люди использовали солнечную энергию на протяжении тысяч лет, чтобы выращивать зерновые культуры, сохранять тепло и сушить пищу. Солнечный свет - один из самых распространенных и свободно доступных энергетических ресурсов нашей планеты. Количество солнечной энергии, которая достигает

поверхности Земли за один час, превышает общие потребности планеты в энергии за год. Хотя это звучит как идеальный возобновляемый источник энергии, количество солнечной энергии, которое мы можем использовать, варьируется в зависимости от времени суток и сезона года, а также географического положения. В настоящее время создано свыше 600 разновидностей солнечных энергетических систем, наибольшее количество которых предназначено для нагрева воды в целях ее использования для хозяйственно-бытовых нужд и теплоснабжения, в частности для обогрева зданий и сооружений [3].

Негативное влияние солнечной энергии на окружающую среду может проявляться:

- в большой материалоемкости;
- в опасности возгорания систем, загрязнения продукции токсичными веществами при использовании солнечных систем в Сельском хозяйстве;
- создание помех теле- и радиосвязи [1].

#### **Заключение.**

Главное преимущество абсолютно всех альтернативных источников энергии - их экологичность. Другими словами, при работе таких станций не происходит вредных выбросов в окружающую атмосферу. Даже авария на ветровой, солнечной или любой другой альтернативной электростанции приведет только к материальным потерям для ее владельцев, но не вызовет глобальной экологической катастрофы, как это может случиться, например, с атомной электростанцией.

Следует отметить, что установка большинства станций не нанесет вреда окружающей среде. Если говорить о ветропарках, то они занимают минимальные площади и даже могут совмещаться с другими видами экономической деятельности.

Еще одно несомненное преимущество альтернативных источников энергии - их неисчерпаемость. Другими словами, установка любой станции гарантирует неограниченную подачу электроэнергии в то или иное место.

Также существует возможность установки станции малой мощности. Это позволят обеспечивать небольшие поселки и даже частные хозяйства.

#### **Литература**

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. А. Б. Сухоцкий, В. Н. Фарафонов, 2009.
2. Альтернативные источники энергии [Электронный ресурс]. -Режим доступа:<https://mv-eng.by/blog/41-alternativnye-istochniki-energii-obzor-plyusy-i-minusy/>. – Дата доступа 20.04.2021.
3. Зеленая энергия [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://econrj.ru/stati/zelenaja-jenergija%3A-ponjatje--vidi--preimushhestva-ispolzovaniya.html/>. – Дата доступа 20.04.2021.

УДК 621.039.8

**УРАН И ЕГО ИЗОТОПЫ. СВОЙСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
URANIUM AND ITS ISOTOPES. PROPERTIES AND USE**

С.В. Зеньков

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
nik.petrashevitch@gmail.com

S. Zenkov

Supervisor – N. Petrashevich, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

*Аннотация:* на основе литературных данных рассмотрены изотопы урана, которые получили наибольшее распространение, и перспективы использования урана в качестве источника энергии.

*Annotation:* on the basis of the literature data, the most widespread uranium isotopes and the perspective for using uranium as an energy source are considered.

*Ключевые слова:* уран, распад, изотоп, нейтроны, плутоний, реактор.

*Keywords:* uranium, decay, isotope, neutron, plutonium, reactor.

**Введение**

Уран – химический элемент, относящийся к семейству актиноидов атомным номером 92. Уран встречается в природе в качестве смеси изотопов  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ . В земной коре содержится  $2,5 \cdot 10^{-4}\%$  урана (железо – 6,65%, кальций – 3,4%), что достаточно много для элемента с таким большим атомным номером, но его концентрация в породах мала, поэтому часто выработка урана экономически не обоснована. Общее количество разведанных месторождений – более 5,3 миллиона тон. В Австралии располагается 31% изведанных запасов урана, в Казахстане – 12%, в России и Канаде по 9%.

**Основная часть**

Чистый уран тяжелый (в 2 раза тяжелее железа), мягкий (немного мягче стали), серебристо-белый, легко окисляется на воздухе. При  $700^\circ\text{C}$  компактный уран загорается, поэтому реакторные стержни покрывают слоем алюминия. Степени обогащения урана: природный (содержание  $^{235}\text{U}$  – 0,72%), низкообогащенный ( $^{235}\text{U}$  – до 20%), высокообогащенный ( $^{235}\text{U}$  – более 20%).

Наиболее распространенным изотопом урана является  $^{238}\text{U}$  (99,3% в природном уране). Период полураспада – 4,51 млрд лет. Уран-238 не используется в качестве первичного делящегося материала, так как для деления необходимы нейтроны высокой энергии. Однако это позволяет создавать из него оболочки заряда в устройствах деления (размножение отраженных нейтронов и деление ядер быстрыми нейтронами), что увеличивает выход энергии. Однако  $^{238}\text{U}$  чаще используют для синтеза плутония. Основной метод — это облучение урана-238 нейтронами, излучившимися при распаде урана-235, при образовании урана-239 и через цепочку распадов образовании плутония-239. После окончания цикла любое реакторное топливо, содержащее природный или

частично обогащенный уран, содержит некоторое количество плутония, из-за содержания  $^{238}\text{U}$ .

$^{235}\text{U}$  – наиболее важный изотоп урана. В природном уране только уран-235 пригоден для поддержания реакции в АЭС и изготовления ядра атомной бомбы. Для реактора АЭС подходит степень обогащения от 2 до 4%, а для военного использования – более 80%, поэтому высокообогащенный уран называют оружейным. Для реактора установленной мощностью 1,4

ГВт необходимо в год 225 тон природного урана. Некоторые соли  $^{235}\text{U}$  и сплавы этих солей используются в качестве катализаторов реакций (карбид  $^{235}\text{U}$  – один из составляющих топлива ядерных реактивных двигателей). Обедненный уран используется в изготовлении противовесов для самолетов, противорадиационных экранов в медицине, транспортных контейнеров для транспортировки ядерных отходов. Уран в 5 раз эффективнее свинца поглощает гамма-излучение. Широкое распространение получил обедненный уран в военной промышленности.

$^{232}\text{U}$  не встречается в природе, однако его можно получить из тория-232. Примеси урана-232 не желательны из-за высокого тепловыделения и интенсивного гамма-излучения. В процессе производства урана-233 происходит постепенное накопление урана-232. В оружейном уране допускается содержание  $^{232}\text{U}$  менее 0,0005%. Существуют перспективы для использования данного изотопа в реакторах более высокой мощности, но  $^{232}\text{U}$  весьма дорог, так как основной способ его получения — это очистка урана-233.

Уран-234 содержится в природном уране незначительно. Все его количество образуется из распада  $^{238}\text{U}$  (период полураспада  $^{234}\text{U}$  в  $10^6$  раз меньше, чем  $^{238}\text{U}$ ). Чуть меньше половины радиоактивности природного урана приходится на уран-234.

$^{236}\text{U}$  в природе не встречается, однако накапливается в ядерных реакторах при облучении урана нейтронами. Поэтому уран-236 является индикатором отработанного ядерного топлива.

### Заключение

По прогнозам через 50 лет будут израсходованы разведанные месторождения урана. Однако учитывая, что в ядерных реакторах основной источник энергии это  $^{235}\text{U}$ , а до 95%  $^{238}\text{U}$  остается неиспользованным, то перспективным видится разработка реактора на бегущей волне (работает на  $^{238}\text{U}$  за счет образования плутония), концепция которого была сформулирована еще в 2001 году, но до сих пор не была реализована. Еще большое внимание уделяется перспективам использования урана-233.  $^{233}\text{U}$  образуется из тория-232. При этом содержание тория в земной коре в три раза больше содержания урана. Многие ученые утверждают, что ториевый реактор придет на замену современному на уране.

### Литература

1. Уран [Электронный ресурс]/ уран. -Режим доступа: <http://smutc.ru/milit/uranium/>. – Дата доступа: 15.04.2021.
2. Черноруков, Н.Г. Уран. Прошлое, настоящее и будущее: Учебное пособие. – Нижний Новгород: Российская Федерация, 2010. –52с.

3. Юньмин Канг. U-232 и противодействие распространению ядерного оружия U-233 в отработанном топливе// Наука и мировая безопасность. – 2001. – №9. – С. 1-32.

УДК 621.311.1

**РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ С  
УЧЕТОМ БЕЛАЭС**

**OPERATING MODES OF THE POWER SYSTEM  
THE REPUBLIC OF BELARUS TAKING INTO ACCOUNT THE  
BelNPP**

Т.Д. Ковалева

Научный руководитель – Е.М.Гецман, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

myshk-ekaterina@yandex.ru

T.D. Kovaleva

Scientific supervisor – E.M. Getsman, Senior Lecturer  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

***Аннотация:** объектом исследования являются режимы работы энергосистемы Беларуси с учетом БелАЭС. Рассмотрены все возможные виды режимов работы энергосистемы Беларуси, их особенности, преимущества одних видов режимов работы над другими.*

***Abstract:** The object of the study is the operating modes of the Belarusian energy system, taking into account the Belarusian NPP. Various types of modes of operation of the Belarusian power system, their features, and the advantages of some types of modes of operation over others are considered.*

***Ключевые слова:** режим, энергосистема, БелАЭС, планирование режимов работы, структура генерации*

***Keywords:** mode, power system, BelNPP, operation mode planning, generation structure*

**Введение**

Данная работа направлена на исследование режимов работы энергосистемы Беларуси с учетом Белорусской атомной электростанции (БелАЭС).

На основе статистических данных по работе энергосистемы Республики Беларусь за последнее время были изучены режимы работы энергосистемы.

**Основная часть**

Развитие Белорусской энергосистемы направлено на повышение надежного и бесперебойного электроснабжения. Под энергосистемой понимаются генерирующие источники и сетевая инфраструктура энерго- и теплоснабжающих организаций, входящих в состав государственного производственного объединения электроэнергетики «Белэнерго», и электрогенерирующие источники других владельцев. В соответствии, с Концепцией энергетической безопасности Республики Беларусь, утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 23.12.2015 № 1084 [1]: энергетическая безопасность – состояние защищенности граждан, общества, государства, экономики от угроз дефицита в обеспечении их потребностей в энергии экономически доступными энергетическими ресурсами приемлемого качества, от угроз нарушения бесперебойности энергоснабжения.

Для обеспечения энергетической безопасности в условиях таких особенностей энергетической сферы, как невозможность работы «на склад» ввиду отсутствия развитых, доступных и экономически целесообразных способов хранения больших объемов электроэнергии и, соответственно, постоянной необходимости поддержания баланса между генерацией и постоянно изменяющимся потреблением, а также для обеспечения возможности проведения ремонтных работ на оборудовании и объектах энергетической отрасли, обеспечения экономически эффективной работы отрасли, необходимо обеспечение качественного планирования и ведения режимов работы энергосистемы. В таких условиях ввод в баланс мощностей знакового для Белорусской энергосистемы объекта – Белорусской атомной электростанции, первой АЭС на территории Республики Беларусь, с проектной установленной мощностью на уровне 2400 МВт, оказывает значительное влияние как на саму энергосистему, так и на планирование ее режимов (таблица 1).

Таблица 1 – Данные по установленной мощности ОЭС Беларуси

№	Наименование электростанций	Код	МВт	Примечание
1	Белорусская АЭС (прием в эксплуатацию в 1 кв. 2021 года)		1194,0	РУП БелАЭС
	Итого АЭС:		1 194,00	МВт
1	Лукомльская ГРЭС	ГРЭС-20	2889,5	Вг
2	Минская ТЭЦ-4	ТЭЦ-4	1035	Мн
3	Березовская ГРЭС	ГРЭС-15	1095,12	Бр
4	Гомельская ТЭЦ-2	ТЭЦ-26	544	Гм
5	Новополоцкая ТЭЦ	ТЭЦ-14	270	Вг
6	Минская ТЭЦ-3	ТЭЦ-3	442	Мн
7	Могилевская ТЭЦ-2	ТЭЦ-21	297,3	Мг
8	ТЭЦ-5	ТЭЦ-5	719,6	Мн
9	Светлогорская ТЭЦ	ТЭЦ-7	155	Гм
10	Мозырская ТЭЦ	ТЭЦ-24	206	Гм
11	Бобруйская ТЭЦ-2	ТЭЦ-22	182,6	Мг
12	Гродненская ТЭЦ-2	ТЭЦ-23	312,45	Гр
	Итого по основным станциям:		8 148,57	МВт

За 2020 год потребление электроэнергии ОЭС Беларуси составило 38,018 млрд. кВт·ч, что соответствует 100,2 % к уровню потребления электроэнергии 2019 года. Максимум потребления электрической энергии за 2020 год был зафиксирован 16 декабря и составил 5 981 МВт по показаниям оперативно-информационного комплекса «СК-2007», используемого в ГПО «Белэнерго».

Общая структура генерации (выработки) для отопительного и межотопительного периодов до ввода Белорусской АЭС представлена на рисунках 1, 2 на примере характерных периодов (январь и июль 2020 года) [2].



Для отопительного периода характерна значительная доля ТЭЦ (54 %) и меньшая – КЭС (36 %), а в межотопительный – преобладание доли КЭС (63 %) в связи со значительным снижением «тепловой» нагрузки и, соответственно, снижением теплофикационной выработки ТЭЦ (25 %).



Рисунок 1 – Структура генерации в ОЭС (Объединенной энергосистемы) Беларуси в январе 2020 года



Рисунок 2 – Структура генерации в ОЭС Беларуси в июле 2020 год

Общая структура генерации (выработки) для отопительного периода после ввода Блока 1 БелАЭС представлена на рисунке 3 на примере характерного периода (января 2021 года).

В январе 2021 года доля БелАЭС составила порядка 16 % в связи с тем, что вывод ее на номинальную мощность состоялся только с 12 января, до этого

момента ее мощность находилась в пределах 75 % и изменялась в сторону уменьшения в рамках испытаний или до 0 % при проведении остановов для ремонтных работ. При работе АЭС на 100 % мощности замещение выработки КЭС и ТЭЦ увеличится.

Изменения относительно аналогичной структуры генерации до ввода БелАЭС: АЭС обеспечила не только замещение генерации КЭС, но и частичное замещение генерации ТЭЦ.



Рисунок 3 – Структура генерации в ОЭС Беларуси в январе 2021 года

Замещение выработки ТЭЦ в основном обусловлено фактом работы АЭС в базовой части графика покрытия потребления, не привлечением АЭС к регулированию посредством изменения активной мощности, и, как следствие, вынужденными и более длительными (в сравнении с периодом до ввода Блока 1 БелАЭС) разгрузками ТЭЦ ниже теплового графика.

### Заключение

Основными вопросами по интеграции БелАЭС в баланс ОЭС Беларуси при существующем уровне потребления электрической энергии является необходимость резервирования в любой момент времени энергоблока большой единичной мощности и сложности, связанные с балансированием энергосистемы в период минимальных нагрузок (ночное время).

При существующем уровне электропотребления после ввода в работу БелАЭС будет резко сокращаться выработка электроэнергии на КЭС, в том числе на современных парогазовых энергоблоках Лукомльской ГРЭС, Березовской ГРЭС и Минской ТЭЦ-5. Остальные энергоблоки КЭС будут переведены в

холодный резерв с включением в работу в основном в периоды плановых остановок энергоблоков АЭС.

После ввода АЭС существенно осложняются режимы работы ТЭЦ, будет кардинально снижен объем выработки электроэнергии по комбинированному циклу, совместно с отпуском тепловой энергии, длительный период времени ТЭЦ будут работать на техническом минимуме.

Для балансирования в ночные часы в перспективных режимах предусмотрено использование электрических котлов как в отопительный период с целью отпуска тепловой энергии для отопления и горячего водоснабжения, так и в межотопительный период с целью горячего водоснабжения.

Для резервирования энергосистемы необходимо строительство пикорезервных источников суммарной мощностью 800 МВт. Для этого сейчас есть несколько площадок: Лукомльская ГРЭС (150МВт), Новополоцкая ТЭЦ (100 МВт), Минская ТЭЦ-5 (300 МВт), Березовская ГРЭС (250 МВт).

Для эффективного использования существующих мощностей необходим рост потребления электрической энергии до 47-50 млрд. кВт ч в год. Для обеспечения данного роста потребления электрической энергии необходимо широкое использование электроэнергии для нужд теплоснабжения, развитие электромобильного транспорта, создание энергоемких промышленных производств. Также рост электропотребления должен стимулироваться соответствующей тарифной политикой направленной на выравнивание суточного графика нагрузки.

Ряд неэффективных мощностей на электростанциях величиной порядка 1000 МВт после ввода в эксплуатацию двух энергоблоков БелАЭС подлежат выводу из эксплуатации (два энергоблока класса 300 МВт на Лукомльской ГРЭС, два энергоблока по 215 МВт на Березовской ГРЭС).

### Литература

1. «Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь», утвержденная Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 23.12.2015 № 1084. – 13 с.

2. «Концепция развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года» утвержденная Постановлением Министерства энергетики Республики Беларусь от 25.02.2020 № 7.

УДК 620.9

**ЭНЕРГОРЕСУРСЫ: СОЛНЦЕ, ВЕТЕР, ВОДА РЕК – ЗАПАСЫ,  
ДОСТУПНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ENERGY RESOURCES: SUN, WIND, RIVER WATER – RESERVES,  
AVAILABILITY, EFFICIENCY OF USE**

И.В. Ковалец

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

I.Kovalets

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

**Аннотация:** В последнее время остро встаёт вопрос эффективности использования природных ресурсов, в особенности, энергетических. Несмотря на то, что в настоящий момент дефицит топливно-энергетических ресурсов практически не ощущаем, данная проблема требует незамедлительного рассмотрения и решения, так как большая часть подобных ресурсов никак не возобновляемы, а запасы их невелики. От того, в какой степени стремительно и качественно будет разрешена эта проблема, зависит, сможет ли общество в ближайшие 100–150 лет получать тепло и освещение, то есть те минимальные удобства, в отсутствии которых общество не сможет поддерживать уровень качества жизни на высоком уровне. Таким образом, разрешение ресурсной проблемы для энергетики – вопрос жизни и смерти для человечества.

**Abstract:** In recent years, the question of the lack of natural resources, especially energy resources, has arisen more and more sharply. Although in our time the shortage of energy resources is practically not perceptible, this problem requires immediate consideration and solution, since most of these resources are in no way renewable, and their reserves are extremely small. The extent to which this problem will be quickly and efficiently resolved will determine whether society will be able to receive heat and lighting in the next 100–150 years, that is, those minimal conveniences in the absence of which modern society cannot maintain high life quality level. Thus, resolving the resource problem for energy is a matter of life and death for humanity.

**Ключевые слова:** ВИЭ, энергетика, запасы, доступность, ВЭС, ГЭС, СЭС.

**Keywords:** RES, energy, stocks, availability, wind power plants, hydroelectric power station, solar power station.

### **Введение**

Проблема активно растущего спроса на тепловую и электрическую энергию на фоне постоянно увеличивающихся объёмов производства, роста численности населения и, соответственно, их потребностей приобретает всё большую актуальность.

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) — это энергоресурсы постоянно существующих естественных процессов на земле, а также энергоресурсы продуктов жизнедеятельности биоцентров растительного и животного происхождения.

Типичной характерной чертой ВИЭ является их способность к относительно быстрому самовосстановлению, что позволяет использовать их неограниченно[2].

К наиболее популярным и широко применяемым относятся солнечная, ветряная, гидроэнергетика, использование энергетической составляющей биомасс, тепловую энергию верхних слоев земной коры и океана.

Можно подразделить ВИЭ по виду первичной энергии, получаемой от источника:

- механическая энергия (воздушных потоков и падающей воды);
- тепловая и лучистая энергия (энергия солнечного излучения и тепла недр Земли);
- химическая энергия (энергия, заключенная в биомассе).

Сильной стороной ВИЭ является их практически безграничный энергетический потенциал. Развитие «зелёной» энергетики в значительной степени замедляет уровень развития технологий, сложность производства и, следовательно, высокая стоимость оборудования. В связи с этим и относительно низким уровнем выработки не произошло широкого распространения ВИЭ в энергосистеме. Изучение энергетических ресурсов возобновляемых источников началось в середине 20 века.

Энергетические ресурсы океана представляют значительную ценность равно как возобновляемые и почти неисчерпаемые. Опыт эксплуатации уже функционирующих систем океанской энергетики, а кроме того, солнечных и ветровых систем демонстрирует, что они не наносят прямого ущерба окружающей среде. Это является значительным преимуществом, потому как при проектировании будущих систем энергетики основательно изучается их воздействие в экологию.

Несмотря на то, что использование исчерпаемых энергоресурсов (ископаемых топлив) формирует наиболее серьезные экономические и экологические проблемы, низкоуглеродная и зелёная энергетика всё ещё не приобрела должной популярности. Не потому, что энергетический потенциал мощности ВИЭ ниже (что является заблуждением), а из-за этого, что их энергия нестабильна или непостоянна, распределена по значительной площади, не достаточно концентрирована и хуже поддается контролю. Осознавая силу стихий, человек отдаёт предпочтение традиционным источникам энергии, где технологические процессы находятся под абсолютным контролем.

### **Основная часть**

Солнечная энергетика имеет ряд преимуществ. Её можно отнести к неисчерпаемым источникам в связи с прогнозируемым жизненным циклом звезды. Помимо нейтрального экологического воздействия (солнечные электростанции не загрязняют атмосферный воздух), она является легкоуправляемой. Потенциал использования солнечной энергии сравнительно с другими источниками является самым мощным: ресурс Солнца оценивается экспертами примерно в 100-500 тыс. ГВт. Количество энергии, дошедшей до земной поверхности, невероятно мало. Однако этого вполне достаточно для развития солнечной теплоэнергетики, аккумулирования тепла и его применения в сельском хозяйстве. Однако наибольший интерес вызывает получение электрической энергии. Решающими факторами в оценке эффективности работы

солнечной «плантации» являются энергетическая освещённость, площадь улавливания лучей, КПД процесса преобразования энергии и эффективность её накопления. Технический потенциал использования солнечной энергии оценивается в 500 ГВт. Общая мощность систем прямого преобразования солнечной энергии в настоящее время достигала 4 ГВт, в том числе наземных фотоэлектрических преобразователей- 0,1ГВт.

Помимо перебоев в ночное время суток, на выработку электроэнергии негативно влияют и метеорологические явления: туман, облачность. Бесперебойность энергоснабжения является одним из важнейших критериев формирования энергобезопасности региона, поэтому такие свойства работы солнечных плантаций являются их существенным недостатком.

Постройка солнечной электростанции является дорогостоящим проектом. Это обуславливается необходимостью использовать редкие элементы в их конструкции и сложностью технологического процесса производства. По этим причинам предпочтение по-прежнему отдаётся тепловым станциям. Помимо того, для размещения мощной солнечной станции необходимо высвобождение значительной части земель из хозяйственного оборота, причём в местах, где солнечное излучение имеет необходимый уровень. В перспективе, для решения этой проблемы решением может стать развитие космической энергетики (размещение солнечных панелей на искусственных или естественном спутнике – Луне) или внедрение прозрачных солнечных панелей.

Ветряная энергетика берёт начало в конце XIX в. Первой крупнейшей ветряной электрической станцией (ВЭС) в мире стала станция у г. Ялта, построенная в 1931 году. С наступлением топливно-энергетического кризиса в 70-е годы прошлого столетия начался новый виток развития ветроэнергетики.

Применение технологий ветроэнергетики в приморских районах приносит прибыль при скорости ветра около 3-4 м/с. Такое расположение ВЭС положительно сказывается на энергетической структуре региона, позволяет запитывать местных потребителей: прибрежные населённые пункты, маяки, опреснители морской воды и многое другое портовое оборудование. При более высокой среднегодовой скорости ветра – 5,5 м/с и выше – рационально строительство мощных ВЭС с возможностью их включения в энергосистему. Так, например, в Дании действует около 2500 ВЭС общей мощностью 200 МВт, что делает её одной из ведущих стран в мире по выработке энергии при помощи ветра. Во многих других странах, где есть обширные площади и скорость ветра способна достигать 13 м/с и более, таких как США, Италия, Нидерланды, Россия и др., количество ВЭС может достигать нескольких тысяч [1].

Одним из основных недостатков ветряной энергетики является непостоянство ветряных потоков, что можно компенсировать за счёт размещения их возле других источников «зелёной» энергии: создание комплекса электроустановок, работающих на ветряной и солнечной энергии. Имеется проект прибрежной электростанции, применяющей энергию ветра и прибоа одновременно.

Важным фактором при планировании строительства ВЭС является их расположение, учитывается скорость и постоянство ветра, на что также влияет и

высота размещения установок. Наиболее благоприятным для эффективной выработки является размещение ВЭС, при котором период активной работы в течение года будет составлять не менее 4 месяцев [3].

Другим недостатком ветряной энергетики является процесс утилизации: лопасти и другие элементы установок не подлежат переработке и захораниваются, что может иметь негативные последствия для экологии и экономики по причине вывода материалов и ресурсов из обращения.

Активное развитие гидроэнергетики обусловлено большой предельной мощностью таких станций, постоянное естественное возобновление течения благодаря естественному круговороту воды. Строительство гидроэлектростанции (ГЭС) является капиталоемким, в особенности при искусственном создании разницы верхнего и нижнего бьефов, строительстве плотин. Гидроэнергетика не создаёт никакого загрязнения окружающей среды, кроме шумового. Однако на данный момент потенциал гидроэнергетики полностью не используется. Потоки талых вод или ливневых потоков несут механическую энергию, которая пока человеком не используется в полной мере [5].

Применяются маломощные ГЭС (не более 5 МВт), средние – 5-25 МВт и мощные – от 25 и выше.

Мощность гидроэлектростанции непосредственно зависит от напора воды, а также от коэффициента полезного действия применяемого генератора. Из-за того, что по природным законам уровень воды всегда меняется, в зависимости от сезона, а также еще по ряду факторов, в качестве выражения мощности гидроэлектрической станции принято брать цикличную мощность. Например, различают годичный, месячный, недельный либо суточный циклы деятельности гидроэлектростанции [2].

ГЭС могут применять для покрытия пиковых нагрузок энергосистемы, такие станции называют гидроаккумулирующими (ГАЭС), т.к. они могут накапливать выработанную энергию. При необходимости покрытия пиковой нагрузки применяются дополнительные верхние бассейны, где накапливают запас воды. Для них предназначены дополнительные турбинные цеха. Мировыми лидерами по использованию потенциала ГЭС являются Россия, Китай, Норвегия.

### **Заключение**

Рассказ об альтернативных источниках энергии может быть бесконечен, неисчислимы различные формы их использования, и мы должны разработать для них эффективные и экономичные способы добычи. Несмотря на активную политику по внедрению ВИЭ в энергосистемы стран мира, предпочтение по-прежнему остаётся за тепловой энергетикой. На фоне изменения демографической и промышленной ситуации эксперты говорят об увеличении потребления энергоресурсов на 50% за ближайшие 30 лет. Использование ископаемых видов топлива не только наносит ущерб окружающей среде, но и является ограниченным в связи с меленным процессом формирования месторождений. Решением может стать расширение сферы использования ВИЭ как в качестве источников дополнительной электрической мощности, так и

альтернативы существующим мощностям. Развитие «зелёной» энергетики является неотъемлемым этапом при достижении Целей устойчивого развития, разработанных ООН, а именно: №7 «Недорогостоящая и чистая энергия», №9 «Индустриализация, инновации и инфраструктура», №12 «Ответственное потребление и производство», №13 «Борьба с изменением климата», №15 «Сохранение экосистем суши». Поэтому нам ничего не остается, как согласиться с тем, что сказал ученый и мудрец, имя которого осталось увы неизвестным: "Нет простых решений, есть только разумный выбор".

### Литература

1. Сибикин Ю.Д. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - М.: КноРус, 2010. - 227 с.
2. Жуков Г.Ф. Общая теория энергии. /М: 1995.
3. Солнце, ветер, вода, низкопотенциальные природные энергоресурсы [Электронный ресурс].–Режим доступа: <https://sdamzavas.net/1-23431.html>. – Дата доступа: 11.03.2021
4. Экономическая эффективность использования энергоресурсов и ее оценка [Электронный ресурс]. – Режим доступа:[https://spravochnick.ru/ekonomika/ekonomicheskaya\\_effektivnost\\_ispolzovaniya\\_energoresurov\\_i\\_ee\\_ocenka/](https://spravochnick.ru/ekonomika/ekonomicheskaya_effektivnost_ispolzovaniya_energoresurov_i_ee_ocenka/).– Дата доступа: 11.03.2021
5. Лукашевич О. Д. Энергосбережение: социально-экологический проект: учебно-методическое пособие / О. Л. Лукашевич, М. В. Колбек. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та. – 2009. – 40 с.
6. Юдасин, Л. С. Энергетика: проблемы и надежды. / Л. С. Юдасин – М.: «Просвещение», 1990. – 207 с.



УДК 621.31

**ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ  
EVALUATION OF THE USE OF NEURAL NETWORKS IN ELECTRIC  
POWER ENGINEERING**

А.А. Ковзан

Научный руководитель – М.И. Фурсанов, доктор технических наук, профессор  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь  
mfursanov@bntu.by

A. Kovzan

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

***Аннотация:** В данной статье рассматриваются общие положения об оптимизации электроэнергетических сетей и основных проблемах, с которыми можно столкнуться при использовании классических методов оптимизации. Также рассмотрены перспективы использования искусственных нейронных сетей для решения основных задач оптимизации и управления энергосистемами.*

***Abstract:** The general provisions of the optimization of electric power networks and the main problems that can be encountered when using classical optimization methods are discussed in this article. The prospects of using artificial neural networks for solving the main problems of optimization and control of power systems are also considered.*

***Ключевые слова:** Оптимизация энергосистемы, нейросетевой подход*

***Keywords:** Power system optimization, neural network approach*

### **Введение**

Энергетика - одна из ключевых отраслей в государствах, а энергосбережение можно назвать главной задачей отрасли, которая решается путем оптимизации энергетических систем (ЭС). При оптимизации развития ЭС понимается еще и управление их режимами. Эффективное моделирование ЭС и выбор оптимальных опций управления стало возможно с развитием вычислительной техники. Снижение потерь электроэнергии - это явный результат оптимизации структуры и параметров энергосистем.

Методы и модели оптимизации, применяемые в наше время, не отражают реальные условия эксплуатации ЭС. Поскольку при попытках создания моделей, приближенных к действительным эксплуатационным условиям, возникает проблема случайных параметров функций ограничения, требуется инновационный подход к решению данной задачи [1].

### **Основная часть**

С помощью современной вычислительной техники и программного обеспечения можно осуществлять моделирование режимов энергосистемы и возможности его управления, что позволит увеличить эффективность эксплуатации систем. В последнее время набирает нейросетевой подход для оптимизации. С помощью обучаемых искусственных нейронных сетей

(ИНС) эффективно решаются задачи классификации и прогнозирования в разных сферах науки.

Соотношение публикаций и научных работ по применению ИНС в электроэнергетике приведено на рис. 1. Наиболее перспективные задачи в электроэнергетике, которые могут быть решены с помощью нейронных сетей:

- прогнозирование нагрузки ЭЭС;
- диагностика и локализация неисправностей;
- оптимизация распределения нагрузки;
- оценка надежности;
- динамическая устойчивость ЭЭС.

### Прогнозирование нагрузки

Все прогнозирование можно классифицировать на 3 вида:

- 1) Краткосрочное;
- 2) Среднесрочное;
- 3) Долгосрочное.

Наиболее актуальным и важным является первый вид прогнозирования, поскольку каждый день необходимо примерно оценивать графики нагрузок и в соответствии с этим определять требуемые мощности источников генерации. Используя классические методы процесс может быть трудоемким и в случае изменения какого-либо внешнего условия потребуются пересчет. В данной ситуации ИНС как нельзя кстати могут быть обучены для данных целей. Помимо multifunctionality нейронные сети позволяют учесть большее количество факторов, что сказывается на точность прогнозирования в лучшую сторону.

Главные достоинства ИНС при прогнозировании заключаются в следующем:

- сбор и обработка данных происходит без временных ограничений, возможность получать данные напрямую из ЭЭС;
- возможность учета множества параметров, не состоящих в функциональной связи.

### Диагностика и локализация аварийных ситуаций

Прогресс в области цифровых технологий приводит к тому, что все больше и больше данных становится доступными для систем диспетчерского контроля и сбора данных. Оператор, будучи человеком, может испытать стресс и волнение от перегрузок, которые возникают при работе с большим объемом данных. В связи с этим возникает острая потребность в разработке систем поддержки принятия решения, работающих в режиме реального времени. Перед тем, как вернуть систему к нормальному режиму ее работы, требуется определить причину ее перехода в аварийное состояние. Кроме этого, к ряду причин, обусловленных неисправностью и повреждением оборудования, нужно учесть ошибки ступеней защит и повреждения в кабельных сетях передачи сигналов между оборудованием. С таким большим потоком информации могут справиться ИНС [2].

Кроме того, что нагрузка должна быть спрогнозирована, необходимо наиболее рациональным путем распределить ее между источниками генерации. В классической теории оптимизация для этих целей могут быть применены

метод Лагранжа и метод динамического программирования. Что первый, что второй методы показали свою эффективность на начальных этапах. По мере усложнения расчетов оба метода теряют свою универсальность, т.к. объемы информации, с которыми надо работать, растут экспоненциальными темпами. Сеть Хопфилда, актуальность которой в последнее время возросла, легко справляется с комбинационными задачами оптимизации. Принцип действия сети Хопфилда приведен на рис. 1. Возможность учета всех вынужденных ограничений (потерь при передаче энергии, контроля уровней загрязнения энергоблока) заинтересовала ученых и энергетиков, что и объясняет повышенное внимание, прикованное к данной ИНС.

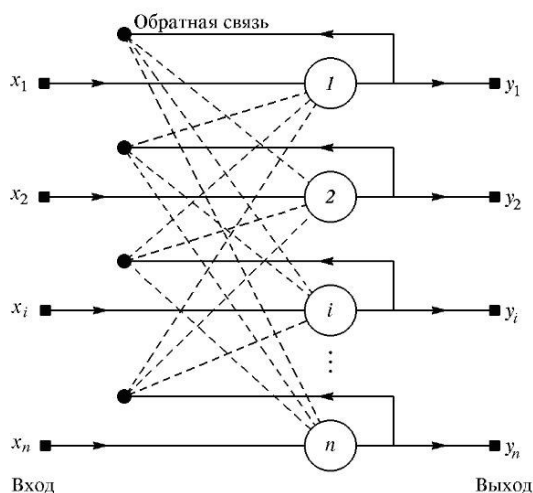


Рис. 1 – Принцип действия сети Хопфилда

### Заключение

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что использование ИНС в сфере энергетики растет. С применением нейронных сетей задачи управления ЭС могут быть решены в большей степени, при этом их возможный функционал ИНС однозначно являются перспективным направлением для оптимального управления энергосистемами.

### Литература

1. Нейросетевые технологии в оптимизации энергосистем [Электронный ресурс]/ нейросетевые технологии в оптимизации энергосистем. - Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2013/etf/shevchenko/library/article1.htm> /. – Дата доступа: 04.04.2021.
2. Концептуальный подход к нейросетевому моделированию в системах электроснабжения [Электронный ресурс]/ концептуальный подход к нейросетевому моделированию в системах электроснабжения. -Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25740249>

УДК 620.92

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПУТЕМ УСТАНОВКИ  
АКТИВНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА  
ENTERPRISE MODERNIZATION BY INSTALLING AN ACTIVE  
ENERGY COMPLEX**

А.А. Ковзан

Научный руководитель – Н.А. Попкова, магистр технических наук, ассистент  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь  
popkova@bntu.by

A. Kovzan

Supervisor – N. Popkova, Master of Engineering sciences, Assistant  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной статье рассмотрены общие положения об активных энергетических комплексах, а также проведена оценка эффективности их установки путем технико-экономического расчета.*

***Abstract:** general provisions of active energy complex are discussed in this article, and also the effectiveness of its installation is evaluated due to technical and economic calculation.*

***Ключевые слова:** активный энергетический комплекс, альтернативная энергетика*

***Keywords:** active energy complex, alternative energy*

**Введение**

Активный энергетический комплекс (АЭК) является новым способом выхода из энергосистемы для потребителей. АЭК представляется собой комплекс, включающий собственную генерацию и сетевую инфраструктуру. Главным его преимуществом, очевидно, можно назвать экономию при оплате за электроэнергию. Использование микрогридов может быть выгодно и эффективно как для промышленных объектов, так и для удовлетворения коммунально-бытовых нужд. Помимо всего прочего связь с энергосистемой (ЭС) остается, что, в свою очередь, позволяет продавать избыток электроэнергии в наиболее благоприятные часы или осуществлять ее покупку в случае, когда мощностей источников АЭК может быть недостаточно для покрытия нагрузки. Регулирования и реализация управления возможными перетоками между ЭС и АЭК осуществляется на базе управляемого интеллектуального соединения [1].

Цели проекта АЭК – в первую очередь привлечь предприятия среднего бизнеса, для которых совместное использование генерирующей мощности становится новым, ранее недоступным фактором повышения эффективности производства [2].

**Основная часть**

Для оценочного расчета был выбран Климовичский комбинат хлебопродуктов, модернизация которого будет проводится путем установки АЭК. Установленная электрическая мощность предприятия 2,5 МВт, производство оборудовано паровым котлом для производственных нужд и

водогрейными котлами для ГВС и отопления. Топливом для котлоагрегатов служит природный газ и древесное топливо.

Первым шагом модернизации была замена старых котлов на новые электрические. В соответствии с тепловой нагрузкой предприятия и с учетом параметров оборудования, установленного до модернизации, были выбраны паровой котел марки КЭПР-630/0,4 и водогрейные котлы марки КЭВ-400/0,4 с баком накопителем. Суммарная нагрузка предприятия увеличилась до 3,5 МВт. С учетом этого фактора оборудование, входящее в генерирующую часть АЭК, было выбрано в пользу ветрогенераторных установок, поскольку среднегодовая скорость ветра в районе КХП составляет 6 м/с, что является достаточным условием для нормальной работы ветряка.

Нами было решено установить 2 ветряка DEC DF103 номинальной мощностью 2,5 МВт каждый. Мощность генерации ветроустановки зависит от погодных условий и поэтому для расчета принимается, что ветряки выдают в среднем 20% от своей номинальной мощности, значит суммарно будут выдавать около 1 МВт. Ветровая энергия является экологически чистой, что уменьшает выбросы вредных веществ от нашего предприятия.

Для оценки эффективного использования АЭК необходимо рассчитать экономический эффект и срок его окупаемости:

$$\mathcal{E}_{\Delta год} = P_{до} - P_{после} \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}_{\Delta год}$  — экономический эффект от реализации проекта за год, руб.;

$P_{до} / P_{после}$  — затраты на оплату электроэнергии и сырья для котельных установок до и после реализации проекта, руб.

Оплата за электроэнергию осуществляется по двухставочному тарифу:

$$\Pi = 365 \cdot a \cdot P'_{\max} + b \cdot \mathcal{E}_0, \quad (2)$$

где,  $a$  — основная ставка за киловатт заявленной мощности;

$b$  — дополнительная ставка за каждый кВт·ч; руб/год

$P'_{\max}$  — среднегодовая мощность предприятия, участвующая в максимуме энергосистемы;

$\mathcal{E}_0$  — электроэнергия, отпущенная предприятию за год.

$$\Pi_{до} = 365 \cdot a \cdot P'_{\max} + b \cdot \mathcal{E}_0 = 365 \cdot 0,86 \cdot 1796,6 + 0,23 \cdot 13813078 = 3685595 \text{ руб/год};$$

$$\Pi_{после} = 365 \cdot a \cdot P'_{\max} + b \cdot \mathcal{E}_0 = 365 \cdot 0,86 \cdot 1100,0 + 0,23 \cdot 12553080 = 3181848 \text{ руб/год}.$$

Затраты на покупку сырья (газ, древесина) для котельных установок за год составляет  $P_{сырья} = 568533,9$  руб/год, тогда

$$P_{до} = \Pi_{до} + P_{сырья} = 3685595 + 568533,9 = 4254129,9 \text{ руб/год};$$

$$P_{после} = \Pi_{после} = 3181848 \text{ руб/год}.$$

Теперь определим экономический эффект за год:

$$\mathcal{E}_{\Delta год} = P_{до} - P_{после} = 4254129,9 - 3181848 = 1072280,9 \text{ руб / год.}$$

Итогом расчёта будет являться определение срока окупаемости АЭК:

$$T_{ок} = \frac{З}{\mathcal{E}_{\Delta год}}, \quad (3)$$

где  $З$  — затраты на покупку, доставку и установку ветряков, электрокотлов, бака накопителя и трансформаторов.

$$T_{ок} = \frac{З}{\mathcal{E}_{\Delta год}} = \frac{6801988,2}{1072280,9} = 6,35 \text{ год.}$$

### Заключение

Как итог, установка АЭК включает в себе не только преимущества по части электроснабжения предприятия, но и с экономической точки зрения, поскольку при использовании ветрогенераторов для питания электрокотлов полностью отпадает необходимость закупки природного газа, который был топливом для паровых и водогрейных котлов. Таким образом, снижение суммарных производственных издержек способствует повышению конкурентоспособности, а использование зеленой энергетики снижает налог на поставку продукции в страны Евросоюза.

### Литература

1. АЭК. Промышленные микрогриды и активные энергетические комплексы. – Режим доступа: <https://medium.com/internet-of-energy/80b83d88e01d/> /. Дата доступа: 15.04.2021
2. АЭК – комплекс с активной позицией [Электронный ресурс]/ АЭК – комплекс с активной позицией. -Режим доступа: <http://ntc-msk.ru/infocentre/news/aek-epr-2018-12.html> /. – Дата доступа: 15.04.2021

УДК 621.315

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ГЛАВНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
СОЕДИНЕНИЙ ТЭЦ260 МВт

CALCULATION OF THE RELIABILITY OF THE MAIN DIAGRAM OF  
ELECTRICAL CONNECTIONS OF THE HPS 260 MW

С.Н. Коротченко, М.Н. Поздняков, Н.Г. Шалыгин

Научный руководитель—А.Л. Старжинский, кандидат технических наук,  
доцент

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

[stankor04@gmail.com](mailto:stankor04@gmail.com)

S. Korotchenko, M. Pozdnyakov, N. Shalygin

Supervisor—A. Starzhinsky, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной работе анализируется надежность главной схемы электрических присоединений теплоэлектроцентрали 260 МВт используя пакет прикладных программ «ТОPAS», с помощью которого можно рассчитать основные показатели надежности распределительных устройств любого класса напряжения, генераторных присоединений, высоковольтных линий электропередачи, присоединений резервных трансформаторов собственных нужд и трансформаторов связи между распределительными устройствами.*

***Abstract:** this article analyzes the reliability of the main electrical connection diagram of a 260 MW combined power station with the help of the TOPAS software package, which can be used to calculate the main reliability indicators of switchgears of any voltage class, generator connections, high-voltage power transmission lines, connections of standby auxiliary transformers and communication transformers between switchgears.*

***Ключевые слова:** надежность, теплоэлектроцентраль, пакет прикладных программ «ТОPAS», логические показатели надежности, режим.*

***Keywords:** reliability, combined heat and power plant, «TOPAS» application package, logical indicators of reliability, mode.*

### **Введение**

Весомая доля электроэнергии в нашей стране вырабатывается с помощью теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), поэтому для обеспечения надёжности электроснабжения необходимо учитывать надёжность ТЭЦ и электрических сетей на стадии проектирования. Основной целью расчёта надёжности является определение времени простоя и отказа оборудования.

Большинство ТЭЦ занимает промежуточное положение по величине установленной мощности среди тепловых электрических станций с установленными агрегатами мощностью от нескольких сотен киловатт до нескольких сотен мегаватт, имеющими генераторное напряжение 10,5 – 24 кВ. ТЭЦ со схемами на генераторном напряжении строятся по блочному принципу с питанием собственных нужд блока от своей сети генераторного напряжения.

Оценка показателей надёжности главной схемы электрических соединений теплоэлектростанции проводится методом коммутационного графа, ветвями которого являются коммутационные аппараты, а узлами— остальные элементы схемы. На данном методе основан пакет прикладных программ «ТОPAS», с помощью которого можно рассмотреть различные варианты состояний основного оборудования (нормальный, плановый и аварийный ремонты), релейной защиты, автоматики и коммутационных аппаратов (нормальная локализация аварии и отказ в срабатывании) в схеме.

Основные показатели, которые учитывают при расчете надёжности станций:

- частота отказов;
- время послеаварийного восстановления;
- частота планового ремонта;
- длительность планового ремонта;
- вероятность отказов в срабатывании выключателей при отключении КЗ;
- вероятность отказов в срабатывании РЗ при возникновении КЗ.

Вычисление логических показателей надёжности главной схемы осуществляется на основе определения количества комбинаций событий (конъюнкций)  $C(k)$ , приводящих к отказу ее функционирования  $k$ -го вида [1, с.59].

$$C(k) = \sum_i \sum_j \sum_s L(i, j, s, k), \quad (1)$$

где  $L(i, j, s, k)$  – логическая функция, принимающая значение 0 или 1.

Вычисление частот отказов функционирования  $k$ -го вида  $\lambda(k)$  и длительности аварийного восстановления  $T(k)$  в общем случае осуществляется по выражениям

$$\lambda(k) = \sum_i \sum_j q(j) \lambda(i) Q(s/i) L(k); \quad (2)$$

$$T(k) = \frac{1}{\lambda(k)} \sum_i \sum_j q(j) \lambda(i) \min \left\{ \frac{t(j)}{2}; t(i); t_{оп} \right\} Q(s/i) L(k), \quad (3)$$

где  $q(j)$  – относительная длительность  $j$ -го ремонтного режима, о.е;

$\lambda(i)$  - частота повреждения  $i$ -го элементы схемы; 1/год;

$t(i)$  – длительность послеаварийного восстановления  $i$ -го элемента схемы, ч;

$t(j)$  – длительность  $j$ -го ремонтного режима работы схемы;

$t_{оп}$  – время оперативных переключений, ч;

$Q(s/i)$  – вероятность отказа в срабатывании релейной защиты или коммутационного аппарата.

Коэффициент неготовности потребителей  $K_n$  вычисляется по выражению [1, с. 73]



$$K_H = \frac{T(k)\lambda}{8760}. \quad (4)$$

### Основная часть

В качестве примера для расчета надежности рассмотрим ТЭЦ мощностью 260 МВт, которая состоит из 4 блоков (два блока по 80 МВт и 50 МВт) с выдачей электроэнергии по блочной схеме трех классов напряжений (10, 110 и 220кВ). Связь между РУ 110 и 220 кВ обеспечивается с помощью 2 автотрансформаторов связи (АТС) АДЦТН-125000/220/110 мощностью 125 МВт каждый. В качестве блочных трансформаторов используются ТРДН-63000/110 и ТРДН-63000/220 мощностью по 63 МВт, коммутационных аппаратов — элегазовые выключатели.

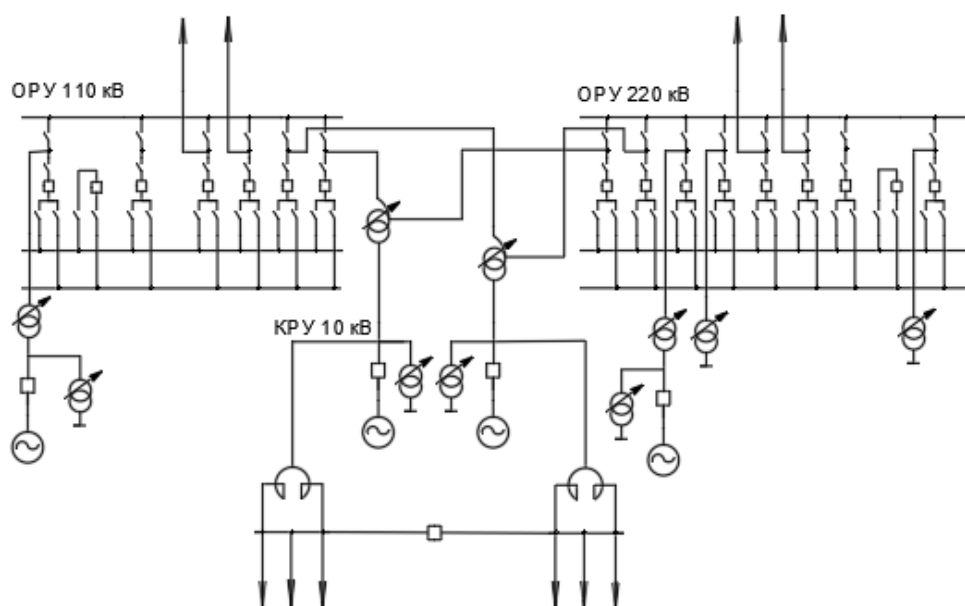


Рисунок 1. Структурная схема ТЭЦ

Для ОРУ 110 и 220 кВ приняты схемы с двумя рабочими и одной обходной системами шин с расположенными в один ряд выключателями для простоты их обслуживания. 123 МВт выработанной электроэнергии передается потребителям по 2 ВЛ-110 кВ, 29 МВт электроэнергии выдается потребителям со стороны 10 кВ, а оставшаяся часть электроэнергии — в энергосистему по 2 ВЛ-220 кВ. Все выключатели приняты элегазовыми.

КРУ выполнено на напряжение 10 кВ по схеме с одиночной секционированной системой сборных шин. Обе секции питаются от генераторов ТФ80.К каждой секции подключен сдвоенный реактор с ЗКЛ-10 кВ. Суммарная нагрузка потребителей на стороне 10 кВ составляет 29 МВт. Все выключатели приняты вакуумными.

При формировании исходных данных для программы, следует в определенном порядке пронумеровать элементы и сформировать матрицу узловых связей, в которой отображены связи коммутационных аппаратов с двумясмежными элементами. Все данные для элементов схемы, необходимые для расчета принимаем из базы данных программы TOPAS.

Рассмотрим несколько вариантов для анализа результатов надежности: отказ одного генератора, отказ одной линии и одного генератора, отказ двух генераторов, отказ двух генераторов и одной линии, отказ двух генераторов и четырех линий, отказ трех генераторов и четырех линий, отказ всех генераторов и линий (т.е. полным гашением станции). Все расчётные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты анализа надёжности

Код аварии	Суммарная частота, 1/год	Среднее время восстановления, ч.	Коэффициент неготовности
1Г	3,78	55,48	$2,39 \cdot 10^{-2}$
1Г 1Л	0,0345	45,02	$1,77 \cdot 10^{-4}$
2Г	0,051	53,92	$3,14 \cdot 10^{-4}$
2Г 1Л	$4,1 \cdot 10^{-2}$	24,93	$1,17 \cdot 10^{-4}$
2Г 4Л	$2,1 \cdot 10^{-4}$	0,5	$1,2 \cdot 10^{-8}$
3Г 4Л	$3,8 \cdot 10^{-6}$	0,5	$2,16 \cdot 10^{-10}$
4Г 10Л	$1,87 \cdot 10^{-8}$	0,5	$1,07 \cdot 10^{-12}$

Рассчитаем коэффициент неготовности потребителей  $K_H$  по формуле (4):

1. Отключен 1Г

$$K_H = \frac{T(k)\lambda}{8760} = \frac{55,48 \cdot 3,78}{8760} = 2,39 \cdot 10^{-2}.$$

2. Отключены 1Г 1Л

$$K_H = \frac{T(k)\lambda}{8760} = \frac{45,02 \cdot 0,0345}{8760} = 1,77 \cdot 10^{-4}.$$

3. Отключены 2Г

$$K_H = \frac{T(k)\lambda}{8760} = \frac{53,92 \cdot 0,051}{8760} = 3,14 \cdot 10^{-4}.$$

4. Отключены 2Г 1Л

$$K_H = \frac{T(k)\lambda}{8760} = \frac{24,93 \cdot 4,1 \cdot 10^{-2}}{8760} = 1,17 \cdot 10^{-4}.$$

5. Отключены 2Г 4Л

$$K_H = \frac{T(k)\lambda}{8760} = \frac{0,5 \cdot 2,1 \cdot 10^{-4}}{8760} = 1,2 \cdot 10^{-8}.$$

6. Отключен 3Г 4Л

$$K_H = \frac{T(k)\lambda}{8760} = \frac{0,5 \cdot 3,8 \cdot 10^{-6}}{8760} = 2,16 \cdot 10^{-10}.$$

7. Отключен 4Г 10Л

$$K_H = \frac{T(k)\lambda}{8760} = \frac{0,5 \cdot 1,87 \cdot 10^{-8}}{8760} = 1,07 \cdot 10^{-12}.$$

### **Заключение**

По результатам проделанной работы можно сделать вывод, что вероятность погашения всей станции крайне мала, о чем и свидетельствует малый коэффициент неготовности потребителей.

### **Литература**

1. Черновец, А.К. Элементы САПР электрической части АЭС на персональных компьютерах / А.К. Черновец. – Спб.: Санкт-Петербург. гос. ун-т, 1992. -89 с.
2. Электротехнический справочник: В 4 т. Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. редактор А.И. Попов). – 9-е изд. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 964 с.

УДК 621.311

## КРУПНЕЙШИЕ АЭС В МИРЕ THE LARGEST NUCLEAR POWER PLANTS IN THE WORLD

В.Н. Коршун

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель.

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

V. Korshun.

Supervisor – N. Petrashevitch, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** Число атомных электростанций за эти годы возросло. По состоянию на 2020 год в мире насчитывается более 400 атомных электростанций. В настоящее время более 14% мировой электроэнергии поступает с атомных электростанций. Есть станции, которые поражают своими размерами. Это такие атомные станции как Кашивадзаки-Карива, Брюс, Гравелинская атомная электростанция и многие другие. Каждая из них уникальна и имеет свои отличительные черты.

В данной статье мы сможем рассмотреть ТОП-12 крупнейших атомных станций мира, увидеть особенности каждой из них и познакомиться с каждой станцией поближе.

**Abstract:** Nuclear power plants have risen in numbers over the years. There are over 400 nuclear power plants across the world as of 2020. Currently, more than 14% of the world's electricity comes from nuclear power plants. There are stations that are striking in their size. These are such nuclear power plants as Kashiwazaki-Kariwa, Bruce, Gravelin Nuclear Power Plant and many others. Each of them is unique and has its own distinctive features.

In this article, we will be able to review the TOP 12 largest nuclear power plants in the world, see the features of each of them and get to know each station better.

**Ключевые слова:** атомные электростанции, электроэнергия, реактор, общая мощность авария.

**Keywords:** nuclear power plants, electric power, reactor, total power accident.

### **Введение.**

Спрос растёт на электроэнергию во всем мире, а также растёт необходимость разработки и использования безопасных, надежных и, в том числе, экономически эффективных источников электроэнергии, которые подталкивают многие страны к сооружению новых атомных электростанций [1].

### **Основная часть.**

Рассмотрим ТОП-12 крупнейших атомных электростанций в мире.

#### **12. Атомная электростанция Хамаока-3617.**

Хамаока – это атомная электростанция, расположенная недалеко от городка Омаэдзаки, где располагается центр по изучению атомной энергии. Атомная электростанция расположена недалеко от города, на берегу моря. Сейсмологи прогнозируют в ближайшие 30 лет сильное землетрясение, магнитуда которого

составит 8,0 в районе атомной электростанции Хамаока. Учёные утверждают, что вероятность естественной катастрофы составляет около 87% [5].

Мощность данной АЭС составляет 3617 МВт. На сегодняшний день эксплуатируется 3 из 5 реакторов, а остальные два реактора были остановлены, т.к. проводятся технические работы по защите от стихийных бедствий и повышению безопасности [3].

### **11. Балаковская атомная электростанция.**

Балаковская АЭС – одна из крупнейших атомных электростанций, расположенных в России. На электростанции эксплуатируются реакторы типа ВВЭР-1000. В настоящее время данный реактор вырабатывает около 30 миллиардов киловатт-часов электроэнергии в год. Именно поэтому доля Балаковской АЭС в общей выработке электроэнергии, вырабатываемой в Саратовской области, составляет более 75%, а его электроэнергия поставляется таким потребителям, как Поволжья, Центральной России, Урала и Сибири [1].

Балаковская АЭС - признанный лидер российской атомной энергетики по многим показателям: станция 17 раз удостоивалась звания "Лучшая АЭС России". А именно, в конце 1995, 1999, 2000, 2003, 2005 и 2009 годов, а также 2011, 2012, 2013, 2014, 2016 и 2017, 2018 и 2019 годов [2].

К концу 2020 года Балаковская АЭС в десятый раз признана лучшей среди российских атомных электростанций по культуре безопасности.

За все 35 лет эксплуатации Балаковской АЭС никакого негативного воздействия на окружающую среду не наблюдалось. Радиационная обстановка в районе Балаковской АЭС не изменилась и находится на уровне фоновых значений, характерных для европейской части России, которые наблюдались здесь до строительства станции. Это свидетельствует о высоком уровне его экологической безопасности [1].

### **10. Атомная электростанция Пало-Верде.**

Атомная электростанция Пало-Верде является крупнейшей атомной электростанцией в Соединенных Штатах. Расположена она в Аризоне, недалеко от города Топопа, в 80 километрах к западу от Финикса. Атомная электростанция Пало-Верде обеспечивает электроэнергией города, лежащие недалеко от самой станции, с населением более 4 миллионов человек, а также Финикс и всю Южную Калифорнию. Всего на АЭС "Пало-Верде" эксплуатируются три реактора типа PWR, общая мощность которых составляет 4174 МВт [3].

Интересным моментом является использование сточных вод из близлежащих муниципалитетов в качестве охлаждающей воды, а в сезон дождей используются воды из реки Гила. Всё это связано с тем, что атомная электростанция расположена в пустыне. Пало-Верде – единственная атомная электростанция в мире, которая не имеет возле себя большого водоема [1].

### **9. Атомная электростанция Хуньянхэ.**

Именно на этой станции завершил опытную эксплуатацию и приступил к коммерческой эксплуатации первый китайский реактор третьего поколения АСПР-1000, который был разработан без участия иностранных партнеров. Атомная электростанция расположен на побережье Ляодунского залива Желтого моря в городе Вафаньянь.

### **8. Каттеномская атомная электростанция.**

Атомная электростанция Каттеном располагается на окраине небольшого городка Каттеном. Строительство Катеномской АЭС продолжалось с 1979 по 1991 год. За эти годы было построено и запущено четыре реактора. Все они относятся к типу PWR, мощность каждого составляет 1362 МВт [3]. Таким образом, мощность АЭС "Катеном" составляет 5448 МВт [5]. Это делает её одной из крупнейших атомных электростанций во Франции.

Интересным моментом является система охлаждения атомной электростанции. Было специально создано искусственное озеро Миргенбах для станции Катеномов. Однако, этого не всегда было достаточно. Поэтому в 2003 году, во время летней жары в Европе, станции разрешили использовать воду непосредственно из реки Мозель.

### **7. Атомная электростанция Палуэль.**

Атомная электростанция Палуэль является второй по мощности атомной электростанцией Франции. Располагается она на севере страны, в Верхней Нормандии, в департаменте Сена-Море. Всего на АЭС "Палуэль" установлено 4 реактора, все водо-водяного типа PWR. Общая мощность электростанции Палуэль составляет 5528 МВт [1].

Общая численность персонала АЭС "Палуэль" составляет в среднем 1250 высококвалифицированных специалистов.

### **6. Гравелинская атомная электростанция.**

Шестое место в данном ТОПе занимает Гравелинская атомная электростанция. Это крупнейшая атомная электростанция во Франции, а также Западной Европе. Расположена, как и вторая по величине атомная электростанция страны Палуэль, на севере Франции, в 20 километрах от города Дюнкерк, на побережье Северного моря. Электростанция состоит из шести реакторов мощностью 900 МВт. В 2010 году данные реакторы первой атомной электростанцией, которые производят тераватт-часовую электроэнергию в мире.

С 2006 года на Гравелинской атомной электростанции произошло три небольшие ядерные аварии. Общая мощность крупнейшей во Франции атомной электростанции Graveline равна 5706 МВт., что даёт возможность Гравелину занять первое место в Западной Европе [4].

### **5. Юнваньская атомная электростанция (Ханбит).**

Юнваньская атомная электростанция или Ханбит, одна из двух крупнейших атомных электростанций, расположенная в Южной Корее, недалеко от города Юнвань, который и дал ей свое первоначальное название.

Всего на станции установлено 2 реактора типа WF и четыре реактора типа OPR – все действующие и общего водо-водяного типа PWR. Общая мощность атомной электростанции Ханбит составляет 5875 МВт, что всего на 6 МВт уступает крупнейшей атомной электростанции Южной Кореи – Ханулю [3].

Название Ханбитская АЭС получила в мае 2013 года, до этого она называлась Юнвань. Это произошло по просьбе местных рыбаков, которые не хотели, чтобы их продукция была связана с ядерной энергией и радиацией. Корейские рыбаки не хотели, чтобы их ассоциировали с чистой и "здоровой" атомной энергетикой страны.

#### **4. Атомная электростанция Ханул.**

Атомная электростанция Ханул, ранее известная как Ульчин до 2013 года, является одной из двух крупнейших атомных электростанций в Южной Корее. Всего на АЭС "Шин-Ханул" работают 2 энергоблока СР1, четыре действующих энергоблока ОНР и два строящихся энергоблока АНР. Все они могут быть отнесены к типу РWR "вода-вода". На данный момент общая мощность Ханульской АЭС, ранее Ульчинской, составляет 5 881 МВт, что позволяет ей считаться крупнейшей атомной электростанцией Южной Кореи [5].

Первый энергоблок станции Ханул был запущен в 1988 году. Седьмой и восьмой энергоблоки были заложены в 2012 году с планом ввода в эксплуатацию в 2018 году.

#### **3. Запорожская атомная электростанция.**

Запорожская АЭС – атомная электростанция, которая расположена в степной зоне на берегу Каховского водохранилища в Запорожской области Украины недалеко от города Энергодар. Энергоблоки: 6 энергоблоков ВВЭР-1000/320 мощностью 1000 МВт каждый. Это самая большая электростанция в Европе, решение о её строительстве было принято в 1978 году. Ежегодно завод вырабатывает около 40 млрд кВт\*ч электроэнергии, что составляет пятую часть всего годового производства электроэнергии в государстве и половину ее производства на украинских АЭС [1].

По итогам 2009 года Запорожская АЭС была признана полностью соответствующей требованиям МАГАТЭ. Данная АЭС – первая среди атомных электростанций Украины с реакторами ВВЭР-1000, которая построила сухое хранилище отработавшего ядерного топлива.

Технология Запорожской АЭС основана на хранении отработавших тепловыделяющих сборок в вентилируемых бетонных контейнерах, которые располагаются на специальной огороженной территории.

#### **2. Атомная электростанция Брюс.**

АЭС Брюса – крупнейшая в Канаде атомная электростанция. Расположена на берегу озера Гурон, в канадской провинции Онтарио. Огромная атомная электростанция занимает 932 гектара земли и включает в себя 8 реакторов типа КАНДУ, построенных в период с 1970 по 1987 год [5].

Общая мощность Брюсовской АЭС составляет 6 232 МВт. Два реактора были вновь введены в эксплуатацию после планового многолетнего ремонта в начале века. Этот показатель позволяет АЭС Брюс занять второе место в мире после АЭС Кашивадзаки-Карива по мощности и первое в Канаде и Северной Америке, обогнав американскую Пало-Верде и украинскую Запорожскую АЭС.

В 1990 году на четвертом энергоблоке АЭС "Брюс" произошла аварийная ситуация из-за перегрузки топлива. В результате чего, из первого контура реактора вытекла тяжелая вода. Реактор был остановлен и охлажден по стандартной аварийной системе. Большая часть воды содержалась, однако энергоблок был снят с производства на 12 недель. Причиной аварии был признан сбой в программном обеспечении компьютера.

#### **1. Атомная электростанция Кашивадзаки-Карива.**

Атомная электростанция Кашивадзаки-Карива, также крупнейшая атомная электростанция в мире, расположена в префектуре Ниигата, Япония, недалеко от города Касивадзаки. Кашивадзаки-Карива была построена в 1977 году и сдана в эксплуатацию в 1985 году. АЭС Кашивадзаки-Карива в настоящее время включает в себя семь реакторов: 5 кипятик-вода типа BWR и еще 2 улучшенных кипятик-вода – ABWR. Именно на этой атомной электростанции были запущены первые в мире реакторы типа ABWR [3]. Кашивадзаки-Карива вообще во многом первая атомная электростанция в мире. Общая мощность крупнейшей в мире и Японии атомной электростанции "Кашивадзаки-Карива" составляет 8212 МВт. 16 июля 2007 года в результате землетрясения магнитудой 6,8 на атомной электростанции произошла аварийная ситуация, котопрая была вызванна пожаром и утечкой радиации. После этого реакторы были остановлены и вновь запущены только в начале мая 2009 года после ряда восстановительных работ, а также улучшений сейсмостойкости АЭС Кашивадзаки-Карива.

После аварии на АЭС "Фукусима-1" многие АЭС Японии были остановлены, чтобы провести дополнительные работы по предотвращению возможных подобных ситуаций. В частности, Кашивадзаки-Карива был остановлен 5-22 августа 2011 года. Планировалось построить плотину высотой 15 метров для защиты АЭС от цунами, а также увеличить бассейн для хранения радиоактивной воды. В апреле 2014 года были запущены шестой и седьмой энергоблоки Кашивадзаки-Карива [2].

### **Заключение.**

При сложном технологическом процессе атомная энергия остается самой дешевой, и человечество не скоро сможет полностью отказаться от нее. Крупные аварии в Чернобыле и Фукусиме заставили человечество переосмыслить свое отношение к атомной энергетике.

Соблазн увеличить мощность атомных электростанций велик, но, прежде всего, при проектировании и строительстве, а также при эксплуатации станций необходимо учитывать вопросы экологической безопасности, минимизации радиоактивного загрязнения и защиты от воздействия природных стихий.

### **Литература**

1. Атомной энергетике XX лет. М.: Атомиздат, 1974.
2. Атомные электрические станции. Вып. 2. М.: Энергия, 1979.
3. Будов В. М., Безносков А. В., Фараонов В. А. Основное оборудование АЭС. Горький: ГПИ им. А. А. Жданова, 1979.
4. Топ 10 самых мощных АЭС в мире [Электронный ресурс]. -Режим доступа:<https://zen.yandex.ru/media/id/5c6134d80d88fd00adedb726/top-10-samyh-moscnyh-aes-v-mire-5e19ee9e16ef9000add962e4/>. – Дата доступа: 27.03.2021.
5. Список самых больших АЭС в мире [Электронный ресурс]. -Режим доступа:<https://thebiggest.ru/zdaniya-i-sooruzheniya/spisok-samyh-bolshih-aes-v-mire.html/>. – Дата доступа: 27.03.2021.



УДК 621.311

## УМНЫЕ СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ SMARTGRID

Е.В. Куделько

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич, старший преподаватель.

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

E. Kudelko

Supervisor – N. Petrashevitch, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** *В мире количество полезных ископаемых, которое нам нужно для производства энергии, сокращается с каждым годом. В связи с этим страны ставят перед собой задачу найти альтернативные и экологически чистые источники энергии. В ближайшие годы энергия будет производиться, транспортироваться, но тем ли способом, под которую система питания была изначально спроектирована?*

*Подход к модернизации сетевой инфраструктуры с элементами Smart grid на является первой необходимостью и эта необходимость вызвана моральным износом инфраструктуры.*

**Abstract:** *Globally, the amount of minerals we need to generate energy is decreasing every year. In the coming years, energy will be produced, transported, but in the way in which the power system was originally designed?*

*An approach to modernizing network infrastructure with elements of intelligent infrastructure.*

**Ключевые слова:** *Smart grid, электроэнергия, диспетчер, потери, датчики.*

**Keywords:** *Smart grid, electricity, dispatcher, losses, sensors.*

### **Введение.**

В Беларуси электроэнергетика состоит практически из электростанций одного типа — тепловых. Это государственные районные электростанции (ГРЭС) и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ). ГРЭС вырабатывают только электрическую энергию, ТЭЦ — электрическую и тепловую. В республике имеются и гидравлические электростанции (ГЭС) [1]. Они располагаются вблизи городов и промышленных районов и доставляют энергию потребителю. Этого хватает, чтобы энергия шла по всем направлениям в энергосистеме.

В процессе эксплуатации оборудование, которое используется в современной энергосистеме Беларуси теряет свои электрические свойства, что приводит к необходимости его замены. В связи с этим возникает 2 вопроса:

- Модернизация энергосистемы
- Инновационный подход к модернизации

### **Основная часть.**

Процесс передачи энергии не изменился за последние 100 лет.

Станции передают энергию по линиям электропередачи на подстанции и трансформаторы, по линиям меньшего напряжения, пока электричество не достигнет вашего ноутбука или телефона, подключенного к сети.

Так как электроны путешествуют с огромной скоростью, каждый киловатт должен быть использован мгновенно. Поэтому существуют коммунальные службы, которые пытаются сопоставить подачу электроэнергии идеально и почти мгновенно по запросу.

При одностороннем взаимодействии, которое создавалась между станциями и потребителем, было сложно реагировать на постоянно меняющуюся и растущую потребность в электроэнергии соответствующую требованиям 21-го века.

Уже в 80-х энергосистема становилась все умнее, коммунальные предприятия начали вводить датчики в местах, которые потребляют много электроэнергии, например, на заводах, эти датчики отправляют обратно, в реальном времени, данные об использовании энергии, чтобы коммунальные предприятия знали сколько электроэнергии, требуется в данный момент. [2] Таким образом создается двухсторонний диалог электричеством и информацией между потребителем и станцией.

Поскольку датчики становятся все дешевле и дешевле, а такие технологии как беспроводная интернет-связь получают широкое распространение, коммунальные предприятия добавляют в сеть все более и более сложные датчики. Это означает, что поток информации будет приниматься и анализироваться быстрее, для обнаружения мест сбоев питания. Это позволяет перенаправить электричество или избежать нагрева линий.

Данный расчёт позволяет избавиться от необходимости резервного питания и использовать менее надежные, но более чистые источники электроэнергии, такие как ветер или солнечные лучи.

Такой подход позволит объединить электрические схемы городов и перевести их в цифровой формат, что позволит диспетчеру наблюдать в реальном времени за состоянием всего оборудования.

Распределительная система направляет электроэнергию от сети к потребителям через переключатели линий электропередач и трансформаторы коммунальных служб. Обычно они полагаются на сложные схемы распределения мощности и ручное переключение, чтобы обеспечить бесперебойную передачу энергии своим клиентам. Любой перерыв в этой системе вызванные штормами, плохой погодой или внезапными изменениями спроса на электроэнергию могут привести к отключениям. Умные сети предотвращают это за счет автоматической локализации проблемы и перемаршрутизации электроснабжения.

Соответственно, у диспетчера есть информация об уровне напряжения или отсутствии напряжения, которая позволяет, не сходя с рабочего места определить, что произошло, и с помощью соответствующих программ расчёта делает оптимальный выбор для решения той или иной задачи.

По данным города Уфа, где активно развивается система SmartGrid, разница между локализацией проблемы и подачей напряжения составила от двух с

половиной часов до двух минут - вот в этом и заключается преимущество новой системы управления электрическими сетями.

Результатом пилотного проекта в том же городе Уфа явилось снижение коммерческих потерь на 70% и технических потерь на 30%, что явно является успехом.

#### **Заключение.**

Электросетевой комплекс как в нашей, так и в большинстве других стран подходит к завершению своего жизненного цикла и находится на пороге глобального обновления. Программы разработки и внедрения умных сетей введены на государственном уровне в Европе, США, Китае и других развитых и развивающихся странах. Институтом энергетики НАН Беларуси ведутся дискуссии насчет внедрения технологий SmartGrid в Республике Беларусь. Видимо, и в нашей стране в скором будущем появится возможность выбора поставщика электроэнергии, а про аварийные отключения электроэнергии в целых районах и вовсе забудем.

#### **Литература**

1. Производство и распределение электроэнергии [Электронный ресурс].-Режим доступа:<https://projecteducation.ru/explore/belarus/item/243-proizvodstvo-i-raspredelenie-elektroenergii>– Дата доступа: 23.04.2021.

2. Умные сети электроснабжения [Электронный ресурс].-Режим доступа:[https://ru.wikipedia.org/wiki/Умные\\_сети\\_электроснабжения](https://ru.wikipedia.org/wiki/Умные_сети_электроснабжения)– Дата доступа: 23.04.2021.

УДК 621.3

**НОМИНАЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И СИСТЕМ**  
**RATED VOLTAGES OF ELECTRIC NETWORKS AND SYSTEMS**

В.В. Лесюкова

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

elsyst@bntu.by

V. Lesyukova

Supervisor – V. Makarevich, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В тезисе рассмотрены понятие номинального напряжения сетей и систем, их классификации по уровню номинального напряжения, а также назначение каждого класса электросетей.*

***Abstract:** the concept of the rated voltage of networks and systems, their classification by the level of rated voltage, as well as the purpose of each class of power networks are considered.*

***Ключевые слова:** номинальное напряжение, электроэнергия, сети, передача и распределение электрической энергии.*

***Keywords:** rated voltage, electricity, networks, transmission and distribution of electrical energy.*

**Введение**

Номинальное напряжение – важнейшая характеристика любой электрической системы, определяющая уровень ее изоляции в режиме нормальной работы. По номинальному напряжению сети производится подбор электрического оборудования всей энергосистемы. Номинальное напряжение сетей и систем устанавливается ГОСТом.

**Основная часть**

ГОСТом 721-78 устанавливаются следующие значения номинальных напряжений для сетей трехфазного переменного тока напряжением до 1 кВ:

- 1) для сетей и приемников – 380/220 В; 660/380 В;
- 2) для источников – 400/230 В; 690/400 В.

Характерно принятие номинального напряжения генераторов, увеличенного на 5% по сравнению с номинальным напряжением подключаемых к ним линий. Это производится для компенсации потерь напряжения в питаемой сети. Аналогичные действия принимаются и для первичных обмоток повышающих трансформаторов.

Однако для первичных обмоток понижающих трансформаторов характерно номинальное напряжение, равное номинальному напряжению питающих линий [1, 2].

Номинальные напряжения трехфазного тока представлены в таблице 1:

Таблица 1 - Номинальные напряжения трехфазного тока

Сети и приемники	Трансформаторы и автотрансформаторы				Наибольшее рабочее напряжение
	без РПН		с РПН		
	первичные обмотки	вторичные обмотки	первичные обмотки	вторичные обмотки	
6	6 и 6,3	6,3 и 6,6	6 и 6,3	6,3 и 6,6	7,2
10	10 и 10,5	10,5 и 11	10 и 10,5	10,5 и 11	12,0
20	20	22	20 и 21,0	22,0	24,0
35	35	38,5	35 и 36,5	38,5	40,5
110	-	121	110 и 115	115 и 121	126
220	-	242	220 и 230	230 и 242	252
330	330	347	330	330	363
500	500	525	500	-	525
750	750	787	750	-	787

Так как для уменьшения потерь передача и распределение электрической энергии производится на высоких напряжениях, то сети по уровню номинального напряжения принято делить на [3]:

- низкого (до 1 кВ),
- среднего (от 1 до 35 кВ),
- высокого (110-220 кВ),
- сверхвысокого (330-750 кВ),
- ультравысокого (свыше 1000 кВ) напряжений.

Предназначение каждого класса электрических сетей представлено в таблице 2:

Таблица 2 - Назначение классов электросетей

Сети	<1 кВ	1-35 кВ	110-220 кВ	330-750 кВ	> 1000 кВ
	НН	СН	ВН	СВН	УВН
Охват территории	Местные		Районные	Региональные	
Назначение	Распределительные			Системообразующие	
Характер потребителей	Городские, промышленные, сельскохозяйственные			-	

Выбор напряжения сети производится одновременно с выбором схемы электроснабжения.

### Заключение

Таким образом, номинальное напряжение электрических сетей является важнейшей характеристикой, определяющей правила функционирования всей энергосистемы, обеспечивающей непрерывное электроснабжение потребителей вкупе с максимальной экономичность использования.

### Литература

1. Номинальные напряжения электрических сетей и области их применения [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://electricalschool.info/main/elsnabg/645-nominalnye-naprzazhenija.html>. – Дата доступа: 15.03.2021.

2. Номинальные напряжения электрических сетей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elesant.ru/teoriya-elektrosetej/elektricheskie-seti/nominalnye-napryazheniya-elektricheskikh-setej>. – Дата доступа: 15.03.2021.

3. Напряжение электрических сетей и область их применения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studme.org/313763/tehnika/napryazheniya\\_elektricheskikh\\_setey\\_oblast\\_prime\\_neniya](https://studme.org/313763/tehnika/napryazheniya_elektricheskikh_setey_oblast_prime_neniya). – Дата доступа: 15.03.2021.

УДК 621.315.05

## ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЛАЗЕРОМ POWER TRANSMISSION BY LASER

Д.С. Лялюк, Д.А. Бурдин, И.В. Гуцев  
Научный руководитель – В.А. Ханевская, инженер  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь  
[haneuskaya@bntu.by](mailto:haneuskaya@bntu.by)  
D. Lyalyuk, D. Burdin, I. Gutsev  
Supervisor – V. Xanevskaya, engineer  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** использование передачи электроэнергии для улучшения качества и эффективности зарядки беспилотных устройств.

**Annotation:** using power transmission to improve the quality and efficiency of charging unmanned devices.

**Ключевые слова:** лазер, энергия, беспилотник, фотоэлемент, свет, волна.

**Keywords:** laser, energy, drone, photocell, light, wave.

### Введение

В настоящее время ученые всего мира решают проблемы энергетики, чтобы обеспечить человечество комфортной жизнью. Благодаря проблемам, с которыми они сталкиваются, у ученых появляется стимул разработать и ввести в эксплуатацию новые технологии, более прогрессивные, практичные и дешевые. Ярким примером служит передача энергии лазером и беспроводная транспортировка мощности, что экономит большие деньги в промышленных масштабах [1]. Так же этот способ является открытием в космоиндустрии, когда передача энергии по силовым кабелям невозможна. Данный формат передачи энергии пока возможно применить для зарядки беспилотника относительно небольших размеров и на небольшом расстоянии.

### Основная часть

Лазерный метод передачи энергии известен давно, но эффективность его не имела смысла, так как коэффициент полезного действия составлял в пределах 10-20%. Если учесть все потери на передачу и преобразование световой энергии в электричество, то в результате остается всего 2-3 % от исходной мощности. Ситуация изменилась лишь в нулевых годах нашего столетия, появились инфракрасные лазеры с КПД 40-50% и фотоэлектрические модули в основе которых лежит арсенид галлия, которые способны преобразовывать в электричество до 40-70% энергии лазера.

Для сравнения солнце излучает свет в широком диапазоне волн, следовательно, солнечные панели усложняются конструкцией и возрастают в цене, но при этом батареи могут улавливать фотоны разной энергии. С лазерным лучом требуется ювелирная работа, он имеет определенную частоту и позволяет подобрать материал фотоэлемента, чтобы кванты энергии данной длины волны “выбивали” из него наибольшее число электронов. За счет этого происходит

уменьшение конструкций, уменьшение размеров и повышает КПД данной технологии.

При углубленном изучении данной темы встречаются первые трудности. Например, при использовании инфракрасных лазеров с длинами волн 808 и 1064 нм. КПД составляет 40%, но использование длины волны 808 приемлемо только на малых дистанциях, уже при удалении на 1 км пучок света возрастет до 100см. в размытое пятно. По аналогии с 1064 длины волны при таком же отдалении пятно составит лишь 3 см.

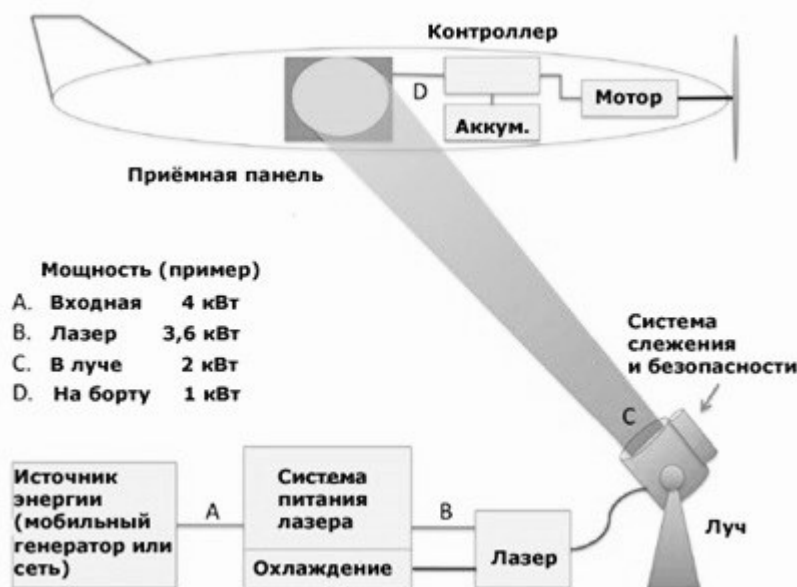


Рисунок 1 – Схема передачи энергии лазером

Данный метод передачи энергии в настоящее время возможно применить для зарядки беспилотников в воздухе, для быстрой и практичной зарядки дронов в воздухе – спутников в космосе.

Возникает вопрос, каким образом лазер будет попадать точно в цель. На этот вопрос нашли ответ российские ученые, они разработали систему наведения лазерного луча, которая будет удерживать беспилотник на прицеле лазера.

При изучении данного метода были рассмотрены возможные метеорологические помехи, как показывает опыт, дождь не повлиял на лазерное излучение, в свою очередь пыль, дым и колебания воздуха от фасадов нагретых высоких зданий затруднили прохождение лазера до назначенного объекта. Если это проблема на земле, то в космосе, где межкосмическое пространство заполнено вакуумом, таких трудностей не возникает [2].

### Заключение

Из этой статьи можно сделать вывод, что данный метод необходимо развивать и совершенствовать. Необходимо достичь наибольшего значения КПД, приемлемой стоимости установок и простоту обслуживания. Лазерами передавать энергию эффективно в космосе, где нет природных явлений, которые мешают работе. Так же данная технология сделает техническую часть зарядки дронов, телефонов и других гаджетов намного проще и комфортнее.



### Литература

1. Популярная механика [Электронный ресурс]/ популярная механика. - Режим доступа: <https://www.popmech.ru/>.- Дата доступа: 15.04.2021.
2. Интересные радиосхемы [Электронный ресурс]/ интересные радиосхемы. –Режим доступа: [https://radioskot.ru/blog/peredacha\\_ehlektrichestva\\_na\\_rasstojanie\\_lazerom/2016-10-16/](https://radioskot.ru/blog/peredacha_ehlektrichestva_na_rasstojanie_lazerom/2016-10-16/).- Дата доступа: 15.04.2021.

УДК 621.311

**ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА. ТЕХНОЛОГИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И  
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ. ПЛЮСЫ, МИНУСЫ,  
ПЕРСПЕКТИВЫ**

**WIND ENERGY. CONVERSION TECHNOLOGIES AND MAIN  
CHARACTERISTICS. PROS, CONS, PROSPECTS**

А.В. Манько

Научный руководитель – Н.С. Петрашевич  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
nik.petrashevitch@gmail.com

A.Manko

Supervisor - N. Petrashevich, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** сущность науки ветроэнергетики, анализ ее основного предназначения. Основные преимущества и недостатки ветровой энергии. Ветроэнергетические установки (ветроустановки), основные условия при их проектировании. Ветроэлектростанции индивидуального пользования.*

***Abstract:** the essence of the science of wind energy, the analysis of its main purpose. The main advantages and disadvantages of wind energy. Wind power plants (wind turbines), the main conditions for their design. Windfarms for individual use.*

***Ключевые слова:** ветроэнергетика, ветрогенераторы, ветряные турбины, ветроэлектростанции, преобразование энергии.*

***Keywords:** wind power, wind generators, wind turbines, wind farms, energy conversion.*

**Введение**

По определению энергия ветра - это энергия, производимая ветром. Эта механическая энергия используется для ветровых турбин, винтов, установленных в верхней части пилонов и вращающихся под действием ветра. Вращение пропеллеров приводит в действие систему, производящую электричество. Ветряная турбина, которую также называют аэрогенератором, - это машина, которая позволяет превращать энергию ветра в механическое движение, а затем чаще всего в электричество. Когда мы создаем только механическую силу для приведения в действие насоса, мы будем говорить только о ветряной турбине. [4] Ветроэнергетика в настоящее время считается развивающейся отраслью. Энергия ветра является не прямой формой солнечной энергии: солнечные лучи, поглощаемые в атмосфере, приводят к различиям температуры и давления. В результате воздушные массы приходят в движение и накапливают кинетическую энергию.

По данным WindEurope, в 2019 году 48% всей электроэнергии было произведено в Дании с использованием ветряных турбин, в Ирландии-33%, в Португалии-27%, в Германии-26%, в Великобритании-22%, в Испании-21%, в ЕС в целом-15%. В 2014 году 85 стран мира использовали энергию ветра на

коммерческой основе. В конце 2015 года в ветроэнергетике работало более 1 000 000 человек по всему миру, а также 500 000 человек в Китае и 138 000 человек в Германии. [1]

### Основная часть

Воздушные потоки на поверхности Земли или моря ламинарны, то есть нижележащие слои замедляют те, что расположены выше. Этот эффект можно заметить до высоты 1 км, но он уже резко снижается на высотах выше 100 м. Расположение генератора над этим пограничным слоем одновременно увеличивает диаметр лопастей и освобождает участки на земле для других видов деятельности. Генераторы 2010 года уже достигли этого рубежа. Ветрогенератор начинает вырабатывать ток при скорости ветра 3 м / с и выключается при скорости ветра более 25 м/с. При ветре 15 м/с достигается максимальная мощность. Выходная мощность пропорциональна третьей степени скорости ветра. Это означает, что при удвоении скорости ветра с 5 м / с до 10 м / с мощность увеличивается в восемь раз.

Наиболее распространенные ветряные электростанции состоят из генератора, мачты, хвостовика, инвертора, контроллера и аккумуляторной батареи. Сила ветра вращает колесо с лопастями, тем самым передавая крутящий момент через редуктор на вал генератора. Помимо ветрогенератора, установка включает в себя:

1. Контроллер. Он преобразует переменный ток, генерируемый генератором, в постоянный ток для зарядки батарей.;

2. Аккумуляторные батареи. Они служат для накопления электроэнергии и последующего ее использования энергосистемой в безветренные часы. Они также выравнивают и стабилизируют выходное напряжение от генератора;

3. Анемоскоп и датчик направления ветра. Они отвечают за сбор данных о скорости и направлении ветра в установках средней и высокой мощности;

4. Автоматический выключатель питания (AVR). Автоматическое переключение между несколькими источниками питания через интервал времени 0,5 секунды при исчезновении основного источника питания. Она позволяет объединить ветряную турбину, общественную энергосистему, дизель-генератор и другие источники энергии в единую автоматизированную систему;

5. Инвертор преобразует ток из постоянного тока, который накапливается в батареях, в переменный, который потребляет большинство электроприборов.

Ветряные турбины бывают вертикальными и горизонтальными. Вертикальные с вертикальной осью вращения относительно поверхности земли, они менее шумны и долговечны и устанавливаются на крышах любой формы, также легко монтируются на любой поверхности без мачты и не требуют ориентации по ветру, а горизонтальные - с горизонтальной осью вращения, имеют больший КПД при низкой стоимости генератора. Ветрогенераторы используются для удовлетворения потребностей промышленных объектов, а также частных домов и коттеджей. Например, при средней нагрузке в квартире 0,5 кВт и пиковой 4-5 кВт ветрогенератор мощностью 5 кВт может обеспечить потребности в электроэнергии даже при слабом ветре. Ветрогенераторы в основном используются при среднегодовой скорости ветра не менее 5 м/с.

Однако все большее распространение получают легко разгоняемые ветряные турбины, способные эффективно вырабатывать электроэнергию при скорости ветра не более 3,5 м/с. Если есть хороший ветровой потенциал, то целесообразнее использовать ветрогенератор в качестве основного источника энергии, а существующую энергосистему - в качестве резервной.

Использование энергии ветра хорошо используется при строительстве высотных зданий. Мощные ветряные турбины устанавливаются внутри самого здания, как правило, на технических этажах. Они позволяют ветру дуть через здание, не создавая сквозняков и воздушных отверстий. Благодаря обтекаемой форме здания воздушные массы, поступающие в специальные каналы ветрогенераторов, будут воздействовать на установленные ветрогенераторы. Это позволит вырабатывать всю необходимую энергию генераторами, что значительно снизит стоимость других видов электроэнергии. А также такие установки позволят контролировать уровень охлаждения здания, что предотвратит его перегрев.

Наиболее эффективно одновременное использование различных видов альтернативной энергии, таких как ветровая и солнечная или геотермальная. Поскольку они дополняют друг друга, то гарантируют производство достаточного количества электрической энергии на любой территории и в любых климатических условиях.

Есть разработки, которые направлены на модернизацию современных схем. Например, сотрудники Челябинского государственного агроинженерного университета С. К. Шерязов и Р. А. Ахметжанов изобрели комбинированное устройство для горячего водоснабжения с использованием солнечной и ветровой энергии. Устройство для горячего водоснабжения состоит из солнечного коллектора, трехсекционного аккумуляторного бака, в верхней секции которого расположен дополнительный нагреватель, электрически соединенный с ветрогенератором. В средней секции находился нагреватель, электрически соединенный с ветротурбиной, теплообменник, вход которого соединен с выходом солнечного коллектора через трехходовой клапан, а выход соединен со входом дополнительного теплообменника, расположенного в нижней секции аккумуляторного бака, а его выход соединен со входом солнечного коллектора. Вход дополнительного теплообменника соединен переключкой с трехходовым клапаном. Устройство имеет насос для перекачки воды из верхней секции аккумуляторного бака в его среднюю секцию и насос для перекачки воды из нижней секции аккумуляторного бака в его среднюю (или верхнюю) секцию через трехходовой клапан. Устройство обеспечивает повышение надежности горячего водоснабжения и эффективности преобразования солнечной и ветровой энергии в тепловую.

Цель изобретения - повышение надежности горячего водоснабжения при совместном применении солнечной и ветровой установок, а также эффективности преобразования солнечной и ветровой энергии в тепловую.

Преимущества ветроэнергетики в 2021 г.

1. Энергия — ветра-это возобновляемая энергия, которая не требует топлива, не создает парниковых газов, не производит токсичных или

радиоактивных отходов. Борясь с изменением климата, энергия ветра в долгосрочной перспективе участвует в поддержании биоразнообразия природных сред.

2. Ветроэнергетика производит ветроэнергетику: без ухудшения качества воздуха, без загрязнения воды (без сброса в водную среду, без теплового загрязнения), без загрязнения почвы (ни сажи, ни золы).

3. Когда крупные ветряные электростанции устанавливаются на сельскохозяйственных угодьях, для ветряных турбин требуется только около 2 % почвы. Оставшаяся площадь доступна для ведения сельского хозяйства, животноводства и других целей.

4. Землевладельцы, принимающие ветряные турбины, часто получают оплату за использование своей земли, что увеличивает их доход, а также стоимость земли.

5. Ветрогенерация электроэнергии следует за нашим потреблением энергии: ветер дует чаще зимой, в этом сезоне, когда спрос на электроэнергию является самым высоким.

6. Ветроэнергетика является одним из источников производства электроэнергии для достижения целей Европейского Союза на 2020 год: 20% возобновляемых источников энергии (ветроэнергетика и другие) в общем потреблении энергии.

7. Ветроэнергетика обеспечивает безопасность поставок в условиях изменчивости цен на баррель нефти.

8. Энергия ветра дает возможность сократить счета за электроэнергию и может позволить защитить себя от сбоев в электроснабжении.

9. Ветряные турбины позволяют за счет профессионального налога участвовать в местном развитии муниципалитетов с ежегодным взносом в размере около 10 000 евро за МВт генерируемой энергии ветра (эта цифра может варьироваться в зависимости от общин муниципалитетов, участвующих в установке ветряных турбин).

10. Другие сельскохозяйственные и промышленные мероприятия могут продолжаться вокруг ветроэлектростанции.

11. Себестоимость ветряной турбины резко снизилась с 2011 года из-за экономии масштаба, которая была достигнута на их производстве.

Также можно выделить следующие недостатки:

1. Ветроэнергетика-это прерывистая энергия, энергии ветра недостаточно для определения энергетической и экологической политики, решением было бы сопряжение ветроэнергетики с фотоэлектрическими солнечными панелями.

2. Воздействие на ландшафт (эстетика), проблема шума (который в основном замечен с ветряными турбинами, импортированными из Азии, проблема электромагнитных помех для ветряных турбин низкого уровня.

3. Энергия ветра зависит от топографии, погоды и окружающей среды.

Несмотря на все преимущества, ветряные турбины имели серьезные недостатки. Эффект от их работы зависел от погодных условий, поэтому в безветренные дни и дни, когда ветер очень сильный, ветряки не могли работать.

[2]

### Частная ветроэнергетика

В настоящее время особый интерес представляет использование энергии ветра для обеспечения электроэнергией и теплом частных домов и коттеджей, то есть ветроэлектростанций индивидуального пользования. Постоянный рост цен на традиционные источники энергии приводит к тому, что многие владельцы частных домовладений уже начали активно использовать альтернативные варианты получения электрической и тепловой энергии. Также используются мини-гидроэлектростанции, солнечные батареи, геотермальные насосы и ветрогенераторы.

При использовании для выработки энергии в индивидуальном домашнем хозяйстве ветрогенераторы обычно комбинируются с другими типами генераторов: солнечными, геотермальными, водяными. Чаще всего такие ветрогенераторы используются в сочетании с солнечными батареями для регулярной подачи бытовой электроэнергии. Геотермальные насосы все чаще используются для отопления.

Небольшие ветроэлектростанции удобны тем, что не требуют специального места для установки, они также достаточно просты в монтаже, имеют короткий срок окупаемости и стабильно вырабатывают электрическую энергию, что особенно актуально для энергетических ветровых зон. Даже не слишком мощный ветрогенератор, установленный на крыше дома или сарая, способен обеспечить бесперебойную подачу электрической энергии, достаточной для освещения дома и приусадебного участка.

Продажи небольших ветроэлектростанций, способных использовать энергию ветра практически в любом регионе, даже там, где ее не хватает для промышленного использования, постоянно растут. Прогнозируется, что такие альтернативные источники энергии будут все чаще использоваться как в государственном, так и в частном секторах, пока они окончательно не заменят традиционную энергию, основанную на органическом топливе. [3]

### Заключение

Ветроэлектростанции могут работать в районах со скоростью ветра выше 4,5 м/с. Они могут работать с сетью существующих электростанций или быть автономными системами. Существуют также так называемые "ветряные электростанции" - это энергоблоки с определенным количеством единиц оборудования, общих для всей системы. Наибольшее количество энергии от ветра в настоящее время производится в США, а Европе - в Дании, Германии, Великобритании, Нидерландах. Германия имеет самую мощную электростанцию в мире - 3 МВт. Aeolus II работает на ветроэлектростанции Вильгельмсхафена и производит 7 миллионов кВт \* ч энергии ежегодно, обеспечивая около 2 тысяч домашних хозяйств. Всего в мире насчитывается уже более 20 тысяч ветроэлектростанций.

Несмотря на большой объем производства, стоимость строительства современной ветроэлектростанции высока. Но стоимость его эксплуатации невелика. Экологические и экономические выгоды зависят от правильного расположения. Это требует детального анализа как технических, так и

экологических аспектов, а также финансовых. Ветроэнергетику можно считать экологически чистым методом производства энергии.

### Литература

1. Ветроэнергетика. [Электронный ресурс]/общие сведения. -Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki> Дата доступа : 28.02.2021.

2. Ветроэнергетика. [Электронный ресурс]/плюсы и минусы ветроэнергетики. -Режим доступа: <https://alternativenergy.ru/vetroenergetika/581-plyusy-minusy-vetroenergetiki.html> Дата доступа : 28.02.2021.

3. Энергия ветра. [Электронный ресурс]/частная ветроэнергетика. -Режим доступа: <https://altenergiya.ru/veter/vetroenergetika-plyusy-i-minusy.html> Дата доступа : 05.03.2021.

4. Ветроэнергетика. [Электронный ресурс]/возобновляемый источник энергии. -Режим доступа: <https://www.energieeolienne.fr> Дата доступа : 16.04.2021

УДК 621.331.3.024

**НАЗНАЧЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ  
ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА  
PURPOSE AND FEATURES OF TRACTION SUBSTATIONS OF  
ELECTRONSPORT**

А.Э. Мартынович, Д.О. Жаркова

Научный руководитель – А. А. Волков, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
volkau@bntu.by

A. Martynovich, D. Zharkova

Supervisor – V. Volkau, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** Тяговая подстанция - часть тяговой системы используется электрифицированными железными дорогами, трамвайными и троллейбусными линиями, метрополитенами. Оборудование в тяговой подстанции преобразует электрический ток и изменяет его частоту, а также распределяет энергию в системы*

***Abstract:** Traction Substation - part of the traction system used by electrified railroads, streetcar and trolleybus lines, and subways. The equipment in attraction substation transforms electric current and changes its frequency, and also distributes the power to the system.*

***Ключевые слова:** Тяговая подстанция, контактная сеть, трамвай, диодный выпрямитель, ртутный дуговой выпрямитель.*

***Keywords:** Traction substation, catenary, tram, diode rectifier, mercury arc rectifier.*

### **Введение**

Тяговые подстанции – часть электрической системы, используемая для передачи и преобразования электрической энергии от линий электропередач в контактную сеть, а именно, в контактную сеть трамвая. Контактная сеть – совокупность элементов, которые необходимы для приведения энергии к системе. Обычно контактный привод изготовлен из меди сечением 65-100 мм<sup>2</sup>.

### **Основная часть**

Электрический рельсовый транспорт (трамвай) уже более века является эффективным средством пассажирских перевозок. С технической точки зрения основным преимуществом трамваев является их низкая потребность в энергии, по сравнению с другими механическими транспортными средствами (особенно легковые автомобили). Экологические факторы играют важную роль. Трамвай во своей работы не загрязняют атмосферу с выхлопными газами (например, CO<sub>2</sub>).

Трамвайная тяга может использовать напряжение постоянного тока. Оно получается путем выпрямления переменного напряжения, подаваемого электрической сетью. В самой простой конструкции, используются только диодные выпрямители. Выпрямленное напряжение не является идеальным, оно



всегда содержит пульсирующую (переменную) составляющую. [1] Величина пульсации меняется. Это зависит, от конструкции трансформаторно-выпрямительного агрегата. В 12-импульсной системе используется трехобмоточный трансформатор, состоящий из одной первичной обмотки и двух вторичных обмоток: одна треугольник, а другая звезда. Дисбаланс вторичных обмоток является дополнительным фактором, увеличивающим пульсацию постоянного напряжения. Для выравнивания вторичных боковых напряжений может быть использован сменный кран.

Схема преобразования энергии для трамвайной городской сети показана на рисунке 1. Основная линия питания (переменное напряжение 6, 15 или 20 кВ) поступает от электросети. Тяговая подстанция содержит высоковольтный коммутационный аппарат, устройства, предназначенные для преобразования переменного/постоянного тока, и коммутационную станцию постоянного тока.

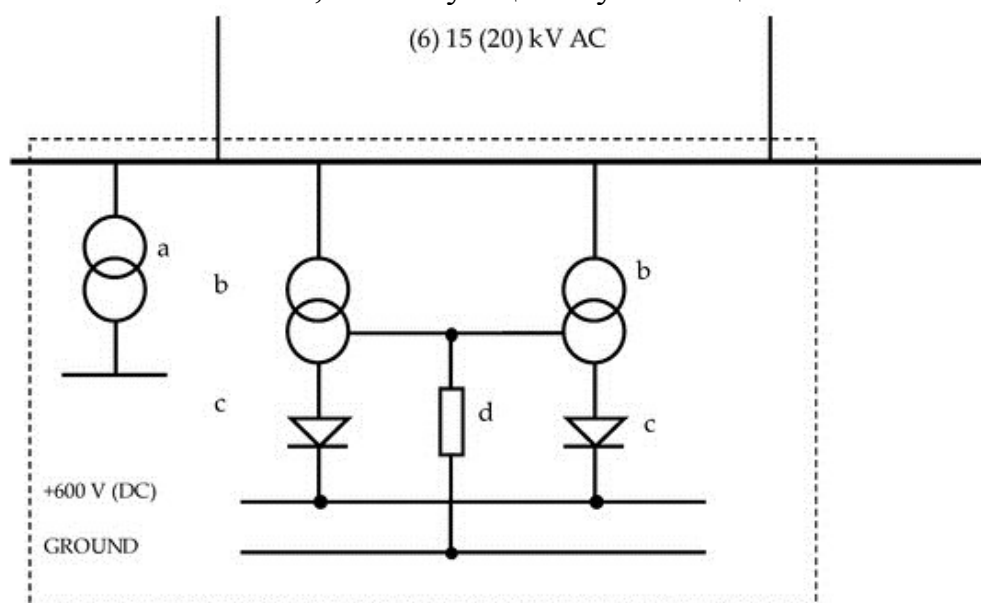


Рисунок 1 Трамвайная тяговая подстанция—упрощенная функциональная схема:  
 а—трансформатор, используемый для нагрузок, отличных от тяговой сети,  
 б—выпрямительный трансформатор, с—выпрямители и d—обратные кабели

Трехфазная система использует трехфазный асинхронный двигатель для привода локомотива, и он рассчитан на 3,3 кВ, 16,7 Гц. Высоковольтная распределительная система при питании 50 Гц преобразуется в эту мощность электродвигателя трансформаторами и преобразователями частоты. Эта система использует две ВЛ, и рельс пути образует еще одну фазу, но это вызывает много проблем на пересечениях и узлах.

Преимущества:

- требуется меньше подстанций
- можно использовать более легкий провод питания накладного тока
- уменьшен вес несущей конструкции
- снижение капитальных затрат на электрификацию.

Недостатки:

- значительные затраты на электрификацию
- повышенная стоимость обслуживания линий

- воздушные провода дополнительно ограничивают зазор в туннелях
- модернизация требует дополнительных затрат, особенно в случае наличия преград и туннелей.

Тяговые подстанции имеют более жесткие эксплуатационные и стабильные ограничения, чем обычные распределительные подстанции. К ним относятся частые короткие замыкания, переходные скачки напряжения, спады и подъемы напряжения. Использование тяговых приводов генерирует значительные гармоники, влияющие на систему питания. [2]

Первоначально тяговые подстанции были оснащены умформерами. Позднее стали применять ртутные выпрямители тока. Ртутный дуговой выпрямитель используется для преобразования переменного тока в постоянный. Он использовался до изобретения твердотельных устройств, называемых тиристорами.

Ртутный дуговой выпрямитель состоял из стеклянной трубки с тремя и более электродами. Когда заданное количество тока нагревается и испаряет ртуть в трубке, уровень мощности может перемещаться через пар на другую сторону. Влияние на форму волны импульса «отрезало» бы начало и конец волны, эффективно действуя подобно диоду. Панель управления могла регулировать уровень отключенного тока, пропуская большую или меньшую мощность. Ртутный дуговой выпрямитель был надежен и мог выдерживать высокие напряжения. Эпоха ртутных дуговых выпрямителей закончилась в 1960-х годах с развитием твердотельных устройств.

### **Заключение**

С помощью тяговых подстанций осуществляется обслуживание наземного электротранспорта, особенно городского: троллейбусы и трамваи. Подстанция преобразует ток, полученный из внешней сети и передает на электротранспорт с помощью контактных проводов или рельс. Чаще всего тяговые подстанции управляются дистанционно, что позволяет им быть полностью автоматизированными.

### **Литература**

1. Esr-energy [Электронный ресурс]/Тяговая подстанция что такое: тяговая подстанция железной дороги — энциклопедия нашего транспорта- Режим доступа: <https://esr-energy.ru/raznoe/tyagovaya-podstanciya-cto-takoe-tyagovaya-podstanciya-zheleznoj-dorogi-enciklopediya-nashego-transporta.html>– Дата доступа: 10.04.2021.
2. Школа для электрика [Электронный ресурс]/Тяговые подстанции. - Режим доступа: <http://electricalschool.info/elstipod/1640-tjagovye-podstancii.html>. – Дата доступа: 10.04.2021.

УДК 510.53

**ВЫБОР ПРАВИЛЬНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ  
SELECTING THE RIGHT ALGORITHM FOR SOLVING PROBLEMS**

К.А. Марчук

Научный руководитель - Е.М. Гецман старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

hetsman@bntu.by

K. Marchuk

Supervisor – E. Hetsman, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** необходимость выбора правильного алгоритма при решении любых задач на примере задачи повышенного уровня, сравнение алгоритмов и выявление их недостатков, а также их быстроедействие при различных данных.*

***Abstract:** the need to choose the correct algorithm for solving any problems on the example of a higher-level problem, comparing algorithms and identifying their shortcomings, as well as their performance for different data.*

***Ключевые слова:** алгоритм, числа Фибоначчи, производительность, период Пизано.*

***Keywords:** algorithm, Fibonacci numbers, performance, Pisano period.*

### **Введение**

В современном мире программы являются неотъемлемой частью различных устройств и систем, и многие программисты часто сталкиваются с ситуациями, когда вычислительной мощности оборудования недостаточно для успешной работы. Зачастую, ошибкой является неудачный алгоритм. Алгоритм – это определенная последовательность действий для решения задачи.

Разберем важность выбора алгоритма для решения любых задач и в качестве примера возьмем задачу по программированию повышенной сложности: огромное число Фибоначчи по модулю.

### **Основная часть**

Числа Фибоначчи – это целые натуральные числа, расположенные в числовой последовательности таким образом, что каждое последующее число является суммой двух предыдущих чисел, при этом в этом числовом ряде проявляются уникальные свойства, выраженные в постоянных отношениях между отдельными членами последовательности (рис. 1) [1].

Первый и второй члены  
 последовательности  
 Фибоначчи равны единице

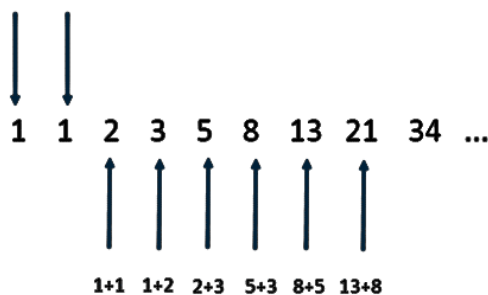


Рисунок 1 – Алгоритм для нахождения числа Фибоначчи

Данная задача имеет множество решений, однако не все алгоритмы удовлетворяют своей производительностью. Одним из примитивных алгоритмов является нахождение n-ое числа Фибоначчи и определения остатка от деления на m.

```
import time as t
def fibanachi2(n, m):
    o, i = [0,1], 2
    while not (o[i-2] == 0 and o[i-1] == 1) or i <= 2: #условие выхода из цикла
        o.append((o[i-2] + o[i-1]) % m) # добавляем остатки от деления в массив o
        i+=1
    return o[n % (i - 2)] #определяем остаток соответствующий данному n

n, m = map(int, input("Введите значения n, m = ").split())
start = t.time()# начало выполнения программы
print("Искомый остаток от деления = ", fibanachi2(n, m))
end = t.time()# конец работы
print("Время выполнения кода = ", end - start)
```

Рисунок 2 – Код первого алгоритма

Алгоритм неплох для нахождения числа Фибоначчи по m, лишь при малых значениях n. Исходя из таблицы 1, можно сделать вывод, что первый алгоритм неприемлем начиная с 100000, так как время выполнения кода уже более 1 секунды и в последующем время на выполнение будет расти.

Таблица 1-Производительность программы от n

Время, с	Число Фибоначчи
0.015599966049194336	10
0.015599966049194337	100
0.015599966049194338	1000
0.062400102615356445	10000
1.7628030776977754	100000
41.91727352142334	500000

Низкая скорость алгоритма объясняется экспоненциальной скоростью роста чисел Фибоначчи (рис. 3), в следствии чего алгоритм порождает огромное дерево рекурсивных вызовов (рис. 4). Дерево рекурсивных вызовов – показывает из скольких вызовов были произведены другие вызовы. Для того чтобы посчитать

$F_n$  – ое число Фибоначчи наш алгоритм делает 2 рекурсивных вызова  $F_{n-1}$  и  $F_{n-2}$ , а те в свою очередь делают по 2 рекурсивных вызова и так далее.

Экспоненциальная скорость роста

$F_{20} = 6765$   
 $F_{50} = 12586269025$   
 $F_{100} = 354224848179261915075$   
 $F_{1000} = 4346655768693745643568852767$   
 5040625802564660517371780402  
 4817290895365554179490518904  
 0387984007925516929592259308  
 0322634775209689623239873322  
 4711616429964409065331879382  
 9896964992851600370447613779

Рисунок 3 – Числа Фибоначчи

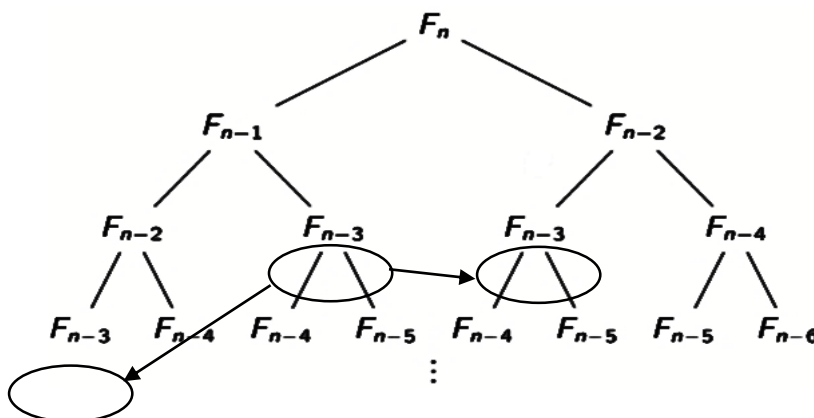


Рисунок 4 - Рекурсивное дерево

Из (рис.4) следует, что первый алгоритм вычисляет одно и тоже число много раз, например  $F_{n-3}$  число Фибоначчи он вычисляет 3 раза, а  $F_{n-4}$  число Фибоначчи он вычисляет 4 раза. Последовательность Фибоначчи периодична по модулю любого целого положительного числа  $m$ , так как среди первых  $m^2 + 1$  пар чисел найдутся две равные пары  $(x_i, x_{i+1}) = (x_j, x_{j+1})$  для некоторых  $i \leq j$ . Поэтому для всех целых  $k$  выполняется  $x_{i+k} = x_{j+k}$ , то есть, последовательность периодична. Выявленный недостаток предлагаемого алгоритма заключается в повторении вычисления чисел Фибоначчи, что в дальнейшем приводит к вынужденному решению в смене исчислений путем применения наиболее удобного и привлекательного алгоритма (рис. 6), основанного на вычислении периода Пизано (рис. 5)[4].

$i$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$F_i$	0	1	1	2	3	5	8	13	21	34	55	89	144	233	377	610
$F_i \text{ mod } 2$	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
$F_i \text{ mod } 3$	0	1	1	2	0	2	2	1	0	1	1	2	0	2	2	1

Рисунок 5 – Период Пизано для  $m = 2$  и  $m = 3$

При последовательности вычисления нахождения остатка от деления  $n$ -го числа Фибоначчи на натуральное число  $m$  достаточно найти все числа периода Пизано для данного  $m$ . Затем определить остаток от деления  $n$  на длину периода, и выбрать число из периода Пизано под этим номером. Следовательно, не нужно считать  $n$ -ое число Фибоначчи и искать остаток от деления на  $m$ , а следует первоначально работать с остатками от деления, что является быстрее.

```
import time as t
def fibanachi2(n, m):
    o, i = [0,1], 2
    while not (o[i-2] == 0 and o[i-1] == 1) or i <= 2: #условие выхода из цикла
        o.append((o[i-2] + o[i-1]) % m) # добавляем остатки от деления в массив o
        i+=1
    return o[n % (i - 2)] #определяем остаток соответствующий данному n

n, m = map(int, input("Введите значения n, m = ").split())
start = t.time()# начало выполнения программы
print("Искомый остаток от деления = ", fibanachi2(n, m))
end = t.time()# конец работы
print("Время выполнения кода = ", end - start)
```

Рисунок 6 – Код первого алгоритма

Алгоритм, использующий вычисления периода Пизано, подходит для нахождения числа Фибоначчи по  $m$ , при всех значениях  $n$ . Представив производительность программы по времени (см. таблицу 2), следует вывод, что второй алгоритм подходит лучше для решения данной задачи, так как его скорость исполнения не зависит от числа Фибоначчи.

Таблица 2-Производительность программы от  $n$

Время, с	Число Фибоначчи
0.015600204467773438	10
0.015599966049194336	100
0.015599966049194336	1000
0.015599966049194336	10000
0.015599966049194336	100000
0.015600204467773438	500000

По результатам работы выявлены недостатки описанных алгоритмов для решения задачи на нахождение огромного число Фибоначчи по модулю. Для первого характерны следующие изъяны, заключающиеся в порождении огромного рекурсивного дерева и низкой скорости работы.

Во втором алгоритме устранены недостатки первого, в следствие чего производительность и точность возросла. Как показывает практика, почти всегда можно определить способ улучшить уже разработанный алгоритм программы и тщательно подобрать в начале проектирования, чтобы избежать в дальнейшем неприятных последствий, связанных с доработкой фрагментов программного кода в течение короткого промежутка времени.

## Заключение

В завершении подведем итог оптимизации рассмотренных алгоритмов и отметим, что секрет успеха зависит от выбора правильного алгоритма и его эффективности. При выборе алгоритма важно найти узкие места задачи, наиболее влияющие на производительность работы нашей программы, что поможет существенно выиграть время, а также избежать ненужных ошибок. Идеальных решений не бывает, и разработка алгоритма всегда сопровождается ошибками и недоработками.

#### Литература

1. Числа Фибоначчи // [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://hi-news.ru/science/chislo-fibonachchi-pochemu-ono-tak-populyarno-v-prirode.html>. Дата доступа: 11.02.2021.
2. Сысоева М.В. Программирование для нормальных с нуля на языке Python / Сысоев И.В. -1-е изд.- Москва: Базальт СПО; МАКС Пресс, 2018. - 180 с.
3. Python для сложных задач: наука о данных и машинное обучение. – СПб.: Питер, 2018 – 576 с.
4. Период Пизано [Электронный ресурс]/ солнечная энергетика. - Режим доступа: [https://ru.qaz.wiki/wiki/Pisano\\_period](https://ru.qaz.wiki/wiki/Pisano_period). – Дата доступа: 25.03.2021.

УДК 621.315

**ПОТЕРИ МОЩНОСТИ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И  
ТРАНСФОРМАТОРАХ**

**POWER LOSSES IN POWER TRANSMISSION LINES AND  
TRANSFORMERS**

Е.В. Матус

Научный руководитель – В.В. Макаревич, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
elsyst@bntu.by

E. Matus

Supervisor – V. Makarevich, Senior Lecturer  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной статье представлены причины потерь мощности в линиях электропередач и трансформаторах. Потери активной и реактивной мощности отражены соответствующими формулами. На основании формул приведены основные мероприятия по снижению потерь мощности в линиях электропередач и трансформаторах с целью оптимизации электрических сетей.*

***Abstract:** This article presents the causes of power losses in power lines and transformers. The losses of active and reactive power are reflected by the corresponding formulas. Based on the formulas, the main measures to reduce power losses in power transmission lines and transformers are given in order to optimize electrical networks.*

***Ключевые слова:** потери, активная мощность, реактивная мощность, линии электропередач, трансформаторы.*

***Key words:** losses, active power, reactive power, power lines, transformers.*

**Введение**

На пути передачи электрической энергии от электростанции до потребителя неизбежно возникают потери энергии. Значительная доля потерь приходится на проводники линий электропередач, а также обмотки и стальные сердечники силовых трансформаторов.

Основной задачей при проектировании электрической связи электрогенерирующего источника с потребителем является уменьшение потерь мощности и энергии на всех участках энергосистемы. Это обусловлено тем, что потери ведут к увеличению мощности электростанции, что в свою очередь влияет на себестоимость электроэнергии [1].

**Основная часть**

В общем случае потери активной мощности на участке ЛЭП определяются по формуле 1 [2]:

$$\Delta P = \Delta P_x + \Delta P_n, \quad (1)$$

где  $\Delta P_x$  и  $\Delta P_n$  – соответственно потери мощности холостого хода и нагрузочные потери в ЛЭП, кВт.



Потери холостого хода вызваны протеканием тока утечки из-за несовершенства изоляции, а также вследствие коронирования проводников воздушных линий (ВЛ). При напряжении до 110 кВ этими потерями пренебрегают. Тогда расчет проводится только по нагрузочным потерям.

Если нагрузка линии заданы в виде тока, мощность, теряемая в активном сопротивлении трехфазной линии расходуемая на ее нагрев, определяется по формуле 2 [3]:

$$\Delta P = 3I^2 R \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

где  $\Delta P$  – потери активной мощности, кВт;  
 $I$  – расчетный ток на участке линии, А;  
 $R$  – активное сопротивление линии, Ом.

При представлении нагрузки линии полной мощностью  $S$  ток вычисляется по формуле 3:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (3)$$

где  $U_{ном}$  – номинальное напряжение ВЛ, кВ.

Подставив формулу 3 в формулу 2, получим (формула 4):

$$\Delta P = \frac{S^2}{U_{ном}^2} R \cdot 10^{-3} = \frac{S^2 + Q^2}{U_{ном}^2} R \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

Следствие формулы 4 представим на рисунке 1.

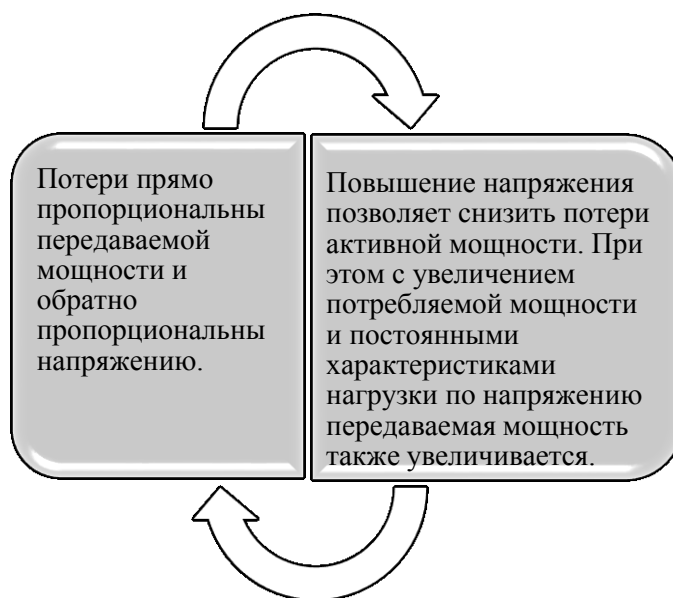


Рисунок 2– Следствие из формулы потерь активной мощности в ЛЭП

В воздушных линиях 330 кВ и выше необходимо учитывать потери мощности на корону (формула 5):

$$\Delta P_{гр} = \Delta P_{у.гр} L \left( -5,88 \frac{U}{U_{ном}} + 6,88 \left( \frac{U}{U_{ном}} \right)^2 \right), \quad (5)$$

где  $\Delta P_{у.гр}$  – удельные среднегодовые потери активной мощности на корону ВЛ при номинальном напряжении, кВт/км;

$L$  – длина ВЛ, км;

$U$  – рабочее напряжение ВЛ, кВ.

При повышении напряжения можно заметить взаимосвязь, представленную на рисунке 2.

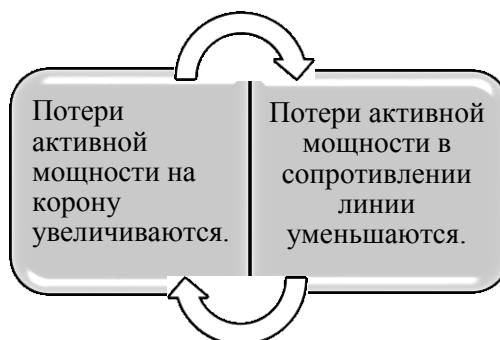


Рисунок 3 – Следствие формулы 5 в условиях повышения напряжения

При проектировании воздушных ЛЭП потери мощности на корону стремятся свести к нулю, выбирая такой диаметр провода, когда возможность возникновения короны практически отсутствует.

Для кабелей высокого напряжения потери активной мощности, вызванные токами утечки через изоляцию, можно рассчитать по их активной проводимости по формуле 6:

$$\Delta P_g = U^2 g, \quad (6)$$

где  $g$  – активная проводимость, См.

Наряду с потерями активной мощности, в линиях электропередачи теряется также реактивная мощность. Эти потери обусловлены индуктивными сопротивлениями воздушных и кабельных линий.

Если нагрузка линии задана током, то потери реактивной мощности можно найти по формуле 7:

$$\Delta Q = 3I^2 X \cdot 10^{-3}, \quad (7)$$

где  $X$  – индуктивное сопротивление линии, Ом.

Для нагрузки, заданной мощностью, потери реактивной мощности в линии можно рассчитать по формуле 8:

$$\Delta Q = \frac{S^2}{U_{\text{ном}}^2} X \cdot 10^{-3} = \frac{P^2 + Q^2}{U_{\text{ном}}^2} X \cdot 10^{-3} \quad (8)$$

В силовых трансформаторах потери мощности включают потери, зависящие и не зависящие от нагрузки. Пути определения мощности в обмотках трансформатора представлены на рисунке 3.

по параметрам схемы замещения;

по паспортным данным трансформатора.

Рисунок 4 – Методы определения мощности в обмотках трансформатора

Потери мощности двухобмоточного трансформатора по параметрам схемы замещения определяются по тем же формулам, что и для ЛЭП: потери активной мощности – формулы 2,4; реактивной – формулы 7, 8.

Суммарные активные и реактивные потери в двухобмоточных трансформаторах с учетом потерь в проводимостях представлены в таблице 1.

Таблица 3 Суммарные активные и реактивные потери в двухобмоточных трансформаторах

Формула	Обозначения
$\Delta P = \frac{S^2}{U^2} r + \Delta P_x = \frac{S^2}{U^2} r + U^2 g$	$g$ – активная проводимость, См.
$\Delta Q = \frac{S^2}{U^2} x + \Delta Q_x$ $= \frac{S^2}{U^2} x + U^2 b$	$b$ – реактивная проводимость, См.

Для трехобмоточного трансформатора или автотрансформатора в схеме замещения каждая обмотка представляется своим сопротивлением, и потери определяются как сумма потерь мощности каждой из обмоток.

Потери активной и реактивной мощности трансформатора могут быть определены по его паспортным данным и мощности нагрузки. Формулы сведем в таблицу 2.

Таблица 4 – Потери активной и реактивной мощности трансформатора

Формула	Обозначения
$\Delta P = \Delta P_k \beta^2 + \Delta P_x$	$\Delta P_k$ – активные потери короткого замыкания, кВт; $\Delta P_x$ – активные потери холостого хода трансформатора, кВт; $\beta = S/S_{ном}$ – коэффициент загрузки трансформатора (равен отношению фактической нагрузки трансформатора к его номинальной мощности).
$\Delta Q = \frac{U_k S^2}{100 S_{ном}} + \Delta Q_x$	$U_k$ – напряжение короткого замыкания, в % от номинального; $\Delta Q_x$ – реактивные потери холостого хода трансформатора, квар.

При  $n$  параллельно работающих одинаковых трансформаторов с суммарной нагрузкой  $S$  их эквивалентные сопротивления в  $n$  раз меньше, а проводимости в  $n$  раз больше. Потери активной и реактивной мощностей находятся соответственно по формулам 9 и 10.

$$\Delta P = \frac{\Delta P_{\kappa} \beta^2}{n} + n \Delta P_{\chi}; \quad (9)$$

$$\Delta Q = \frac{U_{\kappa} S^2}{n 100 S_{\text{НОМ}}} + n \Delta Q_{\chi}. \quad (10)$$

Потери мощности в сетях определяют с целью их снижения и оптимизации режима электрической сети. Основные мероприятия по снижению потерь в ЛЭП и трансформаторах представлены на рисунке 5 [4].

1. Налаживание контроля выработки и потребления электроэнергии путем установки приборов учета (рисунок 2).

2. Повышение уровня рабочего напряжения (в сетях 330 кВ и выше надо регулировать напряжение с учетом потерь на корону).

3. Быстрый и надежный ремонт сети.

4. Компенсация реактивной мощности для снижения потерь энергии. При этом улучшается режим напряжений. Величина, на которую снижаются потери активной мощности в активном сопротивлении ЛЭП за счет применения средств компенсации, определяется по формуле 13:  $\delta P = \Delta P_1 - \Delta P_2$ , (13) где  $P_1$  и  $P_2$  – потери активной мощности соответственно до и после включения компенсирующего устройства.

5. Замена проводов на головных участках сети.

6. Замена недогруженных трансформаторов.

7. Установка вольтдобавочных трансформаторов в замкнутых контурах электрической сети.

8. Применение трансформаторов с регулированием под нагрузкой (РПН). Трансформаторы с РПН имеют большее число регулировочных ступеней и более широкий диапазон регулирования (до  $\pm 16\%$ ). У трансформаторов устройства РПН обычно включаются со стороны нейтрали, что позволяет выполнять их с пониженной на класс напряжения изоляцией.

Рисунок 5 – Мероприятия по снижению потерь в ЛЭП и трансформаторах

## Заключение

Таким образом, расчет потерь мощности в линиях электропередач и трансформаторах проводится по рассмотренным формулам. По данным формулам выявлены зависимости, на основании которых предложены мероприятия по снижению потерь мощности и энергии в ЛЭП и трансформаторах. Данные мероприятия обеспечивают уменьшение себестоимости электроэнергии, экономию топливных, денежных и трудовых ресурсов, повышают качество и надежность передачи энергии и увеличивают срок эксплуатации оборудования.

### Литература

1. Определение потерь мощности и электроэнергии в линии и в трансформаторе. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://220blog.ru/pro-raschet/opredelenie-poter-moshhnosti-i-elektroenergii-v-linii-i-v-transformatore.html>. – Дата доступа: 20.03.2021
2. Радкевич В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие / В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 109-532 с.
3. Потери мощности и электроэнергии в элементах сети. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pandia.ru/text/78/372/1089.php>. – Дата доступа: 21.03.2021
4. Основные мероприятия по снижению потерь в электрических сетях. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://electricalschool.info/sety/1527-osnovnye-meroprijatija-po-snizheniju.html>. – Дата доступа: 22.03.2021

УДК 621.3.054.42

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА  
ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ  
STUDY OF THE DEPENDENCE OF THE EFFICIENCY OF  
LONGITUDINAL COMPENSATION**

А.С. Мензелев, И.В. Смертьева, А.И. Носова  
Научный руководитель – доц. Старжинский А. Л.  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
A. Menzeleev, I. Smertieva, A. Nosova  
Supervisor – A Starzhinsky, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** В статье представлены зависимости эффективности от длины линии, сопротивления генераторов и трансформаторов, что вносит значительные коррективы в применении продольной компенсации.

**Abstract:** The article presents the dependence of efficiency on the length of the line, resistance of generators and transformers, which makes significant adjustments in the application of longitudinal compensation.

**Ключевые слова:** продольная компенсация, конденсаторный пункт, сопротивление генератора, сопротивление трансформатора, натуральная мощность.

**Keywords:** longitudinal compensation, capacitor point, generator resistance, transformer resistance, natural power.

**Введение**

С целью повышения эффективности работы уже существующих линий электропередач, а также для улучшения их пропускной способности, применяют устройства продольной компенсации реактивной мощности [1]. Продольная емкостная компенсация индуктивного сопротивления воздушных линий электропередачи – одно из эффективных средств повышения пропускной способности [2]. Степенью последовательной компенсации называют отношение емкостного сопротивления последовательных конденсаторов, включенных в линию, к индуктивному сопротивлению линии. В действительности это не так.

**Основной текст**

Степенью последовательной компенсации называют отношение емкостного сопротивления последовательных конденсаторов, включенных в линию, к индуктивному сопротивлению линии. Эффективность последовательной конденсаторной компенсации меньше, чем величина, которой обычно характеризуют степень уменьшения реактивного сопротивления линии электропередачи – степень компенсации.

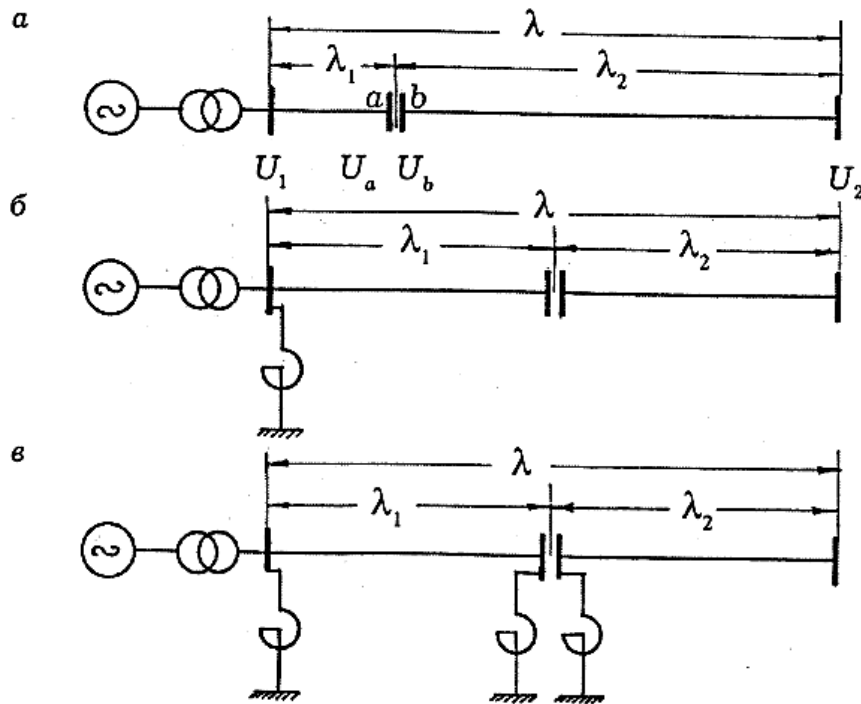


Рисунок 1 - Схемы электропередачи с продольной компенсацией

Так, если допустить, что конденсаторный пункт расположен в начале линии электропередач (ЛЭП) (Рисунок 1, а), то для ЭДС (электродвижущая сила) и передаваемой мощности получим выражения:

$$E = U_2 \left( \cos \alpha l - \frac{x_{\Gamma} - x_c}{z_B} \sin \alpha l \right) + j l_2 [(x_{\Gamma} - x_c) \cos \alpha l + z_B \sin \alpha l]; \quad (1)$$

$$P = \frac{E U_2}{(x_{\Gamma} - x_c) \cos \alpha l + z_B \sin \alpha l} \sin \theta, \quad (2)$$

Удельная передаваемая мощность:

$$p = \frac{E_*}{\frac{1}{z_B} (x_{\Gamma} - x_c) \cos \alpha l + \sin \alpha l} \sin \theta, \quad (3)$$

Здесь  $x_c$  – емкостное сопротивление конденсаторного пункта.

Знаменатель выражения (2) показывает, что эквивалентное емкостное сопротивление, вычитаемое из реактивного сопротивления системы передачи, зависит от длины линии – с увеличением длины линии оно уменьшается. При приближении расстояния к 1500 км эффективность последовательной конденсаторной компенсации сводится к нулю.

Эквивалентное емкостное сопротивление, вычитаемое из индуктивного сопротивления системы передачи, получилось  $x_{c,э} = x_c k_э$ , где при данном расположении конденсаторного пункта  $k_э = \cos \alpha l$ .

Число  $k_э$ , на которое нужно умножить емкостное сопротивление  $x_c$  последовательной компенсации, чтобы получить эквивалентное емкостное сопротивление, вычитаемое из индуктивного сопротивления системы,

называется коэффициентом эффективности последовательной компенсации. Если при дальности передачи  $l=1000$  км емкостное сопротивление конденсаторного пункта составляет 50% от индуктивного сопротивления линии, то суммарное индуктивное сопротивление системы передачи за счет последовательной компенсации уменьшится на 25% ( $k_3=0,5$ ).

Таким образом, индуктивное сопротивление системы передачи за счет последовательной компенсации уменьшается на величину  $x_{c,э} = x_l k_3 k_c$  где  $x_l$  – индуктивное сопротивление линии;  $k_c$  – степень последовательной компенсации.

Коэффициент эффективности последовательной компенсации обусловлен свойствами ЛЭП, равномерностью распределения ее параметров и составляет вполне определенную величину для данной дальности передачи и заданного расположения компенсирующих устройств и не зависит от емкостного сопротивления конденсаторного пункта, а степень компенсации является мерой емкостного сопротивления конденсаторного пункта, выраженной в долях индуктивного сопротивления линии.

Рассмотрим случай расположения конденсаторного пункта в любой точке линии. Пользуясь уравнениями линии без потерь, найдем напряжения и токи последовательно в точках b, a, 1, считая неизвестными  $U_2$  и  $I_2$ :

$$U_B = U_2 \cos \lambda_2 + jI_2 z_B \sin \lambda_2 ;$$

$$I_B = I_2 \cos \lambda_2 + j \frac{U_2}{z_B} \sin \lambda_2 ;$$

$$U_a = U_B - jx_c I_B,$$

Или

$$U_a = U_2 \left( \cos \lambda_2 + \frac{x_c}{z_B} \sin \lambda_2 \right) + jI_2 (z_B \sin \lambda_2 - x_c \cos \lambda_2) ;$$

$$I_a = I_B; U_1 = U_a \cos \lambda_1 + jI_a z_B \sin \lambda_1 ; I_1 = I_a \cos \lambda_1 + j \frac{U_a}{z_B} \sin \lambda_1 ,$$

Или

$$U_1 = U_2 \left( \cos \lambda + \frac{x_c}{z_B} \sin \lambda_2 \cos \lambda_1 \right) + jI_2 (z_B \sin \lambda - x_c \cos \lambda_1 \cos \lambda_2) ;$$

$$I_1 = I_2 \left( \cos \lambda + \frac{x_c}{z_B} \sin \lambda_1 \cos \lambda_2 \right) + j \frac{U_2}{z_B} \left( \sin \lambda + \frac{x_c}{z_B} \sin \lambda_1 \sin \lambda_2 \right) ,$$

В этих выражениях  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – волновые длины участков линии,  $\lambda$  – волновая длина всей линии.

ЭДС находим по выражению  $E = U_1 + jx_\Gamma I_1$  или:

$$E = U_2 \left( \cos \lambda - \frac{x_c}{z_B} \sin \lambda + \frac{x_c}{z_B} \sin \lambda_2 \cos \lambda_1 - \frac{x_\Gamma x_c}{z_B z_B} \sin \lambda_1 \sin \lambda_2 \right) + \quad ((4)$$

$$+ jI_2 (z_B \sin \lambda + x_\Gamma \cos \lambda - x_\Gamma \cos \lambda_1 \cos \lambda_2 + \frac{x_c}{z_B} x_\Gamma \sin \lambda_1 \sin \lambda_2),$$



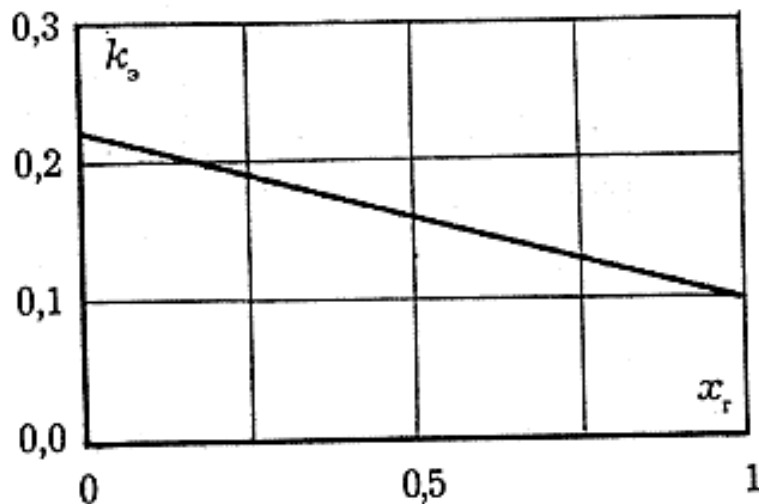


Рисунок 2 - Зависимость коэффициента эффективности продольной компенсации от сопротивления генераторов

Передаваемую мощность, основываясь на векторной диаграмме, можно представить в следующем виде:

$$P = \frac{EU_2 \sin \theta}{x_g \cos \lambda + z_B \sin \lambda - x_c \cos \lambda_1 \cos \lambda_2 + \frac{x_c}{z_B} x_g \sin \lambda_1 \cos \lambda_2}, \quad ((5))$$

Здесь  $E$  и  $U_2$  – линейные значения.

Из выражения (5) следует, что при одном и том же сопротивлении конденсаторных пунктов  $x_0$  компенсируемое индуктивное сопротивление линии прямо пропорционально коэффициенту эффективности последовательной компенсации:

$$k_э = \cos \lambda_1 \cos \lambda_2 - \frac{x_g}{z_B} \sin \lambda_1 \cos \lambda_2, \quad ((6))$$

Из выражения (6) видно, что  $k_э$  зависит от сопротивления генераторов и трансформаторов; только при расположении конденсаторного пункта в начале линии  $k_э$  не зависит от сопротивления генераторов и трансформаторов (Рисунок 3).

При расположении конденсаторного пункта в середине линии (Рисунок 1, а), когда  $\lambda_1 = \lambda_2 = \frac{1}{2}\lambda$ , коэффициент эффективности последовательной компенсации представится выражением:

$$k_э = \cos \frac{\alpha l}{2} \left( \cos \frac{\alpha l}{2} - \frac{x_g}{z_B} \sin \frac{\alpha l}{2} \right), \quad ((7))$$

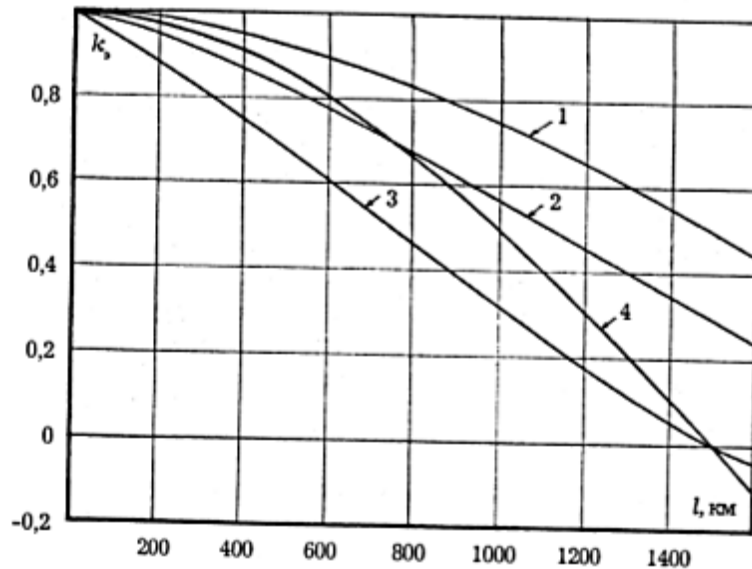


Рисунок 3 - Зависимости коэффициента эффективности продольной компенсации от дальности

Кривые 1, 2 и 3 (Рисунок 3) построенные по выражению (7) соответственно для  $x_r=0$ ,  $x_r=0,42$  и  $x_r=1,0$ , показывают, что с увеличением расстояния коэффициент эффективности последовательной компенсации быстро уменьшается. Кривая 4 соответствует расположению конденсаторного пункта в начале ЛЭП (Рисунок 1, а). Расположение конденсаторного пункта, соответствующее максимальной эффективности последовательной компенсации, определяется значением  $\lambda_{1M}$  из уравнения:

$$\frac{dk_{\text{э}}}{d\lambda_1} = 0$$

Или после преобразований:

$$\sin(\lambda - 2\lambda_{1M}) - \frac{x_r}{z_B} \cos(\lambda - 2\lambda_{1M}) = 0,$$

Решение этого уравнения дает:

$$\lambda_{1M} = \frac{1}{2} \left[ \lambda - \arctg \frac{x_r}{z_B} \right], \quad (8)$$

где  $\lambda_{1M}$  — значение  $\lambda_1$ , определяющее максимальный коэффициент эффективности.

Формула (8) показывает, что  $\lambda_{1M}$  зависит от длины линии и от реактивного сопротивления генераторов и трансформаторов. Соотношения (2), (4), (5), а также кривые рисунка 5 показывают, что в действительности последовательная конденсаторная компенсация как средство повышения дальности передачи менее эффективна, чем принято иногда считать. Однако она все же дает возможность значительно расширять пределы передачи электроэнергии переменным током.

### **Заключение**

Можно сделать вывод, что при повышении пропускной способности ЛЭП, при увеличении натуральной мощности ЛЭП, эффективность применения продольной компенсации незначительно снижается. Однако, как и говорилось в теории, при увеличении сопротивления генератора коэффициент эффективности продольной компенсации резко снижается.

### **Литература**

1. Продольная компенсация реактивной мощности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/sety/1809-prodolnaja-kompensacija-reaktivnoj.html>
2. Исследование влияния установки продольной компенсации на режимы дальней электропередачи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://web.snauka.ru/issues/2016/06/69596>. – Дата доступа: 15.04.2021.

УДК 608.4

## ГИБРИДНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ HYBRID POWER PLANT

А. С. Мензелеев

Научный руководитель – Е. В. Калентионок, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

A. Menzeleev

Supervisor – E. Kalentionok, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В статье показана полезная модель основанная на использовании энергии ветра и солнца для выработки электроэнергии.*

***Abstract:** The article shows a utility model based on the use of wind and solar energy to generate electricity.*

***Ключевые слова:** ветряк А. Н. Степанчука, солнечная панель, гибридная электростанция.*

***Keywords:** wind turbine of Stepanchuk, the solar panel, hybrid power plant.*

### **Введение**

Полезная модель относится к солнечной и ветроэнергетике, может быть использована для преобразования энергии ветра и солнца в электрическую энергию.

### **Основная часть**

Известен ветряной двигатель [2], который выполнен с лопастями в виде ущемленного с одной стороны конуса. содержащий вертикальную ось вращения с закреплёнными на ней в два яруса шестью лопастями, каждая лопасть выполнена в виде ущемленного с одной стороны конуса, в котором остается одна от пирамиды грань. Она несколько продолжена и своим выступающим краем крепится к оси, а между собой лопасти в каждом ярусе крепятся шестью прямоугольными направляющими щитами.

Недостатком данного изобретения является неэффективное использование занимаемого места при относительной небольшой генерации электричества.

Солнечная электростанция [1] включает в себя раму, в которой установлен вертикальный вал с приводом азимутального поворота, а на его верхнем конце установлен горизонтальный вал с системой автоматики зенитального поворота, на котором закреплена солнечная фотобатарея, снабженная системой автоматики азимутального привода слежения за солнцем и разворота станции с запада на восток, при этом система автоматики зенитального поворота выполнена в виде шарнирной тяги, жестко закрепленной на раме и нижнем основании солнечной фотобатареи.

Недостатком данного изобретения является неэффективное использование занимаемого места при относительной небольшой генерации электричества.

Задачей полезной модели является увеличение генерируемой энергии при малой занимаемой площади земли.

Данная задача достигается тем, что на ветряк А. Н. Степанчука устанавливается солнечная панель, с автоматикой зенитального и азимутального поворота. Для этого вал, на котором устанавливаются лопасти, выполняется полым. Внутри полого пространства находится вал, который закреплен к солнечной панели. При изменении положения солнца автоматикой передается команда на вращение вала с помощью двигателя. Также к валу жестко закреплена вращающаяся поверхность, на которой находится солнечная панель. Из-за расположенной сверху электростанции, и увеличенной нагрузки на каркас конструкции, он, каркас, выполняется более прочным, для этого он дополняется укрепляющими балками. Также ножки конструкции расположены под землей, для увеличения устойчивости конструкции. Двигатель находится в бункере. Бункер расположен под землей.

Следует отметить, что при расположении двигателя под землей экономит место под лопастями для редуктора и генератора.

Для возможности азимутального поворота фотопанели необходимо наличие жесткой опоры.

Технический результатом является более высокая выработка электрической энергии при меньшей занимаемой площади.

На чертеже изображен общий вид гибридной электростанции.

Гибридная электростанция (Рисунок 1) содержит каркас 1, который усилен укрепляющими балками 2, 3, 4. На полом вала 5 расположены лопасти в виде ущемленного с одной стороны конуса 6. К валу 5 присоединен редуктор с генератором расположенных в металлическом корпусе 7. Над корпусом 1 расположена фотопанель 8, которая жестко закреплена с валом 9. Вал 9 проходит через полый вал 5 и присоединяется к двигателю 10 с червячным механизмом. Сам двигатель расположен в бункере 11 под землей. Вал 9 служит опорой для фотопанели и вращающим механизмом для азимутального перемещения. Жесткая пластина 12 служит опорой для крепления жгутов 13 и амортизатора 14, с помощью которых происходит контроль зенитального расположения фотопанели. Для контроля за расположением солнца используется автоматика 15. Для зенитального поворота используется вал 16. Чтобы увеличить устойчивость конструкции ножки 17 расположены под землей.

Гибридная электростанция работает следующим образом:

При восходе солнца, автоматика 15 выполняет корректировку расположения фотопанели 8 с помощью двигателя 10. После при изменении расположения солнца автоматика выполняет корректировку фотопанели. В течении дня солнце нагревает землю вокруг станции. Под солнечной панелью земля не нагрета, так как всю энергию забирает фотопанель. В результате давление воздуха под панелью и за ней становится разным и возникает воздушный поток, который воздействует на лопасти 6. Это облегчает их движение при малых ветрах, а также позволяет вырабатывать энергию в безветренную погоду.

Таким образом, предлагаемая гибридная электростанция позволяет выработать больше электрической энергии, повышает эффективность

использования отчуждаемой земли и может быть использована при помощи доступных технических средств.

Формула полезной модели: Ветряной двигатель, содержащий вертикальную ось вращения с закрепленными на ней в два яруса шестью лопастями, каждая лопасть выполнена в виде ущемленного с одной стороны конуса, в котором остается одна от пирамиды грань, она несколько продолжена и своим выступающим краем крепится к оси, а между собой лопасти в каждом ярусе крепятся шестью прямоугольными направляющими щитами, отличающаяся тем, что вал, на котором крепятся лопасти, выполнен полым, а внутри полого пространства расположен еще один вал, который присоединен к фотопластине располагаемой сверху ветряка, фотопластина снабжена системой азимутального и зенитального поворотов и вращается с помощью двигателя, который вращает цельный вал.

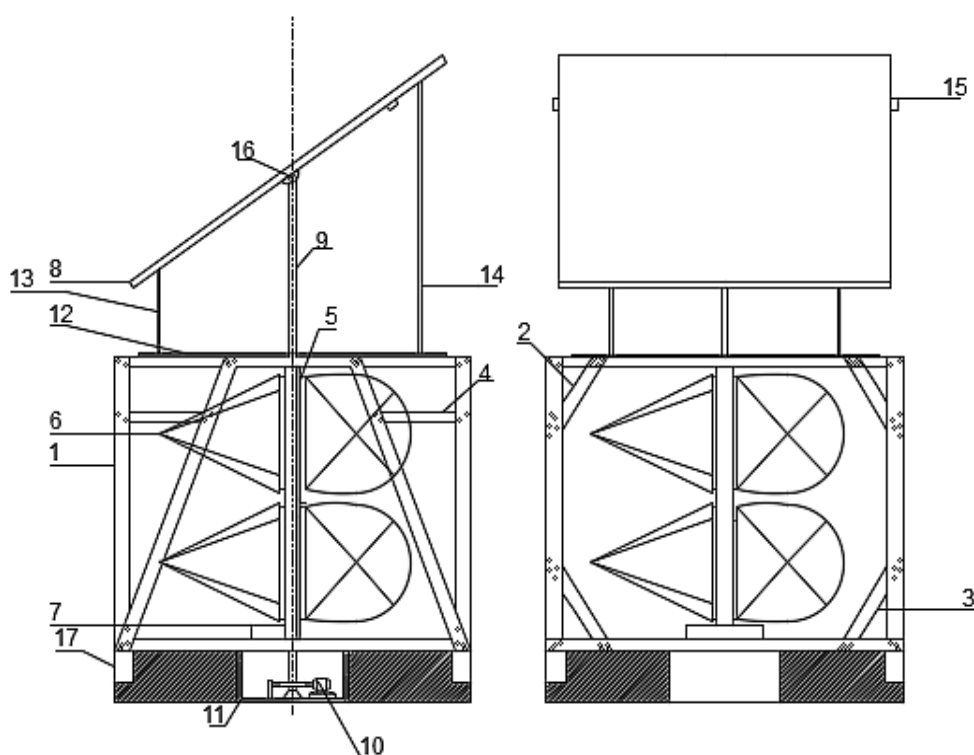


Рисунок 1 – Чертеж полезной модели.

### Заключение

Таким образом, предлагаемая гибридная электростанция позволяет выработать больше электрической энергии, повышает эффективность использования отчуждаемой земли и может быть использована при помощи доступных технических средств.

### Литература:

1. Патент РФ №2312426С1, Бл № 34, 2007 г. «Солнечная электростанция».
2. Патент РФ №2455523С2, Бл № 19, 2011г. «Ветряной двигатель А. Н. Степанчука».

УДК 620.92

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ  
БЕЛАРУСЬ**

**RESEARCH OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES USAGE  
POSSIBILITY IN THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

Д.Д. Михалёв

Научный руководитель – Н.А. Попкова, ассистент  
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

dmitryche2111v100@gmail.com

D. Mikhailiov

Supervisor – N. Popkova, assistant lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной работе проводится анализ перспектив развития восстанавливаемых источников энергии в Республике Беларусь, определяются способы их производства и использования в энергосистеме страны. Определены варианты производства биотоплива, опирающиеся на специфику их добычи в Республике Беларусь.*

***Abstract:** This work analyzes the prospects for the development of renewable energy sources in the Republic of Belarus, determines the methods of their production and usage in the country's energy system. Variants of biofuel production based on the specifics of their production in the Republic of Belarus have been determined.*

***Ключевые слова:** восстанавливаемые источники энергии, биотопливо*

***Keywords:** renewable energy sources, biofuels*

### **Введение**

Биоэнергетика – это отрасль электроэнергетики, основанная на использовании биотоплива, в качестве которого могут использоваться следующие виды [2]:

- топливо из растительного или животного сырья;
- топливо из продуктов жизнедеятельности организмов;
- топливо из органических промышленных отходов.

По агрегатному состоянию разделяют следующие виды топлива:

• жидкое биотопливо (биоэтанол, биометанол, биобутанол, биодизель, биобензин и др.);

• твердое (дрова, торф, солома, брикеты, измельченная древесина и др.);

• газообразное (синтезгаз, водород, биогаз, метан и др.).

Самым распространенным видом биотоплива в электроэнергетике является пеллеты, представляющие собой гранулы, которые могут изготавливаться из древесины, отходов древесного производства и сельского хозяйства [3].

Биомасса – одна из самых дешевых и больших форм накопления возобновляемой энергии. Под понятием "биомасса" понимается любое сырье биологического происхождения, продукты жизнедеятельности и отходы

органического происхождения. Согласно законам природы, биомасса существовать на Земле, пока на ней существует жизнь. Ежегодный прирост органического вещества на Земле равен производству такого количества энергии, которое в десять раз больше годового использования энергии всем человечеством на нынешнем этапе развития **общества**.

### Основная часть

Процессы переработки биомассы в топливо делятся на три основные группы:

1. термохимический (сжигание, гидролиз, газификация);
2. биохимический (спиртовая ферментация);
3. агрохимический (вытяжка топлива).

Термохимические процессы сводятся к различным способам сжигания биотоплива (пиролиз, газификация, гидронизация). КПД таких процессов определяется отношением теплоты сгорания производного топлива к теплоте сгорания исходной биомассы. Достижимый КПД весьма высок и находится в пределах от 80 до 90 %.

Виды топлива, получаемые в результате термохимических процессов, обладают несколько меньшей по сравнению с исходной биомассой энергией сгорания, но обладают большей универсальностью применения: лучшей управляемостью горения, удобством в обращении и транспортировке, широким диапазоном возможных устройств-потребителей.

Биохимические процессы проходят благодаря способности отдельных микроорганизмов вырабатывать разные виды биотоплива при ферментации или переработке различных веществ (анаэробная переработка, спиртовая ферментация, фотолиз). Некоторые биологические организмы производят или могут при определенных условиях производить водород путем биофотолиза (процесс разложения воды на водород и кислород под действием света). Подобный результат можно получить химическим путем без участия живых организмов в лабораторных условиях [3].

Агрохимические процессы позволяют производить биотопливо путем экстракции различных продуктов растениеводства. Например, добыча масла из семян подсолнечника, пальмового масла из орехов кокоса, масла из плодов оливок, листьев(эвкалипт) и сока растений (сок каучука); для Республики Беларусь наиболее распространенной культуры для получения масла является рапс. Возможно создание ферм по производству биотоплив на основе перечисленных выше растений. Получаемые таким образом продукты по химическим свойствам могут быть гораздо ценнее, чем просто топливо. В следствии этого более предпочтительным является способ получения агрохимических топлив, который основан на выращивании специальных микроводорослей. Исследования возможности использования микроводорослей в процессе экстракции топлив показали, что содержание в них углеводов - основного горючего компонента - может быть довольно значительным.

В настоящее время многие страны мира заинтересовываются возобновляемыми источниками энергии, о чем говорит ежегодный прирост



установленной мощности источников возобновляемой энергии в мире. Это связано с уменьшением запасов ископаемых источников энергии, ухудшением экологии из-за выброса в атмосферу большого количества углекислого газа, что приводит к появлению “парникового эффекта” [1].

Республика Беларусь относится к тем странам, которые не имеют большого количества собственных топливно-энергетическими ресурсов, собственные ресурсы ископаемых энергоносителей составляют не более 15% от потребности страны. Доля природного газа в белорусской энергосистеме составляет 93%.

Во многих странах мира отрасль энергетики, работающей на биомассе, становится эффективной отраслью, способной конкурировать с отраслью производства энергии на ископаемом топливе. Беларусь в данном случае идеально подходит для развития биоэнергетики за счёт наличия больших массивов леса, равнинного ландшафта, хорошо развитой структуры распределения энергии и тепла, современных предприятий энергетики.

В Беларуси биоэнергетика сможет интенсивно развиваться из-за потребности достичь определенного уровня энергетической безопасности страны. Также развитие данной отрасли предопределено следующими обстоятельствами:

- Политикой импортозамещения - замещение импорта товарами, произведёнными внутри страны. Денежные затраты за импортируемые энергоресурсы могут быть снижены за счет производства и использования местных видов топлива.

- Социальной выгодой после создания инфраструктуры новой отрасли энергетики появятся новые рабочие места и производства.

- Экологическим эффектом будут снижены выбросы углекислого газа и других загрязняющих веществ в атмосферу

- В качестве биотоплива в Республике Беларусь могут быть использованы: биомасса древесины и быстрорастущих растений/кустарников, горючих отходов, отходы растениеводства, горючие отходы перерабатывающей и пищевой промышленности, животноводства [1].

### **Заключение**

В условиях Беларуси развитие биоэнергетики выгодно для экономики и технически осуществимо, так как биомасса - вид топлива, который можно производить на территории страны в большом количестве. Под биомассой ученые и специалисты нашей страны понимают, в первую очередь, древесную кору, стружку, опилки, мусор, деревья на зараженных радиацией территориях.

Чтобы начать рассматривать биомассу как возобновляемый источник энергии в Республике Беларусь, необходимо обеспечить её производство в объемах, сопоставимых с объёмами его потреблением. Для человечества губельно то, что в настоящее время потребление древесного топлива значительно опережает его производство. Из этого можно сделать вывод, что переход на биотопливо только улучшит состояние окружающей среды.

### Литература

1. ElectricVehicleTrends[Электронный ресурс] // DeloitteInsights - 2020.  
– Режим доступа:[https://revolution.allbest.ru/physics/00260453\\_0.html](https://revolution.allbest.ru/physics/00260453_0.html) -Дата доступа:  
20.04.2021.
2. Биотопливо[Электронный ресурс][Wikipedia.org]//  
<https://ru.wikipedia.org/wiki/Биотопливо>- Дата доступа: 20.04.2021
3. Биотопливо[Электронный ресурс][Alter220.ru] // Режим доступа:  
<https://alter220.ru/bio/biotoplivo.html> -Дата доступа 20.04.2021

УДК 621.3

**ОПТИМИЗАЦИЯ НА ОСНОВЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ  
ЗАМКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С ВОЛЬТОДОБАВОЧНЫМИ  
ТРАНСФОРМАТОРАМИ**

**OPTIMIZATION BASED ON OPERATING MODES OF CLOSED  
ELECTRIC NETWORKS WITH BOOSTER TRANSFORMERS**

Е.В. Мятлев

Научный руководитель - М.И. Фурсанов, доктор технических наук, профессор  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

[mfursanov@bntu.by](mailto:mfursanov@bntu.by)

M.Myatlev

Supervisor- M. Fursanov, Doctor of Technical Sciences, Professor  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** Первоначальной задачей в электрических сетях является уменьшение потерь мощности и оптимизация режима. Выходом из этой ситуации является применение вольтодобавочных трансформаторов. Рассмотрим пример расчета оптимальной добавочной ЭДС в замкнутой сети. Выполнен анализ суммарных потерь активной мощности в замкнутой сети.*

***Abstract:** The initial task in electrical networks is to reduce power losses and optimize the mode. The way out of this situation is the use of booster transformers. Let us consider an example of calculating the optimal additional EMF in a closed network. The analysis of the total losses of active power in a closed network is carried out.*

***Ключевые слова:** оптимизация, потери мощности, вольтодобавочные трансформаторы, распределение мощностей.*

***Keywords:** optimization, power losses, booster transformers, power distribution.*

**Введение**

В замкнутой электрической сети складывается естественное распределение мощностей, и в общем случае естественное распределение мощностей не будет экономичным, то есть не будет соответствовать минимуму потерь мощности в сети.

**Основная часть**

Предположим, что замкнутый контур в электрической сети образован линиями Л-1 и Л-2 одного напряжения. Провода линий имеют разные сечения. Такая сеть будет неоднородна ( $R_1/X_1 \neq R_2/X_2$ ), и поэтому естественное распределение мощностей не будет экономичным. По линии с меньшим сечением проводов будет протекать по величине мощность больше экономической. Потери мощности и энергии в такой сети больше, чем в однородной [1].

Экономическое распределение мощностей в неоднородной сети можно получить, если на естественное распределение мощностей добавить уравнительную мощность  $S_{ур}$ , равную:

$$S_{ур} = S_1^э + S_1^е, \quad (1)$$

где  $S_1^э$ -мощность по при экономическом распределении мощностей, МВА;

$S_1^e$ -то же при естественном распределении мощностей, МВА;

При наложении уравнивающей мощности  $S_{ур}$  экономическое распределение мощностей установится на всех участках сети. Уравнивающей мощности в замкнутом контуре будет соответствовать уравнивающий ток, который рассчитывается по выражению:

$$I_{ур} = \frac{S_{ур}}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad (2)$$

где  $U$ - некоторое среднее напряжение.

Уравнивающий ток в замкнутом контуре можно получить введением дополнительной ЭДС, определяемой как:

$$e_{ур} = I_{ур} \cdot Z_{\Sigma}, \quad (3)$$

где  $e_{ур}$ — дополнительная фазная ЭДС, вызывающая протекание в замкнутом контуре  $I_{ур}$ ;

$Z_{\Sigma}$ - суммарное сопротивление контура.

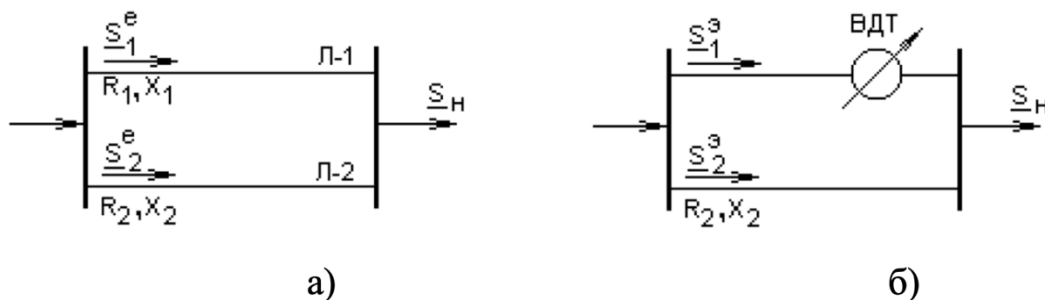


Рисунок 1 -Схема сети

Дополнительная ЭДС будет иметь вещественную и мнимую составляющие:

$$e_{ур} = e'_{ур} + e''_{ур}, \quad (4)$$

Дополнительная ЭДС  $e'_{ур}$  называется продольной ЭДС. Она по фазе совпадает с вектором напряжения сети. Дополнительная ЭДС называется поперечной ЭДС, она повернута относительно вектора напряжения сети на  $90^\circ$ . Продольная ЭДС вводится в контур включением вольтодобавочного трансформатора (ВДТ), осуществляющего продольное регулирование, или с помощью РПН автотрансформаторов связи, если контур образован линиями разного номинального напряжения. Поперечная ЭДС вводится в контур включением ВДТ, имеющего специальное соединение обмоток. Для исследования вопроса, какая из составляющих дополнительной ЭДС больше влияет на перераспределение активных и реактивных мощностей [2].

$$I_{ур} = \frac{e_{ур}}{Z_{\Sigma}} = \frac{e_{ур}}{R_{\Sigma} + j \cdot X_{\Sigma}}, \quad (5)$$

У воздушных линий с большим сечением проводов  $X_{\Sigma} \gg R_{\Sigma}$ , и поэтому приближенно можно записать:

$$I_{ур} \approx \frac{e_{ур}}{j \cdot X_{\Sigma}}, \quad (6)$$

Это уравнение показывает, что, вводя в замкнутый контур, образованный воздушными линиями с большим сечением проводов, продольную ЭДС, перераспределяют, в основном, реактивную мощность, а, вводя поперечную ЭДС - активную мощность.

Рассмотрим пример расчета оптимальной добавочной ЭДС в замкнутой сети, первоначальные данные сведем в таблицу 1.

Таблица 1- Первоначальные данные

$Z_{л1}, \text{Ом}$	$Z_{л2}, \text{Ом}$	$Z_{л3}, \text{Ом}$	$Z_{Т1}, \text{Ом}$	$Z_{Т2}, \text{Ом}$
$6 + j \cdot 21$	$6 + j \cdot 21$	$24 + j \cdot 80$	$2,8 + j \cdot 100$	$1 + j \cdot 50$

Сопротивление линий и трансформаторов приведено к напряжению 220 кВ.

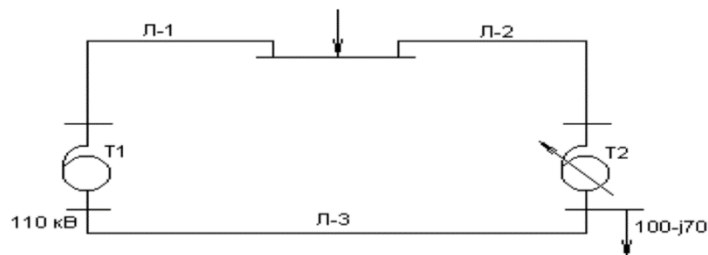


Рисунок 2 -Схема электрической сети

Схема замещения электрической сети будет иметь следующий вид:

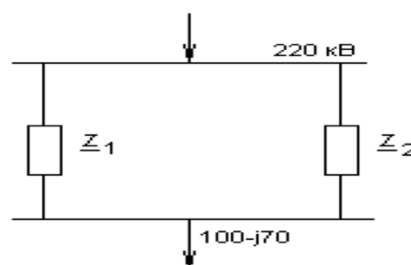


Рисунок 3 -Схема электрической сети

Определим параметры схемы замещения  $Z_1$  и  $Z_2$ :

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_{л1} + Z_{Т1} + Z_{л3} = 6 + 2,8 + 24 + j \cdot (21 + 100 + 80) \\ &= 32,8 + j \cdot 201 \text{ Ом}, \end{aligned}$$

$$Z_2 = Z_{л2} + Z_{Т2} = 6 + 1 + j \cdot (21 + 50) = 7 + j \cdot 71 \text{ Ом}.$$

Найдем естественное потокораспределение мощности в сети :

$$S_1^e = \frac{S_H \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{(100 - j \cdot 70) \cdot (7 + j \cdot 71)}{(32,8 + j \cdot 201) + (7 + j \cdot 71)} = 27 - j \cdot 16,9 \text{ МВА},$$

$$S_2^e = \frac{S_H \cdot Z_1}{Z_1 + Z_2} = \frac{(100 - j \cdot 70) \cdot (32,8 + j \cdot 201)}{(32,8 + j \cdot 201) + (7 + j \cdot 71)} = 73 - j \cdot 53,1 \text{ МВА}.$$

Проверим:

$$S_1^e + S_2^e = (27 - j \cdot 16,9) + (73 - j \cdot 53,1) = 100 - j \cdot 70 \text{ МВА}.$$

Найдем экономическое потокораспределение в сети:

$$S_1^э = \frac{S_H \cdot r_2}{r_1 + r_2} = \frac{(100 - j \cdot 70) \cdot 7}{32,8 + 7} = 17,6 - j \cdot 12,3 \text{ МВА},$$

$$S_2^э = \frac{S_H \cdot r_1}{r_1 + r_2} = \frac{(100 - j \cdot 70) \cdot 32,8}{32,8 + 7} = 82,4 - j \cdot 57,7 \text{ МВА}.$$

Проверка:

$$S_1^э + S_2^э = S_H = (17,6 - j \cdot 12,3) + (82,4 - j \cdot 57,7) = 100 - j \cdot 70 \text{ МВА}.$$

Требуемая уравнительная мощность:

$$Z_{ур} = S_1^e - S_1^э = (27 - j \cdot 16,9) - (17,6 - j \cdot 12,3) = 9,4 - j \cdot 4,6 \text{ МВА}.$$

Уравнительный ток в контуре, соответствующий  $S_{ур}$ , определяется:

$$I_{ур} = \frac{S_{ур}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{9,4 - j \cdot 14,6}{\sqrt{3} \cdot 220} \cdot 10^3 = 25 - j \cdot 12,8 \text{ А}.$$

Величина оптимальной ЭДС в контуре определяется:

$$e_{ур} = \frac{S_{ур}}{\sqrt{3} \cdot U_H} \cdot Z_{\Sigma} = (25 - j \cdot 12,8) \cdot (39,8 + j \cdot 272) = 4,341 + j \cdot 6,31 \text{ кВ}.$$

Продольная ЭДС в контуре составит:

$$e'_{ур} = \frac{4,341 \cdot \sqrt{3} \cdot 100}{200} = 3,35 \%,$$

поперечная:

$$e''_{ур} = \frac{6,31 \cdot \sqrt{3} \cdot 100}{200} = 4,9 \%.$$

Как видно из результатов решения, для создания экономического потокораспределения в сети потребуется небольшая ЭДС ВДТ. И вряд ли с экономической точки зрения будет целесообразна установка специального ВДТ с продольно- поперечным регулированием. Поэтому проверим эффективность только продольного регулирования, учитывая то, что продольную дополнительную ЭДС может создать автотрансформатор Т2, имеющий РПН [1].

Уравнительный ток при введении продольной ЭДС, равной 4.34 кВ, определится:

$$I_{ур} = \frac{e'_{ур}}{Z_{\Sigma}} = \frac{4,341}{39,8 + j \cdot 272} = 2,3 - j \cdot 15,6 \text{ А.}$$

Уравнительная мощность:

$$S_{ур} = I_{ур} \cdot \sqrt{3} \cdot U_H = (2,3 - j \cdot 15,6) \cdot \sqrt{3} \cdot 220 = 0,86 - j \cdot 5,8 \text{ МВА.}$$

Тогда

$$S_1^{\partial} = S_1^e - S_{ур} = (27 - j \cdot 16,9) - (0,86 - j \cdot 5,8) = 26,14 - j \cdot 11,1 \text{ МВА,}$$

$$S_2^{\partial} = S_2^e + S_{ур} = (73 - j \cdot 53,1) + (0,86 - j \cdot 5,8) = 73,86 - j \cdot 58,9 \text{ МВА.}$$

Суммарные потери мощностей в сети при естественном потокораспределении составят:

$$\Delta P_{\Sigma}^e = \Delta P_1^e + \Delta P_2^e = \frac{P_1^{2e} + Q_1^{2e}}{U_H^2} \cdot R_1 + \frac{P_2^{2e} + Q_2^{2e}}{U_H^2} \cdot R_2 = \frac{27^2 + 16,9^2}{220^2} \cdot 32,8 + \frac{73^2 + 53,1^2}{220^2} \cdot 7 = 1,87 \text{ МВт,}$$

При введении дополнительной продольной ЭДС:

$$\Delta P_{\Sigma}^{\partial} = \Delta P_1^{\partial} + \Delta P_2^{\partial} = \frac{P_1^{2\partial} + Q_1^{2\partial}}{U_H^2} \cdot R_1 + \frac{P_2^{2\partial} + Q_2^{2\partial}}{U_H^2} \cdot R_2 = \frac{26,14^2 + 11,1^2}{220^2} \cdot 32,8 + \frac{73,86^2 + 58,9^2}{220^2} \cdot 7 = 1,84 \text{ МВт.}$$

### **Заключение**

Исходя из полученных значений можно понять, что при использовании вольтодобавочных трансформаторов снижение потерь мощности в сети составило 0.03 МВт.

### **Литература**

1. Прокопенко В. Г., Фурсанов М. И. Лабораторные работы по курсу “Оптимизация режимов работы энергосистем” для студентов втузов специальности 0302 - “Электрические системы”, Минск 1989.
2. Оптимизация режимов замкнутых сетей [Электронный ресурс]/оптимизация режимов сетей. -Режим доступа: <https://studepedia.org/index.php?vol=3&post=67073/>. – Дата доступа:01.04.2021.



УДК 621.313.12

## ГЕНЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ ИЗ КАПЕЛЬ ДОЖДЯ GENERATING ENERGY FROM RAIN DROPS

Н.М. Николаев, И.В. Гуцев, Д.А. Бурдин  
Научный руководитель – В.А. Ханевская, инженер  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
hanevskaya@bntu.by  
N. Nikolaev, I. Gutsev, D. Burdin  
Supervisor – V. Khanevskaya, engineer  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** сезонное выпадения осадков заставили изобретателей задуматься: Как использовать энергию капель дождя? В результате было изобретено новое устройство, которое собирает энергию падающих капель дождя. Ученые убеждены, что это достаточно серьезный шаг в развитии энергоэффективности.

**Abstract:** the fallout caused the inventors to think: How to use the energy of raindrops? As a result, a new device was invented that collects the energy of falling raindrops. Scientists are convinced that this is a rather serious step in the development of energy efficiency

**Ключевые слова:** генерация, энергия, капли дождя, электросмачивание

**Keywords:** generation, energy, raindrops, electric wetting

### Введение

В привычном производстве гидроэнергии используются электромагнитные генераторы, которые имеют достаточно большую массу, размер, цену, а также становятся неэффективными при недостаточном водоснабжении. Группой ученых из Нидерландов и Китая было изобретено новое устройство, которое может вырабатывать электроэнергию всего лишь из одной капли дождя. Руководитель проекта, профессор Цзуанькай Вон утверждает, что капля, которая содержит 100 микролитров воды, падающая с высоты около 15-20 см может сгенерировать напряжения коло 140 В и ток равный 270 мкА. Этого хватит чтобы зажечь около 100 маленьких светодиодных ламп. (рисунок 1).

Добиться высокой плотности генерации электроэнергии из капель дождя оказалась достаточно сложной задачей. Ранее, уже были попытки создать генератор, который бы собирал энергию падающих с небес капель воды. Работа данных генераторов базировалась на принципе вырабатывания энергии за счёт трения при контакте двух материалов, которое между собой обменивались электронами. Но все же прежние попытки приводили к тому, что у генератора получился слишком низкий КПД, соответственно и мощность оказывалась слишком низкой. Однако, Гонконгские ученые совместно с коллегами из Нидерландов добились того, что КПД нового устройства составил около 12%. [1].

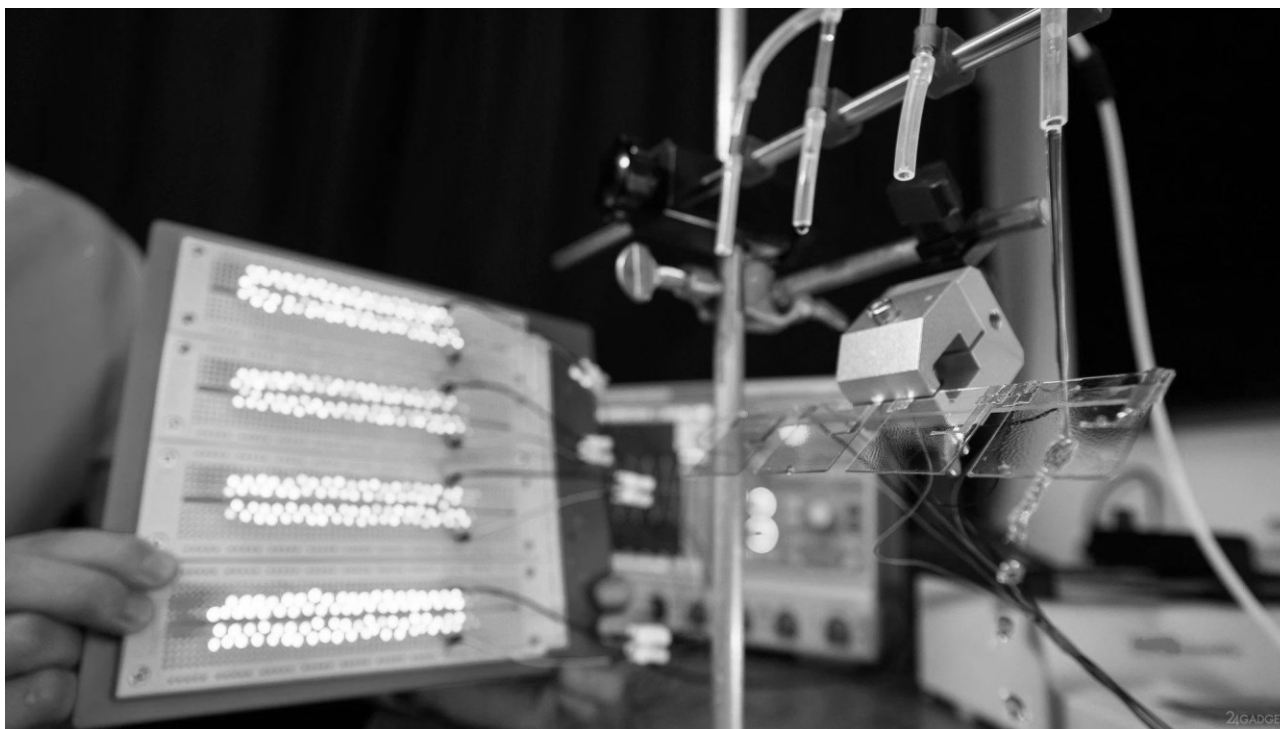


Рисунок 1- Процесс генерации энергии из каплей воды.

### **Основная часть**

Данный генератор использует для работы структуры, напоминающие полевые транзисторы (FET), которые как раз и смогли обеспечить достаточно высокую энергоэффективность. Основные части нового устройства включают в себя два электрода. Один из которых сделан из алюминия, второй сделан из оксида индия и олова (ITO), покрытой пленкой из политетрафторэтилена (PTFE). Политетрафторэтилен, известный как «тефлон»- полимер тетрафторэтилена, более известного как «фторопласт». Особенностью данного материала является наличие квазипостоянного электрического заряда, который накапливает и хранит поверхностные заряды высокой плотности.

Принцип действия нового изобретения основывается на таком явлении, как электросмачивание. Капля дождя которая падает с неба, стремится принять округлую форму, под действием сил поверхностного натяжения. Когда капля падает на заряженную поверхность, то она растекается по плоскости, так как молекулы воды будут стремиться смочить поверхность из-за воздействия электрического поля данной поверхности. Следовательно, упавшая капля на поверхность обоих электродов, замыкает электроды в единую электрическую цепь, а на поверхностях электродов идет накопление поверхностного заряда. При высвобождении поверхностных зарядов высокой плотности и генерируется электрический ток в цепи (рисунок 2).

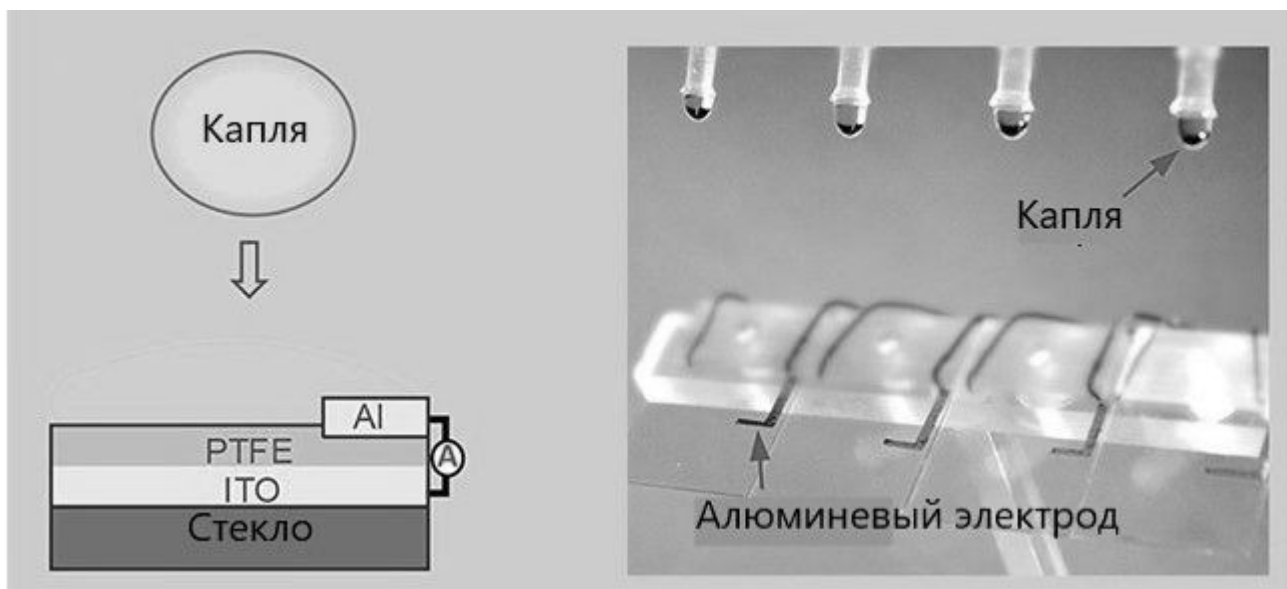


Рисунок 2- принцип работы электрогенератора

Величина генерируемого тока зависит от количества инжесктированных зарядов. Чтобы повысить данный показатель, разработчиками было использованы материалы высокой прочности. Использование данных материалов позволило преобразовать около 11,8% механической энергии капель дождя в электрическую [2].

### Заключение

В связи с угрозами энергетического кризиса, загрязнения атмосферы, глобального потепления, а также отказ от ископаемого топлива встает вопрос о поиске и использовании новых источников возобновляемой энергии. Падающие капли дождя как раз могут стать одним из них. Следует заметить, что эффективность данного прибора не снизилась после 100 дней работы. Изобретатели предлагают использовать данный прибор для всех поверхностей, которые находятся в контакте с брызгами воды, например, крыши автомобилей, домов, зонтики и т.д.

### Литература

1. [Энергетическая революция 2050](https://energy2050.by/effektivnost-generatsii-energii-iz-kapel-dozhda-udalos-podnyat-do-12/) [Электронный ресурс] - 2020. – Режим доступа: <https://energy2050.by/effektivnost-generatsii-energii-iz-kapel-dozhda-udalos-podnyat-do-12/> – Дата доступа: 21.04.2021.
2. 24gadget[Электронный ресурс] - 2020. – Режим доступа: <https://24gadget.ru/1161070057-dozhd-kak-esche-odin-istochnik-vozobnovljaemoj-jenergii-2-foto-video.html> – Дата доступа: 20.04.2021.

УДК 621.311

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ЧЕТВЕРТИ ВОЛНЫ  
STUDY OF THE QUARTER WAVE REGIME**

Н.А. Бруцкий-Стемпковский, А. В. Острейко  
Научный руководитель – к.т.н., доцент Старжинский А. Л.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь  
N. A. Brutsky-Stempkovsky, A. V. Ostreyko  
Supervisor – A. L. Starzhinsky, Candidate of Technical Science, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** данная научная работа была написана в процессе создания лабораторной работы для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» по дисциплине «Электропередачи». Здесь рассмотрены основные теоретические положения математической модели линии электропередачи большой протяжённости, отмечены особенности линий электропередачи протяжённостью, составляющей четверть волны, предложены способы исследований таких линий электропередачи в программной среде «MATLAB – Simulink».

**Abstract:** This scientific work was written in the process of creating a laboratory work for students of the specialty 1-43 01 02 "Electric power systems and networks" in the discipline "Power transmission". Here, the main theoretical provisions of the mathematical model of a long-distance power transmission line are considered, the features of power transmission lines with a length of a quarter of a wave are noted, methods for studying such power lines in the MATLAB-Simulink software environment are proposed.

**Ключевые слова:** электроэнергетика, передача электроэнергии, электропередачи, четверть волны.

**Keywords:** electric power industry, power transmission, power transmission, quarter wave.

**Введение**

Линия электропередачи (ЛЭП) – один из компонентов электрической сети, система энергетического оборудования, предназначенная для передачи электроэнергии посредством электрического тока [1].

Особую роль в энергосистемах занимают дальние и сверхдальние электропередачи, выполняющие функции межсистемных связей и магистральных передач больших потоков электроэнергии. К таким можно отнести, например, линию электропередачи Экибастуз – Кокшетау – участок уникальной высоковольтной линии электропередачи переменного тока «Сибирь — Центр» проектного напряжения 1150 кВ[2].

**Основная часть**

Все процессы, происходящие в линии электропередач, имеют волновой характер. В общем случае, когда линия электропередачи питается от источника

синусоидального напряжения, эти процессы можно описать как результат наложения падающей и отражённой волн. Для напряжения можно записать:

$$U_{\Pi} = \frac{1}{2}(U_2 + I_2 Z_B) e^{\gamma l}; \quad (1)$$

$$U_0 = \frac{1}{2}(U_2 - I_2 Z_B) e^{-\gamma l}, \quad (2)$$

где  $U_n, U_0$  – напряжение падающей и отраженной волны;

$U_2$  – напряжение в конце электропередачи;

$I_2$  – ток в конце электропередачи;

$z_6$  – волновое сопротивление линии;

$\gamma$  – постоянная распространения волны;

$l$  – расстояние от конца линии до какой-либо точки.

Аналогично для тока:

$$I_{\Pi} = \frac{1}{2}\left(I_2 + \frac{U_2}{z_B}\right) e^{\gamma l}; \quad (3)$$

$$I_0 = \frac{1}{2}\left(I_2 - \frac{U_2}{z_B}\right) e^{-\gamma l}, \quad (4)$$

где  $I_n, I_0$  – ток падающей и отраженной волны.

При попарном суммировании получаем уравнения, описывающие состояние электропередачи в любой её точке. Для фазных токов и линейных напряжений уравнения имеют вид:

$$U_1 = U_2 \operatorname{ch} \gamma l + \sqrt{3} I_2 z_B \operatorname{sh} \gamma l; \quad (5)$$

$$I_1 = I_2 \operatorname{ch} \gamma l + \frac{U_2}{\sqrt{3} z_B} \operatorname{sh} \gamma l, \quad (6)$$

Постоянная распространения волны  $\gamma$  определяется:

$$\gamma = \sqrt{(r_0 + jx_0)(g_0 + jb_0)} = \beta_0 + j\alpha_0, \quad (7)$$

где  $r_0, g_0$  – активное сопротивление и активная проводимость на единицу длины линии;

$x_0, b_0$  – индуктивное сопротивление и ёмкостная проводимость на единицу длины линии;

$\alpha_0$  – коэффициент изменения фазы волны на единицу длины;

$\beta_0$  – коэффициент затухания амплитуды волны на единицу длины.

Для исследования вопросов пропускной способности, перенапряжений, токов коротких замыканий для линий протяжённостью  $L \leq 2000$  км можно рассматривать вместо реальной линии – идеальную, без потерь [3]. Для такой линии удельные активные сопротивление и проводимость  $r_0 = 0$  и  $g_0 = 0$ .

После некоторых преобразований получаем:

$$U_1 = U_2 \cos \lambda + j\sqrt{3} I_2 z_B \sin \lambda; \quad (8)$$

$$I_1 = I_2 \cos \lambda + j \frac{U_2}{\sqrt{3} z_B} \sin \lambda, \quad (9)$$

где  $\lambda = \alpha l$  – волновая длина линии.

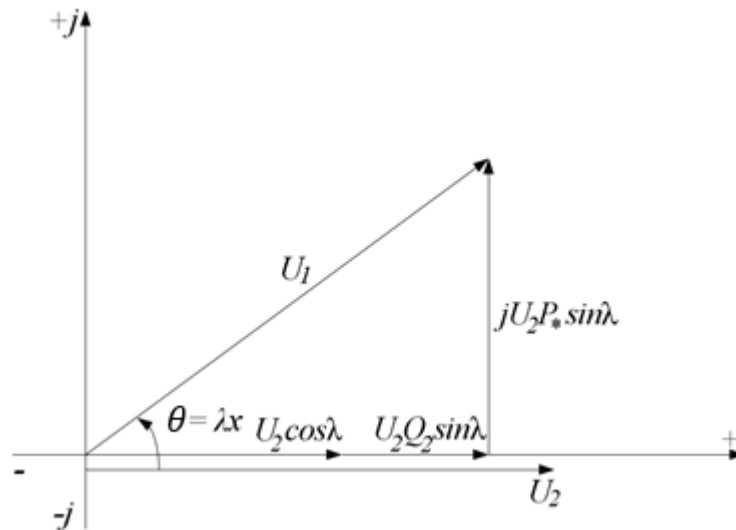


Рисунок 1 – Векторная диаграмма четвертьволновой линии

Из векторной диаграммы следует, что:  $\sin \theta = \frac{U_2 P_* \sin \lambda}{U_1}$ . После преобразований получим:

$$P = \frac{U_1 U_2}{Z_0 \sin \lambda}. \quad (10)$$

При длине электропередачи  $l = 1500$  км и, соответственно, волновой длине  $\lambda = \frac{\pi}{2}$  следует записать:

$$U_1 = j\sqrt{3}I_2 Z_B; \quad (11)$$

$$I_1 = j \frac{U_2}{\sqrt{3}Z_B}; \quad (12)$$

$$P_{*max} = 1; \quad (13)$$

$$P = \frac{U_1 U_2}{Z_B}; \quad (14)$$

$$\sin \theta = \frac{U_2}{U_1} P_*; \quad (15)$$

$$Q_1 = Q_2 = -\frac{U_1 U_2}{Z_B} \cos \theta; \quad (16)$$

Режим работы такой электропередачи называется четвертьволновым. Из уравнений (11)-(16) следует несколько простых и важных свойств данного режима.

1. Токи начала и конца четвертьволновой линии не зависят друг от друга и прямо пропорциональны напряжению противоположного конца линии.

2. В нормальном режиме работы напряжение в конце линии не зависит от напряжения в начале линии.

3. В режиме короткого замыкания в конце линии  $U_1 = const; U_2 = 0$ , следовательно  $I_1 = 0; I_2 = j \frac{U_1}{\sqrt{3}Z_B}$ , и такой режим для четвертьволновой линии не представляет опасности.

4. В режиме холостого хода при  $I_2 = 0$ , уравнение (8) запишется как  $U_1 = U_2 \cos \lambda$ . Отсюда  $U_2 = \frac{U_1}{\cos \lambda}$ . Поскольку  $\cos \lambda \frac{\pi}{2} = 0$ , то при подаче даже небольшого напряжения на начало четвертьволновой линии, напряжение разомкнутого конца теоретически становится бесконечным. Естественно, что в реальной линии напряжение повысится до некоторого конечного значения, обычно превышающего номинальное в несколько раз:  $U_2 \rightarrow \infty$ ;  $I_1 \rightarrow \infty$ .

Следовательно, режим холостого хода для четвертьволновой линии очень опасен, так как он равносильен режиму короткого замыкания для обычных линий.

Режим холостого хода опасен еще и перегрузкой генераторов, включенных в начале передачи. Из-за повышенных уровней напряжения генерируемая линией реактивная мощность становится настолько большой, что может привести к перегреву обмоток генераторов [4].



Рисунок 2 – Схема электропередачи

Опираясь на данные теоретические рассуждения, нами была разработана лабораторная работа «Исследование режима четверти волны» по дисциплине «Электропередачи» для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети». Студенту, выполняющую данную лабораторную работу, предлагается ознакомиться с краткими теоретическими сведениями по данной теме и выполнить некоторые измерения и расчёты в среде MATLAB – Simulink. Результаты заносить в таблицу 1.

Приведем пример выполнения лабораторной работы и проанализируем полученные результаты.

Таблица 1 – Результаты измерений и расчётов (начало).

№	$\lambda$	$P_2/P_{\text{нат}}$	$U_1$ , кВ	$U_2$ , кВ	$I_1$ , А	$I_2$ , А	$\frac{U_2}{I_1}$ , кВ/А	$\frac{U_1}{I_2}$ , кВ/А	$\theta$ , град.
1	$< \frac{\pi}{2}$	0,5	752,2	1362	2686	1362	0,51	0,55	61,23
2		0,75	750,2	972,5	1940	1477	0,50	0,51	69,9
3		1	749,4	749,1	1519	1515	0,49	0,49	74,65
4		1,25	749,1	607,1	1257	1534	0,48	0,49	77,61
5		1,5	748,9	509,7	1081	1545	0,47	0,48	79,63
6	$= \frac{\pi}{2}$	0,5	748,1	1483	2996	1505	0,49	0,50	96,27
7		0,75	749,1	994	2008	1510	0,50	0,50	94,21
8		1	749,4	747,2	1509	1511	0,50	0,50	93,18
9		1,25	749,6	598,6	1210	1512	0,49	0,50	92,55
10		1,5	749,8	499,2	1009	1513	0,49	0,50	92,13

Таблица 1 – Результаты измерений и расчётов (продолжение).

№	$\lambda$	$P_2/P_{\text{нат}}$	$U_1, \text{кВ}$	$U_2, \text{кВ}$	$I_1, \text{А}$	$I_2, \text{А}$	$\frac{U_2}{I_1}, \text{кВ/А}$	$\frac{U_1}{I_2}, \text{кВ/А}$	$\theta, \text{град.}$
11	$> \frac{\pi}{2}$	0,5	745,7	1251	2394	1262	0,52	0,59	128,4
12		0,75	748,2	943,9	1846	1428	0,51	0,52	117,8
13		1	749,5	745,7	1501	1504	0,50	0,50	111,6
14		1,25	750,2	612,3	1277	1544	0,48	0,49	107,6
15		1,5	750,6	517,9	1124	1567	0,46	0,48	104,8

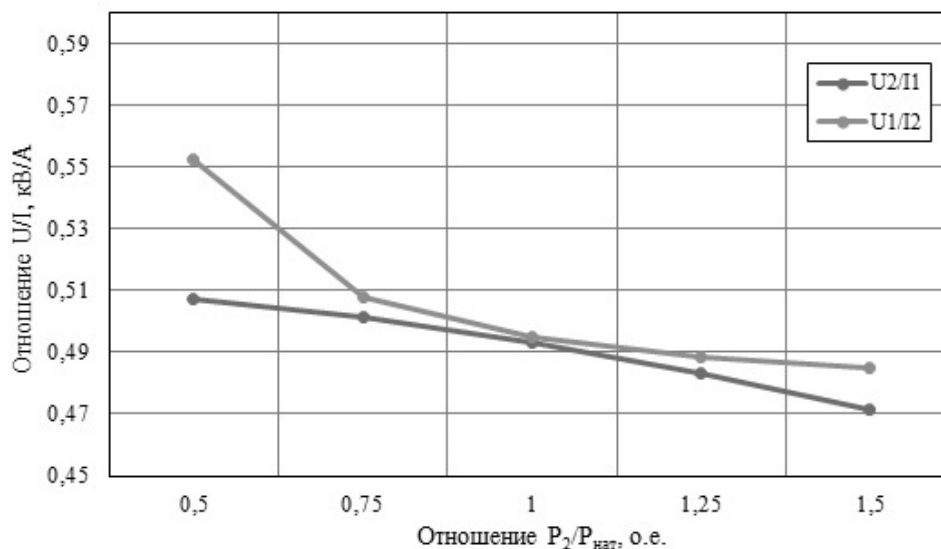


Рисунок 3 – Отношение  $U/I$  при волновой длине линии электропередачи менее четверти волны ( $L = 1200 \text{ км}$ )

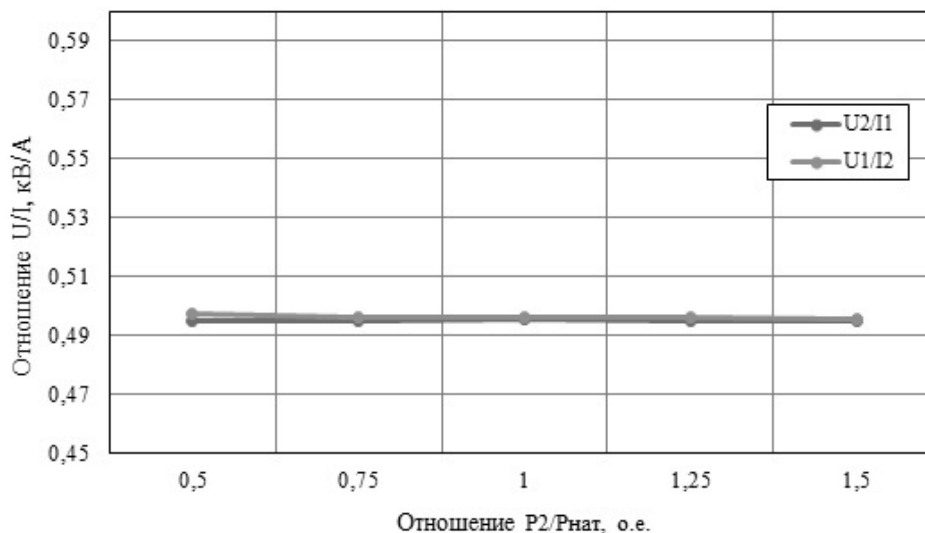


Рисунок 4 – Отношение  $U/I$  при волновой длине линии электропередачи равной четверти волны ( $L=1500 \text{ км}$ )



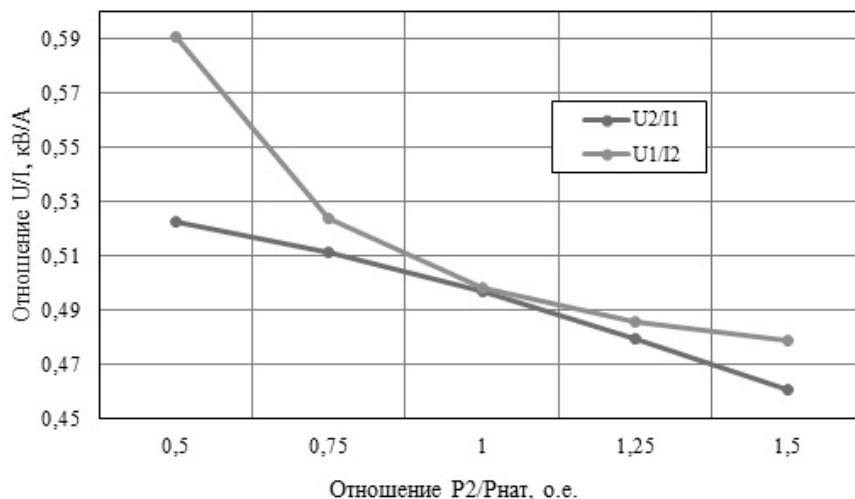


Рисунок 5 – Отношение  $U/I$  при волновой длине линии электропередачи более четверти волны ( $L=1800$  км)

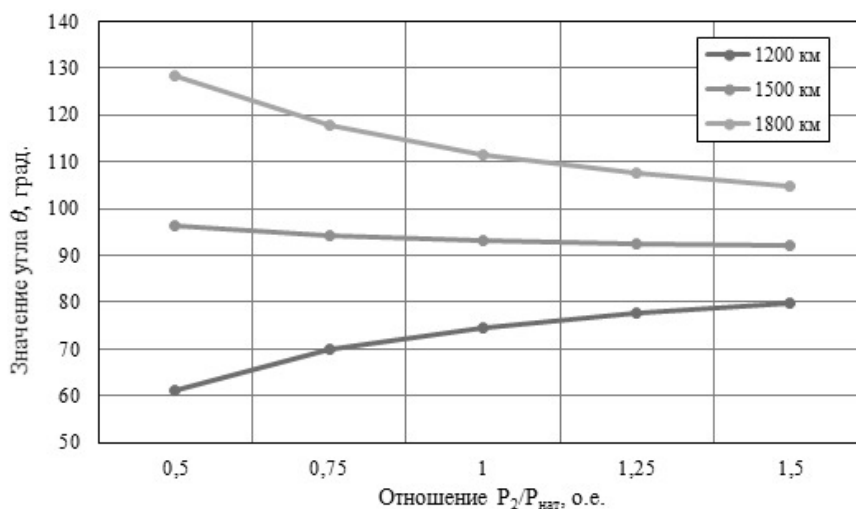


Рисунок 6 – Значение угла  $\theta$  при различных длинах линии электропередачи

### Заключение

Электропередачи длиной четверть волны обладают следующими свойствами:

1. Отношение напряжения  $U_2$  конца линии к току  $I_1$  начала линии постоянно для любой нагрузки при четвертьволновой длине электропередачи. При иной длине отношение изменяется.
2. Аналогичным образом ведёт себя отношение напряжения  $U_1$  начала линии к току  $I_2$  конца линии.
3. В режиме четверти волны ток  $I_2$  конца линии не меняется при изменении нагрузки  $P_2$ . В иных режимах ток увеличивается с ростом нагрузки, что логично.

### Литература

1. Линия электропередачи [Электронный ресурс]/ линия электропередачи. - Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Линия\\_электропередачи/](https://ru.wikipedia.org/wiki/Линия_электропередачи/). – Дата доступа: 01.04.2021.
2. Единственная линия электропередачи 1150 кВ [Электронный ресурс]/единственная линия электропередачи 1150 кВ. - Режим доступа:

[https://pikabu.ru/story/edinstvennaya liniya\\_yelektroperedachi\\_1150\\_kv\\_5646567/](https://pikabu.ru/story/edinstvennaya liniya_yelektroperedachi_1150_kv_5646567/).

– Дата доступа: 01.04.2021.

3. Поспелов Г. Е., Федин В.Т. Передача энергии и электропередачи: Учеб. пособие для студентов энергет. специальностей вузов / Г. Е. Поспелов, В. Т. Федин. – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2003. – 544 с: ил.

4. Веников В.А., Рыжов Ю.П. Дальние электропередачи переменного и постоянного тока: Учебн. Пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985.- 272с., ил.

УДК 546.11

**ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС БЕЛАРУСИ, ПРОБЛЕМЫ,  
ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ  
FUEL AND ENERGY BALANCE OF BELARUS, PROBLEMS, TASKS  
AND DEVELOPMENT PROSPECTS**

Н.Ю. Подоба

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

N. Podoba

Supervisor – N. Petrashevich, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** Мир не стоит на месте. Самообеспеченность РБ энергоресурсами постепенно растет. На лидирующих позициях топливно-экономических ресурсах находится древесина. Я считаю, что еще много лет лидирующие позиции будет занимать именно она. Беларусь располагает на лидирующих позициях среди стран Европы по добыче торфа. Для снижения энергетической зависимости РБ в своей стратегии развития энергетического потенциала Республики Беларусь определила развитие возобновляемых источников энергии. Стоит отметить, что хотя доля возобновляемых источников энергии в структуре производства и конечного потребления энергии невелика, но в последние годы она постепенно растет.*

***Annotation:** The world does not stand still. Self-sufficiency of the Republic of Belarus in energy resources is gradually growing. Wood occupies the leading positions in fuel and economic resources. I believe that it is she who will occupy the leading position for many years to come. Belarus occupies a leading position among European countries in peat extraction. To reduce energy dependence, the Republic of Belarus in its strategy for the development of the energy potential of the Republic of Belarus has identified the development of renewable energy sources. It should be noted that although the share of renewable energy sources in the structure of production and final energy consumption is small, it has been gradually growing in recent years.*

***Ключевые слова:** Энергетические ресурсы, топливо, энергетика, безопасность, зависимость.*

***Keywords:** Energyresources, fuel, energy, safety, dependence.*

**Введение**

XXI век невозможно представить без энергетики: развитие технологий, отраслей, производств и мировой экономики в целом привело к повышению уровня жизни человека, а, следовательно, к увеличению его энергетических потребностей. Поэтому на сегодняшний день многие страны сталкиваются с проблемой энергетической безопасности, которая, к сожалению, остро ощущается в Республике Беларусь. Самообеспеченность Республики Беларусь энергоресурсами находится на уровне 18% (если сравнить с лидирующими странами, то: Швеция - 63%, Германия - 45%, Дания - 59%). Исходя из этого, можно сделать вывод, что Республика Беларусь является энергозависимой

страной, вынуждена импортировать больше 80% потребляемых топливно-энергетических ресурсов [1].

### **Основная часть**

Структура топливно-экономических комплексов Республики Беларусь отличается от комплексов соседних стран, которые имеют более устойчивую энергетическую безопасность. Так, в структуре добытых топливно-экономических ресурсов Беларуси лидируют древесина и получаемое из нее биотопливо, а в балансе возобновляемых источников энергии в 2017 году ее доля вместе с древесными отходами составила 74%. Этот сектор топливно-энергетического комплекса Республики Беларусь достаточно эффективный: его доля в обеспечении энергетических потребностей населения значительно увеличивается, а все производственные планы лесхозов в последние годы выполняются с профицитом.

После древесного топлива во внутреннем производстве энергоресурсов идет торф, который является очень важным источником энергии для нашей страны как с точки зрения объемов, так и с точки зрения производства и добычи. Беларусь занимает третье место после Финляндии и Ирландии соответственно, по его производству. В нашей стране торф используется населением в качестве бытового топлива, а также играет важную роль в промышленном секторе: доля торфа в энергобалансе сегодня составляет около 2-3%, а в местных видах топлива - около 15%. Использование торфа значительно ослабляет энергетическую зависимость нашей страны, ежегодно заменяя около 800 миллионов кубометров. м природного газа.

Однако если обратиться к структуре конечного потребления энергоресурсов в Республике Беларусь, то, как и во многих странах, лидирующие позиции занимают нефтегазовые ЭР, а мы находимся в абсолютной энергетической зависимости от природного газа, не имея своих резервов. Однако, в отличие от газа сегодня в Беларуси открыто 74 месторождения нефти [3].

Промышленная добыча углеводородов в Беларуси началась в 1965 году и началась в районе Припятского прогиба (Гомельская и Могилевская области). Основной объем углеводородов добыт на крупнейших месторождениях: Речицком, Осташковичском, Вишанском, Южно-Осташковичском [2].

И на данный момент освоение нефтяных месторождений за рубежом стало одним из важных направлений внешнеэкономической политики нашей страны с целью диверсификации закупок углеводородов (совместные проекты PetroleraVeloVenesolana: Беларусь и Венесуэла, ОАО НК Янгпур: Беларусь и Россия).

Для снижения энергетической зависимости Республика Беларусь в своей стратегии развития энергетического потенциала Республики Беларусь определила развитие возобновляемых источников энергии в качестве одного из ведущих направлений: гидроэнергетике, ветроэнергетике, а также получаемая энергия от солнца. Стоит отметить, что хотя доля возобновляемых источников энергии в структуре производства и конечного потребления энергии невелика, но в последние годы она постепенно растет, несмотря на то, что финансирование в этом секторе имеет отрицательную тенденцию. Конечно, нельзя не упомянуть

ядерную энергетику, которая, по прогнозам, должна обеспечить повышение уровня энергетической безопасности за счет диверсификации источников энергии. Исходя из краткого анализа структуры энергоресурсов, а также изучения результатов в области энергоэффективности можно выделить следующие актуальные проблемы, которые характерны для топливно-энергетического баланса Республики Беларусь [3]:

- Слишком ограниченное количество собственных энергоресурсов;
- Великая зависимость от импорта первичных ЭР, причем от единственного основного нашего поставщика – Российской Федерации, что в результате привело Республику Беларусь к энергетической уязвимости;
- высокая энергоемкость валового внутреннего продукта;
- износ инфраструктуры и нерациональное использование энергии;
- Недостаток финансовых ресурсов для реализации проектов энергосбережения и модернизации;
- нерыночный характер тарифов (перекрестное субсидирование по видам энергии и потребителям, т.е. интересы институциональных и индивидуальных потребителей недостаточно защищены законодательством и тарифной политикой);
- постепенное снижение инвестиций в развитие энергосбережения и развитие возобновляемых источников энергии;
- монополия предприятий энергетики (Белэнерго, Беллесбумпром) [4].

#### **Заключение.**

Для решения этих проблем будет целесообразно выполнить такие действия, как:

- снижение энергоемкости экономики как со стороны производства, так и со стороны потребления;
- диверсификация поставщиков и видов топлива в топливно-энергетическом балансе республики за счет развития атомной энергетики;
- максимальное использование местных видов топлива, развитие нетрадиционного сектора энергосбережения, стимулирование научно-технических исследований и разработок в области энергосбережения;
- модернизация существующих и строительство новых электростанций на основе энергоэффективных технологий, обновление инфраструктуры энергетического комплекса;
- разработка современных технических норм и стандартов, их гармонизация с европейскими и международными стандартами;
- поддержка частного сектора в области энергоэффективности и возобновляемых источников энергии, привлечение инвестиций в этот сектор [5].

#### **Литература**

1. Производство (добыча) природных видов топливно-энергетических ресурсов [Электронный ресурс] / Национальный статистический комитет Республики Беларусь - Минск, 147 2014. - Режим доступа [<http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya>]- статистика / статистика / оперативные-данные\_3 / производство-добычаприродных-видов-топливно-энергетических-ресурсов / - Дата обращения: 04.03.2015.

2. Падалко, Л.П. Мировой энергетический рынок и топливно-энергетический комплекс Беларуси / Л.П. Падалко [и др.]; Институт экономики Национальной академии наук Беларуси - Минск: право и экономика, 2011. - 198 с.

3. О возобновляемых источниках энергии: Закон Республики Беларусь от 27 декабря 2010 г. № 204-З // Энергоэффективность. Государственный департамент. РБ [Электронный ресурс] / Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь. - Минск, 2015.

4. Об утверждении Стратегии развития энергетического потенциала Республики Беларусь: Постановление Совета Министров Республики. Беларусь, 9 августа 2010 г. № 1180 // Нац. Реестр правовых актов Республика Беларусь. - 2010. - № 198. - 5/32338.

5. Углубленный обзор политики и программ в области энергоэффективности: Республика Беларусь [Электронный ресурс] / Секретариат Энергетической Хартии - Брюссель, 2013. - Режим доступа: [<http://belgium.mfa.gov.by/docs>] - Дата доступа: 05.03.2015.

УДК 621.311

**КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И  
СПОСОБЫ КОМПЕНСАЦИИ НАРУШЕНИЙ.  
MONITORING OF ELECTRICITY QUALITY INDICATORS AND  
WAYS TO COMPENSATE FOR VIOLATIONS**

М.Г. Прокопович

Научный руководитель – Д.А. Секацкий  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
nik.petrashevitch@gmail.com

M.Prokopovich

Supervisor - D. Sekatskiy

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** причины нарушения качества электрической энергии. Нормы качества электрической энергии. Способы повышения показателей качества электроэнергии. Задачи контроля качества электроэнергии. Методы контроля показателей качества электроэнергии.*

***Abstract:** Standards for the quality of electrical energy. Ways to improve the quality of electricity. Tasks of electricity quality control. Methods for monitoring the indicators of electricity quality.*

***Ключевые слова:** качества электрической энергии, показатели качества электроэнергии, компенсации реактивной мощности, устройств регистрации ПКЭ.*

***Keywords:** the quality of electrical energy, indicators of the quality of electricity, reactive power compensation, PCE registration devices.*

**Введение**

Также могут возникать нарушения в работе оборудования, снижаться экономические показатели работы энергосистемы, если качество электроэнергии не соответствует параметрам, определенным в ГОСТ Р 54149–2010. [1]

Причин нарушения качества электроэнергии несколько: подключенные к электросети сварочные установки, вентильные преобразователи, индукционные и дуговые печи, преобразователи частоты, тяговые подстанции железных дорог, троллейбусы и трамваи, специальные однофазные нагрузки и ряд других электронных устройств. технические мероприятия с нелинейными вольтамперными характеристиками.

Можно отметить, что одной из основных причин, по которой уровень напряжения потребителя электроэнергии может не соответствовать требованиям ГОСТа, является превышение мощности, разрешенное к использованию самим потребителем. Как показывают исследования, стандарты качества электроэнергии в типовых энергосистемах соблюдаются далеко не всегда. Это очень часто приводит к неоптимальным режимам работы и даже повреждению элементов энергосистем и приемников электроэнергии, а также к повышенным потерям энергии. Отсюда следует, что проблема контроля и поддержания качества электроэнергии в настоящее время очень актуальна.

### Основная часть

Наибольшие проблемы наблюдаются при соблюдении предельных значений отклонений напряжения, на которые приходится более 56% всех зафиксированных нарушений параметров качества электроэнергии (PQP), а их общая среднегодовая продолжительность достигает 4300 минут. Не менее остро дело обстоит и с асимметрией напряжения.

Все это приводит к неоптимальным режимам работы и даже к выходу из строя элементов энергосистем и приемников энергии, а также к увеличению потерь энергии. Поэтому в настоящее время очень актуальна проблема контроля и поддержания (регулирования) качества электроэнергии. [2].

Общепринятые измерения свойств электронной энергии (EEI) также рассматриваются как степень электрической сопоставимости электрических шумов, которые выполняются в обычных системах электроснабжения. Стандарты применяются к техническим средствам для производства, передачи и потребления электрической энергии и не распространяются: 1) на помехи от индуктивной или емкостной связи, 2) на помехи от электромагнитного излучения. ГОСТ Р 54149–2010 устанавливает следующие показатели КЭЭ:

- установившееся отклонение напряжения  $\delta U_y$ ;
- размах изменения напряжения  $\delta U_1$ ;
- доза фликера  $P_t$ ;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения  $KU$ ;
- коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей напряжения  $KU(n)$ ;
- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K2U$ ;
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K0U$ ;
- отклонение частоты  $\Delta f$ , – длительность провала напряжения  $\Delta t_{П}$ ;
- импульсное напряжение  $U_{имп}$ ;
- коэффициент временного перенапряжения  $K_{пер} U$ .

Существуют несколько способов повышения показателей качества электроэнергии:

- уменьшение сопротивлений элементов системы электроснабжения;
- изменение напряжений симметричных составляющих;
- ограничение токов симметричных составляющих основной и высших гармонических частот в местах их возникновения [1].

Первый способ заключается в использовании двухреакторов, установок продольной компенсации реактивной мощности, быстродействующих ограничителей тока. Эти методы позволяют параметрическую стабилизацию режима напряжения, но не устраняют асимметрию и несинусоидальный диапазон токов и вызываемые ими последствия (перегрузка обмоток вращающихся машин токами обратной последовательности, конденсаторные батареи с более высокими гармоническими токами, потеря мощности и т. д.).

Второй способ - создать симметричную систему напряжений на выводах многофазного электрического приемника, подключенного к асимметричной системе. Его реализация, как правило, связана с большими затратами и



ограничивается личными потребителями энергии. В результате не устраняется асимметрия входных токов и напряжений. Подобный метод может быть использован, например, при разработке энергооборудования для трехфазных покупателей двухконтурной системы - территория, рельсы, трубы однофазной сети; для уравнивания напряжений сети, подключенной к полуфазе ЛЭП; стабилизация напряжения. При реализации этого метода из-за фильтров из симметричных компонентов начинают появляться большие потери энергии из-за активных фильтрующих элементов.

Третий метод реализуется для ограничения нагрузочных токов симметричных компонентов до приемлемых значений с помощью перекрестно соединенных компенсирующих устройств. Основное отличие этого метода от двух предыдущих заключается в том, что его использование устраняет причину асимметрии (токи), а не ее последствия (напряжение).

Использование компенсации реактивной мощности (RPC), которая напрямую связана с режимом напряжения, рассматривается как конструктивный способ улучшения свойств электрической энергии.

Контроль качества электрической энергии по-своему включает оценку соответствия показателей установленным нормам и дальнейший анализ качества электроэнергии - определение лица, ответственного за ухудшение этих показателей.

Основными задачами контроля качества электроэнергии являются:

- проверка соответствия требованиям стандарта в части оперативного контроля показателей качества электроэнергии (PQI) в электрических сетях общего пользования;
- проверка соответствия реальных значений показателей ИП на границе участка сети по балансу значениям, зафиксированным в договоре энергоснабжения;
- разработка технических условий на подключение потребителя по условиям ЕЭК;
- проверка соблюдения договорных условий по ИЕЕ с определением рассчитанных и эффективных допустимых вкладов потребителя в ухудшение ИЕЕ;
- разработка технических и организационных мер по обеспечению ЕПС;
- определение скидок (надбавок) к тарифам на электрическую энергию за их качество;
- электротехническая сертификация;
- искать «виновника» искажения показателей качества электроэнергии

В зависимости от целей, решаемых при контроле и анализе КЭЭ, можно выделить следующие методы контроля ПКЭ:

- диагностический;
- инспекционный;
- оперативный;
- коммерческий;
- технологический.

Диагностический метод мониторинга ЕЭС - основная цель диагностического мониторинга на стыке между электросетями получателя и энергетической организацией - выявить «виновника» ухудшения ЕЭС, определить допустимый вклад в нарушение требований стандарта ЕЭС, включить их в договор энергоснабжения и стандартизируйте ЕЭС.

Методика контроля ЭЭО осуществляется органами по сертификации для получения информации о состоянии сертифицированной электрической энергии в электрических сетях энергоснабжающей организации, о соблюдении условий и правил применения сертификата, а для того, чтобы доказать, что на самом деле ЕЭК в направлении времени выдержки сертификата продолжается - не соответствует установленным требованиям.

Операционный метод мониторинга СЕЕ необходим в рабочих условиях в точках электросети, где существуют искажения напряжения, которые невозможно устранить в ближайшем будущем. Оперативный контроль необходим в точках подключения тяговых подстанций электрифицированного рельсового и городского транспорта, подстанций предприятий с электроприемниками с нелинейными характеристиками. Результаты оперативного контроля необходимо направить по каналам связи в распределительные центры электронной сети энергоснабжающей организации и в систему электроснабжения промышленного предприятия.

Коммерческий метод контроля КМК - описывает осуществление расчетов на стыке электрических сетей получателя и энергоснабжающей организации, по результатам которого определяются скидки (надбавки) к тарифам на электроэнергию за ее качество. Для прогнозирования, контроля и анализа свойств электронной энергии и ее влияния на сети, трансформаторы и нагрузки устройство управления должно обеспечивать анализ, регистрацию событий и автоматическое формирование отчетов о качестве электроэнергии в соответствии с ГОСТ Р 54149-2010.

Технологический метод контроля - контроль КЭЭ с уменьшением длительности и погрешности измерений по сравнению с требованиями ГОСТ Р 54149-2010. Другими словами, для этих целей чаще всего могут использоваться простые и дешевые средства внесения изменений. Основная функция технологического метода - определение влияния технологического процесса потребителя электроэнергии на КЭЭ. [2]

В настоящее время существует множество устройств для регистрации импортных и отечественных PQE с разными функциями и ценами. В прочем, степень их внедрения в компаниях порождает жажду лучшего. Чтобы убедиться в этом, на существующем передовом оборудовании было проведено испытание для регистрации свойств электричества. Это стало причиной необходимости разработки нового устройства. [3]

На первом этапе проектирования устройства была разработана структурная схема, которая показывает взаимосвязь блоков и их функции (рисунок 1).

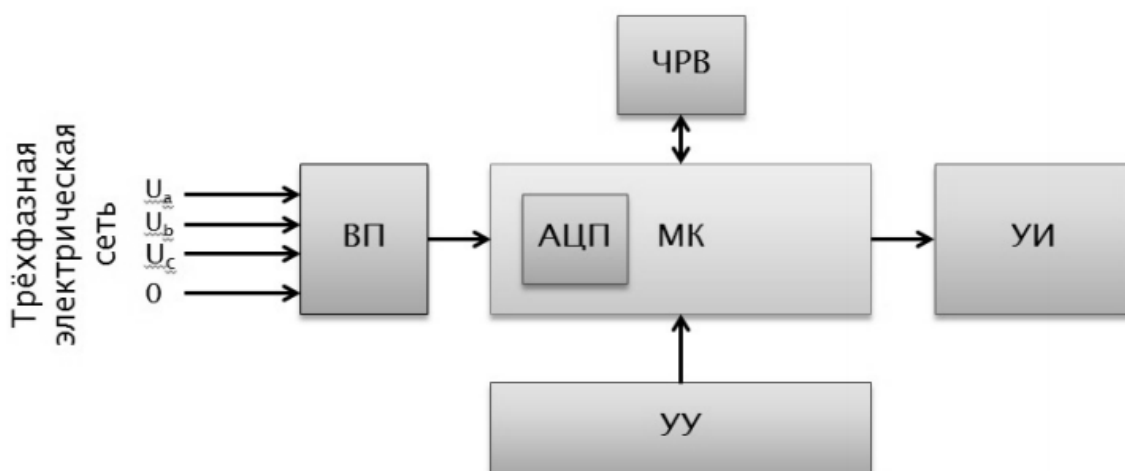


Рисунок 1 – Структурная схема разработанного устройства

**ВП** (входной преобразователь) выполняет преобразование фазных напряжений в эквивалентно масштабированные три синусоидально меняющихся напряжения для фаз А, В и С соответственно. **АЦП** (аналогово-цифровой преобразователь) осуществляет преобразование плавно изменяющихся и поступающих от блока ВП сигналов в их цифровой эквивалент. **УУ** (устройство управления) командует режимами работы устройства, делая возможным оператору выбрать те показатели качества электроэнергии, которые будут отображаться на **УИ** (устройство индикации). **МК** (микроконтроллер) на основе поступающих от блока АЦП мгновенных значений фазных напряжений выполняет вычисления действующих значений фазного напряжения, частоты сетевого напряжения, коэффициента несинусоидальности и коэффициента несимметрии. Также МК осуществляет вычисление и накопление статистики о показателях качества электроэнергии (максимальное и минимальное напряжение за период, максимальная и минимальная частота и т. д.). Блок **ЧРВ** (часы реального времени) сделан на специализированной для реализации функции высокоточных часов микросхеме DS1302.

### Заключение

Для анализа качества электроэнергии применяется методика измерения РКЭ и соотнесения их с предельными значениями. Для этого используется система мониторинга качества электроэнергии. Анализаторы свойств электричества считаются ведущими веществами этих систем. Система мониторинга электрических свойств будет выполнять нормализованные измерения РКЭ, обрабатывать результаты измерений, а также собирать и систематизировать данные. Также формируются отчеты и предоставляется аналитическая информация, на основе которой разрабатываются меры по улучшению качества электроэнергии.

Таким образом, можно сказать, что разработанный прибор позволяет потребителю самостоятельно контролировать качество электроэнергии. Это также предотвращает такие события, как увеличение активной мощности и потерь электроэнергии, сокращение срока службы электрооборудования и его преждевременный выход из строя; нарушение нормального протекания технологического процесса потребительского производства, что может привести

к снижению качества выпускаемой продукции и увеличению энергозатрат на производство и, как следствие, снизит денежные потери энергоснабжающей организации.

### Литература

1. Показатель качества электроэнергии. [Электронный ресурс]/общие сведения. -Режим доступа:<https://mydocx.ru/8-58903.html>Дата доступа: 13.03.2021.
2. Анализ качества электроэнергии. [Электронный ресурс]/общие сведения. -Режим доступа:<https://applied-research.ru/ru/article/view?id=12967>Дата доступа: 15.03.2021.
3. Нормы качества электроэнергии. [Электронный ресурс]/общие сведения. -Режим доступа:<https://uk-parkovaya.ru/whatandwhy/tips/pokazateli-kacestva-elektroenergii-i-ih-normirovanie.html>Дата доступа: 20.03.2021.

УДК 621.3.019.34

**РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ СХЕМЫ СОБСТВЕННЫХ НУЖД БЛОКА  
ВВЭР-1000 МЕТОДОМ ДЕРЕВА ОТКАЗОВ**

**CALCULATION OF THE RELIABILITY OF THE OWN NEEDS OF A  
VVER-1000 UNIT BY THE FAILURE TREE METHOD**

А.И. Протасевич, И.М. Сергеенко, А.В. Старовойтов  
Научный руководитель – А.Л. Старжинский, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

A. Protasevich, I. Sergeenko, A. Starovoitov  
Supervisor – A.L. Starzhinsky, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** была рассчитана надежность элементов схемы электроснабжения собственных нужд блока ВВЭР-1000 атомной электрической станции. В результате были определены основные показатели, характеризующие надежность: частота отключений потребителей. Полученные показатели показали высокую надежность рассчитываемой схемы.*

***Abstract:** The reliability of the elements of the power supply scheme for auxiliaries of the VVER-1000 unit of a nuclear power plant was calculated. As a result, the main indicators characterizing reliability were determined: the frequency and duration of consumer outages. The obtained indicators showed the high reliability of the calculated scheme.*

***Ключевые слова:** собственные нужды, надежность, АЭС, система электроснабжения, ВВЭР-1000.*

***Key words:** auxiliary needs, reliability, NPS, power supply system, VVER-1000.*

### **Введение**

В связи с быстрорастущими потребностями в электроэнергии количество атомных электрических станций (АЭС) непреклонно растет, что в свою очередь увеличивает возможность возникновения различных техногенных катастроф. Во избежание этого следует досконально подходить к вопросу повышения надежности всех составных частей АЭС. К надежности питания элементов АЭС предъявляются повышенные требования, поэтому электрическая схема собственных нужд блока водо-водяного энергетического реактора мощностью 1000МВт ВВЭР-1000 должна обладать высоким уровнем надежности, так как это одна из важнейших частей электроснабжения АЭС.

Перед постройкой любого объекта и схемы следует знать вероятность выполнения (не выполнения) объектом изначально заложенных функций при определенных условиях, поэтому необходимо проводить расчет надежности оборудования [1].

### **Основная часть**

Произвести расчет показателей надежности системы собственных нужд блока ВВЭР-1000 (рисунок 1) можно в программе "REISS". Алгоритм данной программы реализован на методе дерева отказов.

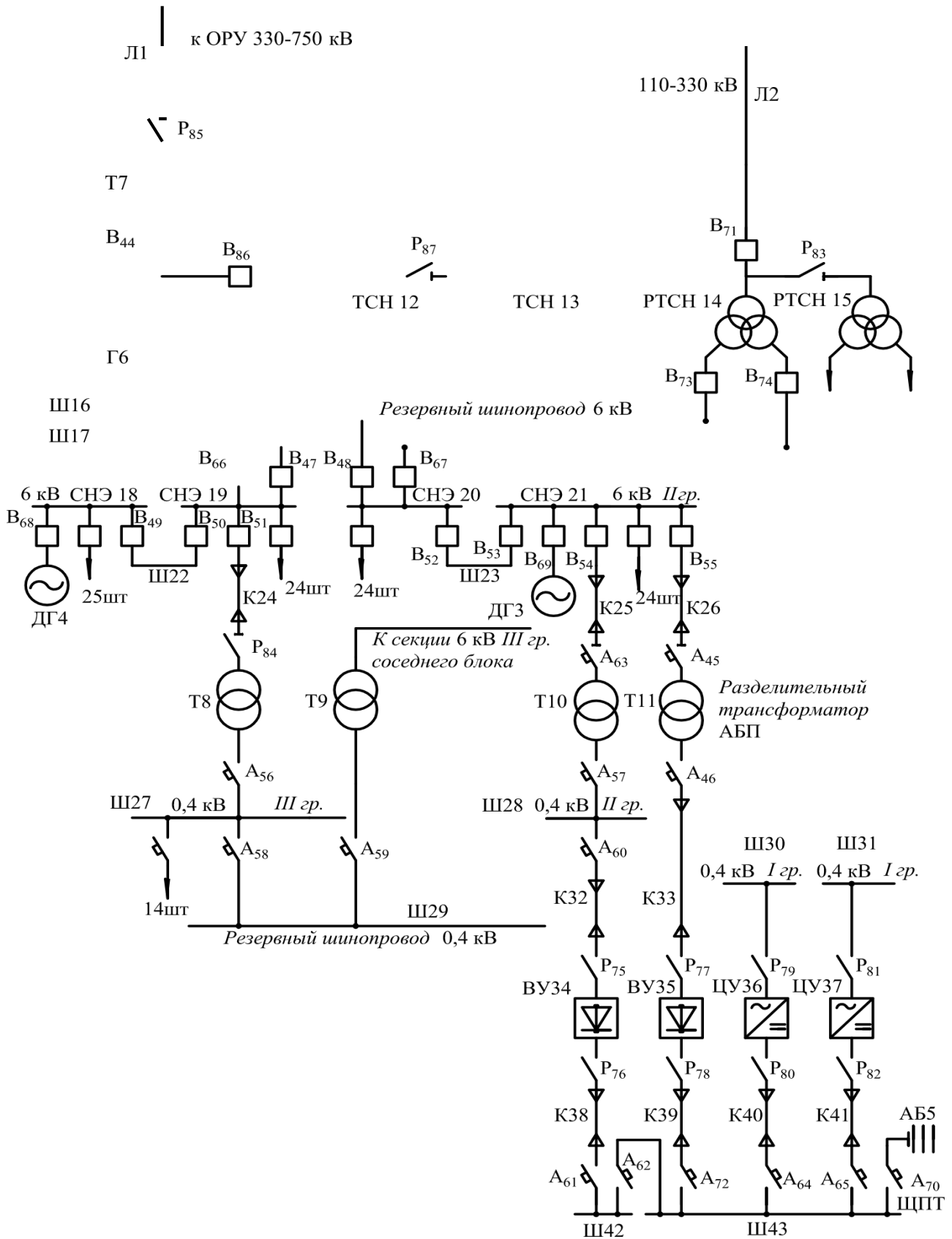


Рисунок 1 – Расчетная схема с нумерацией ветвей и узлов

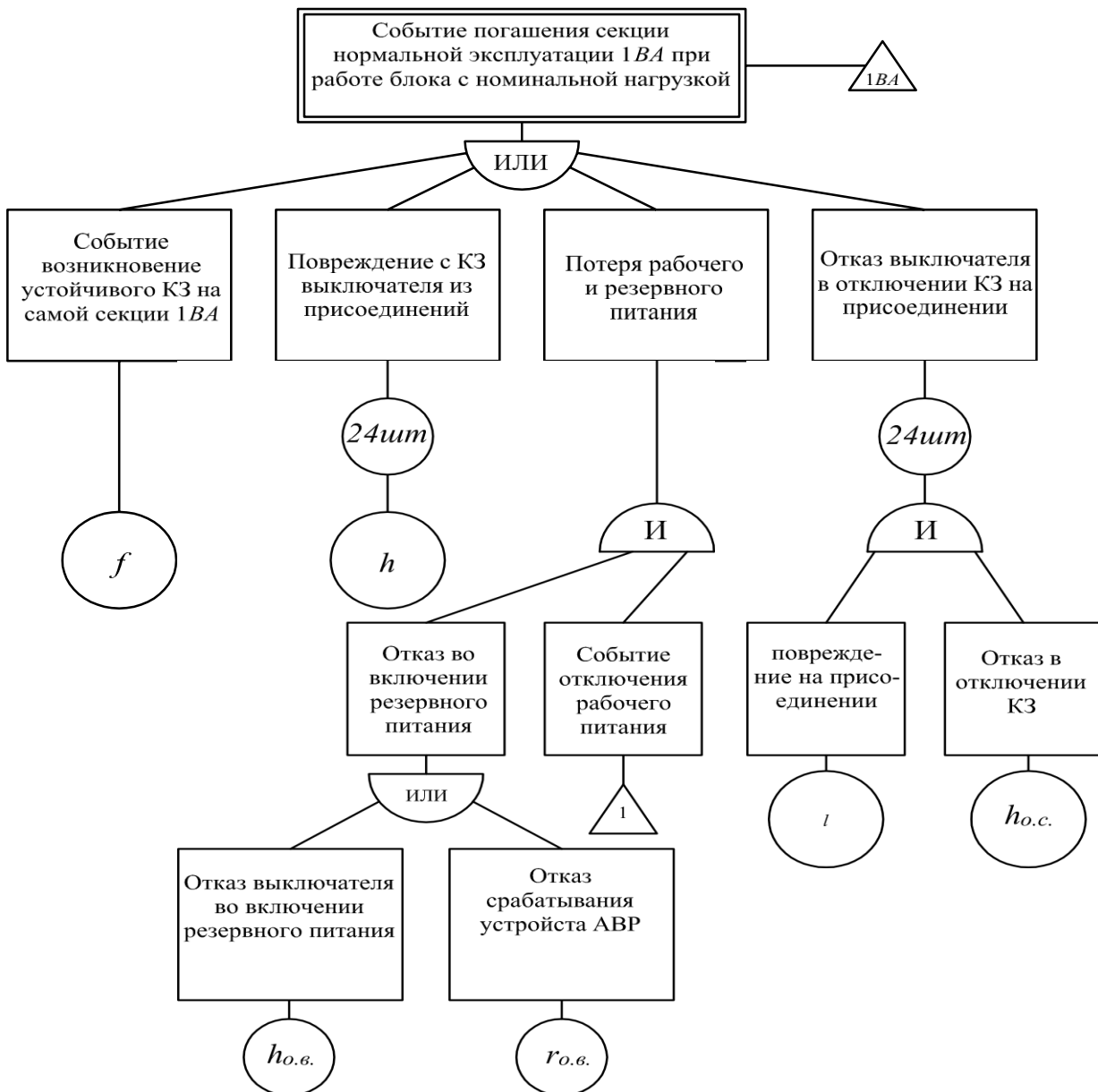


Рисунок 2–Схема дерева отказов для секции шин №19

Построенное дерево наглядно показывает слабые места в рассматриваемой системе, что позволяет принять правильные решения, связанные с дальнейшим применением рассматриваемой системы.

Программа «Reiss» реализует в своей работе модель структурной надежности, позволяющую производить вычисления длительности  $T$  и частоты  $\lambda$  отключений потребителей в нормальном и аварийном режиме работы. Кроме того, может быть исследована возможная вероятность отказов релейной защиты (РЗ), а также вероятность отказов, связанных с переключением на резервное электроснабжение, при отказах автоматики, автоматического ввода резерва (АВР) и вводов рабочего питания, а также резервных дизельных генераторов [2].

Значения  $\lambda$  и  $T$  можно определить по следующим формулам:

$$\lambda = \sum_{k=1} \lambda(k); \quad (1)$$

$$T = \frac{1}{\lambda} \sum_k T(k) \lambda(k). \quad (2)$$

где  $\lambda(k)$  – частота аварий  $k$ -го вида;

$T(k)$  – длительность аварий, приводящих к погашению.

$$\lambda(k) = q(k, j) \lambda(k, m) \prod_s Q(k, s); \quad (3)$$

$$T(k) = q(k, j) \lambda(k, m) \min \left\{ \frac{t(k, j)}{2}; t(k, m); t_{o.п.} \right\} \prod_s Q(k, s). \quad (4)$$

Пример ручного расчета надежности для секции шин №18 и 19[1]:

$$\begin{aligned} \Lambda(19) = & \lambda(t) + 24\lambda(h) + 24\lambda(l)Q(h_{o.c}) + [Q(h_{o.c}) + Q(r_{o.c})] \cdot 3\lambda(h) + 2\lambda(t) + \\ & + \Lambda(x_{1.1}) + 3Q(h_{o.c})[\lambda(f) + 25\lambda(h) + 25\lambda(l)Q(h_{o.c})] = 3 \cdot 10^{-2} + 24 \cdot 2 \cdot 10^{-2} + \\ & + 24 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \cdot 2,7 \cdot 10^{-2} + 0,012 \cdot (6 + 2,4) \cdot 10^{-2} = (52 \pm 5) \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}. \end{aligned}$$

т.е. секция 19 отключается внезапно приблизительно один раз в два года.

Функция отказа для события погашения секции 18 при условии погашения секции 19:

$$\bar{Y}(18/19) = \bar{Y}(19)[h_{o.c}h_{o.c} + g_{o.в} + h_{o.в}]. \quad (5)$$

Частота этого события:

$$\begin{aligned} \Lambda(18/\bar{19}) = & \Lambda(\bar{19}) [Q^2(h_{o.c}) + Q(g_{o.в}) + Q(h_{o.в})] = \\ = & 0,52 [(2,7 \cdot 10^{-2})^2 + 1 \cdot 10^{-2} + 2,2 \cdot 10^{-3}] = 6,2 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}. \end{aligned}$$

Далее проведем сравнение результатов надежности, полученных путем ручного расчета и расчета на ЭВМ в программе “REISS”.

Таблица 1 – Результаты расчета надежности схемы

Секция	«Reiss»		Ручной расчет	
	Частота отказа $\lambda$ , 1/год	Период отказа, год	Частота отказа $\lambda$ , 1/год	Период отказа, год
Секция шин 6 кВ(№19)	0,2706	3,695	0,52	1,92
Секция шин 0,4 кВ(№27)	$2,8 \cdot 10^{-2}$	35,351	$1,8 \cdot 10^{-2}$	55,556
Секции шин 6 кВ(№18 и 19)	$1,09 \cdot 10^{-2}$	91,659	$6,2 \cdot 10^{-3}$	161,29
Секции шин 6 кВ(№18, 20 и 21)	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$2,701 \cdot 10^3$	$4,3 \cdot 10^{-12}$	$2,326 \cdot 10^{11}$
Секция шин 0,4 кВ(№31)	$2,2 \cdot 10^{-2}$	45,451	$1,27 \cdot 10^{-2}$	78,74
Секции шин 0,4 кВ(№27, 28 и 30)	$1,47 \cdot 10^{-4}$	$6,78 \cdot 10^3$	$2,05 \cdot 10^{-15}$	$4,89 \cdot 10^{14}$



Условные обозначения событий и состояний в программе “REISS”:

П – повреждение элемента с КЗ в обе стороны;

Р – состояние простоя элемента в ремонте;

Ов – отказ при отключении КЗ коммутационным аппаратом;

Оз – отказ при срабатывании РЗ отказавшего элемента;

Н – отказ при автоматическом вводе резервного питания в случае несрабатывания АВР, либо отказа выключателя при отключении ввода рабочего питания, либо отказа во включении выключателя ввода резервного питания.

Пример расчета надежности, выполненный программой “REISS” для секции шин №18 и 19 сведем в Таблицу 2:

Таблица 2 – Анализ вероятности перерыва электроснабжения одновременно шин №18 и 19

Совместные события, приводящие к перерыву электроснабжения	Частота события, 1/год	Длительность перерыва, ч
П -8 Ов -51 Н -68	$0,3920 \cdot 10^{-5}$	0,005
Р -68 П -8 Ов -51	$0,1162 \cdot 10^{-6}$	0,005
Р -4 П -8 Ов -51	$0,2000 \cdot 10^{-7}$	0,005
П -8 Оз -8 Н -68	$0,7840 \cdot 10^{-6}$	0,005
Р -68 П -8 Оз -8	$0,2323 \cdot 10^{-7}$	0,005
Р -4 П -8 Оз -8	$0,4000 \cdot 10^{-8}$	0,005
П -19 Н -68	$0,1568 \cdot 10^{-3}$	0,005
Р -68 П -19	$0,4647 \cdot 10^{-5}$	$0,4988 \cdot 10^1$
Р -19 П -68	$0,6830 \cdot 10^{-4}$	$0,8800 \cdot 10^1$
Р -4 П -19	$0,8000 \cdot 10^{-6}$	$0,8800 \cdot 10^1$
Р -19 П -4	$0,6830 \cdot 10^{-4}$	$0,1496 \cdot 10^2$
П -22 Ов -50 Н -68	$0,5880 \cdot 10^{-5}$	0,005
Р -68 П -22 Ов -50	$0,1742 \cdot 10^{-6}$	0,005
Р -4 П -22 Ов -50	$0,3000 \cdot 10^{-7}$	0,005
П -22 Оз -22	$0,3920 \cdot 10^{-5}$	0,005
П -24 Ов -51 Н -68	$0,9800 \cdot 10^{-6}$	0,005
П -24 Оз -24 Н -68	$0,1960 \cdot 10^{-6}$	0,005
П -49 Ов -50	$0,1000 \cdot 10^{-3}$	0,005
П -49 Оз -22	$0,2000 \cdot 10^{-4}$	0,005
П -50 Н -68	$0,7840 \cdot 10^{-3}$	0,005
П -50 Оз -19	$0,2000 \cdot 10^{-3}$	0,005
П -51 Н -68	$0,7840 \cdot 10^{-3}$	0,005
П -56 Ов -51 Н -68	$0,1960 \cdot 10^{-6}$	0,005
П -56 Оз -8 Н -68	$0,3920 \cdot 10^{-7}$	0,005
П -84 Ов -51 Н -68	0	0
П -84 Оз -24 Н -68	0	0
П -6 Н -68	$0,3920 \cdot 10^{-2}$	0,005

Продолжение Таблицы 2

П -12 Н -68	$0,4704 \cdot 10^{-3}$	0,005
П -13 Н -68	$0,4704 \cdot 10^{-3}$	0,005
П -20 Ов -48 Н -68	$0,7840 \cdot 10^{-6}$	0,005
П -20 Оз -20 Н -68	$0,1568 \cdot 10^{-6}$	0,005
П -47 Н -68	$0,7840 \cdot 10^{-3}$	0,005
П -48 Н -68	$0,7840 \cdot 10^{-3}$	0,005
П -52 Ов -48 Н -68	$0,3920 \cdot 10^{-5}$	0,005
П -52 Оз -20 Н -68	$0,7840 \cdot 10^{-6}$	0,005
П -86 Н -68	0	0
П -87 Н -68	0	0
П -1 Н -68	$0,7840 \cdot 10^{-4}$	0,005
П -7 Н -68	$0,1960 \cdot 10^{-2}$	0,005
П -44 Н -68	$0,3920 \cdot 10^{-3}$	0,005
П -85 Н -68	0	0

Суммарная частота события –  $0,1091 \cdot 10^{-1}$  1/год.

Средняя продолжительность отключения – 0,6449 ч.

Коэффициент неготовности –  $0,8035 \cdot 10^{-6}$  о.е.

#### **Заключение**

В результаты произведенного расчета было выявлено, что отдельные секции нормальной эксплуатации могут быть погашены раз в несколько лет, однако одновременное погашение двух и более секций нормальной эксплуатации – практически невозможное событие. Это свидетельствует о высокой надежности схемы собственных нужд блока ВВЭР-1000 и о целесообразности ее применения.

Расхождение результатов ручного и машинного расчета можно объяснить не учетом частот и длительностей плановых ремонтов, а также некоторыми техническими ограничениями накладываемых программой “REISS”.

#### **Литература**

1. Гук Ю.Б. Устройство, проектирование и эксплуатация схем электроснабжения собственных нужд АЭС/ Ю. Б. Гук, В. М. Кобжув, А. К. Черновец. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 296 с.

2. Старжинский А.Л. Определение надежности схем электроснабжения собственных нужд атомной электрической станции. Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2015.

УДК 621.311

## ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ NUCLEAR FUEL CYCLE

Н.Е. Пурлан

Научный руководитель –С.Г. Гапанюк, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
nik.petrashevitch@gmail.com

N. Purlan

Supervisor -S. Hapanuk, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

*Аннотация:* Общие сведения о АЭС, Топливные циклы, Подготовка урана, Принцип работы АЭС, Основное оборудование для АЭС.

*Abstract:* General information about nuclear power plants, Fuel cycles, preparation of uranium, the principle of operation of nuclear power plants, the main equipment for nuclear power plants.

*Ключевые слова:* АЭС, атомная промышленность, цикл ядерного топлива, топливные циклы, теплотехническое оборудование.

*Keywords:* Nuclear power plants, nuclear industry, nuclear fuel cycle, fuel cycles, heat engineering equipment.

### Введение

Атомная промышленность – современный и быстро развивающийся способ производства электричества. [3]

Любая станция - закрытая зона на расстоянии от населенного горного массива. На ее территории есть несколько зданий. Самое важное строительство – производство реактора, около него машинный зал, из которого управляют реактором и созданием безопасности.

Схема АЭС невозможна без ядерного реактора. Ядерный реактор - структура АЭС, которая разработана, чтобы организовать цепную реакцию подразделения нейтронов с обязательным распределением энергии при этом процессе.

Цикл ядерного топлива - вся последовательность повторяющегося производства, начинающегося с добычи топлива (включая производство электроэнергии) и заканчивающегося с удалением радиоактивных отходов. В зависимости от типа ядерного топлива и особых условий, циклы ядерного топлива могут отличаться по деталям, но их общая схематическая диаграмма остается.

Уран - является главным ядерным топливом. Поэтому все стадии и процессы цикла ядерного топлива определены физическими и химическими свойствами этого элемента.

В виде руды уран в АЭС не используется, руда не реагирует. Для использования урана на АЭС сырьё перерабатывается в порошок – закись окись урана, и после оно становится урановым топливом.

Порошок урана превращается в металлические «таблетки» — он прессуется в маленькие колбочки, которые жгут в течение дня при температурах больше чем 1 500 градусов Цельсия.

Эти таблетки урана также прибывают в ядерные реакторы, где начинают взаимодействовать друг с другом и, в конечном счете, дают людям электроэнергию.

В одном ядерном реакторе одновременно работают приблизительно 10 миллионов таблеток урана.

Перед размещением таблеток урана в реакторе они располагаются в металлических трубах — ТВЭлы, трубы соединяются между собой в связках и формируют ТВС— тепловыделяющие сборки.

Любая атомная электростанция независимо от типа состоит из:

теплотехнического оборудования и трубопроводов, которые его соединяют.

К теплотехническому оборудованию относят:

- реакторная установка;
- парогенераторная установка;
- турбогенераторная установка;
- конденсационная установка;
- конденсата-питательный тракт;

Все это оборудование соединяют трубопроводы и формируют однородный организм, который должен работать без ошибок, поэтому даже малейший сбой может привести к несчастному случаю.

#### **Основная часть**

Огромное преимущество АЭС - своя относительная экологическая чистота. На ТЭС суммарные годовые выбросы вредных веществ, в которые входят сернистый газ, оксиды азота, оксиды углерода, углеводороды, альдегиды и золовая пыль, на 1000 МВт установленной мощности составляют от примерно 13 000 тонн в год на газовых и до 165 000 тонн на пылеугольных ТЭС. Подобные выбросы на АЭС возникают в редких случаях задействования резервных дизельных генераторов. ТЭС мощностью 1000 МВт потребляет 8 миллионов тонн кислорода в год для окисления топлива, АЭС же не потребляют кислорода. [2]

Кроме того, больший удельный (на единицу сделанной электроэнергии) выброс радиоактивных материалов даёт угольная станция. Уголь всегда содержит натуральные радиоактивные материалы, при сгорании угля они почти полностью попадают во внешнюю среду. В то же время удельная активность выбросов теплоэлектростанции в несколько раз выше, чем для АЭС.

Единственный фактор, в котором АЭС уступают в экологическом плане традиционному КЭС — тепловое загрязнение, вызванное значительными расходами технической воды для охлаждения конденсаторов турбин, которое в АЭС немного выше из-за более низкой эффективности (не больше, чем 35%). Однако этот фактор важен для водных экосистем, и современные АЭС обычно имеют собственные искусственно созданные кулеры водохранилищ или вообще охлаждены с кулерами. Также некоторые АЭС устраняют часть тепла для

потребностей нагревания и поставки горячей воды городов, которая уменьшает непроизводительные тепловые потери.

Существуют действующие и перспективные проекты по использованию «лишнего» тепла в энергобиологических комплексах (рыбоводство, выращивание устриц, обогрев теплиц и пр.). Кроме того, в перспективе возможно осуществление проектов комбинирования АЭС с ГТУ, в том числе в качестве «надстроек» на существующих АЭС, которые могут позволить добиться аналогичного с тепловыми станциями КПД.

Для большинства стран включая Россию производство электроэнергии на АЭС не более дорогое, чем на пылеугольных и тем более на газомазутных ТЭС. Преимущество АЭС в стоимости сделанной электроэнергии особенно примечательно во время так называемых энергетических кризисов, которые начались с начала 70-х лет. Понижение цен на нефть автоматически уменьшает конкурентоспособность АЭС.

Затраты на строительство АЭС отличаются в зависимости от проекта. По оценкам на 2007 год, сделанного на основе проектов, осуществленных в 2000-х годах, ориентировочно равны 2300 \$ за кВт электрической мощности, эта цифра может снижаться при массовости строительства (для ТЭС на угле 1200 \$, на газе — 950 \$). Прогнозы 2012 года на стоимость проектов, осуществляемых в настоящее время, сходятся на цифре 2000 \$ за кВт (на 35 % выше, чем для угольных, на 45 % — газовых ТЭС). По состоянию на 2018 год российские проекты на основе российских ВВЭР-1000/1200 обходятся примерно в 140 000 руб (\$2200) за кВт установленной мощности, зарубежные проекты на основе российских ВВЭР-1000/1200 в 2 раза дороже. [1]

Главный недостаток АЭС — серьезные последствия аварий, для исключения которых АЭС оборудованы самыми трудными системами безопасности с повторными запасами и бронированием, обеспечивающим исключение расплавления активной зоны даже в случае максимальной проектной аварии. В то же время в мире есть реакторы, у которых нет важных систем безопасности, которые были необходимыми стандартами безопасности 1970-х годов.

Серьезная проблема для АЭС - их устранение после выработки ресурса, она может составить до 20% от стоимости их строительства.

По ряду технических причин для АЭС крайне нежелательна работа в манёвренных режимах, то есть покрытие переменной части графика электрической нагрузки.

Также недостатком АЭС являются трудности переработки отработавшего ядерного топлива.

### **Заключение**

Неблагоприятное воздействие на окружающую среду зависит от того, какое топливо используется в тепловых установках.

Наиболее вредны продукты горения угля и тяжелых нефтепродуктов, природный газ менее агрессивен.

ТЭС являются основными источниками электроэнергии в России, США и большинстве европейских стран.

Однако есть исключения, например, в Норвегии электроэнергия вырабатывается в основном на гидроэнергетических станциях, а во Франции 70% электроэнергии вырабатывается на атомных энергетических растениях.

Тем не менее, несмотря на недостатки, эта область считается перспективной, поэтому ведутся текущие исследования по дальнейшему совершенствованию и развитию атомной энергетики.

### Литература

1. АЭС. [Электронный ресурс]/общие сведения. -Режим доступа: [https://chernobylguide.com.turbopages.org/chernobylguide.com/s/ru/princip\\_raboty\\_aes.html](https://chernobylguide.com.turbopages.org/chernobylguide.com/s/ru/princip_raboty_aes.html) Дата доступа : 23.02.2021.

2. Атомные электростанции. [Электронный ресурс]/ плюсы и минусы АЭС. -Режим доступа: <https://chernobyl-zone.info/atomnye-elektrostantsii.html> Дата доступа : 23.02.2021.

3. Атомная электростанция. [Электронный ресурс]/ Атомная электростанция. -Режим доступа: [https://wiki2.org/ru/Атомная\\_электростанция](https://wiki2.org/ru/Атомная_электростанция) Дата доступа : 15.03.2021.

УДК 620.91

**ЗАКОН РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ «О ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ  
ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ»  
LAW OF THE REPUBLIC OF BELARUS "ON RENEWABLE ENERGY  
SOURCES"**

Р.А. Пыпоть

Научный руководитель – С.Г. Гапанюк, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
nik.petrashevitch@gmail.com

R.Pypats

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

***Аннотация:** В данной статье рассматривается перспективный источник углеводородов — газогидраты и сланцы. Проанализированы их свойства, технологии обнаружения и добычи. Также рассматривается проблема использования газогидратов и сланцев в качестве альтернативы существующим источникам энергии.*

***Abstract:** This article discusses a promising source of hydrocarbons — gas hydrates and shale. Their properties, detection and extraction technologies are analyzed. The problem of using gas hydrates and shale as an alternative to existing energy sources is also considered.*

***Ключевые слова:** газогидраты, газ, углеводороды, топливо, энергетика, горючий сланец.*

***Keywords:** gas hydrates, gas, hydrocarbons, fuel, energy industry, oil shale.*

### **Введение**

Современный мир трудно представить без всех благ, которые существуют сейчас. Но для того, чтобы все это существовало, нам нужны источники энергии. Сегодня около 35% потребляемых первичных энергоресурсов приходится на нефть и 24% - на газ. На протяжении десятилетий люди задавались вопросом: что будет, если нефть и газ закончатся? По данным British Petroleum, доказанные мировые запасы нефти в 2015 году составили 1697,6 миллиарда баррелей. При сегодняшних темпах производства этого хватит на 50-60 лет. Прогресс не стоит на месте: методы и технологии добычи постоянно совершенствуются, а потребление углеводородов не уменьшается. Из-за этого человечество ищет аналог углеводородам, чтобы предотвратить энергетическую катастрофу в будущем. Одним из перспективных альтернативных источников являются газогидраты и сланцевые газы. Мы остановимся на них более подробно.

### **Основная часть**

Горючий сланец

Сланцевым газом называют природный газ, который добывают из горючих сланцев. В его составе преобладает метан. Первенство в этой области держит

Америка. Сегодня мы подробнее узнаем о том, что такое сланцевый газ, а также познакомимся с технологией и перспективами его добычи.

Сланцевый газ-это разновидность природного газа, хранящегося в виде небольших газовых образований в сланцевом слое осадочных пород Земли, который встречается на всех континентах. Этот энергоресурс сочетает в себе качество ископаемого топлива и возобновляемых источников и встречается повсеместно, поэтому практически любое энергозависимое государство может обеспечить себя этим энергоресурсом.[1]

Среди факторов, благоприятно влияющих на перспективу добычи газа из сланцев, можно отметить:

1. Близость месторождений к возможным рынкам сбыта.
2. Значительные резервы.
3. Заинтересованность ряда стран в сокращении импорта топливно-энергетических ресурсов.

Однако это топливо имеет ряд недостатков:

1. Высокая себестоимость по сравнению с традиционным газом.
2. Непригодность для дальних перевозок.
3. Быстрое сокращение депозитов.
4. Небольшая часть от общего объема доказанных запасов.
5. Существенные экологические риски, связанные с добычей полезных ископаемых.

Газовые гидраты

Газогидраты-это молекулярные соединения различных низкомолекулярных газов (метана, этана, пропана, бутана и др.) с водой. Наиболее популярным гидратом является соединение метана с водой в соотношении 1 к 6. Один кубометр гидрата метана может производить более 160 кубометров свободного газа (при стандартных условиях).

Газовые гидраты делятся на два типа: техногенные и природные. Техногенные газогидраты возникают в результате деятельности человека (гидратные пробки), в то время как природные образуют скопления или находятся в дисперсном состоянии в условиях сочетания высокого давления и низкой температуры. Такими условиями являются зона вечной мерзлоты и глубинные воды, где сосредоточены основные запасы газогидратов.

Технология добычи полезных ископаемых

Агрегатное состояние газовых гидратов является основной трудностью при их добыче. Поэтому методы, существующие сегодня, ставят своей главной задачей разделение гидрата на газ и воду с последующим извлечением углеводородов из недр земли.

Разгерметизация

Разгерметизация является наиболее перспективной технологией разработки газогидратных месторождений. Газогидрат распадается на газ и воду при искусственном понижении давления в резервуаре. Эта технология наиболее эффективна, когда газогидратный пласт расположен рядом со свободным газообразованием. При уменьшении объема свободного газа изменяется равновесное состояние, что приводит к разложению газового гидрата.



Несомненными преимуществами этого метода являются простота процесса, низкие затраты и возможность быстро добывать большие объемы газа. Однако этот метод имеет существенный недостаток — при низких температурах вода, выделяющаяся при разгерметизации, может кристаллизоваться и препятствовать выходу газа.

### Нагревание

Технологии отопления делятся на несколько подвидов, различающихся по своему принципу: нагревание впрыском теплоносителя, нагревание циркулирующей горячей воды, нагревание паром или другим нагретым газом, или жидкостью, нагревание переменным электрическим током. Все эти способы просты, но имеют ряд недостатков: высокие затраты на нагрев и подачу теплоносителя в пласт, низкие скорости разделения газовых гидратов на воду и газ, невозможность извлечения из глубинных пластов, а также постоянное увеличение подводимого тепла, так как реакция разложения газовых гидратов является эндотермической, т. е. происходит с поглощением тепла. Также существенным недостатком является его негативное воздействие на окружающую среду: в условиях вечной мерзлоты этот метод может привести к таянию ледников.

### Введение ингибитора

Ряд органических (этанол, метанол, гликоль) и неорганических (морская вода) веществ могут изменять температурный и напорный режимы, вызывая выброс метана из пласта. Несмотря на преимущества возможности контроля объемов производства, этот метод является дорогостоящим из-за высокой стоимости ингибиторов и экологически опасным. [2]

### **Заключение**

Газогидраты и сланцевые газы являются потенциально перспективным источником энергии. В настоящее время необходимо продолжить исследования и разработку технологии, а также внедрить и использовать газогидраты и сланцы на практике. Стоит отметить, что газовые гидраты-довольно сложный предмет для изучения. Для этого нужны специалисты, способные разработать необходимое оборудование для производства, хранения и транспортировки. Затем, возможно, через 45 лет они перейдут от альтернативных источников к основным, но пока это можно только предполагать.

### **Литература**

1. Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь [Электронный ресурс]/ Закон Республики Беларусь «О возобновляемых источниках энергии». -Режим доступа: [https://pravo.by/document/?guid=2012&oldDoc=2011-2/2011-2\(026-035\).pdf&oldDocPage=1/](https://pravo.by/document/?guid=2012&oldDoc=2011-2/2011-2(026-035).pdf&oldDocPage=1/). – Дата доступа: 15.04.2021.
2. Организация Объединенных Наций [Электронный ресурс]/Как возобновляемые источники энергии могут стать конкурентоспособными по цене и стоимости вырабатываемой энергии. –Режим доступа: <https://www.un.org/ru/chronicle/article/22064/>. – Дата доступа: 15.04.2021.

УДК 620.91

**ЭНЕРГОРЕСУРСЫ: БИОМАССА. ИСТОЧНИКИ, ВИДЫ, СПОСОБЫ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, ПРОГРАММА РАЗВИТИЯ В БЕЛАРУСИ  
ENERGY RESOURCES: BIOMASS.  
SOURCES, TYPES, USES, DEVELOPMENT PROGRAM IN BELARUS**

В.Д. Слесарев

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

V. Slesarev

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

***Аннотация:** Биомасса, без сомнений, является одним из наиболее популярных и универсальных энергоресурсов на Земле. Она позволяет получать не только пищу, но и энергию, строительные материалы, бумагу, ткани, медицинские препараты и химические вещества. Человек использует биомассу с момента открытия им огня. На сегодняшний день топливо из биомассы используется для различных целей - от обогрева жилых помещений до производства электроэнергии и топлив для автомобилей.*

***Abstract:** Biomass is without a doubt one of the most popular and versatile energy resources on Earth. It allows you to get not only food, but also energy, building materials, paper, fabrics, medicines and chemicals. A person uses biomass from the moment they open fire. Today, biomass fuel is used for various purposes - from heating residential premises to generating electricity and heating for cars.*

***Ключевые слова:** Биомасса, энергоресурсы, энергетика, дизтопливо, газификация, прямое сжигание.*

***Keywords:** Biomass, energy resources, energy, diesel fuel, gasification, direct combustion*

### **Введение**

Долгое время люди добывали энергию Солнца, запасенную в виде энергии химических связей, сжигая биомассу в качестве топлива или поедая ее, используя энергию сахаров и крахмала, а также добывали ископаемую биомассу, в частности, в виде угля. Все ископаемое топливо, которое потребляет человечество - уголь, нефть, природный газ — это древняя биомасса. В течение миллионов лет на Земле остатки растений превращаются в топливо. Сегодня топливо из биомассы можно использовать для самых разных целей — от отопления жилых зданий до производства топлива для автомобилей. [1]

### **Основная часть**

Биомасса накапливает свою исходную солнечную энергию во время роста растений. Из этого делаем вывод, что первичным источником внутренней энергии биомассы является излучение Солнца. Кроме того, также можно выявить и другие источники биомассы.

Основными методами добычи биомассы являются такие источники как:

- отходы сельскохозяйственного производства;
- органические отходы промышленности, в том числе лесной, деревообрабатывающей, гидролизной, целлюлозно-бумажной, пищевой, мясомолочной;
- осадки сточных вод;
- отходы коммунального производства.

Основными видами биомассы являются:

- древесные отходы;
- сельскохозяйственные отходы;
- выращиваемые энергетические культуры;
- отходы целлюлозно-бумажного производства (щелоки, отжатая кора и др.);
- бумага, не подлежащая вторичной переработке.

Древесина, бесспорно, является хорошо известным примером биомассы.

Процесс горения высвобождает энергию, которую дерево поглотило, поглощая солнечные лучи. Однако помимо древесины используются и другие виды биомассы — это сельскохозяйственные отходы (например, стебли кукурузы, рисовая солома и шелуха, скорлупа орехов), древесные отходы (например, опилки, остатки рубок, щепки), бумажные отходы, отходы зеленых насаждений в городском мусоре, энергетические установки (быстрорастущие деревья, например, тополь или ива), а также метан, собираемый на полигонах твердых бытовых отходов (ТБО), городских очистных сооружениях. Для этой цели также используют отходы животноводства. [2]

Биомасса—один из важнейших возобновляемых источников энергии будущего нашей планеты. Для 75% населения развивающихся стран биомасса является важнейшим источником энергии. Увеличение численности населения и энергопотребления на одного жителя, а также истощение ресурсов ископаемого топлива приведут к быстрому росту спроса на биомассу в развивающихся странах. Вполне вероятно, что биомасса останется одним из важнейших источников энергии в развивающихся странах на протяжении всего XXI века.

Некоторые варианты "сырой" биомассы будут пригодны для длительного хранения. Из-за относительно низкой плотности энергии транспортировать биомассу на большие расстояния будет нецелесообразно. Поэтому в последнее время были предприняты значительные усилия, чтобы найти подходящие способы его использования. [1]

Способы получения энергии из биомассы основаны на следующих процессах:

- Прямое сжигание биомассы.
- Термохимическое преобразование для получения обогащенного топлива (пиролиз, газификация и сжижение).
- Биологическое преобразование (анаэробное сбраживание и ферментация).

Мы более подробно проанализируем отдельные способы использования биомассы: прямое сжигание, газификация и пиролиз.

Технология прямого сжигания является наиболее очевидным способом извлечения энергии из биомассы. Он прост, хорошо изучен и коммерчески доступен. На сегодняшний день существует множество типов и размеров систем прямого сжигания, которые могут сжигать различные виды топлива: птичий помет, солому, дрова, коммунальные отходы и многое другое. Тепло, которое получаем при сжигании биомассы, может быть использовано для отопления и горячего водоснабжения, для выработки электроэнергии и в промышленных процессах. Одной из проблем, связанных с прямым сжиганием, является его низкий КПД. Если используется открытое пламя, то большая часть тепла теряется.

Сжигание древесины может быть разбито на 4 фазы:

- Выделение газовой (летучей) составляющей. Очень важно, чтобы эти газы сгорали, а не "вылетали в трубу".
- Выделяющиеся газы смешиваются с атмосферным воздухом и сгорают под воздействием высокой температуры.
- Сгорание остатков древесины (преимущественно углерод). При хорошем сжигании энергия используется полностью. Единственным остатком является небольшое количество золы.
- Кипение воды, содержащейся в древесине. Даже древесина, высушенная в течение длительного времени, содержит от 15 до 20% воды в клеточной структуре.

Для эффективного сжигания необходимы три условия:

- Достаточная высокая температура.
- Достаточное количество воздуха.
- Достаточное время для полного сгорания.

Прямое сжигание—самый элементарный и самый распространенный способ получения энергии, содержащейся в биомассе. Нагрев воды в котле над горящими дровами—простой процесс. К сожалению, это также неэффективно, как показывают простейшие расчеты.

Основные принципы газификации изучались и разрабатывались с начала XIX века. В процессе газификации древесины образуется горючий газ, состоящий из смеси водорода, окиси углерода, метана и некоторых негорючих компонентов. Это достигается частичным сжиганием и частичным нагревом биомассы (с использованием тепла ограниченного сгорания) в присутствии древесного угля (природного продукта сгорания биомассы). Горенье—это натуральный продукт сжигания биомассы. Вместо бензина можно также использовать газ.

Пиролиз—это самый простой и древний способ превращения одного вида топлива в другой с наилучшей производительностью. Различные виды высокоэнергетического топлива получают путем нагрева сухой древесины и соломы. Этот процесс уже давно используется для производства древесного угля. Процесс пиролиза заключается в нагревании исходного материала (который часто измельчают или измельчают перед помещением в реактор) в

условиях почти полного отсутствия воздуха, обычно до температуры 300-500 °С, до полного удаления летучей фракции. Древесный уголь имеет двойную плотность энергии по сравнению с исходным материалом и горит при значительно более высоких температурах. В зависимости от влажности и эффективности процесса для получения 1 тонны древесного угля требуется 4-10 тонн древесины. Если летучие вещества не собираются, древесный уголь содержит две трети энергии исходного сырья.

Пиролиз можно проводить в присутствии небольших количеств кислорода (газификация), воды (парогазификация) и водорода (гидрирование). Одним из наиболее полезных продуктов в этом случае является метан, который, в свою очередь, является топливом для выработки электроэнергии с помощью высокоэффективных газовых турбин.

Более сложная технология пиролиза позволяет собирать летучие вещества. Кроме того, контроль температуры позволяет контролировать их состав. Жидкие продукты могут быть использованы в качестве жидкого топлива. Однако они содержат кислоты и должны быть очищены перед использованием. [2]

В настоящее время традиционный пиролиз считается наиболее привлекательным видом технологии. Использование относительно низких температур означает, что в атмосферу выбрасывается небольшое количество загрязняющих веществ по сравнению с тем же сжиганием. Это обстоятельство дает экологическое преимущество пиролиза при переработке определенных видов отходов. Предпринимаются попытки использовать небольшие пиролизные установки для переработки пластиковых отходов, а также отработанных автомобильных шин. Хранение или утилизация этих материалов вызывает все большую озабоченность в мире.

### **Заключение**

В соответствии с Государственной программой РБ «Энергосбережение» предусматривается дальнейшее существенное развитие использования биомассы и других видов возобновляемых источников. Достигнутые успехи Беларуси по вовлечению древесной биомассы и других видов биотоплива обусловлены планомерной работой по всем важнейшим направлениям, связанным с решением этой важнейшей народно-хозяйственной проблемы.

### **Литература**

1. Энергия Солнца [Электронный ресурс]/ Биомасса. -Режим доступа: <https://se-solarenergy.nethouse.ru/static/doc/0000/0000/0315/315508.9actp109h8.pdf/>– Дата доступа: 21.04.2021.
2. Энергетика [Электронный ресурс]/Основные источники биотоплива. –Режим доступа: [http://gigavat.com/netradicionnaya\\_energetika\\_biomassa\\_2.php/](http://gigavat.com/netradicionnaya_energetika_biomassa_2.php/).– Дата доступа: 21.04.2021.

УДК 621.311

**МАЗУТ, ПОЛЕЗНЫЕ КАЧЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ОСНОВНОГО  
РЕЗЕРВНОГО ТОПЛИВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
FUEL OIL, ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF THE MAIN  
RESERVE FUEL OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

К. Д. Сосик, Е. А. Филипенко

Научный руководитель – В. А. Ханевская, инженер  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
veronikahanevskaya@gmail.com

К. Sosik, E. Filipenko

Supervisor – V. Hanevskaya, Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** Мазут как резервное топливо. экологическая безопасность мазута.

**Abstract:** Fuel oil as a backup fuel. Ecological safety of fuel oil.

**Ключевые слова:** Мазут, теплотворность, универсальность, нестабильность, эксплуатация, безопасность.

**Keywords:** fuel oil, heating value, versatility, instability, exploitation, safety.

### **Введение**

Мазут – основное резервное топливо в энергопромышленности Республики Беларусь. Он имеет ряд полезных свойств, но также много серьёзных недостатков, и крупное использование мазута в промышленности может сильно ухудшить экологическую ситуацию в стране.

### **Основная часть**

**Мазут** (рисунок 1) — вязкая жидкость тёмного цвета, смесь остатков после отгонки газойля, керосинов, бензинов (которые выкипают при температуре не менее 350-360°C) из нефти или продуктов её вторичной переработки (такие, как пропилен и бутилен) [1].

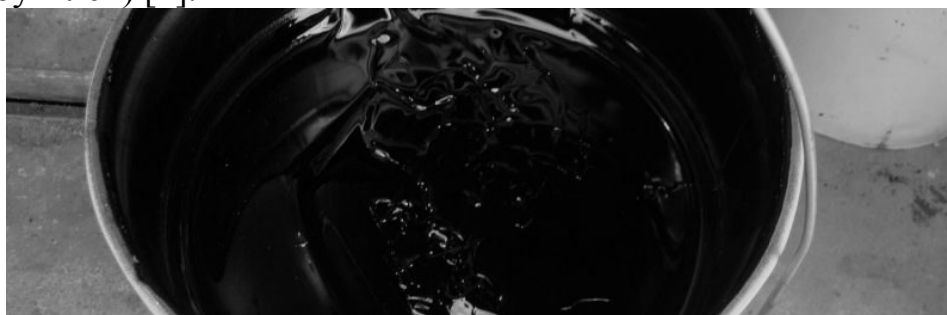


Рисунок 1 - Мазут

Мазут в качестве топлива имеет свои преимущества:

1. Малая зольность мазута: около 0,3-0,5% (в сравнении с углём: уголь с 25-процентной зольностью относят к высокосортному, 40% -- к низкосортному)
2. Высокая теплотворность: 9500 ккал/кг (11.0485 кВт\*ч/кг или  $39,775 \cdot 10^6$  Дж/кг) за счёт высокой плотности топлива (в сравнении с природным газом (7600 ккал/куб) и каменным углём (около 5500-7500 ккал/кг)).

3. Универсальное топливо, предоставляющее возможность организовать сжигание в особых условиях (например, сжигание в малых по габаритам топках).

Но мазут в качестве топлива также имеет ряд недостатков:

1. Нестабильный состав каждой партии мазута (качество конкретной партии поступившего сырья может отличаться от предыдущего, так как физико-химические свойства мазута зависят от места добычи первоначальной нефти, а также режима переработки, условий компаундирования и хранения. Из-за этого топливо может варьироваться от состава близкого к нефти до вязких крекинг-остатков, в последнем случае быстро закоксовываются форсунки, из-за чего затягивается процесс горения).

2. Неудобство в эксплуатации. (перевозка и подготовка мазута к использованию – многоступенчатый и энергозатратный процесс, который также требует высокого качества исполнения на каждом этапе. Сам процесс состоит из разогрева, слива, организации хранения без расслоения на мазут и воду, разогрева и перемешивания в баках, транспортировки по трубопроводам, дополнительный подогрева перед сжиганием. По этой причине мазут часто используют на месте) [2].

Отдельная проблема мазута – его экологическая безопасность. Мазут является опасным грузом, при этом в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 относится к малоопасным нефтепродуктам по степени воздействия на человека (по норме, предельная концентрация вредных паров нефтепродукта около рабочей зоны начинается с 10мг/м<sup>3</sup>) [3]. Современные системы снижения токсичности выбросов позволяют снизить уровень загрязнения, но только в том случае, если они работают штатно, и такие эффективные системы есть далеко не везде. Поэтому пары мазута всё равно являются крайне опасными для экологической обстановки и здоровья людей, так как длительное воздействие паров может привести к хроническому отравлению, в виде бронхита или атрофического ринита.

Надо отметить, что мазут имеет высокое содержание серы: около 3,5%. При сжигании сера, содержащаяся в мазуте, окисляется, и при этом образуются два соединения: двуокись серы и трехокись серы. Большая часть двуокиси серы в течение недели после ее выброса в атмосферу превращается в серную кислоту и сульфаты. Под действием капелек серной кислоты многие материалы (и приборы электростанций) разрушаются, а высокая концентрация двуокиси серы (и ее производных) вызывает серьезное повреждение окружающей растительности. Окислы серы опасны для здоровья, так как они вызывают затруднение дыхания из-за возрастающего сопротивления прохода воздуха по дыхательным путям.

Экологическую опасность представляют и случайные разливы мазута в водоёмах и почвах. При попадании на поверхность воды нефтепродукт образует плёнку, нарушающую тепло-, влаго- и энергообмен с атмосферой. Мазут меняет водородный показатель (рН) воды, и в итоге нарушает жизнедеятельность водоёма. При попадании на почву, нефтепродукт изменяет её химический состав, свойства и структуру, в итоге нарушается питательная среда для растений. К корням не поступает нужное количество влаги, и нарушаются физиологические процессы. Мазут является тяжёлой фракцией и эффекты соответственно

проявляются значительно позже, в итоге очаг загрязнения более устойчив, и очищение природной среды становится крайне проблематичным.

### **Заключение**

Республика Беларусь имеет огромный запас мазута. Энергопромышленность нашей страны может работать только на резервном мазуте как минимум 3 года без перерыва. Он имеет ряд несомненно хороших свойств как топливо, но его желательно использовать только в экстренных ситуациях, из-за его недостатков и возможности значительно ухудшить экологическую ситуацию.

### **Литература**

1. Мазут [Электронный ресурс]/ Мазут. –Режим доступа: <https://neftegaz.ru/tech-library/energoresursy-toplivo/147980-mazut/>. –Дата доступа: 4.04.2021
2. Мазут [Электронный ресурс]/ Мазут. –Режим доступа: [enersy.ru/energiya/preimuschestva-i-nedostatki-mazuta-dlya-proizvodstva-elektroenergii.html](https://enersy.ru/energiya/preimuschestva-i-nedostatki-mazuta-dlya-proizvodstva-elektroenergii.html). –Дата доступа: 6.04.2021
3. Мазут [Электронный ресурс]/ Мазут. –Режим доступа: <https://www.trader-oil.ru/informatsiya/mazut-info/chem-opasen-mazut-dlya-cheloveka-vodoemov-i-pochvy>. –Дата доступа: 5.04.2021



УДК 621.311

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ  
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.  
МЕТОДЫПОВЫШЕНИЯЭФФЕКТИВНОСТИ  
EFFICIENCY OF ENERGY-SAVING SYSTEMS OF INDUSTRIAL  
ENTERPRISES. METHODS FOR IMPROVING EFFICIENCY**

Д.Д. Тарасевич, М.Н. Булин, А.П. Алексеев  
Научный руководитель—Н.А.Попкова, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
popkova@bntu.by

D. Tarasevich, M. Bulin, A. Alekseyev  
Supervisor—N. A. Popkova, Senior Lecturer  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье рассматривается проблематика эффективности энергосбережения промышленного предприятия. Предлагается ряд мероприятий и методик по увеличению эффективности.*

***Abstract:** the article deals with the problems of an industrial enterprises energy saving efficiency. A number of measures and methods of efficiency increasing are proposed.*

***Ключевые слова:** энергосбережение, эффективность, потери электроэнергии, трансформаторы, компенсирующие устройства, несимметрия напряжения.*

***Keywords:** energy saving, efficiency, power losses, transformers, compensating devices, voltage asymmetry.*

### **Введение**

В настоящее время в энергетике актуальной становится проблема, связанная с повышением эффективности систем энергоснабжения (СЭС) промышленного предприятия. Это связано с необходимостью сбережения электрической энергии, уменьшения ее потерь, а также снижения количества аварий на предприятии и в сети. Поиск решения данных проблемы крайне важен в современных условиях развития экономики стран.

### **Основная часть**

Способность предприятия конкурировать на рынке во многом зависит от правильного и быстрого решения этих проблем. Добиваясь повышения эффективности СЭС руководство предприятия достигает: снижение объемов потребления энергоносителей, повышения рентабельности и конкурентоспособности предприятия на рынке. К сожалению, рассмотрев различные системы электроснабжения, можно утверждать, что на предприятиях зачастую имеют место нерациональные затраты на энергоресурсы и ощутимые потери электрической энергии (ЭЭ).

Потери ЭЭ - неотъемлемая часть ее передачи в различных элементах сети (линии электропередачи, трансформаторные подстанции (ТП) и распределительные устройства). Для устранения и уменьшения значения потерь электрической энергии следует провести поиск причин и основных источников, которые создают эту проблему. В большинстве случаев большую часть потерь

ЭЭ на промышленном предприятии составляет эксплуатация оборудования, которое характеризуется высокой степенью физического и морального износа, или работает не корректно. Так же следует отметить такие причины технологических потерь как:

- плохое состояние электрических сетей, связанное с уменьшением объема ремонта линий и замены устаревшего оборудования и элементов;
- работа части оборудования предприятия и сети в неоптимальном режиме в часы максимальной нагрузки системы;
- малый коэффициент загрузки трансформаторов;
- наличие больших перетоков реактивной мощности, и, как следствие, увеличение потерь ЭЭ и напряжения в сети;
- наличие на предприятии нагрузки, которая способствует появлению не синусоидальности и несимметрии фаз. Несимметрия напряжения и токов воздействует на работу электроприемников, из-за чего увеличивается износ, отказ, количество повреждений и объем энергопотребления оборудования [1].

На данный момент разработан и активно используется целый ряд методик и мероприятий, которые позволяют повысить эффективность СЭС промышленного предприятия. Рассмотрим некоторые методики.

**1. Проведение мероприятия для модернизации и реконструкции СЭС предприятия.** Данные мероприятия включают замену устаревшего оборудования на новое с повышенным КПД и высокой степенью надежности. Также следует производить внедрение энергосберегающих технологии на предприятии. Данный метод широко распространен на практике [2].

**2. Сглаживание пиков суточного графика нагрузки.** Существенное снижение пикового максимума нагрузки приведет к уменьшению потерь электроэнергии, а, следовательно, к экономии. В случае, когда предприятие работает в две смены, целесообразно ввести третью. Это позволит заполнить провал в суточном графике электрической нагрузки. Так же решить проблему энергосбережения позволяет введение интервалов между сменами, когда наблюдается резко выраженный максимум нагрузки в энергосистеме. Стабильность работы промышленного предприятия можно достигнуть путем проектирования графиков ограничения использования мощности электрической энергии при перерывах в работе предприятия.

**3. Повышение эффективности эксплуатации трансформаторов на цеховых подстанциях.** Надежная работа трансформаторов в случае аварии достигается избытком установленной мощности ТП, поэтому среднее значение загрузки небольшое. В реальных условиях работы коэффициент загрузки трансформатора всегда меньше 100%. При этом, работа трансформатора с максимальным КПД наблюдается при загрузке в 55-75% от номинальной мощности. Для повышения эффективности работы ТП, следует определить оптимальный вариант его работы. Например, если нагрузка предприятия не превышает 50% от номинальной мощности ТП, то для повышения энергосбережения целесообразно отключить один или несколько трансформаторов для повышения энергоэффективности подстанции. Когда

нагрузка предприятия составляет 75% от мощности ТП, следует задействовать дополнительные мощности.

4. **Использование компенсирующих устройств.** Реактивная энергия, которая создается различными типами оборудования, отрицательно воздействует на сети предприятия. Это связано с тем, что в электрических установках возникают электромагнитные поля, реактивный ток которых негативно влияет на качество электрической энергии. С целью компенсации индуктивной и емкостной составляющих переменного тока активно используют компенсирующие устройства. За счет этого величина коэффициента мощности сети увеличивается и поддерживается на нормативном уровне. Использование компенсирующих устройств на предприятии позволяет снизить перетоки реактивной составляющей мощности, потери электрической энергии в питающей сети, нагрузку ТП и электроустановок, а также влияние высших гармоник несимметричность фазного напряжения. Это влияет на увеличение пропускной способности сети, что позволяет подключить новую нагрузку без модернизации сети [3].

5. **Уменьшение несимметрии напряжения.** Появление дополнительной мощности, пульсирующей с двойной частотой, в сети связано с несимметрией напряжения, которое приводит к появлению дополнительных потерь ЭЭ в сети, увеличивает скорость износа электрооборудования. Для того чтобы компенсировать дополнительную пульсирующую мощность активно используют внутреннее и внешнее симметрирование. При реализации внутреннего симметрирования стремятся распределить несимметричную нагрузку между фазами так, чтобы наибольшим образом снизить несимметрию в сети. Однако, достичь симметрию таким методом весьма сложно, так как нагрузка изменяет свой состав в каждой фазе в течение суток. При внешнем симметрировании используют различные устройства, которые при включении в сеть создают систему прямой последовательности суммарных токов в сети [4]. Прямая последовательность достигается с помощью использования многофазных схем выпрямления, фазовых уравнивателей, систем добавочных ЭДС и статического симметрирующего устройства. Такой способ симметрирование широко используется на практике.

6. **Уменьшение влияния высших гармоник на СЭС предприятие.** Силовые электронные аппараты, электродуговые аппараты и аппараты, которые работают в режиме насыщения, - основные источники высших гармоник (ВГ) в сети. ВГ негативно влияют на СЭС, так как затрудняют компенсацию реактивной мощности, увеличивают потери ЭЭ в электрооборудовании предприятия и сети, создают проблемы в работе устройств автоматики и защиты, а также увеличивают погрешность в показаниях счетчиков электроэнергии. К основным способам снижения влияния ВГ можно отнести использование различных силовых фильтров, которые могут быть режекторными (настроены на одну частоту) или в виде фильтров низких частот. Снижение ВГ напряжения достигается параллельным включением фильтров, которые шунтируют ВГ токов. В качестве фильтра эффективно используют многофункциональные устройства, которое также служит и компенсатором реактивной мощности

(фильтро-компенсирующее устройство). Также для снижения уровня влияния ВГ в СЭС, когда используется большое количество выпрямителей, используют метод увеличения фаз преобразователей. В большинстве случаев число фаз увеличивают в шесть раз. Это возможно достигнуть с использованием трансформаторов, у которых специально выполнена обмотка [4].

К методам увеличения эффективности СЭС также следует отнести такие направления, как использование альтернативных источников энергии, управления потреблением электроэнергии с помощью «умных» и активно-адаптивных сетей.

### **Заключение**

Каждое промышленное предприятие для достижения эффективности СЭС должно осуществить ряд мероприятий с использованием различных методов, которые экономически эффективны и окупаемы. Эффективное использование энергетических ресурсов не только позволит промышленным предприятиям страны достичь высоких показателей конкурентоспособности, но и позволит снизить зависимость Республики Беларусь от экспортируемых энергетических ресурсов. Для поддержания высокого уровня энергетической эффективности СЭС необходимо проводить регулярный энергетический аудит, что позволит без замедлений внедрять новые технологические решения и оперативно устранять имеющиеся недочеты.

### **Литература**

1. Железко Ю. С., Артербев А. В., Савченко О. В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. Руководство для практических расчетов. М.: НЦ ЭНАС, 2003. – С. 20–29.
2. Указания по проектированию электроснабжения промышленных предприятий (СН-174-75). – М.: Стройиздат, 1975. (Госстрой СССР).
3. Кузнецов А. В. Повышение качества электроэнергии и снижение потоков реактивной мощности в электроэнергетической системе за счет стимулирующих тарифов // Сб. докладов междунаrodn. научно-практической конф. «Электрические аппараты и электротехнические комплексы и системы». – Ульяновск, УлГТУ, Т.2. 2012. – С. 332–339.
4. Ермаков В. Ф. Качество электроэнергии: учеб. пособие (конспект лекций; справочные материалы). – М.: Вузовская книга, 2012. – 192 с.

УДК 621.3.019.3

**СРАВНЕНИЕ ГЛАВНЫХ СХЕМ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ  
ПРИВЕДЕННЫХ ЗАТРАТ С УЧЁТОМ НАДЁЖНОСТИ  
COMPARISON OF THE MAIN SCHEMES OF POWER PLANTS  
BASED ON THE REDUCED COSTS, TAKING INTO ACCOUNT  
RELIABILITY**

А.Д. Титов, И.В. Хитров

Научный руководитель – А.Л. Старжинский, кандидат технических наук  
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

alexeystminsk@gmail.com

A. Titov, I. Xitrov

Supervisor – A. Strarzhinsky, Candidate of Technical Science Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** Важнейшей задачей в энергетике является надёжное снабжение потребителей качественной электрической энергией. Часть электроэнергии производится на конденсационных электрических станциях. Их главные схемы электрических соединений должны быть не только высоконадёжны, но и экономичными. С помощью ЭВМ был произведён расчёт недоотпуска электрической энергии с шин станции мощностью 800 МВт с двумя разными главными схемами. Было выполнено сравнение этих схем по приведенным затратам с учётом ущерба от недоотпуска.

**Abstract:** The most important task in the energy sector is the reliable supply of high-quality electrical energy to consumers. Some of the electricity is generated in condensing power plants. Their main wiring diagrams must not only be highly reliable, but also economical. With the help of a computer calculation was made undersupply of electric power busbar station of 800 MW with two different main circuits. A comparison was made of these schemes in terms of reduced costs, taking into account the damage from undersupply.

**Ключевые слова:** надёжность, недоотпуск, затраты, главные схемы электрических соединений, капиталовложения.

**Key words:** reliability, undersupply, costs, main wiring diagrams, capital investments.

**Введение**

Под термином надёжность понимается свойство объекта сохранять в некоторых установленных пределах значения своих параметров на протяжении заданного времени работы. Конкретно для энергосистем надёжность означает стабильное снабжение потребителей электрической энергией с удовлетворительными показателями качества, а также исключение ситуаций опасных для окружающей среды и людей.

Часть электрической энергии производится на конденсационных электростанциях. На станциях энергию сжигания органического топлива преобразуют в электрическую и выдают потребителям. Для этого используется следующее электрическое оборудование: генераторы, трансформаторы, сборные

шины, выключатели, разъединители, линии электропередачи и др. Всё это оборудование обладает высокой степенью надёжности, но, тем не менее и оно выходит из строя, отказывает. Основной причиной постепенных отказов является старение материалов и износ отдельных частей элементов. Они возникают вследствие теплового, вибрационного старения изоляции трансформаторов, генераторов, кабельных линий, коррозии металлических частей проводов, опор, оболочек кабелей, износа дугогасительных устройств коммутационных аппаратов при отключении токов короткого замыкания, вследствие деформации материалов и диффузии одного материала в другой.

Из-за этого, потребителю недоотпускается часть электроэнергии. Недоотпуск несёт экономические ущербы. Поэтому для его минимизации главным схематическим электрических станций предъявляются высокие требования надёжности.

### Основная часть

Для сравнения главных схем электростанций были спроектированы два варианта схем электрических соединений КЭС 800 МВт, которые представлены на рисунке 1 и рисунке 2. Схемы электрических соединений изображены в нормальном режиме работы. Для ОРУ 330 кВ первого варианта выбрали схему коммутации 3/2, а для ОРУ 110 кВ выбрали двойная система сборных шин с обходной. Для второго варианта ОРУ 330 кВ выбрали схему коммутации 4/3, а для ОРУ 110 кВ выбрали схему коммутации 2/1.

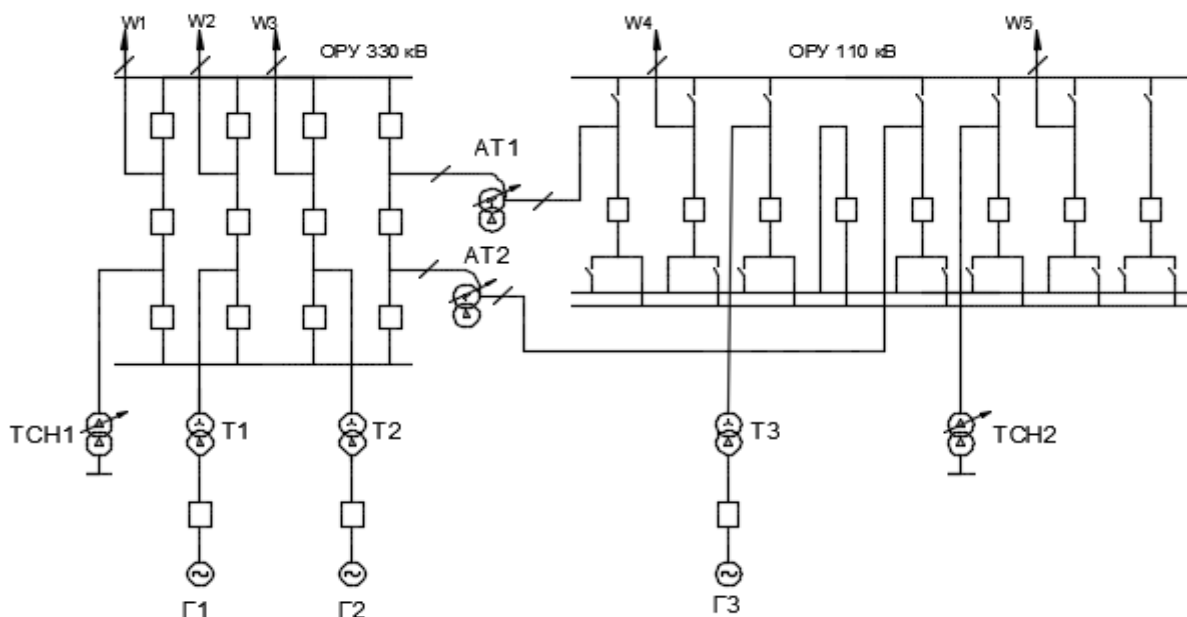


Рисунок 1 – Схема электрических соединений вариант 1

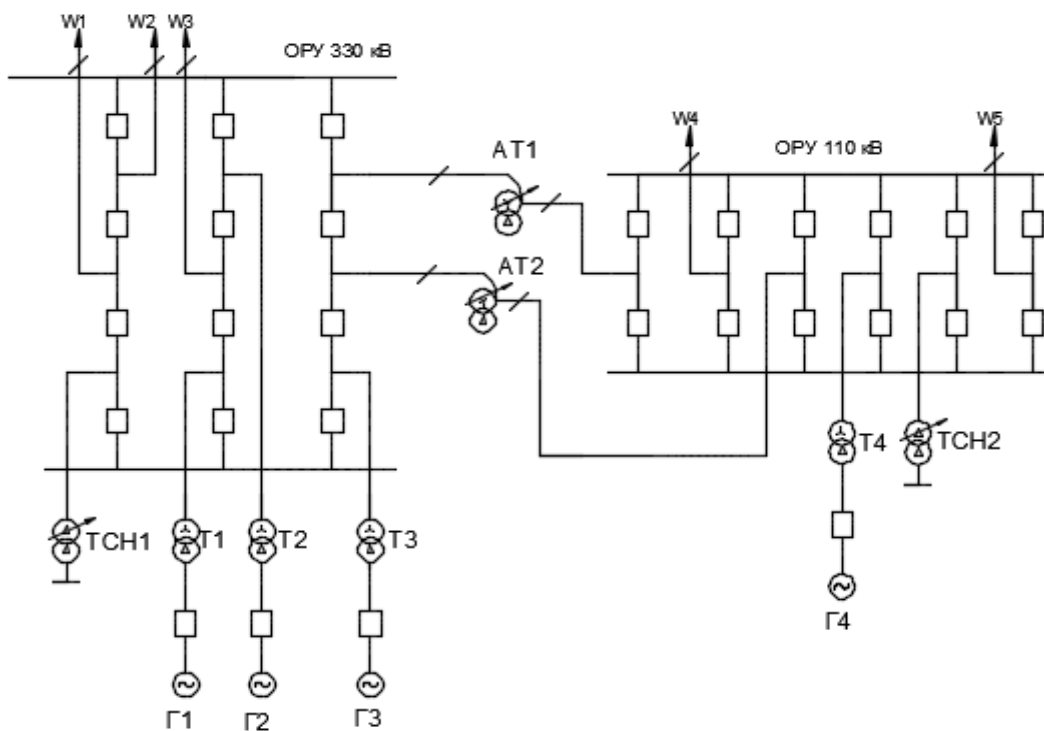


Рисунок 2 – Схема электрических соединений вариант 2

Экономически целесообразный вариант определяется минимумом приведенных затрат. Издержки для обоих вариантов учитывать не будем.

$$Z_i = E \cdot K_i + Y_i, \quad (1)$$

где  $i = 1, 2$  – номер варианта;

$E$  – нормативный коэффициент экономической эффективности капиталовложений, равный 0,12;

$K_i$  – капиталовложения в сооружение электроустановки, тыс. руб.;

$Y_i$  – ущерб от недоотпуска электроэнергии, тыс. руб.;

$$Y_i = \beta \cdot \Delta \mathcal{E}_i, \quad (2)$$

где  $\beta$  – стоимость 1 кВт·ч потерянной энергии,  $\beta = 0,8$  коп./кВт·ч;

$\Delta \mathcal{E}_i$  – суммарный недоотпуск электроэнергии с шин станции, кВт·ч.

Расчёт надёжности выбранных главных схем электрических соединений произведём с помощью программы TOPAS. Она позволяет произвести расчёт надёжности и недоотпуска электрической энергии с шин станций вследствие отказов элементов. Вычисление показателей надёжности осуществляется на основе определения количества комбинаций событий, приводящих к отказу. Недоотпуск определяется по длительности простоя ввиду отказов. Полученные результаты сведём в таблицу 1.

Таблица 1 — Результаты суммарного недоотпуска электроэнергии с шин электростанций в программе TOPAS

	$\Delta \mathcal{E}_i \cdot 10^5 \cdot \text{кВт}\cdot\text{ч}$
Вариант 1	151,2
Вариант 2	909,7

Выбор основного оборудования электрических станций, а также капиталовложения элементов схем сведём в таблицу 2.

Таблица 2 – Капиталовложения элементов схем

Оборудование	Стоимость единицы, тыс. руб.	Варианты			
		Первый		Второй	
		Количество, шт	Общая стоимость, тыс. руб.	Количество, шт	Общая стоимость, тыс. руб.
Генераторы					
ТВВ-320-2ЕКУЗ	12000	2	24000	–	–
ТВВ-160-2ЕУЗ	6400	1	6400	–	–
ТВВ-220	7950	–	–	4	31800
Трансформаторы					
ТДЦ-400000/330	398,5	2	797	–	–
ТДЦ-200000/110	222	1	222	–	–
АТДЦТН 200000/330/110	291	2	582	–	–
ТРДНС-40000/330	200	1	200	1	200
ТРДНС – 25000/110	66,5	1	66,5	1	66,5
ТДЦ-250000/330	305,6	–	–	3	916,8
ТДЦ-250000/110	255	–	–	1	255
АТДЦТН-125000/330/110	291	–	–	2	582
Ячейки РУ					
ячейка ОРУ 110кВ	16,13	7	112,91	12	193,56
ячейка ОРУ 330кВ	48,59	12	583,08	12	583,06
Итого:		32963,49		34596,92	

Приведём расчёт ущерба от недоотпуска электроэнергии для двух вариантов:

$$Y_1 = 0,008 \cdot 151,2 \cdot 10^5 = 120,96 \text{ тыс. руб.} \quad (3)$$

$$Y_2 = 0,008 \cdot 909,7 \cdot 10^5 = 727,76 \text{ тыс. руб.} \quad (4)$$

Рассчитаем наиболее экономически целесообразный вариант с помощью приведенных затрат:

$$Z_1 = E \cdot K_1 + Y_1 = 0,12 \cdot 32963,49 + 120,96 = 4076,6 \text{ тыс. руб.} \quad (5)$$

$$Z_2 = E \cdot K_2 + Y_2 = 0,12 \cdot 34596,94 + 727,76 = 4879,4 \text{ тыс. руб.} \quad (6)$$



$$\Delta z = \frac{z_2 - z_1}{z_2} \cdot 100\% = \frac{4879,4 - 4076,6}{4879,4} \cdot 100\% = 19,7\% \quad (7)$$

### **Заключение**

На основании расчёта с помощью метода приведенных затрат с учётом надёжности можно сделать вывод, что схема электрических соединений первого варианта экономичнее на 19,7% по сравнению со вторым вариантом, а также недоотпуск электроэнергии с шин электростанций в 6 раз меньше по отношению к второму варианту, что говорит о более надёжные схемы электрических соединений.

### **Литература**

1. Розанов, М. Н. Надёжность электроэнергетических систем – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 200с
2. Основы надёжности систем электроснабжения / В.А. Анищенко и И.В. Колосова; кол. авт. Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Электроснабжение". - Минск: БНТУ, 2007. - 150 с.: ил.

УДК610.311

## УТИЛИЗАЦИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК DISPOSAL OF WIND POWER PLANTS

И.С. Хитров

Научный руководитель – В.А. Ханевская, инженер  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
haneuskaya@bntu.by

I. Khitrou

Supervisor – V. Khanevskaya, engineer  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** Для производства электрической энергии используются ветроэнергетические установки. Они считаются экологически чистыми, поскольку не производят вредных выбросов в процессе эксплуатации. Однако по истечению срока службы их необходимо утилизировать. Для этого существует несколько способов.

**Abstract:** Wind power plants are used to generate electricity. They are considered environmentally friendly because it does not produce harmful emissions during operation. However, at the end of their service life, they must be disposed of. There are several ways to do this. Each method has its own advantages and disadvantages.

**Ключевые слова:** ветроэнергетическая установка, утилизация, переработка, лопасти, композиционные материалы.

**Keywords:** wind power plant, disposal, recycling, blades, composite materials.

### Введение

Ветроэнергетическая установка – устройство способное преобразовывать кинетическую энергию воздушных масс в электрическую энергию. Обычно установки представляют собой ветроколесо с тремя лопастями, соединённого с синхронным генератором переменного электрического тока. Ветроэнергетическая установка обладает рядом важных преимуществ: не нуждается в поставках топлива, не производит выбросов в окружающую среду и имеет большой срок службы. Считается что ветроэнергетические установки — это экологически чистый источник электроэнергии. Однако стоит учесть и тот факт что отработав свой срок эксплуатации их необходимо утилизировать.

### Основная часть

Нормативным срок эксплуатации лопастей ветроэнергетической установки составляет около 20 лет. По истечении этого срока их нельзя просто так свезти на свалку. Как правило отработавшие лопасти отправляют на мусоросжигательные заводы. Но лопасти горят довольно плохо поскольку состоят из композиционных материалов, прежде всего это углеволокно, стекловолокно, древесина бальза, полиуретан, различные металлы и эпоксидные смолы. Кроме плохого горения перечисленные материалы забивают воздухоочистительные фильтры, а иногда и выводят их из строя.

Исходя из сказанного, на сегодняшний день вместо полной утилизации лопастей ветроэнергетических установок совершаются попытки их вторичного

использования. В теории все материалы, входящие в состав композита, могут повторно применяться. Для реализации этой возможности требуется создать высокоэффективную технологию разделения композитов. Например, чтобы отделить стекловолокно от эпоксидной смолы необходимо провести пиролиз. Для этого лопасти длиной 40-50 метров требуется поместить в специальные печи, где они нагреваются до 600 градусов Цельсия. Зачастую мероприятия такого рода экономически нецелесообразны.

Существует и другой способ – измельчение лопастей в мелкие гранулы. Они носят название рециклята. Лопасти разрезают на небольшие части, после чего эти части дробят. Полученный продукт может использоваться как наполнитель при производстве пластмасс или же новых композиционных материалов. Данная технология более простая и экономичная. Но и она всецело не решает проблему утилизации, поскольку, как правило, доля рециклята в новых продуктах не превышает 40 процентов.

В Европе для отработавших лопастей применяют совместную переработку в цементных печах. По результатам минеральное сырьё и стеклопластик повторно используются в цементе. Данная технология показывает высокую эффективность, может быть адаптирована под большие объёмы, но применяется не столь широко.

### **Заключение**

На сегодняшний день существует несколько способов утилизации, а точнее переработки и вторичного использования ветроэнергетических установок. Все они имеют свои преимущества и недостатки. Главный недостаток — это то что они мало применяются, а ветроэнергетика развивается, ветровые парки расширяются и в скором времени будет много отработавших установок, что создаст большую проблему. Как вариант решения такой проблемы может служить использование в качестве конструктивных материалов дерева. Так, например, компания VestasVentures планирует к 2022 году начать серийный выпуск деревянных ветроэнергетических установок.

### **Литература**

1. Новости и аналитика о Германии, России, Европе, мире | DW [Электронный ресурс]/ новости и аналитика о Германии. -Режим доступа: <https://www.dw.com/ru/>. – Дата доступа: 13.04.2021.
2. Российская ассоциация ветроиндустрии [Электронный ресурс]/ Российская ассоциация ветроиндустрии. -Режим доступа: <https://rawi.ru/2021/04/utilizaciya-komponentov-vetrogeneratorov/>. – Дата доступа: 15.04.2021.

УДК 546.11

## ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА УГЛЕВОДОРОДНОМ ТОПЛИВЕ HYDROCARBON POWER PLANTS

М.А. Шешко

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

M. Sheshko

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

***Аннотация:** Постепенно на смену электростанций на традиционном углеводородном топливе приходят технологии на основе возобновляемых источников энергии. Но этот новый вид энергетики еще не так сильно развит, поэтому о нем мы можем говорить только в перспективе. Я считаю, что еще много лет лидирующие позиции будет занимать классическая генерация энергии с углеводородным топливом. Главным достоинством которой является способность производить различные виды энергоносителей и энергии, они позволяют удовлетворить наши потребности в энергии. К минусам можно отнести: истощение запасов ископаемых, выбросы в атмосферу токсичных соединений.*

***Abstract:** Gradually, power plants using traditional hydrocarbon fuels are being replaced by technologies based on renewable energy sources. But this new type of energy is not yet so strongly developed, so we can talk about it only in the future. I believe that classical generation of energy with hydrocarbon fuel will occupy the leading positions for many years to come. The main advantage of which is the ability to produce various types of energy carriers and energy, they allow us to meet our energy needs. The disadvantages include: depletion of mineral reserves, emissions of toxic compounds into the atmosphere.*

***Ключевые слова:** углеводородное топливо, энергия, паросиловая установка, газотурбинная установка, парогазовая установка.*

***Key words:** hydrocarbon fuel, energy, steam power plant, gas turbine plant, combined cycle gas plant.*

### **Введение**

Начнем с того, что такое углеводородное топливо. Углеводородное топливо — это горючее вещество, которое состоит из соединений углерода и водорода, к ним относятся жидкие нефтяные топлива и углеводородные горючие газы (метан, этан, бутан и др.). Также сюда мы можем отнести и природные газы, и уголь, горючие сланцы, торф. Электрические станции или установки, которые используют этот вид топлива называются углеводородными станциями.

### **Основная часть**

Паросиловая установка (ПСУ) — это установка, предназначена для формирования пара и электроэнергии за счет теплоты, которая выделяется при сжигании топлива.

Рабочее тело ПСУ — вода, которая в процессе преобразования сначала превращается в насыщенный перегретый пар, а после этого конденсируется в воду. Характерной особенностью рабочего процесса паросиловой установки является то, что изменяется агрегатного состояния рабочего тела.

Сама установка состоит из таких элементов как: парогенератор (котел), паровая турбина, электрический генератор, конденсатор, питательный насос.

Парогенератор служит для выработки водяного пара. Для создания этого пара в его топке сжигают природное органическое топливо (например, уголь, мазут, газ). За счет выделяющейся при этом теплоты вода для начала преобразуется в насыщенный, а после этого в пароперегревателях — в перегретый пар. Перегретый водяной пар направляется в турбину, где происходит его расширение и за счет этого он производит полезную работу: вращает ротор и турбины электрогенератора. После этого пар из турбины поступает в конденсатор, там конденсируется и насосом подается опять в котел. Насос этот называют питательным, потому что в котел поступает не сырая вода, а специально подготовленная, которая называется питательная.

КПД паросиловой установки можно повысить за счет использования теплоты отработавшего пара для отопления, горячего водоснабжения и т. д. Для этого охлаждающую воду, которая нагрелась в конденсаторе, не сливают в водоем, а прокачивают через отопительные установки теплового потребителя. В таких установках станция вырабатывает механическую энергию в виде полезной работы на валу турбины и теплоту для отопления. Эти станции называют теплоэлектроцентралями (ТЭЦ). Комбинированная выработка электрической энергии и тепловой является одним из основных методов повышения эффективности тепловых установок [2].

Газотурбинная электростанция или установка (ГТУ) — это современная высокотехнологичная установка, которая производит электричество и тепловую энергию. Основу ГТУ составляют один или несколько газотурбинных двигателей — силовых агрегатов, которые механически связаны с электрогенератором и объединены системой управления в единый энергетический комплекс. Газотурбинная электростанция может иметь электрическую мощность от нескольких киловатт до сотен мегаватт. Она также способна отдавать потребителю значительное количество тепловой энергии, если установить на выхлопе турбины котёл-утилизатор. Тогда эта установка называется ГТУ-ТЭЦ.

Принцип работы: в компрессор газотурбинного силового агрегата подается чистый воздух. После этого в камеру сгорания под высоким давлением поступает воздух из компрессора и основное топливо, а именно газ. Смесь воспламеняется и при сгорании этой смеси образуется энергия в виде потока раскаленных газов. Образовавшийся поток с высокой скоростью стремится на рабочее колесо турбины и вращает его. Образовавшаяся энергия при помощи вала турбины приводит в действие электрический генератор и компрессор. вследствие чего образуется электричество, которое направляется к потребителям энергии.

Наибольший КПД ГТУ достигается при работе в режиме когенерации: одновременное производство электрической и тепловой энергии. Электрический

КПД современных газотурбинных установок составляет 33-39%. С учетом высокой температуры выхлопных газов в мощных ГТУ комбинированное использование газовых и паровых турбин позволяет повысить эффективность использования топлива и увеличивает электрический КПД установок до 57-59% [1].

Обычно газотурбинные установки в энергетике используют как для работы в базовом режиме, так и для покрытия пиковых нагрузок.

Использование малых ГТУ разумно для удалённых или экономически обособленных потребителей. Для этих потребителей характерны длительные периоды непрерывной работы и периоды простоя, которые делают невыгодным создание мощных подключений к централизованным электросетям.

Сейчас ГТУ начали широко применяться в малой энергетике. Газотурбинные установки могут использоваться в любых климатических условиях в качестве основной так и в качестве резервной источник электроэнергии и тепла для объектов производственного или бытового назначения. Области применения газотурбинных установок: нефтегазодобывающая промышленность, промышленные предприятия и муниципальные образования [1].

Низкие вибрации, шум, токсичность выхлопа малых электростанций в комбинации с доступностью газовых сетей оправдывают применение их в качестве автономных источников постоянного энергоснабжения в городах, если стоимость сетевой электроэнергии высока, а организация подключения к электросети затруднена.

В состав парогазовой установки (ПГУ) входит 2 отдельных двигателя: паросиловой и газотурбинный. В газотурбинной установке турбину приводят в действие газообразные продукты сгорания топлива. Топливом может быть, как природный газ, так и продукты нефтяной промышленности (дизельное топливо). На одном валу с турбиной находится генератор, который за счет вращения ротора вырабатывает электрический ток. Продукты сгорания, проходящие через газовую турбину, теряют часть своей энергии и на выходе из неё, при давлении схожим с наружным и когда работа не может быть ими совершена, все ещё имеют высокую температуру. После выхода из газовой турбины продукты сгорания попадают в паросиловую установку, в котел-утилизатор, там они нагревают воду и образующийся водяной пар. Температуры продуктов сгорания хватает для того, чтобы довести пар до состояния, необходимого для использования в паровой турбине (температура дымовых газов около 500 °С позволяет получать перегретый пар при давлении около 100 атмосфер). Второй электрогенератор приводит в действие паровая турбина [3].

Иногда ПГУ можно создать на базе существующих старых паросиловых установок. В этом случае газы, которые уходят из новой газовой турбины, сбрасываются в существующий паровой котел, который модернизируют соответствующим образом. КПД этих установок, как правило, ниже, чем у новых парогазовых установок, которые спроектированных и построенных «с нуля» [3].

К преимуществам ПГУ можно отнести:

1. Низкая стоимость единицы установленной мощности

2. Парогазовые установки помогают достигнуть электрического КПД 60 % и более. Для сравнения, у работающих отдельно паросиловых установок КПД обычно находится в пределах 33-45 %, для газотурбинных установок КПД находится в диапазоне 28-42 %.

3. Парогазовые установки потребляют значительно меньше воды на единицу вырабатываемой электроэнергии по сравнению с ПСУ.

4. Относительно короткие сроки строительства (9-12 мес.).

5. Компактные размеры позволяют возводить непосредственно у потребителя (завода или внутри города), что сокращает затраты на ЛЭП и транспортировку электрической энергии.

6. Более экологически чистые в сравнении с паротурбинными установками

Недостатки ПГУ:

1. Необходимость осуществлять фильтрацию воздуха.

2. Используемого для сжигания топлива.

3. Сезонные ограничения мощности.

### **Заключение**

Сегодня никто не может сказать, каким будет полноценный облик энергетики будущего. Казалось бы, передовые технологии получения электрической и тепловой энергии на основе возобновляемых источников постепенно вытесняют классическую генерацию с углеводородным топливом. Но в то же время альтернативные источники энергии пока что не избавились от проблем, мешающих их масштабному внедрению, что сильно повышает шансы на продолжение использования ископаемого топлива. Уже есть новые идеи и новые технологии, которые в перспективе могут сделать ненужными газовые и угольные электростанции и сильно сократить использование альтернативной генерации. Поэтому в настоящий момент человечество находится в начале трудного пути преобразования, конец которого немного виден сквозь густой туман технологической перспективы.

### **Литература**

1. Газотурбинная установка (ГТУ)[Электронный ресурс]/ Газотурбинная установка (ГТУ) — энергетическая установка. -Режим доступа: <https://neftegaz.ru/tech-library/elektrostantsii/141737-gazoturbinnaya-ustanovka-gtu/>. – Дата доступа: 19.04.2021.

2. Паросиловая установка [Электронный ресурс]/ Принцип работы, схема. -Режим доступа: [https://bigenc.ru/technology\\_and\\_technique/text/2321880/](https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/2321880/). Дата доступа: 19.04.2021.

3. ПГУ [Электронный ресурс]/ Парогазовые установки — ПГУ — описание. -Режим доступа: <https://manbw.ru/analytics/pgu.html/>. – Дата доступа: 19.04.2021.

УДК 621.3

**СИСТЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ  
THERMONUCLEAR ENERGY AS A STEP INTO THE FUTURE**

С. А. Шиманович

научный руководитель – В. А. Ханевская, инженер  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

[haneuskaya@bntu.by](mailto:haneuskaya@bntu.by)

S.A. Shimanovich

Supervisor – V. A. Khanevskaya, Engineer  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной работе рассматривается технология “Отходы в энергию”, а также плюсы и минусы данной технологии.*

***Abstract:** In this article we observe the "Waste to energy" technology and it's pros and cons.*

***Ключевые слова:** утилизация отходов, энергия, экология*

***Keywords:** Recycling, energy, ecology*

**Введение**

Благодаря технологии “Отходы в энергию” утилизация отходов станет намного легче. Размещение на полигонах твёрдых бытовых, промышленных, медицинских и других отходов уменьшится. Полученная энергия станет дополнительным источником прибыли, что приведёт к экономической и экологической выгоде.

**Основная часть**

Система энергетической утилизации отходов (WTE)– это процесс получения энергии в виде электричества или тепла благодаря сжиганию отходов [2].

Инсинерация – сжигание органических отходов при высоких температурах, она является самой распространенным видом реализации WTE. Сжигание отходов может привести к образованию загрязняющих веществ, но данный метод очень эффективен и безопасен, так как объёмы сжигаемых отходов сводятся к минимуму, а благодаря многоступенчатой системе газоочистки загрязнение окружающей среды сводится к минимуму.

В таких системах необходима хорошо спроектированная система сжигания. Рассмотрим основные технологии, используемые для получения энергии из отходов:

1. Термическая переработка на решётке. Чаще всего используется в мире. Благодаря приобретенному опыту в строительстве и эксплуатации за все время технология считается очень надёжной. Инсинерация стала считаться экологически чистой технологией, после существенных улучшений системы очистки дымовых газов[1]. Общая схема современной системы термической переработке на решётке (рисунок 1).



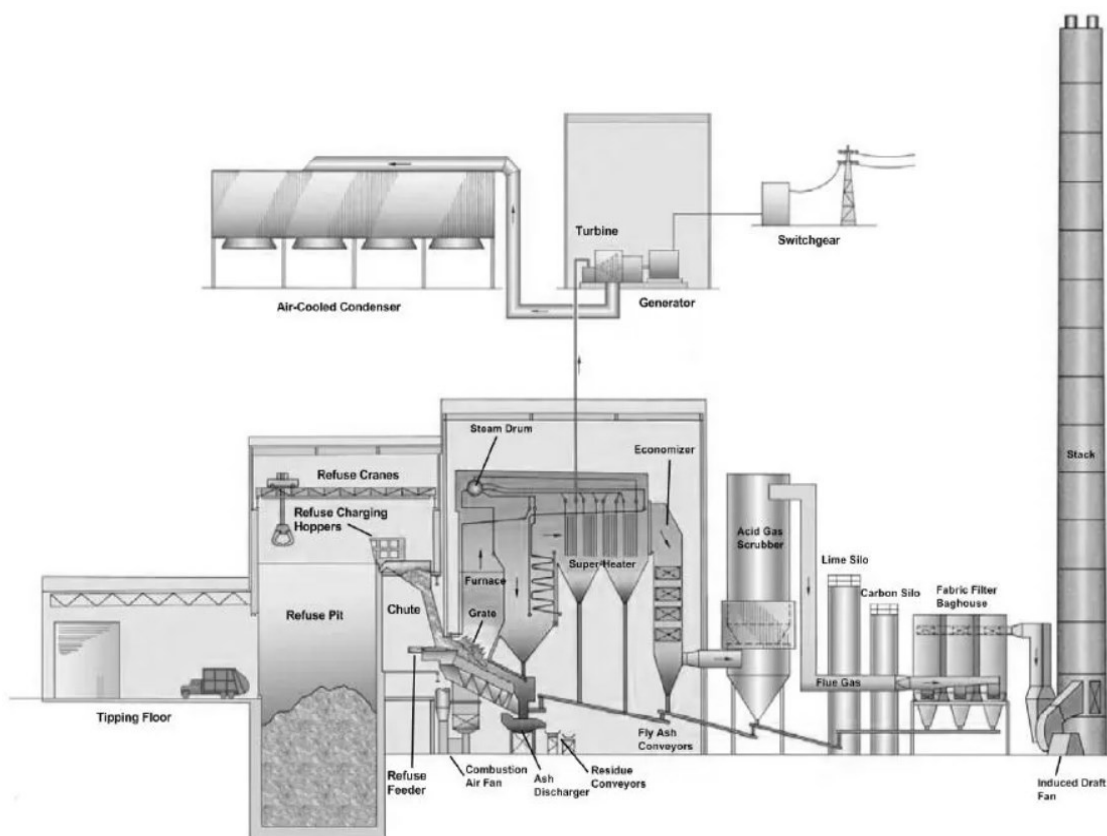


Рисунок 1 – Технология термической переработки на решётке

2. Технология кипящего слоя. Она может быть как статичной, так циркулирующей [1]. Эта технология используется чаще всего для переработки осадка городских сточных вод и твёрдых бытовых отходов. Система для очищения дымовых газов и использование энергии предусмотрены в этой технологии. Общая схема системы кипящего слоя (рисунок 2).

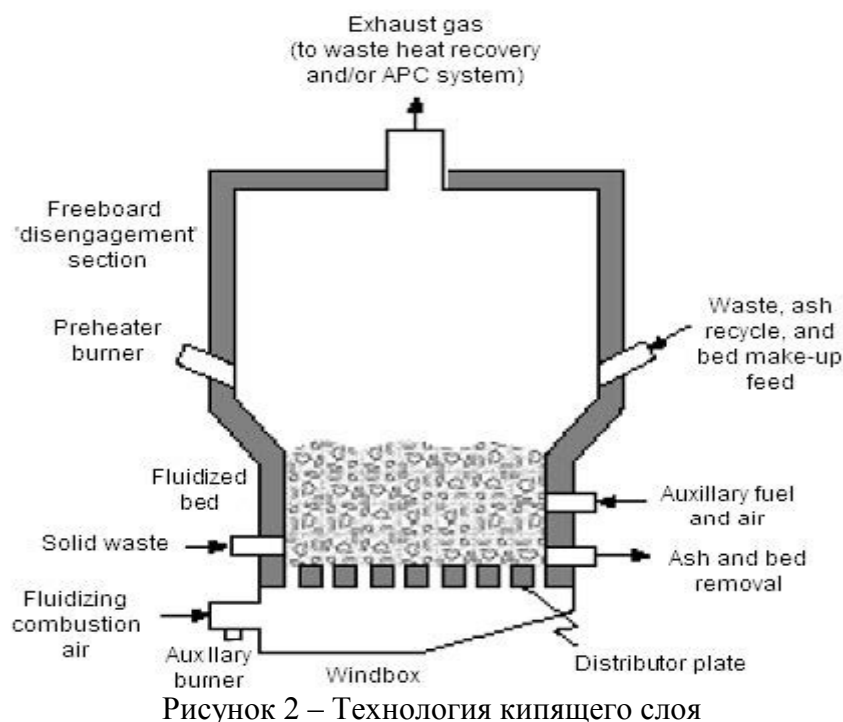


Рисунок 2 – Технология кипящего слоя

3. Вращающаяся печь. В этой технологии перерабатывают опасные медицинские, биологические и промышленные отходы. Благодаря высоким температурам можно производить полное уничтожение вредоносных микроорганизмов. Уровень выброса будет мал из-за низкого уровня кислорода на выходе. Общая схема системы с вращающейся печью (рисунок 3).

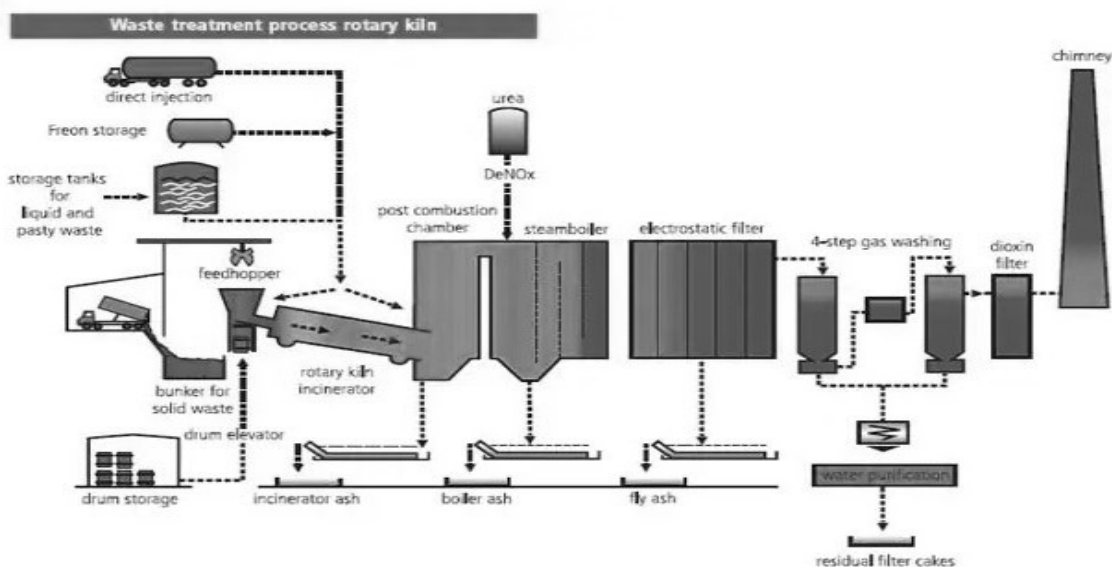


Рисунок 3 –Технология системы с вращающейся печью

4. Газификация. Эта технология широко известна, но из-за ряда минусов она не пользуется спросом. При процессе газификации появляется высокий уровень  $CO_2$ , что приводит к выбросу загрязнений в атмосферу, теплота сгорания вырабатываемого газа мала, происходит окисление углеводородов [1]. Общая схема системы высокотемпературной газификации (рисунок 4).

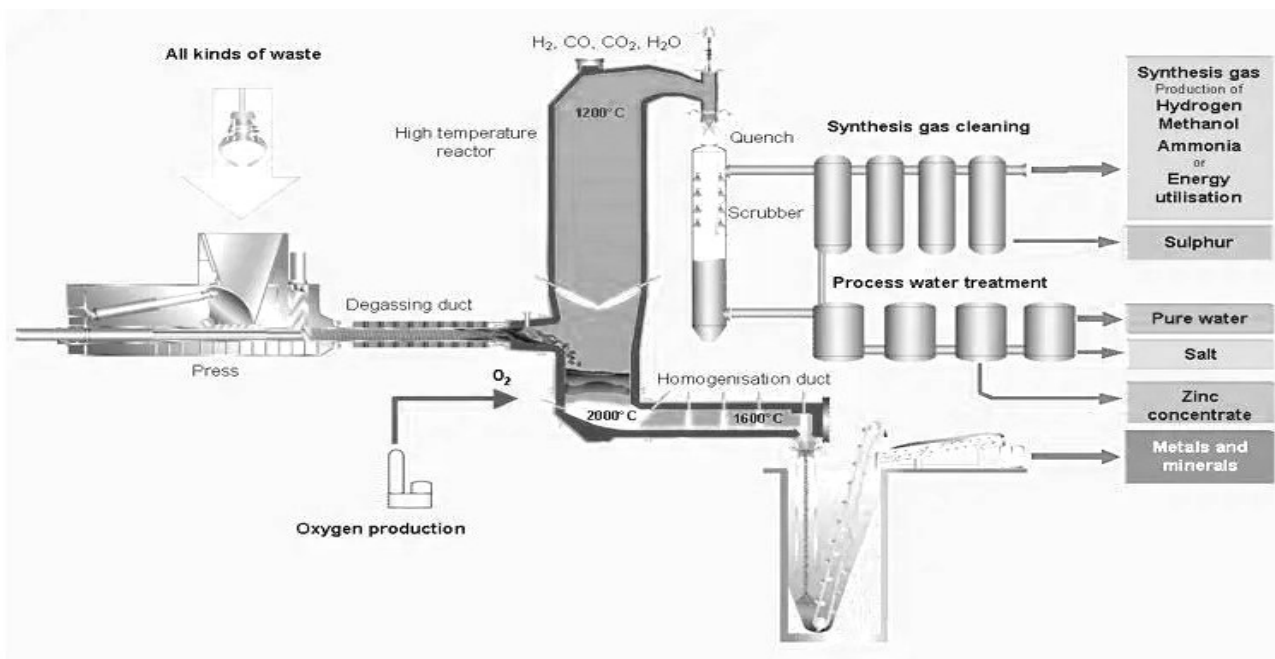


Рисунок 4 – Технологии системы высокотемпературной газификации

5. Газификация в плазменной дуге. Эту технологию используют для переработки радиоактивных отходов. В ней имеются как плюсы, так и минусы. Установка требует много затрат энергии на переработку отходов, а маленький уровень энергии на выходе установки не позволяет даже думать об энергетической эффективности. Большие температуры хороши для утилизации вредных отходов, но управление такой температурой очень затруднительно. Общая схема системы газификации в плазменной дуге (рисунок 5).

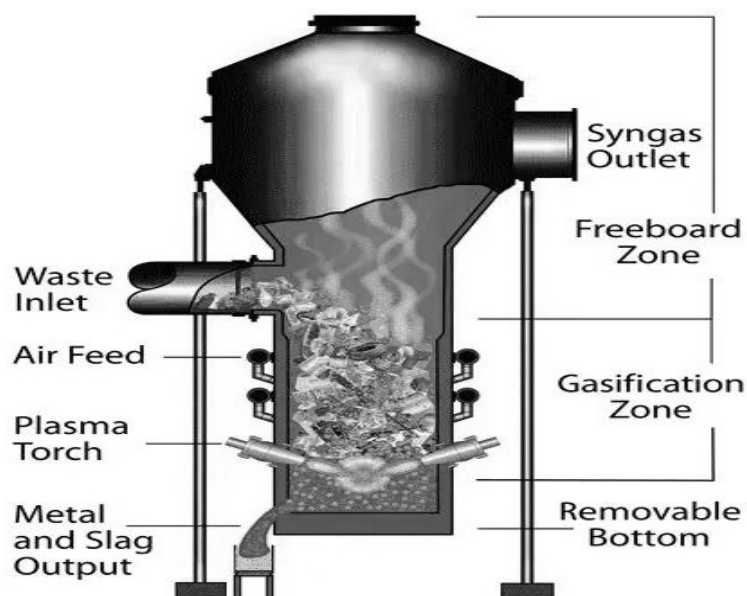


Рисунок 5 – Технология системы газификации в плазменной дуге

6. Пиролиз. Эта технология была придумана давно и её используют в химической промышленности, но недавно её начали использовать и для переработки отходов. В данной технологии присутствует множество плюсов: очень маленькое окисление отходов, выбросы опасных веществ отсутствуют, производит большое количество синтетического природного газа, а его теплотворность высока, производится чистый газ, чтобы использовать его напрямую в генераторах. Эта технология является самой экологически чистой, простой и модульной технологией утилизации [1]. Единственный минус – это то, что она мало известна на рынке. Общая схема процесса пиролиза (рисунок 6).

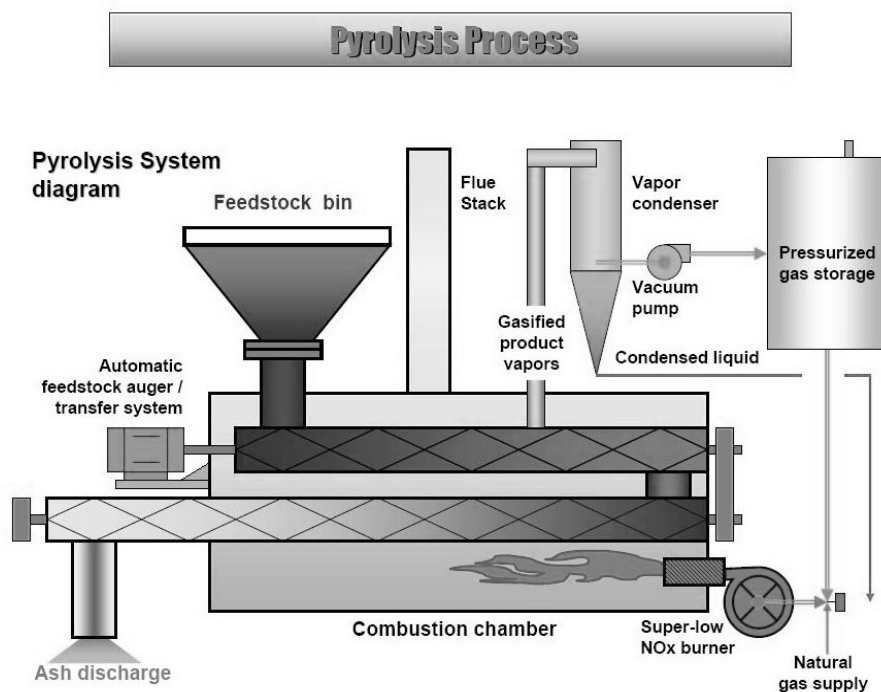


Рисунок 6 – Технология процесса пиролиза

### Заключение

В наше время в мире используется около 2500 заводов WTE. Но не все хотят переходить к этой системе утилизации отходов. Из-за нехватки информации появляется недоверие к строительству таких заводов, да и к этой отрасли в целом. Но это дело времени и уже в недалёком будущем каждый желающий сможет увидеть своими глазами весь процесс, – такие заводы станут не только экологической частью нашей инфраструктуры, но и объектами индустриального туризма.

### Литература

1. Ростек [Электронный ресурс] / Ростек. – Режим доступа: <https://rostec.ru/news/energichnaya-utilizatsiya-kak-prevratit-otkhody-v-energiyu/>. – Дата доступа: 19.04.2021
2. Все италия [Электронный ресурс] / Все италия. – Режим доступа: <http://www.bceitalia.com/ru/product-applications/waste-to-energy-systems-ru/> – Дата доступа: 19.04.2021

УДК 620.92

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА В РЕСПУБЛИКЕ  
БЕЛАРУСЬ

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF ELECTRIC TRANSPORT IN  
THE REPUBLIC OF BELARUS

Е.В. Таранко

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

[myshk-ekaterina@yandex.ru](mailto:myshk-ekaterina@yandex.ru)

E. Taranko

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

**Аннотация:** в данной работе проводится анализ перспектив развития электротранспорта в Республике Беларусь, определяются предпосылки перехода на электротранспорт и его место в энергосистеме страны. Определены преимущества транспортных средств на электротяге в сравнении с автомобилями на двигателе внутреннего сгорания.

**Abstract:** this article analyzes the perspective of electric transport development in the Republic of Belarus, defines the reasons for the shift to electric transport and its role in the energy system of the country. This piece looks into the advantages of electric cars over cars using internal combustion engines.

**Ключевые слова:** электротранспорт, электродвигатель, зарядная станция, двигатель внутреннего сгорания.

**Keywords:** electric transport, electric engine, charging station, inner combustion engine.

### Введение

Рынок экологичных видов транспорта, в том числе электротранспорта, во многих странах начал развиваться несколько десятилетий назад. Важной движущей силой создания и развития рынка становится государственная поддержка, которая осуществляется органами власти в виде принятия соответствующих законодательных норм и реализации различных инициатив. Именно сейчас ему необходима поддержка со стороны государства. На данном этапе важно изучить наиболее успешный зарубежный опыт и внедрить в сжатые сроки самые эффективные инициативы. Важно провести анализ зарубежных государственных инициатив и определить потенциальные направления государственной поддержки развития электротранспорта в Республики Беларусь.

Сейчас в Беларуси разрабатывается Государственная программа по развитию электротранспорта на 2021 – 2025 годы. В ней предусматривается организация и производство электротранспорта и электромобилей, проведение научных исследований, разработка опытных образцов, подготовка нормативных

технических актов по использованию электротранспорта и расширение сети зарядных станций.

Параллельно с разработкой программы по развитию электротранспорта идет разработка Государственной программы развития транспортного комплекса на 2021 – 2025 годы, в которую входят мероприятия по дальнейшей электрификации транспорта. Согласно программе, к концу 2025 года доля электрифицированных транспортных средств, выполняющих городские пассажирские перевозки в регулярном сообщении, должна увеличиться до 30%.

### Основная часть

Электротранспорт – вид транспорта, который использует электричество как источник энергии. Кроме электромобилей в работе рассматривается и общественный электротранспорт (троллейбусы) и электросамокаты, как вид городского транспорта. Показатели расхода электроэнергии разными видами транспортных средств варьируются. Например, для Tesla Model S средний расход: 16,4 кВтч/100 км. На сегодняшний день важно учесть соотношение объёма электроэнергии, вырабатываемого в стране, и необходимое её количество для насыщения рынка транспорта на электротяге. По данным главного управления Государственной автомобильной инспекции в 2020 в Беларуси было зарегистрировано более 3,685 млн автомобилей. Для такого же количества электромобилей нужно около 14 млрд кВт\*ч электроэнергии. Возникает логический вывод: откуда брать такое количество энергии? Актуальность данного вопроса состоит в том, что в нашей энергосистеме вводится в эксплуатацию Белорусская атомная электростанция (БелАЭС). Прогнозируемый общий объем выдачи электроэнергии БелАЭС в сеть — 18 млрд кВт\*ч (рисунок 1) [1]. Таким образом, соотнося эти данные, оказывается, что атомная электростанция способствует широкому распространению электротранспорта, а он в свою очередь берет на себя большое количество энергии.

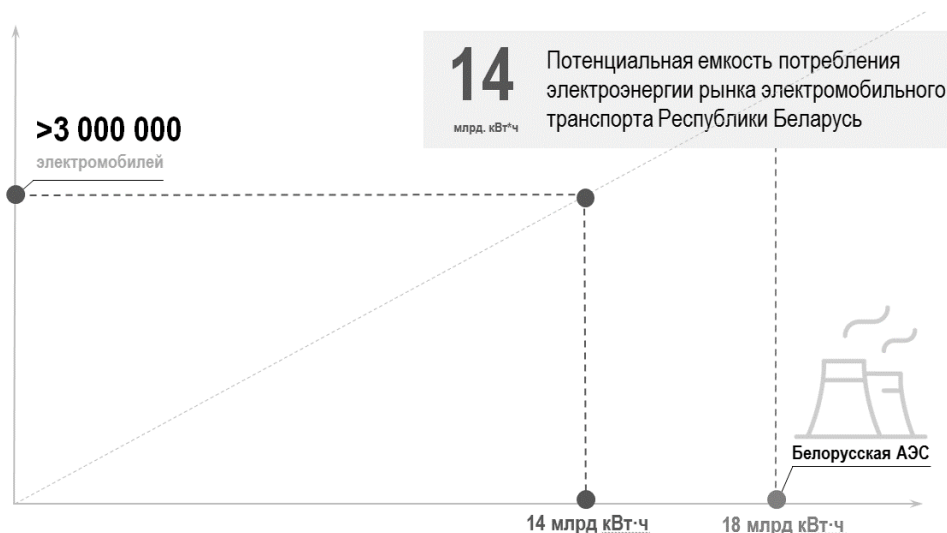


Рисунок 1 – Развитие рынка электромобильного транспорта в Республике Беларусь и потребления электроэнергии

Чтобы понять перспективы развития нынешней ситуации полезно обратиться внимание на мировой опыт. Так, в Европе, Китае и США отчетливо наблюдается

рост продаж электротранспорта (рисунок 2). По прогнозам Международного энергетического агентства, (МЭА), к 2030 году количество электромобилей вырастет до 127 млн. единиц, а электробусов — до 1,5 млн [2]. Ожидается, что спрос на аккумуляторные батареи к электротранспорту увеличится в 15 раз, особенно большим он будет в Китае. Пекин уже объявил о планах к 2025 году продавать не менее 7 млн. новых электромобилей в год

Крупные автоконцерны заявили о создании электроверсий большого процента существующих моделей. Яркий тому пример – Daimler, который останавливает все будущие разработки бензиновых двигателей и будет сосредоточен исключительно на электромобилях. В настоящее время основное внимание уделяется электроприводу, а двигатели с внутренним сгоранием отходят на задний план.

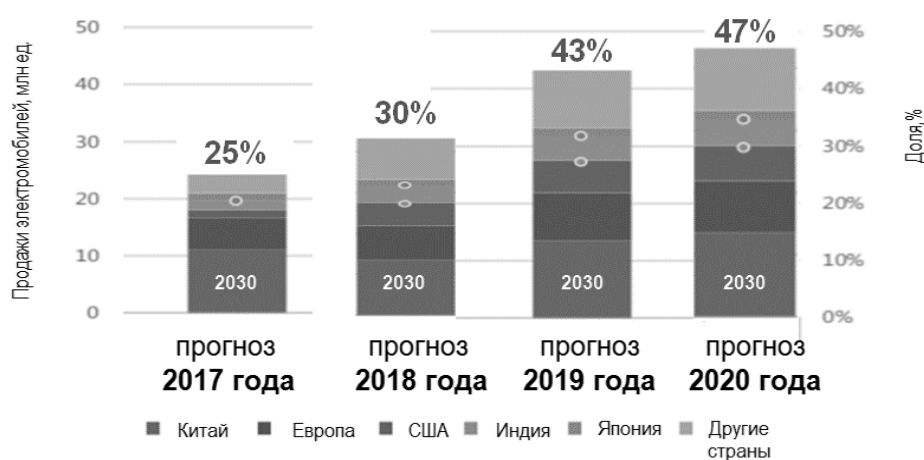


Рисунок 2 –Мировые тенденции. Ежегодная корректировка прогноза развития мирового рынка электромобильного транспорта к 2030 году

Целесообразно отдельно упомянуть постепенное развитие зарядных станций для электромобилей. Кстати, уже сегодня зарядная инфраструктура Беларуси позволят без проблем передвигаться по стране. Конечно, Германия обгоняет нас в темпах развития: здесь уже свыше 17400 зарядных станций для электроавтомобилей. Отличной мерой для еще более резкого роста электромобилей в Беларуси может стать законодательный запрет на использование автомобильного топлива, содержащего свинцовые добавки. Это позволит ускорить приведение состояния транспортного комплекса страны в соответствие европейским стандартам и снизит уровень загрязнения окружающей среды.

Есть несколько концепций передачи энергии между электромобилями и сетью: от сети к электромобилю, от электромобиля в сеть (V2G). В данный момент электро- и гибридные автомобили широко распространены в Китае, Европе, США и Японии. Концепция V2G представляет собой двунаправленную технологию зарядки. Во многих странах цены на электроэнергию отличаются в зависимости от времени суток и пиковых нагрузок. Владельцы автомобилей с технологией V2G получают возможность заряжать свой транспорт по низкой стоимости и продавать энергию в сеть, когда машина припаркована и не

используется. Кроме того, электромобиль может выступать в качестве бесперебойного источника питания для дома или электроприборов. Также разрабатывается концепция взаимодействия между автомобилями – V2V, автомобилем и устройством – V2D, автомобилем и инфраструктурой, например, светофорами и дорожными знаками – V2I, автомобилем и пешеходом – V2P с помощью выявления частотных диапазонов смартфонов. Эти системы связи предназначены для обмена информацией и дорожном движении и обеспечения безопасности движения.

Кроме транспортировки пассажиров, электротранспорт со своими особенностями вполне может выполнять и некоторые другие функции. Во-первых, такой вид транспорта может быть оснащен функцией автопилота и системой автоматического управления. Во-вторых, гибридный автомобиль часто может находиться в периодах простоя. Тогда он может работать в режиме энергоустановки и продавать энергию в сеть. Это позволит генерировать энергию с помощью топливных ячеек. В-третьих, электробусы могут выполнять транспортировку энергии. Например, они получают, хранят и распространяют энергию от возобновляемых источников, а дальше могут быть использованы для передачи энергии зарядным станциям, от которых будут заряжены другие автобусы. Это хорошее решение для доставки электроэнергии в труднодоступные места. Кроме этого, можно разработать алгоритмы для оптимального размещения зарядных станций на маршрутах автобусов для минимизации количества станций и потерь при передаче энергии. Исходя из этих функций, можно заключить, что транспорт на электротяге имеет определенные преимущества и свои уникальные особенности, которыми автомобили с бензиновыми двигателями не обладают.

Электромобили имеют несколько ограничений, таких как: запас хода на одном заряде, время полной зарядки батареи более 1 часа и стоимость батареи, составляющая до 40% от стоимости автомобиля. Чтобы эти ограничения не перекрывали все достоинства такого вида транспорта, разрабатываются технологии беспроводной зарядки автомобиля во время движения. Беспроводная передача энергии позволит электромобильям ездить неограниченное время без остановок для подзарядки. Для этого в нижней части транспортного средства можно разместить приемник, который получает энергию от индукционных катушек, расположенных под дорожным покрытием на определенном расстоянии друг от друга. Конечно, эта технология пока находится в разработке, но она будет невероятным прорывом и скорее всего изменит наше представление о передвижении на автомобиле.

Нетрудно заключить, что ключевое конструктивное отличие электромобилей от традиционных автомашин с бензиновыми, дизельными или газовыми моторами — это электрический тип двигателя, работающего на энергии подзаряжаемых аккумуляторных батарей.

Традиционным личным средством передвижения является автомобиль. Количество машин на наших улицах уже давно превратилось в серьезную проблему. В результате счастливые обладатели авто вместо высокой скорости и свободы передвижения вынуждены часами простаивать в пробках. Однако



сегодня появилась отличная альтернатива традиционным автомобилям. Этой альтернативой является электротранспорт, который включает в себя не только автомобили, но и электросамокаты и велосипеды. Конечно, электросамокат не в состоянии полностью заменить машину. Однако в условиях мегаполиса он зачастую оказывается более практичным и удобным. Поэтому неудивительно, что количество поклонников этого вида транспорта сегодня неуклонно растет. Электротранспорт не производит вредных выбросов в атмосферу и работает с минимальным уровнем шума.

Кроме того, важно упомянуть общественный транспорт – троллейбусы и электробусы. Уже на данный момент в Минске работает порядка 80 электробусов, однако, в масштабах города с населением в 2 миллиона жителей это пока совсем немного. На сегодняшний день уже идет закупка троллейбусов с автономным ходом — промежуточного этапа между троллейбусом и электробусом, совмещающего некоторые сильные стороны обоих вариантов общественного транспорта.

Стоит отметить основные плюсы электромобилей:

1. Экологичность.

Такие машины не используют топливо на основе нефтепродуктов, а потому нет выброса в атмосферу токсичных выхлопов. Не используются нефтепродукты, антифризы, масла — как моторные, так и трансмиссионные. Очевидным плюсом автомобилей на электрической тяге является отсутствие выбросов в городской воздух.

2. Безопасность. По сравнению с классическими автомобилями заметно снижена пожаро- и взрывоопасность.

3. Экономичность. Бензин и дизельное топливо стоят дороже электричества, а потому экономия для автовладельца очевидна.

4. Высокий показатель коэффициента полезного действия (КПД). Если у бензинового движка КПД составляет порядка 45%, то у электрического – 95%.

5. Низкий уровень шума из-за меньшего количества подвижных частей.

Переход на электротранспорт поможет сэкономить 4,5 млрд м<sup>3</sup> природного газа, а также будет способствовать ежегодному снижению объема выбросов парниковых газов более чем на 7 млн тонн в год. Это переход на новый технологический уклад и в энергетике, и в целом в стране в пользу экологии и конкурентных тарифов, в том числе для производства тепловой энергии в котельных, оборудованных электрочеленами.

К сожалению, электромобили пока дороже традиционных. В первую очередь из-за средств, вкладываемых автопроизводителями в разработку новых технологий. Более 100 лет неисчислимы миллиарды долларов шли на изобретения и улучшения ДВС, коробок передач и иных узлов, работающих в связке с ним. Благодаря этому, сегодня двигатели, работающие на ископаемом топливе, настолько мощные и эффективные. Ведь над их улучшением сотню лет трудились тысячи лучших умов мира. Эксперты говорят, что к 2024 году стоимость электрокаров сравняется со стоимостью авто на ДВС. Затем цены на них упадут еще ниже. Сейчас в стоимости электромобиля 40% – это цена литий-

ионной батареи. Эти аккумуляторы стоят в 1,5-2,5 раза дороже, чем аккумуляторы для традиционных автомобилей.

Но стоимость киловатт-часа с каждым годом снижается, пусть и не так быстро, как хочется. Сейчас она – порядка \$220–\$230 за кВт\*ч. Сравниются электромобили с авто на двигателях внутреннего сгорания, когда цена за киловатт-час батарей электрокаров упадет по различным оценкам до \$125–\$150 за кВт\*ч. По еще более оптимистичным данным «Белоруснефти» к 2022 году будет достигнут паритет стоимости электромобилей и аналогичных автомобилей с двигателями внутреннего сгорания [2].

### **Заключение**

Сегодня в мире, и в частности в Республике Беларусь, есть большой потенциал для развития инфраструктуры электротранспорта. В целом, это открывает уникальные возможности для городского планирования, значительно улучшает экологическую ситуацию, формирует мощный импульс для создания новых высокотехнологичных производств в промышленности.

### **Литература**

1. ElectricVehicleTrends[Электронный ресурс] // DeloitteInsights - 2020. – Режим доступа: <https://www2.deloitte.com/uk/en/insights/focus/future-of-mobility/electric-vehicle-trends-2030.html> – Дата доступа: 08.04.2021.
2. Электрозависимость энергобудущего. Готова ли Беларусь к отказу от автомобилей с ДВС[Электронный ресурс]// РУП «ПО «Белоруснефть» <https://belchemoil.by/news/tehnologii-i-trendy/elektrozavisimost-energobudushhego.-gotova-li-belarus-k-otkazu-ot-avtomobilej-s-dvs> - Дата доступа: 11.04.2021

УДК 658.262

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МЕСТА УСТАНОВКИ УСТРОЙСТВА  
КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В  
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 10 КВ  
SELECTION OF THE OPTIMAL LOCATION OF THE REACTIVE  
POWER COMPENSATION DEVICE IN THE 10 kV DISTRIBUTION  
NETWORK**

В.В.Дюров

Научный руководитель – С.Г.Гапанюк, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

gapserg@tut.by

V.Diurau

Supervisor – S. Hapaniuk, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** В данной научной работе рассмотрен выбор оптимального места установки устройства компенсации реактивной мощности в распределительной электрической сети 10 кВ по критерию минимума суммарных потерь активной мощности. Для расчета используется программа RASTR\_WIN3 и Mathcad.

**Abstract:** In this research, the selection of the optimal location of the reactive power compensation device in a 10 kV distribution network is considered according to the criterion of the minimum total active power losses. The RASTR\_WIN3 program and Mathcad are used for the calculation.

**Ключевые слова:** распределительные сети, компенсация реактивной мощности.

**Keywords:** distribution networks, reactive power compensation.

### **Введение**

Одним из главных методов снижения суммарных потерь активной мощности является установка устройств компенсации реактивной мощности в узлы схемы электрической сети. В данной научно-исследовательской работе будем производить выбор оптимального места установки устройства компенсации реактивной мощности с заданным значением по критерию минимума суммарных потерь активной мощности в сети.

### **Основная часть**

Будем производить выбор места установки компенсирующего устройства для следующей распределительной сети, представленной на рисунке 1.

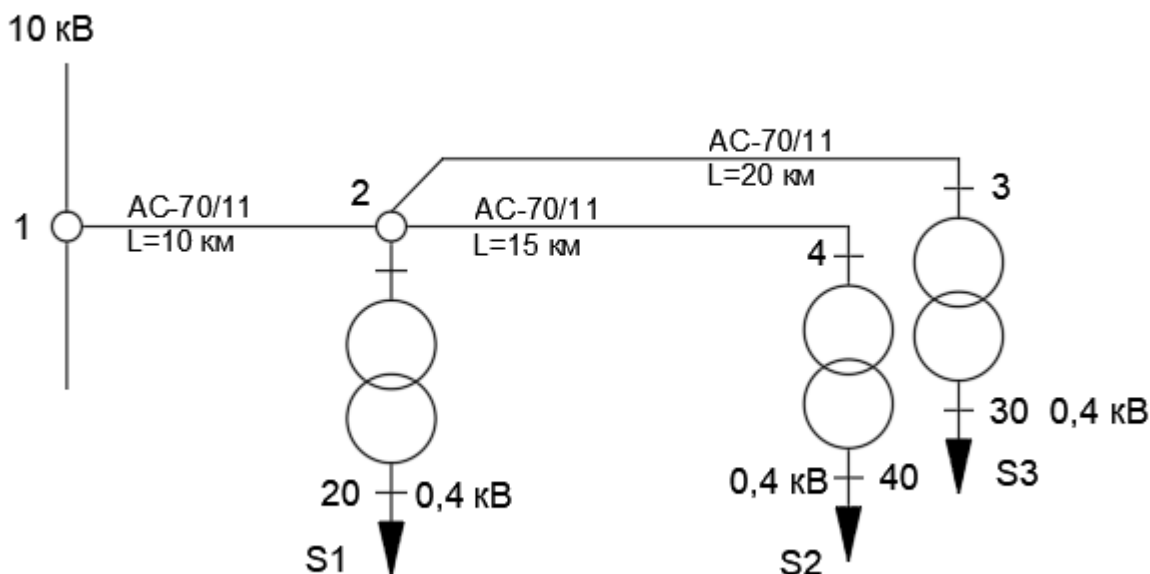


Рисунок 1 – Исходная схема

Представим исходные данные для узлов схемы в таблице 1

Таблица 1 – Исходные данные по узлам

Номер узла	Нагрузка $S_{\text{ном}}$ , кВ·А	Напряжение $U$ , кВ	Коэффициент мощности $\cos \varphi$	Время наибольших потерь $T_{\text{нб}}$ , ч
2	–	10	–	–
3	–	10	–	–
4	–	10	–	–
20	100	0,4	0,8	2500
30	200	0,4	0,85	2500
40	150	0,4	0,9	2500

В узле 20 по условию есть трансформатор ТМГСУ-11-100/10-У1, в узле 30 – трансформатор ТМГСУ-11-250/10-У1, в узле 40 – трансформатор ТМГСУ-11-160/10-У1 [1].

Затем представим исходные данные по ветвям в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные по ветвям

Номер ветви	Активное сопротивление $R$ , Ом	Индуктивное сопротивление $X$ , Ом	Активная проводимость $G$ , См $\cdot 10^{-6}$	Реактивная проводимость $B$ , См $\cdot 10^{-6}$	Коэффициент трансформации $K_T$
1-2	4,29	3,45	–	–	1
2-3	8,58	6,9	–	–	1
2-4	6,435	5,175	–	–	1
2-20	19,7	45	2,9	16	0,04
3-30	5,92	18	5,7	20	0,04
4-40	10,156	28,125	4,1	22,4	0,04

Задана реактивная мощность компенсирующего устройства  $Q_{кв} = 20$  квар. тогда будем устанавливать его в узлы 20, 30 и 40, рассчитывать суммарные потери активной мощности и, таким образом, выберем оптимальное место его установки. Представим данные о расчете потерь после установки компенсирующего устройства в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов потерь активной и реактивной мощности после установки компенсирующего устройства в разных узлах

Вид потерь	Без КУ	КУ в узле 20	КУ в узле 30	КУ в узле 40
Потери активной мощности в ЛЭП $dP_{лэп}$ , кВт	16,18	15,65	15,20	15,46
Потери активной мощности в трансформаторах $dP_{тр}$ , кВт	7,77	7,26	7,46	7,46
Потери активной мощности холостого хода $dP_{хх}$ , кВт	1,17	1,17	1,17	1,17
Суммарные потери активной мощности $dP_{\Sigma}$ , кВт	25,12	24,08	23,83	24,09
Потери реактивной мощности в ЛЭП $dQ_{лэп}$ , кВт	13,01	12,59	12,22	12,43
Потери реактивной мощности в трансформаторах $dQ_{тр}$ , кВт	21,17	20	20,23	20,31
Потери реактивной мощности холостого хода $dQ_{хх}$ , кВт	5,38	5,39	5,4	5,39
Суммарные потери реактивной мощности $dQ_{\Sigma}$ , кВт	39,56	37,97	37,85	38,13

По результатам расчета делаем вывод о том, что наиболее выгодным с точки зрения минимума потерь суммарной активной мощности местом установки компенсирующего устройства является узел 30.

Следующим шагом проведем технико-экономический расчет в виде расчета срока окупаемости данного мероприятия.

Расчет будем производить по следующей формуле:

$$T_c = \frac{K_{ку}}{(\Delta W_1 - \Delta W_2) \cdot \beta}, \quad (1)$$

Где  $K_{ку}$  – капитальные затраты на установку компенсирующего устройства;

$\Delta W_1$  – суммарные потери электрической энергии в сети до установки компенсирующего устройства;

$\Delta W_2$  – суммарные потери электрической энергии в сети до установки компенсирующего устройства;

$\beta$  – удельная стоимость потерь электрической энергии.

Принимаем  $K_{ку} = 905$  белорусских рублей по [2].

$\beta$  принимаем равным 23,59 копеек на 1 Квт·ч, по средневзвешенному значению тарифов на электрическую энергию в РБ [3].

Рассчитаем суммарные потери электрической энергии.

$$\Delta W = ((dP_{лЭП} + K_э \cdot dQ_{лЭП}) + (dP_{тр} + dP_{хх} + K_э \cdot (dQ_{тр} + dQ_{хх}))) \cdot \tau, \quad (2)$$

Где  $dP_{лЭП}$  – суммарные потери активной мощности в линиях;

$dP_{тр}$  – суммарные потери активной мощности в трансформаторах;

$dQ_{лЭП}$  – суммарные потери реактивной мощности в линиях;

$dQ_{тр}$  – суммарные потери реактивной мощности в трансформаторах;

$dP_{хх}$  – суммарные потери активной мощности холостого хода;

$dQ_{хх}$  – суммарные потери реактивной мощности холостого хода;

$K_э$  – экономический эквивалент, который показывает сколько киловатт нужно для производства и распределения 1 квар. По [4] принимаем  $K_э = 0,06$ ;

$\tau$  – время наибольших потерь.

Время наибольших потерь будем рассчитывать по следующей эмпирической формуле.

$$\tau = (0,124 + T_{нб} \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760, \quad (3)$$

Где  $T_{нб}$  – время использования наибольшей нагрузки.

$$\tau = (0,124 + 2500 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 1225 \text{ ч.}$$

$$\Delta W_1 = ((16,18 + 0,06 \cdot 13,01) + (7,77 + 1,17 + 0,006 \cdot (21,17 + 5,38))) \cdot 1225 = 27,494 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

$$\Delta W_2 = ((15,20 + 0,06 \cdot 12,22) + (7,46 + 1,17 + 0,06 \cdot (20,23 + 5,4))) \cdot 1225 = 26,101 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Далее рассчитаем срок окупаемости данного проекта по формуле (1).

$$T_c = \frac{0,905}{(27,494 - 26,101) \cdot 23,59 \cdot 10^{-2}} = 2,755 \text{ лет.}$$

### Заключение

В данной работе был проведен анализ распределительной электрической сети с точки зрения выбора оптимального места установки компенсирующего устройства заданной мощности, определено наиболее подходящее место по критерию минимальных суммарных потерь активной мощности, а также проведен технико-экономический расчет в виде срока окупаемости для подтверждения выгоды данного проекта.

### Литература

1. Трансформаторы силовые масляные [электронный ресурс]/ Трансформаторы силовые масляные. – Режим доступа: <https://metz.by/transformatory-silovye-maslyanye/tmgsu-tmgsu-11-s-simmetriruyushhim-ustrojstvom/>. – Дата доступа: 09.04.2021.
2. Конденсаторные установки УКРМ на 0,4 6 10 кВ и более [электронный ресурс]/ Конденсаторные установки УКРМ на 0,4 6 10 кВ и более. – Режим доступа: <http://energozapad.ru/kompensatory-reaktivnoy-moschnosti?page=2/>. Дата доступа: 09.04.2021.
3. Тарифы на электроэнергию для населения [электронный ресурс]/ Тарифы на электроэнергию для населения. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.by/upload/activities/tseny-tarify-na-energoresursy/Naselenie-Jelektro-i-Teplo.pdf/>. Дата доступа: 09.04.2021.
4. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ ОБЪЕКТОВ АПК. ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ [электронный ресурс]/ ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ ОБЪЕКТОВ АПК. ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ. – Режим доступа: <https://www.bsatu.by/sites/default/files/field/file/teh-ekonomobosnovvelsnabzheniidiplomnoeproektir.pdf/>. Дата доступа: 09.04.2021.