

Министерство образования Республики Беларусь  
Белорусский национальный технический университет  
Энергетический факультет

## **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ**



**Материалы 76 – й  
научно – технической  
конференции студентов  
и аспирантов**

Секция  
**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ**

*Электронный учебный материал*

**Минск 2020**

УДК 621.311  
ББК 31 я 43  
А 43

**Р е ц е н з е н т**

Заведующий кафедрой «Электроснабжение» УО БГАТУ,  
к.т.н., доцент В.М. Збродыга

Составитель Жуковская Т.Е.

В сборник включены материалы 76 – й научно-технической конференции студентов и аспирантов БНТУ «Актуальные проблемы энергетики» (апрель 2020 г.) Секция «Электроснабжение».

Белорусский национальный технический университет.  
Энергетический факультет.  
пр - т Независимости, 65/2, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.: (017) 292-42-32 Факс: 292-71-73  
E-mail: ef@bntu.by  
<http://www.bntu.by/ef.html>  
Регистрационный № ЭИ БНТУ/ЭФ39 - 54.2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДАТЧИКОВ В НАРУЖНОМ ОСВЕЩЕНИИ.....</b>	<b>7</b>
ПЕТРОВСКАЯ Е.Ю.....	7
Научный руководитель – м.т.н., ст. преп. Калечиц В.Н. ....	7
<b>ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛИЭТИЛЕНА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАБЕЛЯ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СПЭ.....</b>	<b>11</b>
АЛЕХНОВИЧ Д.С.....	11
Научный руководитель — к.т.н., доцент Козловская В.Б. ....	11
<b>ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ ВО ВЗРЫВО- И ПОЖАРООПАСНЫХ ЗОНАХ.....</b>	<b>16</b>
ГИЛЬ А.С. КИРИКОВИЧ А.Ю.....	16
Научный руководитель – м.т.н., ассистент Джугля М.Н.....	16
<b>СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С КОНТРОЛЕМ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.....</b>	<b>19</b>
ДОРОФЕЙЧИК Д.С. ....	19
Научный руководитель – ст. преп. Колосова И.В. ....	19
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ.....</b>	<b>27</b>
АНИЩИК О.Р. ....	27
Научный руководитель – м.т.н., ст. преп. КАЗАК Д.А.....	27
<b>ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ ПЕРЕДВИЖНЫХ АВТОНОМНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК.....</b>	<b>30</b>
СТАСКЕВИЧ П.И. ....	30
Научный руководитель – м.т.н., ст. преп. Калечиц В.Н. ....	30
<b>ОСВЕЩЕНИЕ СПОРТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....</b>	<b>34</b>
ПРЕЗОВ И.А. ....	34
Научный руководитель – м.т.н., ст. преп. ЯРОШЕВИЧ Т.М.....	34
<b>НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИЗГОТОВЛЕНИИ МАГНИТОПРОВОДОВ.....</b>	<b>37</b>
КОНОВАЛОВ Д.А. ....	37
Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С.В.....	37
<b>НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ЭНЕРГЕТИКЕ, ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ, КОНЦЕПЦИИ БЛОКЧЕЙНА, ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ И БОЛЬШИХ ДАННЫХ.....</b>	<b>41</b>
ЛОБИКОВ С.А., ТРУХАН В.А.....	41
Научный руководитель – ассистент Протасеня М.Л. ....	41
<b>АВИАЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ.....</b>	<b>46</b>
КИСЛЯК Д.В. ....	46
Научный руководитель — к.т.н., доцент Константинова С.В.....	46
<b>НЕКОТОРЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....</b>	<b>51</b>
ФИРСОВ Э. А. ....	51
Научный руководитель – ст. преп. Колосова И. В. ....	51
<b>ТРЕБОВАНИЯ К АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННОМУ ОСВЕЩЕНИЮ.....</b>	<b>58</b>
СУРОВИЧ П.В.....	58
Научный руководитель – м.т.н., ст. преп. Калечиц В.Н. ....	58

<b>ЭНКОДЕРЫ .....</b>	<b>63</b>
Лущинский Д.В.....	63
Научный руководитель — к.т.н., доцент Константинова С.В.....	63
<b>ХАРАКТЕРИСТИКИ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.....</b>	<b>69</b>
Рудик П.С., Пименов В.В.....	69
Научный руководитель - к.т.н., доцент Константинова С.В.....	69
<b>ОБЗОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НА НАПРЯЖЕНИИ ДО 1 КВ .....</b>	<b>73</b>
Шипунов А.А.....	73
Научный руководитель – м.т.н., ст. преп. Ярошевич Т.М.....	73
<b>АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН .....</b>	<b>79</b>
Ализода Зубайдулло.....	79
Научный руководитель - к.т.н., доцент Константинова С.В.....	79
<b>ЗАЩИТА СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ .....</b>	<b>83</b>
Никифорова Д.Р., Писарь А.С.....	83
Научный руководитель – м.т.н., ассистент Капустинский А.Ю.....	83
<b>ПРОТОКОЛ GOOSE И РАЗВИТИЕ ЗАЩИТ ЛИНИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....</b>	<b>86</b>
Подлипалин О. Я.....	86
Научный руководитель - к.т.н. доцент Константинова С.В.....	86
<b>ДАТЧИКИ ПОЛОЖЕНИЯ РОТОРА.....</b>	<b>91</b>
Лукашевич Д.А.....	91
Научный руководитель — м.т.н., ассистент Капустинский А.Ю.....	91
<b>СПЕЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ОТ ОДНОФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 КВ.....</b>	<b>95</b>
Шостак А. В.....	95
Научный руководитель – ст. препод. Колосова И. В.....	95
<b>ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ.....</b>	<b>101</b>
Богданов Ю. И., Литош А.С.....	101
Научный руководитель – м.т.н., ассистент Капустинский А.Ю.....	101
<b>ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ .....</b>	<b>103</b>
Ракусевич А.О.....	103
Научный руководитель – ст. преп. Колосова И.В.....	103
<b>К ВОПРОСУ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ .....</b>	<b>109</b>
Лычковский С.Н.....	109
Научный руководитель – м.т.н., ст. преп. Казак Д.А.....	109
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ С МАГНИТОПРОВОДОМ ИЗ АМОРФНЫХ СПЛАВОВ .....</b>	<b>112</b>
Мангул Д.И.....	112
Научный руководитель – к.т.н., доцент Збродыга В.М.....	112

<b>КОНСТРУКЦИЯ И ОСОБЕННОСТИ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА .....</b>	<b>117</b>
Богданов Ю.И., Пильник А.С. ....	117
Научный руководитель – к.т.н., доцент Козловская В.Б. ....	117
<b>АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТИПОВ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ .....</b>	<b>121</b>
Буйницкий С.В., Курилик А.С. ....	121
Научный руководитель – м.т.н., ст. преп. Сталович В.В. ....	121
<b>К ВОПРОСУ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ .....</b>	<b>125</b>
Сивцов Н.А., Ратомский Е.И. ....	125
Научный руководитель – к.т.н., доцент Збродыга В.М. ....	125
<b>ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА .....</b>	<b>130</b>
Мацук А.С., Клявдо М.А. ....	130
Научный руководитель – к.т.н., доцент Козловская В.Б. ....	130
<b>МАГЛЕВ. ПОЕЗД НА МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ.....</b>	<b>133</b>
Демещик А.В., Рышко А.И. ....	133
Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С. В. ....	133
<b>ШАГОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ .....</b>	<b>138</b>
Пильник А.С. ....	138
Научный руководитель – м.т.н., ассистент Капустинский А.Ю. ....	138
<b>ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ МАЛОЙ МОЩНОСТИ. МИКРОМАШИНЫ.....</b>	<b>142</b>
Ласица В.В., Бурдук Д.В. ....	142
Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С.В. ....	142
<b>АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО, ПОЛУЧАЕМОЕ НА МУСОРОСОРТИРОВОЧНЫХ ЗАВОДАХ.....</b>	<b>145</b>
Тихно В.Д. ....	145
Научный руководитель – ст. преп. Колосова И.В. ....	145
<b>ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП ТОКАМИ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ....</b>	<b>148</b>
Смоловская Д.М. ....	148
Научный руководитель — к.т.н., доцент Козловская В.Б. ....	148
<b>СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СИГНАЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ .....</b>	<b>151</b>
Ермолинская Л.Э., Тарарай А.О. ....	151
Научный руководитель – к.т.н., доцент Горностай А.В. ....	151

УДК 621.32

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДАТЧИКОВ В НАРУЖНОМ ОСВЕЩЕНИИ

Петровская Е.Ю.

Научный руководитель – м.т.н., ст. преп. Калечиц В.Н.

В настоящее время для включения наружного освещения чаще всего используют датчики освещения. Они дают возможность экономить на потреблении электроэнергии, а также автоматизируют подключение освещения при наступлении темного времени суток.

Датчики для автоматического управления освещением можно классифицировать по типу срабатывания:

- датчики освещенности. Датчиком освещенности называют фотореле или сумеречный выключатель. В системах управления освещением важно учитывать количество естественного света. Датчик определяет уровень освещенности; при несоответствии заданному порогу сенсор дает команду исполнительным элементам на включение или выключение нагрузки. Датчики освещенности устанавливают для систем освещения тротуаров, автодорог, подъездов жилых домов, витрин магазинов и рекламных конструкций [1];

- акустические датчики. Реагируют на звуки и шумы поблизости, например, на шаги и голос;

- датчики движения или присутствия. Срабатывают, когда кто-то проходит рядом или появляется в заданном поле зрения датчика. Освещение включается только тогда, когда есть движение в поле зрения датчика;

- комбинированные устройства срабатывают по двум вышеперечисленным факторам. Например, комбинированный датчик движения включает освещение

при наличии движения в его зоне контроля только при недостаточной освещенности, а при достаточном уровне освещенности включение света происходить не будет, таким образом устраняется главный недостаток датчика движения.

Почти все датчики имеют регулятор уровня освещенности. С помощью этой настройки задается тот уровень, при котором должно сработать реле прибора.

Датчики освещенности (рисунок 1) нашли широкое применение в области управления наружным освещением. Принцип их работы основан на том что

светочувствительный элемент изменяет свою проводимость в зависимости от степени освещенности. В качестве такого элемента используют:

- фоторезисторы;
- фотодиоды;
- фототранзисторы [1].



Рисунок 1 – Датчик освещённости

При выборе места монтажа датчиков освещенности следует учесть следующие факторы:

- высота установки не должна быть слишком высокой, так как датчик придется периодически обслуживать: очищать от пыли и загрязнений, протирать;
- место установки должно исключать попадание на датчик света фар автомобилей;
- приборы освещения должны быть удалены как можно дальше;

необходимо обеспечить беспрепятственное попадание света солнца на датчик, для его правильного срабатывания [3].

Обычно в схемах таких датчиков используется реле времени (астрономический таймер) (рисунок 2). Современные устройства такого типа способны производить автоматический расчет времени восхода и захода солнца и производить переключения в выходных цепях (включая и отключая источники света) только тогда, когда в этом имеется необходимость.



Рисунок 2 –  
Астрономический таймер

Переключение таймера (управление источниками света) происходит без использования светочувствительного элемента. В целях экономии электроэнергии ночью возможно программированное отключение таймера. Время переключения легко определяется по сегментированному дисплею. Таймер автоматически совершает переход на «зимнее» / «летнее» время.

У некоторых производителей в астрономический таймер заложена функция автоматического определения времени восходов и закатов солнца по введенному названию города и текущей дате [3].

У некоторых производителей в астрономический таймер заложена функция автоматического определения времени восходов и закатов солнца по введенному названию города и текущей дате [3].

Датчик движения — это пироэлектрический детектор, служащий приемником волн инфракрасного диапазона.

Принцип работы датчика движения зависит от его типа. Они бывают трёх видов:

- инфракрасные (ИК);
- ультразвуковые (УЗ);
- микроволновые [2].

Принцип работы инфракрасных датчиков движения (рисунок 3) заключается в обнаружении изменений инфракрасного (теплового) излучения окружающих объектов.



Рисунок 3 – Принцип работы ИК датчиков

Каждый объект имеющий температуру испускает инфракрасное излучение, которое через систему линз или специальных вогнутых сегментированных зеркал, попадает на расположенный внутри датчика движения чувствительный сенсор, регистрирующий это.

Принцип работы ультразвукового датчика движения (рисунок 4) заключается в исследовании окружающего пространства с помощью звуковых волн, частотой находящейся за пределами слышимости человеческим ухом – ультразвуком. При обнаружении изменения частоты отраженного сигнала по причине движения объектов датчик запускает заложенную в нее функцию.

Микроволновый датчик движения (рисунок 5) излучает высокочастотные электромагнитные волны (частота волн может быть различной в зависимости от производителя, обычно она составляет 5,8ГГц), которые отражаясь от

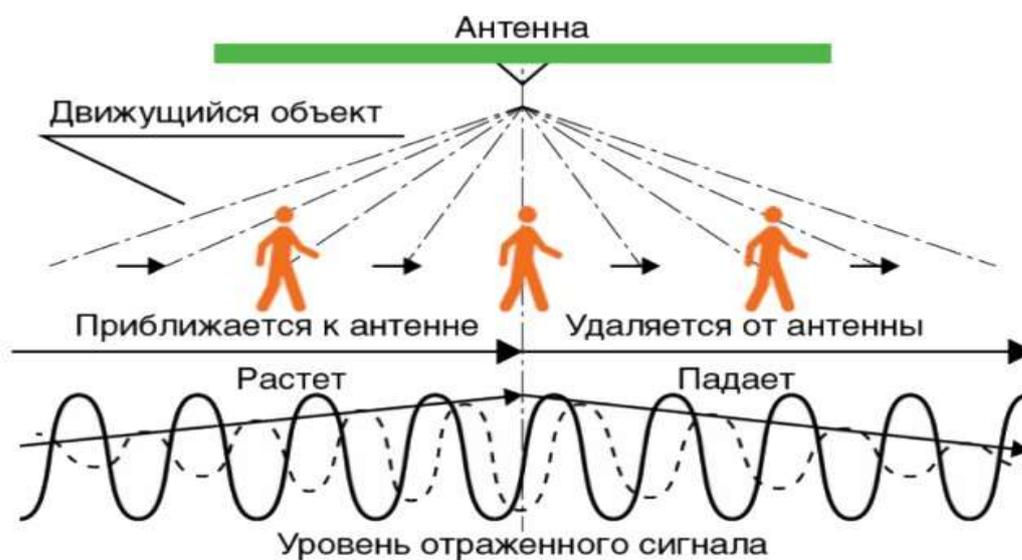


Рисунок 4 –Принцип работы УЗ

окружающих объектов регистрируются сенсором и в случае обнаружения малейших изменений отраженных электромагнитных волн, микропроцессор устройства приводит в действие заложенную в него функцию.

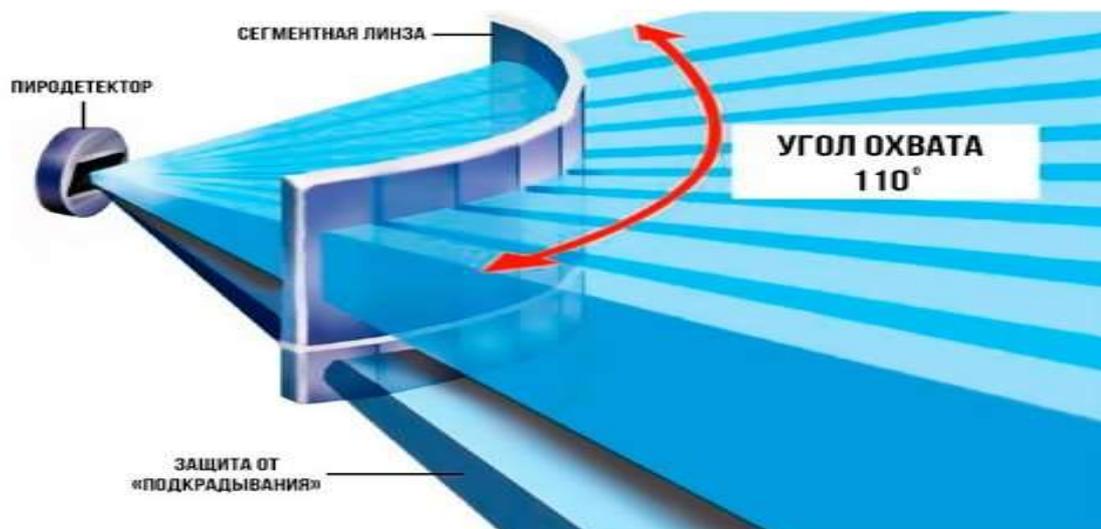


Рисунок 5 –Принцип работы СВЧ датчиков

Акустические датчики реагируют на появление шумов и звуков. Чаще всего встречаются в составе комбинированных устройств, работая в паре с фотореле — так называемый светозумовой или фотоакустический датчик

(выключатель). Отдельно акустические датчики используются чаще не в схемах управления освещением, а в охранных системах [2].

Таким образом можно сделать вывод: сфера применения данных датчиков освещения довольно разнообразна. Датчики используют для подсветки улиц, зданий, где необходимо освещение, пешеходных переходов для повышения безопасности в тёмное время суток. Зная особенности применения датчиков наружного освещения, можно существенно снизить расходы электроэнергии и повысить безопасность пешеходов и автомобилистов.

#### Литература

1. Датчик освещенности [Электронный ресурс].-Режим доступа: <https://strojdvor.ru/elektrosnabzhenie/kak-podklyuchit-ulichnyj-datchik-osveshheniya-dlya-vklyucheniya-sveta/> – Дата доступа: 24.04.2020
2. Датчики движения [Электронный ресурс].-Режим доступа <https://rozetkaonline.ru/poleznie-stati-o-rozetkah-i-vikluchateliah/item/54-datchiki-dvizheniya-osnovnye-vidy-i-ikh-osobennosti-oblasti-primeneniya>. – Дата доступа: 24.04.2020.
3. Датчики освещения. Виды и устройство. Работа и применение [Электронный ресурс].-Режим доступа:<https://elektroshkola.ru/osveshhenie/datchiki-avtomaticheskogo-upravleniya-osveshheniem/>. - Дата доступа: 24.04.2020

УДК 621.312

## ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛИЭТИЛЕНА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАБЕЛЯ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СПЭ.

Алехнович Д.С.

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

Долгие годы в категории кабелей среднего напряжения преобладали кабели с пропитанной бумажной изоляцией (БПИ). Это связано с тем, что БПИ являлась единственным видом изоляции на данное напряжение. Наряду с этим шел интенсивный поиск изоляционного материала на основе полимерных композиций, который обладал бы значительными преимуществами и мог заменить БПИ. Такой материал был получен на основе полиэтилена и получил название «сшитый полиэтилен».

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) призваны заменить морально устаревшие кабели с пропитанной бумажной изоляцией. Этот процесс в промышленно развитых странах начал осуществляться с 70-х годов.

В настоящее время многие страны практически полностью перешли на использование силовых кабелей среднего напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) и имеют положительный опыт эксплуатации. Так в США и Канаде данные кабели занимают 85% всего рынка силовых кабелей, Германии и Дании – 95%, а в Японии, Франции, Финляндии и Швеции – 100%.

Большая часть кабелей, проложенных в России и странах СНГ, имеют пропитанную бумажную изоляцию, и их конструкция практически остается неизменной в течение уже нескольких десятилетий. Эти кабели имеют множество недостатков: ограничения по разности уровней прокладки и передаваемой мощности, частая повреждаемость, невысокая технологичность монтажа муфт. Во времена отсутствия реальной альтернативы кабелям с бумажной изоляцией приходилось мириться с их изъянами и принимать дополнительные меры для обеспечения надёжности электроснабжения потребителей и нагрузочных требований. Создавались резервирующие линии, прокладывались параллельные кабели, что, естественно, приводило к существенному усложнению схемы электрической сети и росту капитальных вложений. С другой стороны, частая повреждаемость кабельных линий (КЛ) требовала наличия в штате квалифицированных специалистов по испытанию и отысканию мест повреждений и ремонту КЛ, по проведению земляных работ. Исправить эту ситуацию могло только существенное изменение устройства кабелей, что и случилось с началом промышленного изготовления кабелей с изоляцией из СПЭ.

Кабели с материалом изоляции из СПЭ не имеют многих недостатков, характерных для кабелей с бумажной изоляцией, поэтому их применение позволяет решить многие назревшие проблемы по обеспечению надёжности электроснабжения, упрощения и оптимизации схемы сети, снижению расходов на реконструкцию и эксплуатацию КЛ. Своими уникальными характеристиками кабели с изоляцией из СПЭ обязаны применяемому в них

изоляционному материалу. На современных предприятиях, производящих кабели, процесс сшивки (или вулканизации) производится в среде нейтрального газа при высоком давлении и температуре. Такой способ вулканизации делает возможным получение достаточной степени сшивки по всей толщине изоляции и обеспечивает отсутствие воздушных включений. Поперечные связи, образующиеся в процессе сшивки между молекулами полиэтилена, в основном и определяют характеристики нового материала. Кроме высоких диэлектрических свойств это и больший, чем у других кабельных изоляционных материалов, диапазон рабочих температур и отличные механические свойства.

Благодаря идеальному сочетанию в полиэтилене электрических, физических и технологических свойств, изоляция кабелей стала одной из важнейших областей его применения.

Однако, изоляции кабелей и проводов из термопластичного полиэтилена присущи существенные недостатки, главными из которых является ползучесть и резкое ухудшение механических свойств при температурах, близких к температуре плавления, вплоть до потери формоустойчивости. Кроме того, внутренние напряжения, "замороженные в изоляции" при ее изготовлении, проявляют себя при повышенных рабочих температурах, приводя к заметной усадке, а в ряде случаев и к растрескиванию изоляции.

Эти проблемы можно решить, применяя сшитый полиэтилен, который имеет существенные преимущества перед термопластичным: высокие электрические и механические параметры в более широком диапазоне рабочих температур, малую гигроскопичность (водопроницаемость) и т.д.

Указанные выше положительные качества сшитого полиэтилена достигаются благодаря процессу сшивки. Термин "сшивка" подразумевает изменение молекулярной структуры полиэтилена. Поперечные связи, образующиеся в процессе сшивки между молекулами полиэтилена, создают новую трехмерную структуру, которая и определяет высокие электрические и механические характеристики материала.

При производстве кабелей с изоляцией из СПЭ на напряжение 10 кВ используются две технологии сшивания изоляции: пероксидной сшивки на линиях газовой вулканизации для кабелей среднего (10-35 кВ) и высокого напряжений (110 кВ и выше), а также силановой сшивки для кабелей низкого и среднего напряжения (0,66-20 кВ).

#### **Технология пероксидной сшивки**

Исторически технология пероксидной сшивки получила преимущественное распространение по следующим причинам:

- возможность производства на технологических линиях газовой вулканизации кабелей как среднего, так и высокого напряжений;
- из-за коммерческого интереса производителей технологических линий (стоимость линии газовой вулканизации примерно в 2 раза выше "силановой", и, соответственно, монополярные производители линий были заинтересованы в продвижении такой технологии).

В настоящее время наступило насыщение мирового рынка данным видом оборудования, и потребность в таких линиях значительно снизилась.

С 1953 года в производстве кабелей среднего напряжения с изоляцией из СПЭ главную роль играла сшивка при помощи пероксидов в среде пара, а в последние годы – в среде газа (сухая вулканизация). Основным недостатком пероксидной сшивки в том, что процесс является точным (под термином "точный" в пероксидной сшивке понимается обеспечение точности технологического процесса, любое отклонение от которого ведет к неудовлетворительному качеству кабеля или вообще к браку), сложным и дорогим. В связи с этим специалисты начали искать другие пути химической модификации (сшивки) полиэтилена. Такой путь был найден в 70-х годах фирмой "Down Corning". Он позволил использовать органофункциональные силаны для сшивки полиэтилена с помощью достаточно простого и гибкого в использовании двухстадийного процесса "Sioplas".

Однако, до сих пор некоторые производители кабелей, оснащенные линиями газовой вулканизации, для продвижения на рынке России и стран СНГ своих кабелей используют в конкурентной борьбе различные доводы в пользу технологии газовой пероксидной вулканизации, необоснованно отвергая альтернативную технологию силановой сшивки.

#### Технология силановой сшивки

В предыдущие годы технология силановой сшивки получила меньшее распространение, чем технология пероксидной сшивки в производстве кабелей среднего напряжения, но начиная с 80-х годов ряд известных зарубежных фирм успешно производят кабели на различные классы напряжения по этой технологии: фирма "BICC" (Великобритания), фирма "NKF" (теперь "Pirelli") в Нидерландах, ряд австралийских фирм, фирма "Kabelwerk Studer" (Швейцария). Всего в мире эксплуатируется несколько десятков технологических линий для производства кабелей среднего напряжения по технологии силановой сшивки. Только фирма "Maillefer" поставила к настоящему времени 20 технологических линий, которые успешно работают по этой технологии.

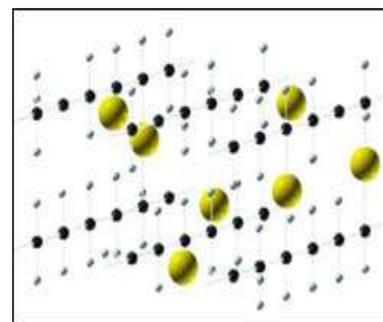


Рисунок 1. Структура сшитого полиэтилена

Суть технологии силановой сшивки заключается в следующем: Линейные цепочки полиэтилена соединяется посредством так называемого "силанового мостика" Si-O-Si, а не связи C-C, которая имеет место в пероксидной сшивке. Поскольку каждый атом Si имеет по три реакционноспособных группы, то в каждом узле сшивки может быть соединено до шести макромолекул полиэтилена (при пероксидной сшивке в связи C-C соединяются всего 2 макромолекулы). Это обеспечивает большую густоту молекулярной сетки, что, несомненно, положительно сказывается на свойствах материала.

С учетом анализа международного опыта, а также последних достижений в области материалов и оборудования по методу силановой сшивки полиэтилена

было принято решение по организации производства кабелей 10 кВ по данной технологии на заводе "Камкабель", г. Пермь.

В связи с тем, что технология силановой сшивки не применялась ранее в России при производстве кабелей среднего напряжения и имеют место необъективные представления о качественных показателях кабелей, распространяемые из конкурентных соображений зарубежными и отечественными производителями кабелей по пероксидносшиваемой технологии – в совместном "Решении ВНИИКП и МКС "Мосэнерго" об освоении производства и применения силовых кабелей на напряжение 10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена" была предусмотрена программа сравнительных испытаний кабелей, изготовленных по технологии силановой и пероксидной сшивки.

В лабораториях ВНИИКП (Всероссийского научноисследовательского института кабельной промышленности) был выполнен достаточно широкий круг испытаний и исследований кабелей на напряжение 10 кВ, изготовленных по технологии силановой и пероксидной сшивки.

На основании результатов проведенных испытаний сделаны следующие заключения:

1) Морфологические (структурные) свойства изоляционных слоев, сшитых разными способами, аналогичны. Изоляция, изготовленная по технологии силановой сшивки, содержит меньшее количество характерных крупномасштабных структурных элементов ("облаков"), и сами эти элементы имеют меньшие размеры;

2) Силаносшитая изоляция характеризуется пониженной интенсивностью внутренних механических напряжений;

3) Степень сшивки изоляции в обоих кабелях одинакова. Силаносшитая изоляция в исходном состоянии отличается более высокой термоокислительной стабильностью;

4) Силаносшитая изоляция обладает более высокой кратковременной локальной электрической прочностью, определяемой по скорости роста электрических триингов.

#### **Выводы**

Исходя из вышеизложенного можно сказать, что кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена стали неотъемлемой частью энергетики стран СНГ. Благодаря расширению технологии силановой сшивки кабельная продукция увеличит свой срок эксплуатации, что положительно скажется на надежности всей связанной энергосистемы в целом и в свою очередь приведет к увеличению производственных мощностей и положительной динамике экономики.

#### **Литература**

1. Радкевич, В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий / В.Н. Радкевич, В.Б Козловская, И.В. Колосова. - Минск: ИВЦ Минфина. 2017. - 589 с.

2. Инструкция по эксплуатации кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6, 10, 20, 35 кВ. Издание 2. – Кольчугино: ОАО «Электрокабель» Кольчугинский завод». – 2008. – 38с.

3. Силовая сшивка. Новые разработки. Режим доступа: [www.tyret.ru/userfiles/file/doc/cable/XLPE Cable System Users Guide](http://www.tyret.ru/userfiles/file/doc/cable/XLPE Cable System Users Guide) .- Дата доступа 06.04.2020.

УДК 621.3

## ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ ВО ВЗРЫВО- И ПОЖАРООПАСНЫХ ЗОНАХ

Гиль А.С. Кирикович А.Ю.

Научный руководитель – м.т.н., ассистент Джугля М.Н.

Широкая номенклатура и разный характер помещений и наружных установок с взрыво- и пожароопасными зонами, распространенных во всех отраслях промышленности, а также в общественных зданиях массового строительства, ограничивают возможность обобщения и выводов, относящихся к светотехнической части осветительных установок указанных объектов. Вместе с тем некоторые особенности, присущие многим таким помещениям, могут служить основанием для ряда общих рекомендаций, направленных на повышение качества и эффективности электрического освещения.

С точки зрения светотехнических требований основная масса помещений и установок промышленных и вспомогательных зданий и участков открытых территорий с взрыво- и пожароопасными зонами по основным производственным признакам может быть условно разделена на несколько групп.

К первой группе можно отнести помещения и установки предприятий химической, нефтяной, газовой и других отраслей промышленности, где технология производства основана на широком использовании жидких, газообразных и пылевидных легковоспламеняющихся и горючих веществ при высоком уровне механизации и автоматизации производственных процессов.

К второй группе относится широкая номенклатура цехов: окрасочных, сушильно-пропиточных, промывочно-пропарочных, консервации, антисептирования изделий и других, в которых широко используются всевозможные лакокрасочные материалы, пропиточные массы, легковоспламеняющиеся растворители, разбавители и масла.

К третьей группе относятся помещения, в которых производится обработка первичного сырья (хлопок, лен, шерсть, макулатура, отходы древесины и др.) и изготовление всевозможных тканей, бумаги, картона и другой продукции на волокнистой основе.

К четвертой группе относятся помещения, технологические процессы которых связаны с применением и обработкой твердых горючих веществ, например, цеха деревообрабатывающих, электротехнических, пластмассовых изделий и других предприятий.

К пятой группе относятся отдельные помещения, размещаемые в общественных и гражданских зданиях, где хранятся и обращаются разные горючие материалы. Это, например, помещения архивов, книгохранилищ, светокопии, предприятий бытового обслуживания, упаковочных, различных мастерских, складов и др.

К шестой группе могут быть отнесены взрывоопасные и пожароопасные зоны на открытых территориях. Это установки хранения ЛВЖ, и горючих

жидкостей в резервуарах и баках с запорной арматурой, эстакады для налива и разлива ЛВЖ и горючих жидкостей, открытые склады угля, торфа, леса и др.

Номенклатура и количество светильников для освещения взрыво- и пожароопасных зон, выпускаемых светотехнической промышленностью, непрерывно возрастают. Модернизируются и осваиваются новые типы взрывозащищенных светильников для взрывоопасных зон классов В-I, В-Ia, В-Iг и В-II и светильников для тяжелых условий среды, конструкции которых допускают применение их во взрывоопасных зонах классов В-I и В-IIa и пожароопасных зонах классов П-I, П-II и П-III. Увеличиваются также номенклатура и выпуск светильников, предназначенных для освещения производственных помещений с нормальными условиями среды, пригодных и для освещения некоторых пожароопасных зон классов П-II и П-IIa при определенных условиях.

Классы взрыво- и пожароопасных зон и характер окружающей среды обуславливают применение светильников разных конструкций и исполнений, правильный выбор которых является основным фактором, определяющим надежность, энергетическую экономичность и оптимальную стоимость осветительных установок.

Следует учитывать, что сложность конструкции и защитная оснастка (стекла, решетки, сетки и др.) светильников отрицательно влияют на их светотехнические характеристики и КПД, поэтому выбор светильников для рассматриваемых условий требует всесторонней оценки факторов, определяющих качество и эффективность электроосвещения.

В таблице 1 помещены данные о минимально допустимых уровнях взрывозащиты и степени защиты оболочек светильников в зависимости от классов взрывоопасных зон.

Таблица 1- Минимально допустимые уровни взрыво- и степени защиты оболочек светильников

Класс взрывоопасной зоны	Уровень взрывозащиты
<b>Стационарные светильники</b>	
В-I	Взрывобезопасное
В-Ia, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва
В-Iб	Без средств взрывозащиты. Степень защиты IP5X
В-II	Повышенной надежности против взрыва
В-IIa	Без средств взрывозащиты. Степень защиты IP5X
<b>Переносные светильники</b>	
В-I, В-Ia	Взрывобезопасное
В-Iб, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва
В-II	Взрывобезопасное
В-IIa	Повышенной надежности против взрыва

Во взрывоопасных зонах классов В-II и В-IIa рекомендуется применение светильников, предназначенных для взрывоопасных зон со смесями горючих пылей или волокон с воздухом. При отсутствии таких светильников допускается в зонах класса В-II применение светильников во взрывозащищенном исполнении для работы в средах со взрывоопасными смесями газов и паров с воздухом, а в зонах класса В-IIa – светильников общего назначения (без взрывозащиты), но имеющих соответствующую защиту оболочки от проникновения пыли.

Переносные светильники в пожароопасных зонах любого класса должны иметь степень защиты не менее IP54; стеклянные колпаки должны быть защищены металлической сеткой.

Конструкция светильников с газоразрядными лампами в этих зонах должна исключать выпадение из них ламп. Светильники с лампами накаливания должны иметь сплошное силикатное стекло, защищающее лампу. Они не должны иметь отражателей и рассеивателей из сгораемых материалов. В пожароопасных зонах любого класса складских помещений светильники с газоразрядными лампами не должны иметь отражателей и рассеивателей из горючих материалов.

#### Литература

1. Козловская В.Б. Электрическое освещение: справочник / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. – Минск: Техноперспектива, 2007. - 255с.
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://subscribe.ru/archive/tech.Electrotech/200606/08080530.html>
3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.electrodom1.narod.ru/vzg.html>
4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/lighting/162-vybor-svetilnikov-dlja-raboty-vo-vzryvo.html>

УДК 621.3

## СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С КОНТРОЛЕМ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Дорофейчик Д.С.

Научный руководитель – ст. преп. Колосова И.В.

Переход на рыночные механизмы функционирования электроэнергетики обусловил кардинальное изменение отношения к организации учета электроэнергии. Электроэнергия стала дорогим товаром. В связи с чем возрос интерес к автоматизированным системам контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) как со стороны энергоснабжающих организаций, так и со стороны потребителей. Любая АСКУЭ состоит из комплекса технических средств нового поколения, который имеет универсальные показатели назначения, что обеспечивает решение проблемы автоматизации учета электрической энергии и мощности различных потребителей. АСКУЭ представляет собой комплекс контрольно-измерительной аппаратуры, коммуникаций связи (сетей передачи данных), ЭВМ и программного обеспечения (ПО).

Основной задачей автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии является точное измерение количества потребленной и переданной энергии и мощности, обеспечения возможности хранения этих измерений и доступа к этим данным при производстве расчетов с поставщиком или потребителем.

Общая организация системы показана на рисунке 1 и функциональная структура на рисунке 2.

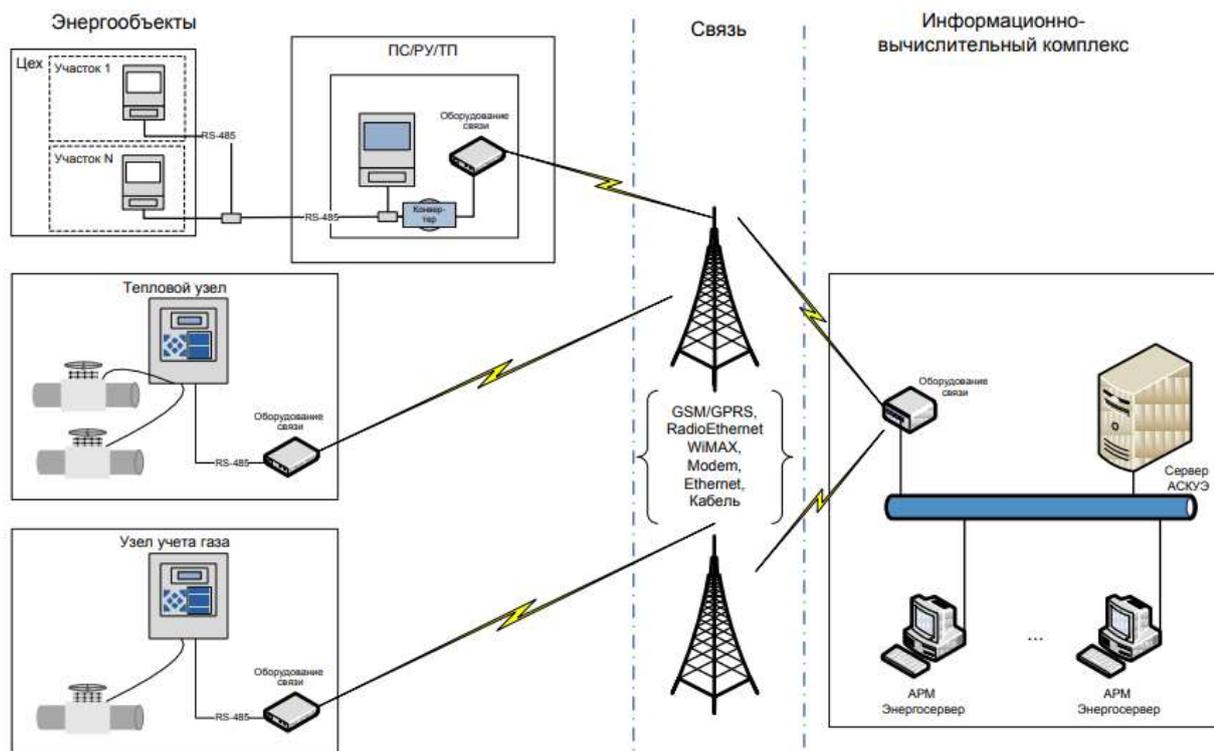


Рисунок 1 - Структурная схема АСКУЭ

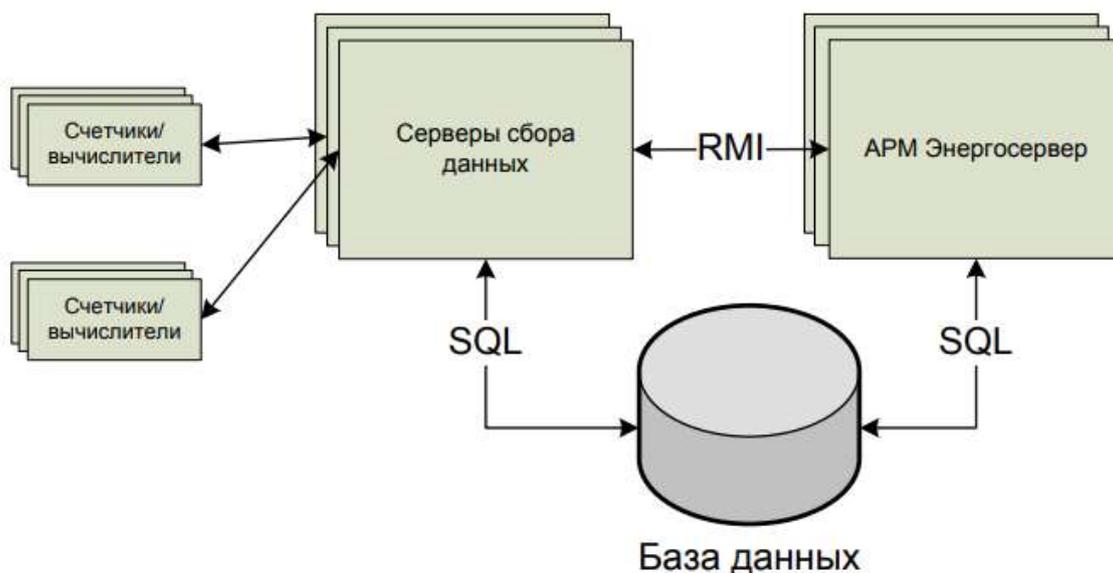


Рисунок 2 - Функциональная структура

АРМ – автоматизированное рабочее место;

SQL – язык программирования, применяемый для создания, модификации и управления данными в базе данных, управляемой соответствующей системой управления базами данных;

RMI – механизм, который позволяет вызывать метод удалённого объекта.

Важным элементов АСКУЭ является счетчики. От точности микропроцессорного счетчика зависит успех всей цифровой системы. Можно сказать, что это практически компьютер, который снимает показания на точке учета. В настоящий момент существует множество видов счетчиков, которые можно условно разделить по трём критериям: по классу точности; по функциональным возможностям; по количеству цифровых входов/выходов и интерфейсов.

По классу точности бывают 0,2S, 0,5S, 1,0. Для коммерческого учета, как правило, применяют обмотки с классами точности 0,5S и 0,2S. Буква “S” обозначает, что трансформатор тока проверяется по пяти точкам от 1 % до 120 % (1–5–20–100–120) от номинального тока, для их изготовления используют аморфные сплавы. Обмотки классов точности 1, 0,5, 0,2 проверяются лишь в четырех точках: 5–20–100–120 % от номинального тока. Счетчики так же различают по функциональным возможностям. Почти все цифровые счетчики в своей максимальной конфигурации сегодня могут учитывать по тарифам активную и реактивную энергию и мощность в двух направлениях, фиксировать максимальную мощность нагрузки на заданном интервале времени, хранить измеренные данные в своей памяти до года, измерять некоторые параметры качества электроэнергии (напряжение, ток, частоту, углы сдвига фаз, провалы напряжения и т. д.).

Современные счетчики осуществляют передачу уже готовых данных в киловатт-часах во время установленной с ними связи. Если по каким-то причинам связь не была установлена, то вся информация в течение нескольких месяцев собирается и хранится в памяти счетчика. При передаче данных

компьютер обменивается со счетчиком специальными командами, которые подтверждают правильность переданной и принятой информации, поэтому гарантируется точность и сохранность всех данных. Какой цифровой интерфейс будет иметь счетчик, зависит в основном от конфигурации системы и определяется поставщиком на этапе проектирования.

Специальные анализаторы для регистрации показателей качества электроэнергии (ПКЭ) не получили широкого распространения из-за высокой стоимости. И на рынке появилась более дешевая альтернатива – использовать электрические счетчики, производитель которых заявил о возможности регистрировать отклонения по качеству от ГОСТовских значений. Такие счетчики выпускаются многими производителями, приведем некоторые из них в таблице 1:

Таблица 1

Производитель	Марки счетчиков с регистрацией показателей качества
Инкотекс (РФ)	Счетчики Меркурий 234 с индексом $P$ и счетчики Меркурий 230 и 236 с индексом $Q$
Концерн Энергомера, (РФ,РБ, Украина и др.)	Счетчики СЕ-308 с индексом $U$
Завод им. Фрунзе, РФ	Счетчики СЭТ-4ТМ и ПСЧ-4ТМ

В характеристиках всех этих приборов заявлено, что они способны фиксировать и сохранять в своих журналах отклонения по качеству электроэнергии.

Безусловно, в отличие от профессиональных анализаторов качества, такие счетчики обеспечивают контроль малого набора показателей, но при этом обладают и рядом преимуществ:

- являются доступными по стоимости;
- обеспечивают постоянную регистрацию показателей качества;
- допущены как средство измерения и опломбированы электросетевой компанией.

Последнее преимущество дает возможность в спорных ситуациях, доказывать, что измерения проведены исправным и сертифицированным прибором. Электросетевая организация не станет регистрировать установленный любой другой прибор, если это не расчетный электросчетчик.

Современные счетчики. Например, функционал электросчетчика Меркурий 234 ART-0X P может регистрировать в своем журнале:

- нормально-допустимые и предельно-допустимые значения отклонения напряжения по каждой из фаз;
- нормально-допустимые и предельно-допустимые значения отклонения частоты сети переменного тока.

Собранные со счетчика показатели можно визуализировать, чтобы увидеть дни, когда электроэнергия поставлялась некачественной. На рисунке 3 можно увидеть собранные данные одного из таких счетчиков:

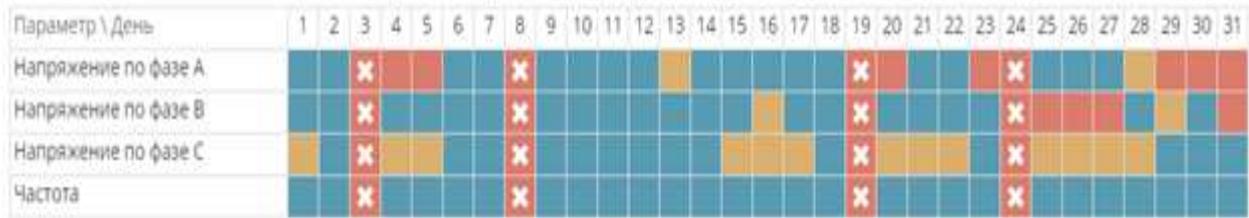


Рисунок 3. Диаграмма за месяц с нарушениями показателей качества: желтая ячейка – в этот день были выходы за нормально-допустимые значения по качеству; красная ячейка – за предельно-допустимые значения; красная с белым крестиком – были зафиксированы перебои в электроснабжении

Зафиксированные счетчиком нарушения можно свести в акт и направить поставщику электроэнергии с требованиями компенсации убытков или устранения причин плохого качества электроэнергии.

Есть еще одна возможность оценки качества электроснабжения обычными электросчетчиками – измерения уровня напряжения и частоты в сети. Большинство цифровых электросчетчиков могут фиксировать мгновенных значениях с параметрами потребления (напряжения, токи, мощности, углы сдвига, косинус фи, частота). Но время обработки запросов на получение таких данных - продолжительное, поэтому счетчики не могут обеспечить возможность вести постоянный мониторинг с получением данных чаще, чем раз в минуту. Информация о параметрах потребления между запросами теряется, так что краткосрочные выходы за допустимые пределы по напряжению и частоте могут остаться незамеченными. Однако в течение длительного интервала времени возможно получить приближенную картину по фактическим уровням напряжения и частоты (рисунок 4).

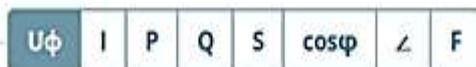


Рисунок 4. График уровня напряжения

Мгновенные значения, полученные со счетчика, не сохраняются в журнале прибора учета в отличие от событий по нарушению показателей качества.

Еще одним немаловажным параметром при оценке качества электроснабжения является частота отключений и продолжительность перерывов в электроснабжении.

В журнале электросчетчика фиксируются все отключения от электросети. Поэтому можно воспользоваться накопленной счетчиком информацией и обратиться к поставщику электроэнергии с требованием возмещения убытков от простоя в случае, если общая продолжительность отключений превысила допустимые значения. Журнал счетчика выглядит следующим образом (рисунок 5):

Журнал включения/выключения счетчика		
Время выключения	Время включения Старые записи	Период отключения
26.08.2019 10:26:36	26.08.2019 15:04:48	4 часа 38 мин.
19.04.2019 14:09:41	19.04.2019 14:09:44	3 сек.
08.02.2019 11:39:40	08.02.2019 14:11:57	2 часа 32 мин.
08.02.2019 11:39:21	08.02.2019 11:39:32	11 сек.
04.02.2019 18:24:10	04.02.2019 19:03:31	39 мин. 21 сек.

Элементы 1—5 из 45.

« ‹ 1 2 3 4 5 › »

Рисунок 5. Журнал показаний счетчика

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод: электросчетчик в первую очередь предназначен для учета объема потребленной электроэнергии, а в части фиксации нарушений показателей качества обладает множеством ограничений, и уступает профессиональным анализаторам. Тем не менее, счетчики обеспечивают минимально-необходимый функционал, дающий общее представление о качестве электроснабжения, так как фиксируют наиболее часто встречающиеся случаи нарушения. Потребитель, который не ставит своей целью постоянно контролировать все показатели качества, может ограничиться установкой электросчетчиков, фиксирующих минимальный набор показателей качества. Тогда в случае причинения ему ущерба, он сможет воспользоваться накопленной в журналах прибора учета информацией, чтобы заявить о претензии энергоснабжающей организации и потребовать возмещения убытков.

Перечислим общие преимущества и актуальность выбранной системы.

Внедрение современной системы позволит:

- Сократить суммарные годовые затраты за потребляемую электроэнергию и максимальную мощность предприятия.

- Повысить точность учета электроэнергии. Показания новых цифровых счетчиков класса 0,2S или даже 0,5S будут существенно расходиться по сравнению со старыми индукционными счетчиками. Точно сводить

энергобалансы, сократить коммерческие потери и выявить места хищения электроэнергии.

- Снизить потребляемую мощность на предприятии в часы пиковых нагрузок энергосистемы. Система покажет, где и когда можно отключить в холостую работающие двигатели или просто устроить перерыв.

- Защититься от штрафов. Не превышать заявленную мощность в часы максимальных нагрузок энергосистемы.

- Перейти на расчет за электроэнергию с энергосистемой по дифференцированным тарифам, так как электроэнергия ночью стоит значительно дешевле.

- Контролировать качество электроэнергии

- Автоматизировать сбор и обработку данных (почасовой интервальный учет). Формировать отчеты о почасовых объемах потребления электроэнергии, а также о потреблении электроэнергии (мощности) за сутки, отчетный период и накопительно с начала года, выдача отчетной информации в макетированной и других заданных формах. Отдел главного энергетика (ОГЭ), сможет получать всю информацию со счетчиков на ПЭВМ. А уже ПЭВМ будет печатать все отчеты в требуемой форме, строить графики нагрузки и т.п. Исключаются погрешности при записи данных со счетчиков персоналом предприятия (человеческий фактор).

- Оптимизация заявленной мощности. Имея данные по нагрузке потребляемой мощности за предыдущий период (сутки, неделя, месяц, год) можно оптимизировать заявленную мощность на последующий период, что позволит предприятию платить по факту величины потребления.

- Управлять электропотреблением на основе прогрессивных удельных норм. Рациональное планирование времени работы цехов и подразделений. Обеспечение оперативного контроля и управления потреблением энергоносителей в течение суток. Усиление дисциплины использования энергоносителей подразделениями. Адресное и циркулярное оповещение персонала о различных событиях в системе - отказах, превышениях лимитов и т. п.

- Эффективно заниматься энергосбережением. Точно подсчитать и доказать, какую экономию будут приносить те или иные мероприятия. Таким образом оправдать покупку нового энергосберегающего оборудования. Определить энергозатраты на конкретные технологические процессы. Совместно с техотделом изменить технологию, еще более снизить потребление электроэнергии и, следовательно, оплату за нее.

Как было сказано ранее, АСКУЭ позволяет также контролировать качество электрической энергии. Актуальность решения задачи контроля качества и учета количества электроэнергии обусловлена несколькими аспектами:

Во-первых, существующая методика учета перетоков электроэнергии, основанная на периодических измерениях (в течение 0,5 часа) и статистической обработке результатов измерений, не может обеспечить достоверности данных о действительных режимах в системе электроснабжения.

Во-вторых, высоковольтные электрофизические установки, которые эксплуатируются в настоящее время и призваны решать задачу учета количества и контроля качества электроэнергии, зачастую не обеспечивают требуемой точности измерений.

В-третьих, существуют юридические причины, вынуждающие участников рынка электроэнергии поддерживать ее качество. Так как потребитель вправе отказаться от оплаты уже потребленной некачественной энергии.

При этом сложность решения поставленной задачи обусловлена тем, что электроэнергия, как товар, помимо требований к качеству, обладает особенностью: ее производство и потребление являются неразделимыми во времени процессами, т.е. электроэнергию нельзя хранить и запасать (в больших количествах). В связи с этим, принимая во внимание интегральный характер ПКЭ и факт, что качество электроэнергии на месте производства не гарантирует ее качества в точке присоединения потребителя, необходимо чтобы измерения количества передаваемой электроэнергии и контроль ее качества проводились синхронно во всех контрольных точках энергосистемы одновременно.

Таким образом, для существующей методики измерений это означает совпадение во времени моментов начала и окончания измерений, что на практике не реализуется из-за влияния человеческого фактора. Кроме того, электрооборудование, включенное в сеть, влияет на качество электроэнергии, а оно, в свою очередь, может сказываться на функционировании потребителей электроэнергии. Так, например, известно, что перекос фаз негативно влияет на работу электродвигателей, а пульсации напряжения, вызывающие частое мерцание источников искусственного освещения, отрицательно сказываются на работоспособности человека. Примером влияния потребителя (нагрузки) на ПКЭ служат несимметричные нагрузки и мощные промышленные преобразователи напряжения, построенные по принципу импульсных источников питания, которые искажают форму тока. Таким образом, с позиций коммерческого учета также важно знать «виновную» в ухудшении качества электроэнергии сторону.

Таким образом, можно сделать вывод, что современные системы учета и контроля электроэнергии (АСКУЭ) с контролем качества электроэнергии будут использоваться как при постепенной модернизации существующих производств, так и на этапе проектирования и постройки новых промышленных объектов, позволяя получить полную картину энергопотребления и распределения энергоресурсов, создавая инвестиционную привлекательность предприятия и предоставляя возможность решить весь комплекс задач по оптимизации энергоснабжения объектов.

#### Литература

1. Научный журнал «Молодой Ученый» [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://moluch.ru/archive/125/34876/>. – Дата доступа: 04.12.2019.

2. яЭнергетик [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://yaenergetik.ru/blog/kak-s-pomoshchyu-obychnogo-schetchika-kontrolirovat-kachestvo-elektroenergii/>. – Дата доступа: 04.12.2019.
3. Сайт производителя «Энергомера» [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.energomera.ru/ru/products/askue/about> . – Дата доступа: 04.12.2019.
4. disserCat — электронная библиотека диссертаций[Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.dissercat.com/content/sistema-avtomaticheskogo-kontrolya-kachestva-i-ucheta-kolichestva-elektroenergii> . – Дата доступа: 04.12.2019.

УДК 629.052.9

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ

Анищик О.Р.

Научный руководитель – м.т.н., ст.преп. Казак Д.А.

Применение человечеством энергии ветра идет из древности. По некоторым источникам первая ветряная мельница возникла в десятом столетии. Считается, что ветряные мельницы попали в Европу из Персии через средиземноморские страны. В конце XIX века возникла идея применения энергии ветра для получения электрического тока. В литературе можно встретить описание ветряной установки Браша, который стал одним из самых первых в генерировании электроэнергии. Все ветрогенераторы можно разделить на 3 типа: ветрогенераторы с вертикальной осью вращения, с горизонтальной осью вращения и гибридные ветрогенераторы. Ротор Савониуса, Дарье, Геликоидный, ортогональный, многолопостной являются ветрогенераторами с вертикальной осью вращения. С горизонтальной осью: одно- двух- трех- и многолопастные. Гибридными являются парусный и летающий. Достоинства ветрогенераторов: отсутствие загрязняющих факторов, возобновляемый источник энергии, простое обслуживание, стабильные расходы. К недостаткам отнесем следующие факторы: шума, угроза для птиц, портят ландшафт, высокие инвестиционные затраты.

Окупаемости зависит от различных факторов таких как: мощность ветрового потока, эффективность ветрогенератора и многих других. В среднем этот срок занимает промежуток времени в 5- 7 лет. Считается если ветрогенератор использует свой потенциал на 25% то, он уже работает на окупаемость. В среднем же они задействуют около 28-29% своей мощности.

В 2015 году французская компания NewWind представила концепт ветряка в виде дерева. По сравнению с традиционными ветровыми генераторами, дерево обладает рядом преимуществ – оно почти не производит шума, может вырабатывать энергию даже при легком дуновении ветра и эстетично на вид. Недостатком является малая эффективность. Вырабатываемую энергию можно использовать, например, для уличного освещения или зарядки электромобилей. В море есть обширные территории для строительства электростанций, а растущий дефицит наземных сделал вынос ветроэнергетики за пределы суши весьма логичным. При этом, уже на удалении 10-15 км от берега, оффшорный ветропарк не будет менять морские пейзажи. Существенная отличие от наземных ветропарков заключается в условиях установки и эксплуатации. Оффшорная ветроэнергетика считается относительно новой технологией. Пионером в секторе оффшорной ветроэнергетики является Дания. Более 91% оффшорных ветропарков всего мира в настоящее время установлено у берегов Европы. Однако, даже учитывая очевидные преимущества, развитие оффшорной ветроэнергетики осуществлялось намного медленнее наземной. Это отставание происходило по разным причинам, к которым можно отнести и сложность ведения работ в морских условиях, и высокая стоимость морских

ветротурбин, а также стоимость подключения в энергосеть. Однако сегодня уже существуют плавающие ветротурбины, не требующие установки фундамента.

Типовая установка включает в себя следующие составные части: генератор переменного тока; лопасти, которые передают вращение к валу; мачта ветряка, к которой крепятся лопасти; аккумуляторы, накапливающие энергию, что позволяет использовать ее при небольшом ветровом потоке или его полном отсутствии. Батарея также выполняет функцию стабилизации электрической энергии, поступившей от генератора; контроллер – преобразователь переменного напряжения, полученного с генератора, в постоянное, которое применяется для заряда батареи. Управление контроллером осуществляется поворотом лопастей, что позволяет учитывать, куда движутся потоки воздуха;

В период с 2013 по 2017 года, по данным WWEA, общая установленная мощность ветрогенераторов возросла почти в 2 раза.

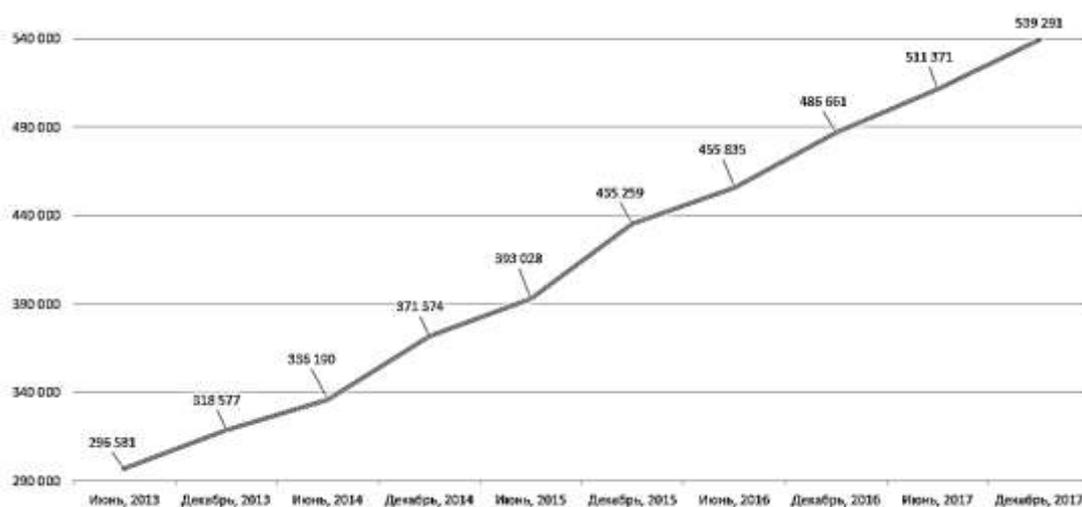


Рисунок 1. Общая установленная мощность ветрогенераторов за 2013-20217 гг.

На сегодняшний день безусловным лидером в области ветроэнергетики является Китай, одновременно являясь главным загрязнителем планеты. В десятку лидеров входят такие страны как: США, Германия, Испания, Индия, Италия, Франция, Канада, Бразилия, Дания. В текущем году Дания закрывает около 50% своей потребности в электричестве за счет ветроустановок.

Лидером производства ветрогенераторов является Датская компания Vestas, занимающая 12,7% доли рынка производства ветрогенераторов в мире. По итогам 2019 года в Беларуси насчитывается 98 ветроэнергетических установок. Их суммарная установленная мощность 110 МВт. Сейчас доля возобновляемых источников составляет около 6%, и планируется увеличить всего лишь до 9% к 2035 году. Для сравнения, в большинстве стран Евросоюза цель в 27% стоит уже в 2030 году. Карта-схема, приведенная ниже демонстрирует ветроэнергетический потенциал на высоте 100 метров на территории РБ. На карте-схеме можно выявить места для наиболее эффективного расположения ветроустановок, чтобы получить от них максимальный КПД.

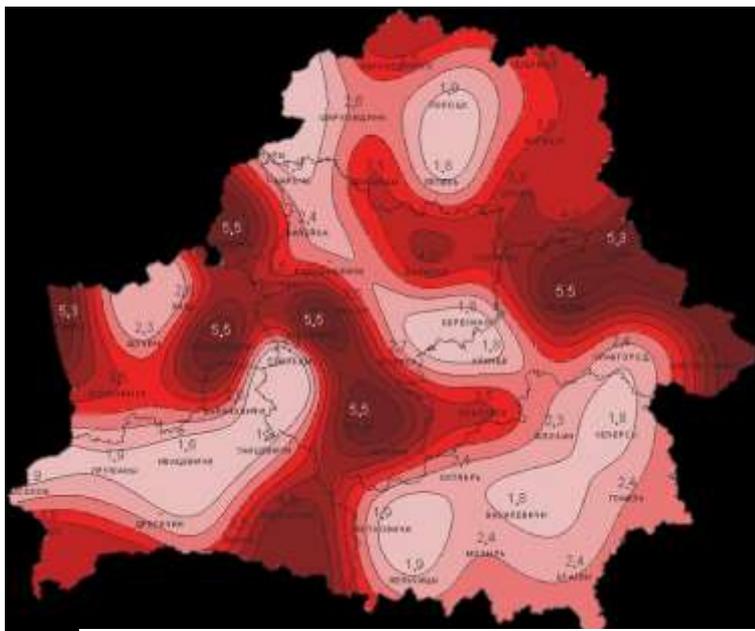


Рисунок 2. Потенциал ветроустановок на высоте 100 м

Ветроэнергетика продолжает развиваться, появляются новые виды более эффективных ветрогенераторов и уменьшается их себестоимость. А также увеличивается поддержка от государств. В Беларуси развитие ветроэнергетики идет малыми темпами по той причине, что территория нашей страны не располагает удачным географическим положением для успешного освоения этого вида энергии

Энергия ветра это

возобновляемый источник энергии, он имеет громадные запасы, по всему миру идет развитие чистой энергии и с каждым годом вопрос об экологической ситуации в мире становится все острее. Поэтому необходимо уже сейчас предпринимать действия для того, чтобы нашу планету через 100,500,1000 лет все еще можно было назвать зеленой планетой. И в целом, мир маленькими шагами идет к этому.

### Литература

1. Ветроэнергетика: преимущества и недостатки использования ВЭС. Часть 1 / Март 13, 2012 / Ольга Шейдина, // [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <http://zeleneet.com/preimushhestva-i-nedostatki-vertikalnogo-etryaka/1192/>. –Дата допуска: 21.04.2018.
2. От ветряной мельницы к ВЭУ/ Декабрь 28, 2012 / Ольга Шейдина, // [Электронный ресурс]. –Режим допуска: <http://zeleneet.com/ot-etryanoj-melnicy-k-veu/6731/>. –Дата допуска: 21.04.2018.
3. Основные виды ветрогенераторов: вертикальные, горизонтальные // [Электронный ресурс]. –Режим допуска: <http://tcip.ru/blog/wind/osnovnye-vidy-etrogeneratorov-vertikalnye-gorizontalne.html>. –Дата допуска: 21.04.2018.
4. Оффшорная ветроэнергетика (или ветроэнергетика морского базирования) привлекла интерес Европы и всего мира. // [Электронный ресурс] . –2016. –Режим допуска: <http://www.windpower.by/ru/news/464.html>. –Дата допуска: 21.04.2018.
5. Преимущества и недостатки вертикального ветрогенератора / Сентябрь 06, 2016 / Ольга Шейдина, // [Электронный ресурс]. –Режим допуска: <http://zeleneet.com/etroenergetika-preimushhestva-i-nedostatki-ispolzovaniya-ves-chast-1/33813/>. –Дата допуска: 21.04.2018.
6. Вертикальные, горизонтальные ветрогенераторы, их характеристики и виды// [Электронный ресурс] . –Режим допуска: <https://ecoteplo.pro/etrogenerator/>. –Дата допуска: 21.04.2018.
7. Wind Power Capacity reaches 539 GW, 52,6 GW added in 2017 // [Electronic resource]. –2017. –Mode of access: <http://www.wwindea.org/2017-statistics/>. –Date of access: 21.04.2018

УДК 621.32

## ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ ПЕРЕДВИЖНЫХ АВТОНОМНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Стаскевич П.И.

Научный руководитель – м.т.н., ст. преп. Калечиц В.Н.

На данный момент электрические системы широко развиты и мало мест, где нет электрических сетей. Однако в ряде случаев, когда невозможно подключиться к электрической системе, например, при авариях, строительстве появляется потребность в источниках света, которые не присоединены к электросети, компактны и легко транспортируются. Для этого используются автономные передвижные осветительные установки.

Конструктивные особенности автономных осветительных установок заключаются в следующем:

1. собственный источник электроэнергии;
2. компактность установки;
3. удобство транспортировки;
4. простота и безопасность эксплуатации;
5. достаточный световой поток.

Примером автономной передвижной осветительной установки является автономная мобильная мачтовая установка. Собственным источником питания является генератор, питаемый от бензинового или дизельного двигателя с аккумулятором, а также солнечные панели. Чаще всего в установках используют генераторы мощностью 6 кВт, но для нужд потребителей применяют генераторы других мощностей, меньших или больших (до 25 кВт). Важно, чтобы источник электричества автономной установки мог позволить работать продолжительное время, к примеру 40 часов [1].

Осветительные мачтовые установки имеют мачты коленчатого или выдвижного типа, которые в рабочем состоянии занимают вертикальное положение и обычно составляют в высоту 10 метров, однако существуют мачты и до 18 метров в высоту. Мачта может вращаться вокруг своей оси на 360°, а для приведения ее в рабочее состояние используются: лебедка с ручным или электрическим приводом, гидро- или пневмоцилиндр.

Для транспортировки осветительной установки, кроме малых переносных, используется шасси двух видов: с тормозной системой и без нее. Если колесное шасси оборудовано тормозной системой, то осветительную установку можно зарегистрировать как прицеп и транспортировать по любым дорогам, в ином случае необходимо перевозить в кузове грузовика или прицепе. Для увеличения площади опоры установки и возможности вертикального расположения мачты на неровных поверхностях используются аутригеры в количестве 3-4 штук [1].



Рисунок 1 – Световая мачта с вынесенными аутригерами [3]

В качестве источника света используются светильники мощностью 600 Вт и более в количестве от 4 штук. В светильниках используются металлогалогенные лампы, натриевые лампы высокого давления и светодиодные источники света. Металлогалогенные лампы имеют срок службы в нормальном режиме работы 10000 ч. Лампы этого типа дают яркий свет белого цвета. Световая отдача – 90 лм/Вт. Натриевые лампы высокого давления излучают мягкий неослепляющий свет розового или оранжевого оттенка, ресурс работы составляет до 20000 ч. Световая отдача примерно 95 лм/Вт. Имеет меньшее время охлаждения для повторного использования по сравнению с металлогалогенными. Светодиодные светильники излучают белый свет, служат до 100000 ч без снижения светового потока, способны работать в тяжелых условиях, световая отдача – 170 лм/Вт. Мгновенно включаются, без мерцания, не требуют времени на охлаждение. Но стоимость светодиодных светильников выше (по сравнению с остальными источниками света). В светильниках используют матовые стекла для рассеяния света, сами светильники имеют в основном эллиптическую форму, позволяющую концентрировать свет на определённой области. В некоторых установках есть возможность индивидуальной регулировки светильников по всем направлениям за краткое время без использования специального инструмента [3].

Для защиты конструкции от вредного воздействия окружающей среды поверхности установки оцинковывают.

В осветительных установках используются системы дистанционного управления, автоматического контроля (по таймеру, по степени освещенности, по датчику движения).

Рассмотрим автономную мобильную мачтовую осветительную установку «НД – 106» серии «Ночной дозор» производства ООО «Аксиома света» [2].



Рисунок 2 – Автономная мобильная мачтовая осветительная установка «НД – 160»

Выдвижная мачта с бензиновым генератором закреплены на передвижной платформе, которая позволяет без труда перемещать осветительную установку. Мачта телескопическая, высотой 6 метров, с 4 светодиодными светильниками мощностью по 45 Вт с КСС типа «Г», подъем осуществляется лебедкой за несколько минут. Оборудована бензиновой электроустановкой. Все технические характеристики приведены в таблице 1 [2].

Таблица 1 – Технические характеристики установки «НД-160»

Технические характеристики	
Габариты в сложенном положении (ДхШхВ), мм	1410x7560x1405
Транспортный вес, кг	155
Тип лампы, мощность, Вт	Светодиодные светильники, 4x45 Вт с КСС типа «Г»
Высота мачты максимальная, м	6
Мощность генератора, кВт	6
Частота, Гц	50
Тип генератора	Синхронный, бесщеточный, 1ф
Тип двигателя	Бензиновый, охлаждение воздушное
Пуск двигателя	Ручной
Объем топливного бака, л	30
Расход топлива, л/ч	2

Кроме автономной мобильной мачтовой установки существуют так же световые вышки, световые шары, мобильные осветительные комплексы [3].

В настоящее время автономные осветительные установки широко представлены на рынке большим числом производителей, постоянно развиваются и улучшаются сами светильники, генераторы и сами установки. Их использование значительно облегчает и делает безопасным работу в многочисленных сферах производства и не только

#### Литература

1. Интернет-портал журнала «Основные средства» [Электронный ресурс] / Москва, 2000. – Режим доступа: <https://os1.ru/article/5226-avtonomnye-mobilnye-machtovye-osvetitelnye-ustanovki-da-budet-svet>. – Дата доступа: 04.04.2020.
2. Сайт ООО «Аксиома света» [Электронный ресурс] / Москва, 2011. –Режим доступа: [http://www.axiomasveta.com/novosti/osvetitelnye-ustanovki\\_\-nochnoy-dozor/](http://www.axiomasveta.com/novosti/osvetitelnye-ustanovki_\-nochnoy-dozor/). – Дата доступа: 04.12.2020.
3. Сайт ООО НПП «Аргата» [Электронный ресурс] / Москва, 2015. – Режим доступа: <https://stolbsveta.ru/tipi-osvetitelnih-ustanovok-svetovie-machty.html>. – Дата доступа: 04.04.2020.

УДК 621.311

## ОСВЕЩЕНИЕ СПОРТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Презов И.А.

Научный руководитель – м.т.н., ст. преп. Ярошевич Т.М.

Освещение любого объекта очень важно. Выделяют 2 типа: естественное – за счёт прямого солнечного света или от рассеянного света небосвода; и искусственное – от светильников общего и местного назначения. В этой статье рассмотрено искусственное освещение, его проблемы и пути решения для спортивного объекта на примере бассейна спортивно-оздоровительного комплекса (СОК) БНТУ в г. Минске.

Освещение спортивного бассейна регламентировано. Согласно документам, регламентирующим нормы освещённости для спортивных сооружений: СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение», СП 310.1325800.2017 «Бассейны для плавания. Правила проектирования». СП 31-113-2004 «Бассейны для плавания» СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 и СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076.

Таблица 1. Нормы освещённости бассейнов, применяемых в мировой практике

Класс игры или спортивного сооружения		Освещённость для открытых/крытых ванн, лк		
Плавание спортивное, соревнования	Национальный чемпионат	BSH-1-73, Emin	EN12193, Esp	МКО, Esp
	Низшие лиги и клубные соревнования	200-400	500	500
	Тренеровочный процесс		300	
Прыжки в воду, водное поло	Тренеровочный процесс	100/150	200	
	Соревнования	100/200	200	
Трибуны	До 800 человек	200	–	–
	Более 800 человек	400		

По правилам и санитарным нормам для освещения бассейнов могут применяться металлогалогенные, люминесцентные и светодиодные лампы.

В объекте исследования для нужного освещения применяются лампы типа ДРИ 400 NDI в количестве 86 штук. Сравним используемые лампы типа ДРИ со светодиодными. Критериями сравнения будут служить световой поток,

светоотдача, светопередача, срок службы, надёжность, ремонтпригодность, стоимость.

Таблица 2. Сравнение мощностей источников света в одинаковом световым потоком

Источники света, мощность, Вт		Световой поток, Лм
Металлогалогенные ДРИ	Светодиодные LED	
70	50	5000
100	100	8500
150	150	13000
250	250	18000
400	450	40000
700	600	58000

Цветопередача у обоих типов ламп является отличной. Диапазон температур у светодиодных светильников составляет от 3000 до 7000 К.

По сроку службы LED-лампы превосходят используемые лампы типа ДРИ в несколько раз. Заявленный срок службы светодиодных ламп составляет от 30000 до 100000 часов. У металлогалогенных срок службы составляет от 6000 до 20000 часов. То есть в среднем светодиодные лампы служат в 5 раз дольше.

Проанализировав сведения одного интернет-магазина которые сообщают, что возвратов по гарантии ламп типа ДРИ у них не было в отличии от светодиодных ламп. Надёжность – субъективный параметр, который зависит от многих параметров. В том числе и от характера и условий эксплуатации. Но возвраты LED ламп можно объяснить и относительно высокой стоимостью продукта.

Ремонтпригодность. В отличии от ДРИ-ламп, которые можно починить, LED лампы практически не ремонтируются и меняются блоками.

Стоимость. Одинаковые по мощности, LED-лампы стоят дороже чем металлогалогенных лампы, приблизительно в 3-4 раза. Но платить стоит не за ватты, а люмены.

Освещение спортивных сооружений имеет свои нюансы. Заниматься освещением может только высококвалифицированный специалист. А также освещение в спортивных сооружениях представляет собой сложную систему из ламп различных параметров и назначений. В зависимости от свойств площадки (открытости или закрытости), от количества зрителей, масштаба мероприятий, от вида спорта специалист выбирает необходимый комплекс оборудования.

Сравнивая два типа ламп в качестве освещения спортивного объекта на примере бассейна СОК БНТУ, мы можем сделать выводы, что даже при большей стоимости LED-ламп по сравнению с лампами типа ДРИ, всё равно выгоднее оснастить бассейн LED-освещением. 86 ДРИ лампы на 400 Вт можно

заменить на 48 LED ламп на 600 Вт. Так они дадут 16% экономию по электроэнергии. Стоят в 4 раза дороже, но в 5 раз дольше – экономия 20% на закупку. Световой поток при этом сохранится. Освещённость увеличится. Для освещения спортивных сооружений светодиодные светильники подходят лучше.

#### Литература

1. Каталог продукции «Lebak». [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://www.lebak.by/article/344.html>. – 21.04.20
2. СП 52.13330.2016 "СНиП 23-05-95\* Естественное и искусственное освещение"
3. ГОСТ Р 53491.2-2012 Бассейны. Подготовка воды. Часть 2. Требования безопасности. – Реферат и аннотация. – Москва: Изд-во стандартов, 1981. – 6 с.
4. Каталог продукции «NeoLight». [Электронный ресурс].– Режим доступа: [http://www.neolight.ru/statyi/statya\\_full/statyi/pokupaite-lyumeny-a-ne-vatty.html](http://www.neolight.ru/statyi/statya_full/statyi/pokupaite-lyumeny-a-ne-vatty.html)– 21.04.20

УДК 621.3

## НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИЗГОТОВЛЕНИИ МАГНИТОПРОВОДОВ

Коновалов Д.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С.В.

В настоящее время именно внедрение новых технологий позволяет значительно сокращать издержки и получать новые, уникальные преимущества, снижая себестоимость изделия.

Материалы, применяемые для изготовления магнитопроводов, должны иметь высокую магнитную проницаемость, низкую коэрцитивную силу, небольшую площадь петли гистерезиса и малые потери энергии на вихревые токи. Как известно, магнитопровод – элемент магнитной цепей электрических машин и приборов ( пакеты статоров, роторов, полюсов электрических машин, пакеты трансформаторов и т.д.), предназначенные для локализации потока магнитной индукции, а также является снованием для установки и крепления обмоток, отводов, узлов и деталей. Поэтому магнитопровод должен обладать жесткостью, достаточной для восприятия механических усилий, возникающих в процессе производства, транспортировки и эксплуатации, что должно учитываться конструкцией магнитопроводов.

В зависимости от вида применяемого материала, технологии изготовления магнитопроводы подразделяются на четыре группы: изготавливаемые из сплошного материала, набираемые из отдельных пластин, витые магнитопроводы, магнитопроводы из порошков.

В 2005 году новая технология по изготовлению магнитопроводов – Unicore, реализованная австралийской компанией AEM Cores, была представлена в России на выставке «ЭнелЭкспо-2005» компанией «Коннекторс энд Инжиниринг». Новая технология заключается в том, что при изготовлении магнитопровода, воздействие на ленту производится локально, в нескольких узлах по длине ленты.

Использование компьютерного управления позволяет с высокой точностью рассчитать, изготовить и комплектовать все элементы будущего магнитопровода на одном рабочем месте, одним оператором. Основа технологии - стыковка половин магнитопровода при сборке выполняется не в одной плоскости, а по косой. Стык между «половинами» равномерно распределен по стержням магнитопровода, что обеспечивает распределение зазоров в магнитопроводе по длине стержня и значительно снижает потери, что улучшает характеристики магнитопровода.

Конструкция магнитопровода, у которого толщина воздушного зазора равна толщине ленты, обладает наилучшими характеристиками. Это достигается с помощью технологии Unicore с использованием электротехнических сталей марки 3408 - 3409 толщиной 0.27 - 0.35мм ГОСТ 214271.1-83. Магнитный поток огибает зазоры, используя соседние несущие ленты (дорожки). (Рисунок 1).

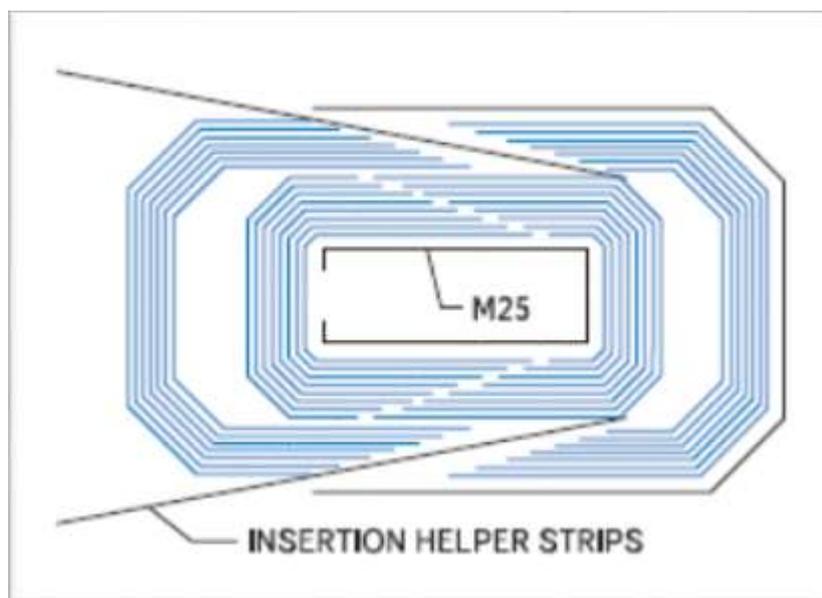


Рисунок 1. Принцип соединения деталей магнитопровода при сборке.

Сборка «половинок» магнитопровода производится косыми пакетами, последовательно, начиная с меньшего (внутреннего) к большему (внешнему). Схематично это показано на Рисунок 2.

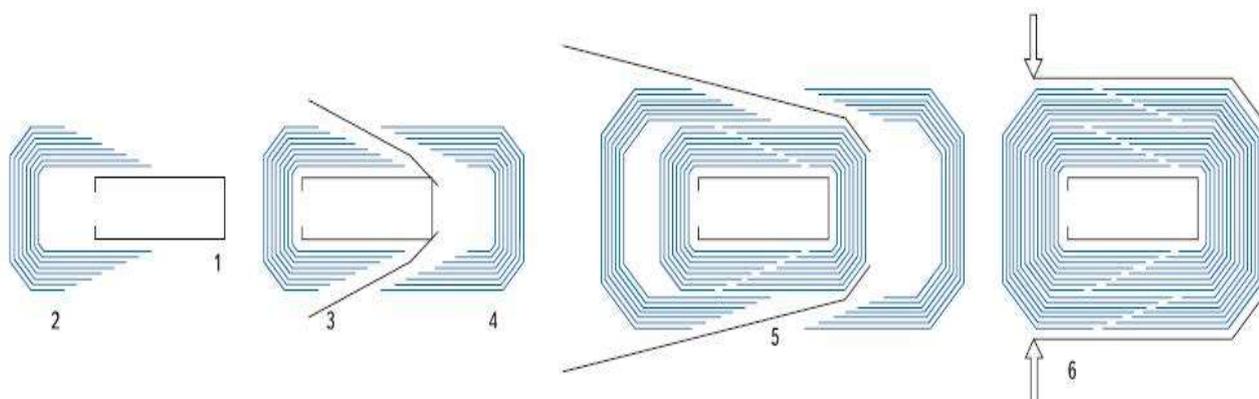


Рисунок 2. Порядок соединения деталей магнитопровода при сборке

Сравнение числа операций при изготовлении «классического» разрезного магнитопровода по традиционной технологии производства магнитопроводов и по технологией Unicore приведено в таблице 1.

Согласно приведенным данным, эффект от внедрения Unicore-технологии имеется даже за счет сокращения числа операций и исключения отжига.

Наиболее распространенный типы магнитопроводов Unicore -DUO и DDG, предназначены для широкого спектра использования. В зависимости от требований, они могут быть видоизменены. DUO - Unicore-тип, состоящий из двух половинок («мама»/«папа»), подтип — DUO1 ( 1 — количество полос в перекрытии), применяют в магнитопроводах для распределительных, измерительных трансформаторов с высокими требования к потерям.

Новейшая разработка - сердечник DUO, прост в сборке, имеет низкие потери, приемлемую стоимость, применяется для выпуска однофазных и

трехфазных трансформаторов общего назначения с сердечниками ленточного, стрежневого и броневого типов. Сердечник DUO, имеющий на перекрытие один слой, после отжига имеет особо низкие потери.

Таблица 1. Сравнение традиционной технологии и технологии Unicore

Оперция	Витой (разрезной) тип	Unicore-тип
Изготовление стержня	Навивочный станок	Гибко-отрезной станок
Отжиг	Требуется	Требуется в некоторых случаях
Обработка торцов ленты	Требуется в некоторых случаях	Не требуется
Рез	Требуется	Не требуется
Шлифовка торцов по резам	Требуется	Не требуется
Пропитка	Требуется	Не требуется
Сборка – прецизионное позиционирование половинок между собой при сборке	Требуется	Не требуется, половинки «самопозиционируются» друг относительно друга

Сердечники DG Unicore с распределённым зазором - тип магнитопровода, имеющего только один разрез на один слой, используется в трансформаторах с одним стержнем.

Виды сердечников DG Unicore:

- с прямым резом (straight cut face),
- с каскадным резом (cascade of cut faces fans out),
- со спиральными слоями (spirally wound laminations).

Сердечник с торцевым стыком - магнитопровод с программируемой толщиной зазора в месте стыка, применяется для однофазных, трехфазных трансформаторах, в дросселях (реакторах).

Броневого сердечник с зазором – магнитопровод, имеющий одну плоскость стыка, применяется в однофазных трансформаторах, в дросселях.

Кольцевой магнитопровод - магнитопровод, не имеющий ни одного разреза ленты, используется в трансформаторах тока и напряжения. Оборудование для производства Unicore непрерывно подает и изгибает стальную ленту материала так, чтобы получился прямоугольный сердечник. Сердечник обязательно отжигается для максимального снижения потерь.

Магнитопроводы типа Unicore отличаются высокими магнитопроводящими свойствами. По технологии производства имеется возможность предварительно рассчитать время изготовления изделия, расход стали на одно изделие и производительность на основе стандартных расчетов специальной программы (созданной компанией AEM Cores), что позволяет оптимизировать будущую продукцию на этапе проектирования по техническим характеристикам и производственным затратам.

Использование перекрытия не в одну (DUO1) толщину ленты, а в две, три и более (DUO2, DUO3), позволяет сократить время сборки. Для подтипа DUO2 время сборки сокращается на 20%, (по сравнению с DUO1), для DUO3 — на 40%. Наиболее эффективным считается DUO3, где потери и время сборки оптимально сбалансированы. Но имеются изделия, где требуется применение только подтипа DUO1 (распределительные трансформаторы).

#### Литература

1. Магнитопроводы Unicore(Юникор)[Электронный ресурс] – 2020 – Режим доступа: [<https://glavpromenergo.ru/ru/page/1/tehnologii.htm>]. – Дата доступа: [15.04.2020];
2. Новая технология Unicore для изготовления магнитопроводов. [Электронный ресурс] – 2020 – Режим доступа: [[https://www.kit-e.ru/articles/circuit/2006\\_8\\_184.php](https://www.kit-e.ru/articles/circuit/2006_8_184.php)]. – Дата доступа: [17.04.2020];
3. Новая технология Unicore для изготовления магнитопроводов. [Электронный ресурс] – 2020 – Режим доступа: [<https://nrgprom.ru/stati/novaya-tehnologiya-unicore-dlya-izgotovleniya-magnitprovodov>]. – Дата доступа: [05.05.2020];

УДК 621.3.078, 004.02, 004.08

## НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ЭНЕРГЕТИКЕ, ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ, КОНЦЕПЦИИ БЛОКЧЕЙНА, ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ И БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Лобиков С.А., Трухан В.А.

Научный руководитель – ассистент Протасеня М.Л.

Нейронная сеть – это обучаемая система. Она действует не только в соответствии с заданным алгоритмом и формулами, но и на основании прошлого опыта. Это как ребенок, который с каждым разом решает пример, делая значительно меньше ошибок.

В современном мире нейронные сети развиваются в экспоненциальной прогрессии. Появляются всё новые виды нейронных сетей, и программ, реализующих их. Они стали применяться во многих сферах жизнедеятельности. В данной работе рассматриваются перспективы применения их в энергетической системе.

Работает нейронная сеть следующим образом: на входы нейронов поступают сигналы, которые суммируются, при этом учитывается значимость каждого входа, далее выходные сигналы одних нейронов поступают на входы других. Значимость каждого входа может быть положительной либо отрицательной. Связи с положительной значимостью называются возбуждающими, а с отрицательной - тормозящими. Эти связи определяют вычисления нейронной сети, а значит - её память и поведение, принцип примерно тот же, что и в нашем мозге. Нейронные сети могут распознавать образы или решать задачи классификации.

Наиболее популярный миф заключается в том, что нейронная сеть является новой технологией. Однако у нейронной сети достаточно древняя история. В 1960 годах построили компьютер Марк-1, который должен был распознавать буквы, в том числе рукописные, но тогда компьютерной мощности было недостаточно. Именно поэтому нейронные сети переживают взрыв именно сейчас. Нейронные сети применяются практически везде, и их потенциал не ограничен.

Нейронные сети применяются в переводчике Google, программа распознает буквы на фотографии, сделанной с телефона, строит из них слова, а из слов предложения, затем переводит. Все это происходит за доли секунд. Однако нейронные сети применяются и в «чтении по губам», программа справляется с этим лучше людей с нарушением слуха. Существует программа, работающая с помощью нейронных сетей, которая улучшает качество фотографий и видеозаписей, а также есть программа, которая превращает черно-белые картинки и фильмы в цветные. Данная нейронная сеть определяет в изображениях общие мотивы и раскрашивает объекты в соответствующие цвета. Еще с помощью нейронных сетей можно распознавать лица людей, заменять лица на видео. То есть сейчас можно снять фильм с дублером, а потом заменить его лицо умершей знаменитостью. Так же нейронная сеть может писать музыку, копируя стили музыкантов. Также они водят беспилотные автомобили. Компания Nvidia показала программу, превращающую

обыкновенные цветные наброски в красивые детализированные картины. Еще есть нейронная сеть, которая позволяет восстановить поврежденные изображения. В некоторых областях искусственный интеллект достиг таких вершин, что стал превосходить профессионалов данной области. Так, например, программа AlphaGo, использующая нейронные сети, обыграла лучшего игрока Го за последнее десятилетие со счётом 4–1, а в медицине нейронная сеть диагностирует рак кожи и анализирует маммографию злокачественной ткани лучше врачей онкологов.

В общем случае нейронная сеть - это способ организации программ. Существует много типов нейронных сетей с очень сложной математической составляющей. Однако есть особый вид нейросетей, называемой – сверточной. Сверточные нейронные сети используются для распознавания образов. Слои сверточной нейронной сети обрабатывают информацию так же, как обрабатывает наша затылочная доля головного мозга, та, которой мы обрабатываем информацию.

Для нейронных сетей критично важны большие данные. Пример: предупреждение об аварии (короткое замыкание сети). По графику потребления, который приходит на датчики, оно не сильно отличимое от некоторых штатных ситуаций (пиковая нагрузка или что-то еще). Однако, если у нас будет много данных с подтвержденным коротким замыканием и много данных с подтвержденными штатными ситуациями, то нейронная сеть будет способна по входящему графику говорить, что сейчас будет короткое замыкание либо же - всё работает штатно. Это сравнимо с анализом электрокардиограммы, причем сейчас нейронные сети штудируют кардиограммы гораздо лучше врачей профессионалов, даже в самых запутанных случаях. Самое простое - это прогнозирование нагрузки, а что не мало важно и доходов. Если у нас есть данные за прошлые годы, то можно легко натренировать нейронную сеть на то, чтобы предугадывать, что будет с нагрузкой в конкретный день, в зависимости от погоды и других с первого взгляда не существенных факторов.

Нейронная сеть может применяться и для диагностики аварий, мы сможем понять, что произошло, а также, что очень круто, где произошло.

Нейронные сети также очень эффективны в обучении персонала, а также в общении с оборудованием. Хочется отметить, что они могут применяться для технологической безопасности. Для примера возьмем атомный реактор. Для проверки его мы посылаем в него беспилотник с нейронной сетью, которая идентифицирует все трещины, пометит допустимые и критически опасные. Данный способ применим для оценки состояния платин гидроэлектростанций.

С тех пор, как изобрели дроны, к ним появился не только развлекательный интерес, они стали так же применяться в военных и промышленных целях, в том числе в энергетике. В энергетике они могут применяться для осмотра высоковольтных линий электропередач, вместо монтажников, это позволяет не подвергать людей опасности. Обычно для осмотра и починки используют бригаду из трех человек, которые обнаруживают и чинят обрыв. Однако достаточно дорого гонять бригаду вдоль всей ЛЭП каждый день. На помощь

пришли дроны, которые снимают и передают информацию об малейших повреждениях. Летательный аппарат также можно оснастить рентгеном, что поможет детальнее рассматривать поврежденные участки.

Интернет вещей – единая сеть, соединяющая окружающие нас объекты реального мира и виртуальные объекты. С 2008 года интернет вещей стало больше, чем проживающих на планете людей. Наиболее распространены из них были смартфоны. Однако сейчас все больше и больше набирают популярность интернет вещи в сфере промышленности. Для примера возьмем самолет, летящий из одного города в другой. В среднем с одного полета самолет собирает 3 гигабайта данных о своем полете. Там расписано все: как и когда он открыл закрылки, сколько был расход топлива, какая траектория и так далее. Огромное количество данных пишется, еще и на производственных станках, с помощью интернет вещей можно собрать из них параметров намного больше, чем может сделать простой специалист, наблюдающий за установкой.

Что можно делать с этими данными и почему интернет вещи - это важно? приборы начинают взаимодействовать друг с другом сами без человека. В промышленности это работает следующим образом: обеспечиваем датчиками станки, лифты, двери, другие агрегаты и собираем данные. Данные нужно собирать структурно, чтобы данные попадали в одно место и можно было делать их анализ.

Децентрализованный криптографический сервис обмена данными имеет принципиальные отличия от традиционных баз данных.

Первое отличие - это технология блокчейна. Блокчейн – это цепочка блоков, которые в свою очередь состоят из транзакций самих данных, которые мы хотим надежно сохранить. Каждый новый блок крепится к предыдущему с помощью сложных алгоритмов, причем так, что они надежно связаны друг с другом. Так мы получаем неразрывную взаимозависимую цепочку блоков, которые нельзя удалить, изменить или перезаписать.

Второе отличие - это децентрализация хранения данных, если традиционную базу данных можно атаковать информационно или же просто физически уничтожить сервера, где хранятся данные, то данный сервис надежно защищен от таких опасностей. Все блокчейны хранятся не на одном или двух компьютерах, а на всех компьютерах всех клиентов системы. Чтобы новый блок подключился к цепочке, необходимо чтобы все остальные компьютеры независимо друг от друга дали согласие на эту операцию, и если блок всеми компьютерами признается правильным, он подключается к этой цепочке и распространяется по всем узлам этой компьютерной сети, и все эти компьютеры теперь защищают его надежность и целостность.

Третье отличие заключается в том, что все данные в блоках шифруются устойчивыми криптографическими алгоритмами. И если происходит попытка изменить информацию в одном из блоков на отдельном компьютере, то остальные участники системы моментально восстанавливают информацию, и нейтрализуют взломщика.

Как это работает в электроэнергетике:

Первое большое применение, это взаиморасчеты. Сейчас в мире, а особенно в США есть множество стартапов, которые позволяют продавать созданную энергию напрямую потребителям и рассчитываться с ними. Грубо говоря, у вас есть счетчик, он подключен к блокчейну, все его показания пишутся и защищаются. Вы его не можете накрутить, и ваша энергокомпания вместе с вашими соседями, если у них есть излишки электроэнергии, могут продать данную энергию, например, произведенную солнечными панелями.

Второе применение — это закупка и логистика, допустим вы директор, и вам необходим большой ветрогенератор. Вам хочется, чтобы логистическая компания правильно транспортировала и установила этот ветрогенератор. Все эти параметры (координаты и целостность конструкции) по дороге можно фиксировать датчиками интернета вещей, они могут писаться в блокчейн, это защитит их от подмены и взлома. При правильной установке ветрогенератора подрядчик автоматически получит деньги.

Например, сейчас есть enerchain (стартап) - это большая американская платформа, которая позволяет торговать энергией на оптовом рынке. То есть, электростанция продает электроэнергию напрямую потребителям, минуя трейдеров и платежные системы, минуя комиссию оптовых трейдеров и банков.

Еще существует Nasdag (стартап), он позволяет торговать сертификатами и льготами, например, когда компания производит не только обычную энергию, но и экологическую, она получает право сделать чуть более вредных выбросов, или право платить меньше налогов, либо же другие льготы. Этими сертификатами можно торговать на вторичных рынках. Исходя из законов Европы и США, если какой-нибудь завод превысит норму выбросов, чтобы не получить огромный штраф, он может купить сертификат на дополнительные выбросы. Данный стартап занимается именно этой торговлей.

Для третьего примера возьмем довольно продвинутой с точки зрения строительства район. Там стоят энергоэффективные дома, на них присутствуют солнечные панели, а, кроме этого, есть энергонакопительные устройства - это очень высокотехнологические дома, им не хватает системы расчета. Допустим, есть несколько домов с запасенной энергией, один дом тратит всю запасенную энергию, а другой дом вообще практически не тратит. Было бы отлично соседу каким-то образом все излишки электроэнергии автоматически продать нуждающемуся дому. Для этого была создана платформа, которая позволяет с помощью датчиков каждому дому продавать или покупать излишки электроэнергии, писать кто, сколько и кому должен в блокчейн, и в конце месяца производить взаиморасчет и подводить баланс.

Большие данные – это структурированные и неструктурированные данные огромных объемов и разнообразия, а еще методы их обработки, которые позволяют распределено анализировать информацию. Другими словами, большие данные – это общее название для больших массивов данных и методов их обработки. Такие данные эффективно обрабатываются с помощью масштабируемых программных инструментов, которые стали альтернативой традиционным базам данных. Большие данные это все то, что вы не можете обработать при помощи excel, то, что требует специальных инструментов,

специальных алгоритмов. Большие данные необходимо правильно обработать и правильно применить.

Интернет вещи, блокчейн, большие данные – это все очень взаимосвязанные между собой понятия. То есть, интернет вещей позволяет эти данные собрать, блокчейн позволяет эти данные хранить, а большие данные и искусственный интеллект позволяет эти данные правильно обработать и получить преимущество.

Как все это работает: вы должны уметь эти данные правильно собрать, правильно агрегировать. После накопления больших объемов данных делаем анализ, затем, если убедились, что наша модель работоспособна и данных достаточно, погружаем ее в нейронную сеть и получаем какие-то прогнозы.

Пример: ТЭЦ, большое предприятие, умеренно опасное. Как можно повысить ее эффективность, модернизировать, если денег на глобальный ремонт нет? Для повышения эффективности необходимо поставить датчики, собрать огромную статистику, смоделировать работу этой ТЭС (виртуально понять, что от чего зависит). Это называется цифровой двойник – цифровая копия физического объекта или процесса, помогающая оптимизировать эффективность бизнеса. Концепция цифрового двойника должна помочь предприятиям быстрее обнаруживать какие-либо физические проблемы, а вдобавок более точно предсказывать результаты и производить более качественные продукты. Если у нас есть что-то сложное, в данном случае ТЭЦ, мы его моделируем в цифровой двойник, и если его данные начинают отличаться от фактически поступающих данных с датчика, значит у нас что-то стремится к сбою. Нейронная сеть научилась давать обратную связь для ее системы управления, как следует поменять режим работы, чтобы делать ремонт гораздо реже. Для примера возьмем станок, который работает всегда на полную мощность для обеспечения большего КПД, это приводит к его быстрому износу. Нейронная сеть подсчитает траты, в связи с снижением КПД и экономии на возможном скором ремонте и выдаст самый экономически правильный результат.

### Литература

1. <https://minzdrav.gov-murman.ru>.
2. Кустикова В.А. Свёрточные нейронные сети. Глубокие остаточные сети. Нижегородский институт информационных технологий, математики и механики.
3. Саймон Хайкин. Нейронные сети: полный курс. — М.: Вильямс, 2008.
4. Жианчанг Мао, Энил Джейн. Введение в искусственные нейронные сети // Открытые системы. СУБД. — 1997. — № 4.
5. Sledge I. J., Keller J. M. Growing neural gas for temporal clustering // 19th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'08), December 8–11, 2008, Tampa, Florida, USA.

УДК 621.3

## АВИАЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Кисляк Д.В.

Научный руководитель — к.т.н., доцент Константинова С.В.

Сегодня реактивные двигатели полностью обеспечивают энергетические потребности самолетов. Их принцип действия основан на сжигании топлива и образовании выхлопных газов, которые и создают силу тяги, что наносит ущерб экологии. Альтернатива реактивному двигателю — электрический. Удельная мощность современных электродвигателей для авиации не превышает 5 кВт/кг, в то время как реактивные обладают мощностью до 8 кВт/кг. Замена двигателя повлечет за собой снижение грузоподъемности самолета, что в настоящее время экономически нецелесообразно.

Применение сверхпроводниковых материалов способно увеличить удельную мощность электродвигателей. Что бы такой переход был эффективен с точки зрения экономики, необходимо не просто сравнить удельную мощность электрических двигателей с турбинными, а значительно увеличить. Это можно осуществить, перейдя на охлаждение сверхпроводниковых двигателей жидким водородом ( $-253^{\circ}\text{C}$ ). Данная степень охлаждения сверхпроводников способна повысить удельную мощность двигателя до 30 кВт/кг. Но на данный момент проблема применения жидкого водорода заключается в том, что он взрывоопасен, дорого стоит и требует немало энергии для производства.

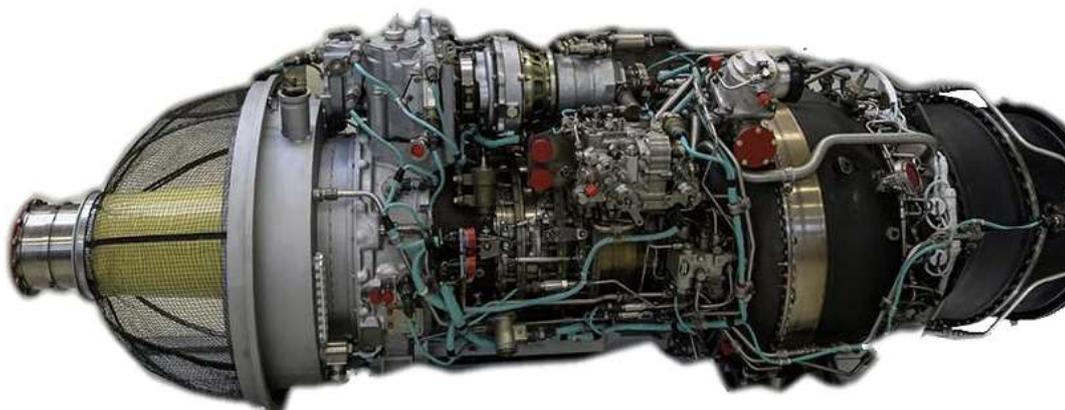


Рисунок 1. Электрический авиадвигатель

### Авиационные электродвигатели переменного тока

Эти двигатели конструктивно проще двигателей постоянного тока, более надежны в работе, но обладают несколько худшими пусковыми и регулировочными характеристиками.

В авиационных электроприводах наибольшее распространение получили трехфазные и двухфазные асинхронные электродвигатели переменного тока. Гистерезисные и шаговые, или импульсные, двигатели имеют ограниченное применение в следящих системах, индикаторных и коммутационных устройствах.

**Трёхфазные асинхронные двигатели.** Магнитная система двигателя состоит из неподвижного статора и ротора. В пазах статора смонтирована трёхфазная обмотка. При подключении ее к источнику трёхфазного переменного тока возникает вращающееся магнитное поле  $\Phi$ , частота которого пропорциональна частоте  $f$  тока и количеству пар полюсов  $2p$ . Ротор представляет собой «беличью клетку».

**Двухфазные асинхронные двигатели.** Конструкция этих двигателей представляет собой асинхронную электрическую машину с короткозамкнутым (полым) ротором и двумя обмотками возбуждения. Сетевая и управляющая обмотки размещены под углом  $90^\circ$  друг к другу. Чтобы напряжения в этих обмотках были бы сдвинутыми на  $90^\circ$ , последовательно с обмоткой включен конденсатор. При таком пространственном положении обмоток и сдвиге фаз напряжений образуется вращающееся магнитное поле, частота которого пропорциональна частоте тока питания двигателя.

### Перспективы в будущем

Осенью 2020 в России запланированы лётные испытания гибридного авиационного двигателя. Агрегат будет установлен на летающую лабораторию, которая создаётся на базе пассажирского самолёта Як-40. Предполагается, что гибридный двигатель позволит значительно уменьшить расход топлива и снизить стоимость перевозок. Мощность изделия составляет 500 кВт, но учёные планируют увеличить этот показатель.



Рисунок 2. Як 40

Мощность электрического двигателя, который будет крутить воздушный винт, составляет 500 кВт. Для его питания использованы генераторы (400 кВт) и аккумуляторы (100 кВт).

Современные газотурбинные двигатели отличаются большой «прожорливостью» во время взлёта, набора высоты и посадки. В экономичном режиме проходит только крейсерский полёт. Специалисты ЦИАМ (Центрального института авиационного моторостроения имени П.И. Баранова) предлагают накапливать электроэнергию в период максимальной работы керосинового двигателя, а потом использовать её в режиме крейсерского полёта. Особенность двигателя, который разрабатывает ЦИАМ, заключается в

применении в качестве обмоток высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) второго поколения. Это первый в России производитель электроэнергии авиационного назначения мощностью более 150 кВт. КПД агрегата достигает 96%. «КПД электрических двигателей на ВТСП составляет 98%. При мощностях более 500—1000 кВт удельная масса подобных электрических машин будет существенно ниже, чем у традиционных», — уточняется в материалах ЦИАМ. Выигрыш от гибридизации может оказаться большим из-за продолжительного крейсерского полёта.

На сегодняшний день важным вопросом является уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и экономичности установок, что привлекает внимание к использованию гибридных силовых установок в летательных аппаратах.



Рисунок 3. ЛА Siemens Extra 330LE

По словам экспертов, «на текущем этапе появление электродвигателей способно стать стимулом для развития малой авиации, а в перспективе технологии электродвижения будут применяться на узко-фюзеляжных самолётах». Перспективы электроавиации зависят от научно-технических разработок в области электротехники. Вспомогательные электромоторы на планеры ставили еще несколько десятилетий назад. Самолет Extra 330LE (рисунок 3), впервые поднялся в воздух в 2016 году, и ставит рекорды скорости. Его блок из 14 мощных литий-ионных батарей и электродвигатель от Siemens позволяют этому крохе брать на борт лишь двух человек, включая пилота, и находиться в воздухе не дольше 20 минут. Намного выигрышней выглядит ситуация с топливными элементами, в которых химическая энергия топлива превращается в электрическую непосредственно, минуя процесс горения. Наиболее перспективным топливом для такого источника питания считается водород. Эксперименты с топливными элементами в качестве источника питания для электросамолета ведутся в разных странах мира. Из летавших и пилотируемых концептов можно вспомнить европейский демонстратор ENFICA-FC Rapid 200FC — в нем использовались одновременно как

электробатарей, так и топливные элементы. Эта технология нуждается еще в значительной доработке и дополнительных исследованиях.



Рисунок 4. Двухместный электрический самолет E-Fan

Переход на электродвигатели, и на гибридные схемы в авиации открывает много перспектив. Celineg- концепт полностью электрического самолета, разработанный немецким исследовательским институтом Bauhaus Luftfahrt. Авторы полагают, что прогресс в области создания электробатарей позволит концепту пролетать до 1300 км на одной зарядке уже к 2030 году, а к 2040-му— до 3000 км. С помощью генератора ГТД сможет вырабатывать энергию для непосредственного питания электродвигателей, а также для создания запаса заряда в аккумуляторах. Помощь аккумуляторов особенно необходима на взлете. В отличие от авиадвигателя ГТД, гибридный электро-самолет более надежным, экологичным, проще по конструкции, дешевле и, будет обладать большим ресурсом. Сегодня классическая схема компоновки лайнера предполагает две точки приложения тяги, то есть два или четыре, мощных двигателя, висящих на пилонках под крылом. В электро-самолетах рассматривается схема размещения большого числа электродвигателей вдоль крыла, а также на его концах. На взлете, при малой скорости набегающего потока летательному аппарату, для создания подъемной силы необходимо крыло большой площади. На крейсерской скорости широкое крыло мешает, создавая избыточную подъемную силу. Проблема решается за счет сложной механизации— выдвигаемых закрылков и предкрылков. Самолеты меньшего размера, взлетающие с небольших аэродромов и имеющие для этого большие крылья, вынуждены идти на крейсерском участке с неоптимальным углом атаки, что приводит к дополнительному расходу топлива. Если на взлете множество электромоторов, соединенных с винтами, будут дополнительно

обдуть крыло, его размер можно уменьшить. Самолет взлетит с коротким разбегом, а на крейсерском участке узкое крыло не создаст проблем. Машину будут тянуть вперед винты, вращаемые маршевыми электродвигателями, а пропеллеры вдоль крыла на этом этапе будут сложены или убраны до посадки.

Перспективой является создание «интеллектуальные лайнеров» самостоятельно прокладывающих маршруты исходя из параметров экологичности и топливной эффективности на основе анализа данных о погоде и состоянии атмосферы.



Рисунок 5. SUGAR Volt «subsonic ultra-green aircraft research» – «исследование по созданию дозвукового весьма экологичного самолёта»

Новые силовые установки и аэродинамика лайнеров позволят им взлетать по максимально возможной крутой траектории, чтобы уменьшить шум в районе аэропортов. Самолеты будущего смогут заходить на посадку в планирующем режиме, что сэкономит топливо, снизит посадочную скорость и позволит сократить длину взлетно-посадочных полос. Для руления лайнеры планируются оснастить электрическими мотор-колесами.

#### Литература

1. [Электронный ресурс] URL: <https://naukatehnika.com/era-elektrosamoletov-elektrodvagatelej.html>
2. [Электронный ресурс] URL: <https://russian.rt.com/russia/article/663740-aviatsiya-gibrid-elektrodivigatel-ciam-maks>

УДК 621.3

## НЕКОТОРЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Фирсов Э. А.

Научный руководитель – ст. преп. Колосова И. В.

Электромагнитные экраны предназначены для локализации в некотором объеме пространства полей, создаваемых излучателями электромагнитной энергии, для ослабления или исключения воздействия излучателей на другое электрооборудование. В зависимости от назначения, различают экраны с внутренним возбуждением электромагнитного поля, в которых помещается источник помех, и экраны внешнего электромагнитного поля, во внутренней полости которых помещаются чувствительные к этим полям устройства. В первом случае экран предназначен для локализации поля в некотором объеме, во втором – для защиты от воздействия внешних помех.

Экранирование как техническое мероприятие призвано обеспечить надежность работы электрического устройства (ЭУ): подавить до требуемого уровня влияние непреднамеренных излучений электромагнитной энергии, препятствующих эффективному функционированию элементов ЭУ.

Определение назначения экрана в каждом отдельном случае производится с учетом характера источника помех и чувствительных к ним элементов, их размеров, пространственного размещения, вида подводимых коммуникаций и допустимой величины воздействия экрана на экранируемые элементы.

Для оценки функциональных качеств экрана могут быть использованы различные характеристики. Наиболее обобщенной является эффективность экранирования (ЭЭ) [1], которая определяется по формуле (1), и под которой понимают отношение напряжений ( $U$ ), токов ( $I$ ), напряженностей электрического ( $E$ ) и магнитного ( $H$ ) полей в данной точке при отсутствии (без штриха) и наличии (со штрихом) экрана

$$\mathcal{E} = \frac{U}{U'} = \frac{I}{I'} = \frac{E}{E'} = \frac{H}{H'}. \quad (1)$$

Длительное время в технике электромагнитного экранирования применялись лишь так называемые «традиционные» материалы – металлические листы. Это объясняется главным образом тем, что их высокая проводимость обеспечивает быстрое затухание электромагнитной энергии в толще металла, а большая разница между поверхностным сопротивлением металла и полным сопротивлением падающей волны приводит к значительным отражениям радиоволн от поверхности экрана. В результате металлический лист незначительной толщины обладает высокой ЭЭ. Однако практика экранирования показывает, что чрезвычайно большие эффективности самого металла фактически реализуются лишь на 10...20 %, поскольку основным фактором здесь является качество конструкции. Поэтому во многих случаях

оказывается возможным заменить металлический экран экраном из другого материала, собственная способность которого к экранированию электромагнитных полей может и не быть очень высокой, но решающего задачи обеспечения мобильности конструкции, упрощения ее сборки и т. д., которые позволяют обеспечить требуемую эффективность.

Для экранирования в настоящее время используются металлические листы, сеточные материалы, фольговые материалы, токопроводящие краски, металлизация поверхностей, стекла с токопроводящим покрытием, специальные ткани, радиопоглощающие материалы, проводящие пластмассы, электропроводный клей.

Паразитная наводка — это передача напряжения из одного изделия или его части в другое, не предусмотренная его схемой и конструкцией. Такая наводка возникает вследствие паразитной связи между ними, связи по электрическим цепям, появляющимся в устройстве независимо от желания конструктора. Между двумя электрическими цепями, находящимися на некотором расстоянии друг от друга, могут возникать электромагнитные связи через: электрическое поле; магнитное поле; электромагнитное поле; провода и волноводы, соединяющие эти цепи. Подавление паразитных наводок сводится к устранению или ослаблению до допустимых величин паразитных связей между источниками и приемниками наводок. При недостаточности всех этих мер приходится прибегать к экранированию.

Итак, в первом случае (рисунок 1) пусть имеются точки А и В, относящиеся к источнику (с ЭДС, равной  $E_{ист}$ ) и приемнику наводки соответственно. Точка В связана с корпусом только емкостью  $C_B$ .

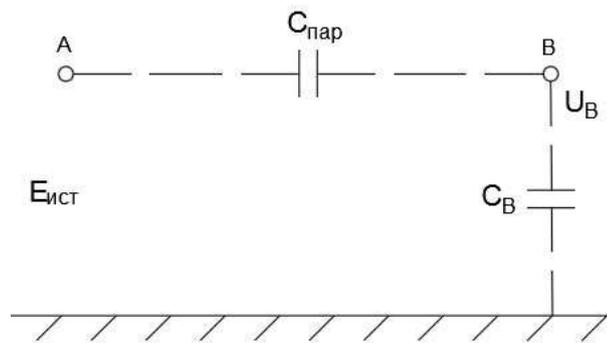


Рисунок 1 – Случай без применения экрана

Для последовательного соединения емкостей имеем

$$C \cdot E_{ист} = C_B \cdot U_B, \quad (2)$$

где  $C$  – полная ёмкость, равная

$$C = \left( \frac{1}{C_{пар}} + \frac{1}{C_B} \right)^{-1} = \frac{C_B \cdot C_{пар}}{C_B + C_{пар}}, \quad (3)$$

где  $C_{пар}$  – паразитная ёмкость.

Тогда напряжение, наведенное на приемник без экрана, находится по следующей формуле

$$U_B = \frac{C_{\text{пар}}}{C_B + C_{\text{пар}}} \cdot E_{\text{ист}}. \quad (4)$$

Во втором случае (рисунок 2) имеется экранирующий лист (Э), который разделяет ёмкость  $C_{\text{пар}}$  на две последовательно соединенные ёмкости  $C_1$  и  $C_2$ , к которым присоединена параллельно небольшая остаточная ёмкость  $C'_{\text{пар}}$ . Для получения напряжения  $U_B$  можно, пренебрегая ёмкостью  $C'_{\text{пар}}$ , считать, что напряжение в точке В определяется напряжением на экране  $U_{\text{Э}}$ , который в этом случае заменяет точку А на рисунке 1. Тогда напряжение  $U_B$  для рисунка 2 равняется

$$U_B = U_{\text{Э}} \cdot \frac{C_2}{C_B + C_2}. \quad (5)$$

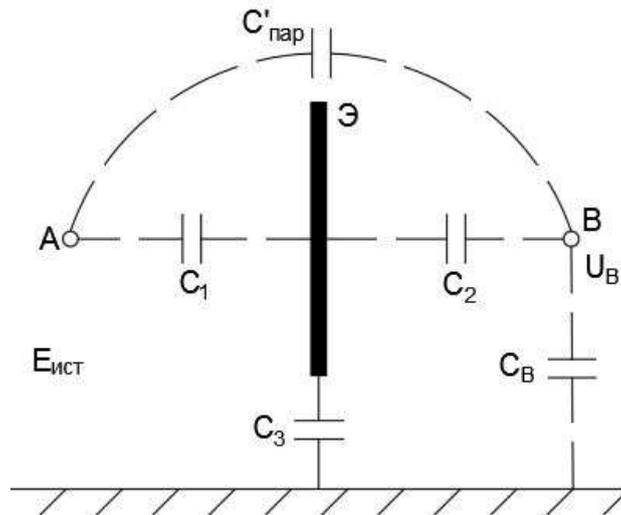


Рисунок 2 – Случай с применением экрана

Напряжение на экране, с учетом тех же соображений и емкости  $C_3$  между экраном и корпусом, будет равно

$$U_{\text{Э}} = E_{\text{ист}} \cdot \frac{C_1}{C_3 + C_1}. \quad (6)$$

В итоге напряжение в точке В после установки экрана вычисляется как

$$U_B = E_{\text{ист}} \cdot \frac{C_1 \cdot C_2}{(C_3 + C_1) \cdot (C_B + C_2)}. \quad (7)$$

Это напряжение после установки экрана может оказаться как выше, так и ниже, чем до его установки. Рассмотрим эти возможные случаи, почему так происходит:

1. если экран установлен так, что его ёмкость относительно точки А велика, а относительно корпуса мала, т. е. если  $C_1$  значительно больше  $C_3$ , то напряжение на экране будет примерно равно напряжению в точке А. В результате, так как ёмкость  $C_2$  всегда больше  $C_{пар}$ , напряжение  $U_B$  после установки экрана будет выше, чем до установки, и экран оказывается не полезным, а вредным;

2. если экран установлен так, что ёмкость  $C_3$  велика, то напряжение при наличии экрана будет меньше, чем без него.

Таким образом с увеличением  $C_3$  экранирование становится более эффективным.

Теоретически, без учёта ёмкости  $C'_{пар}$ , сделав короткое замыкание между экраном и корпусом (рисунок 3) ёмкость  $C_3$  увеличится до  $\infty$ , следовательно,  $U_B$  станет равным нулю, что даёт идеальный экранирующий эффект. В действительности  $U_B$  не будет строго равно нулю, однако его значение будет невелико.

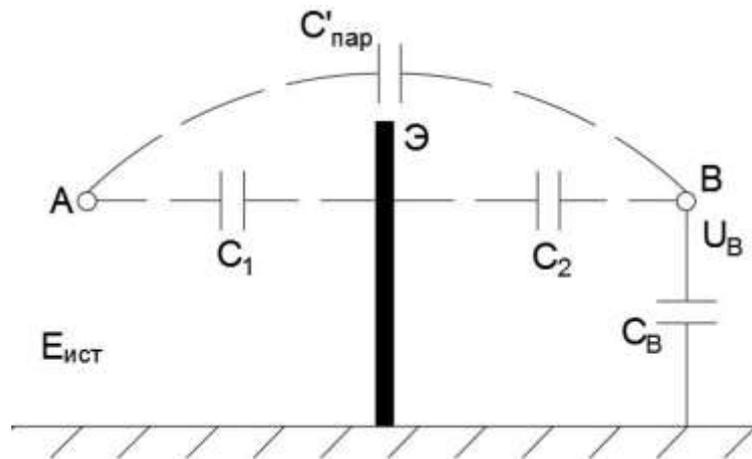


Рисунок 3 – Иллюстрация соединения экрана с корпусом прибора

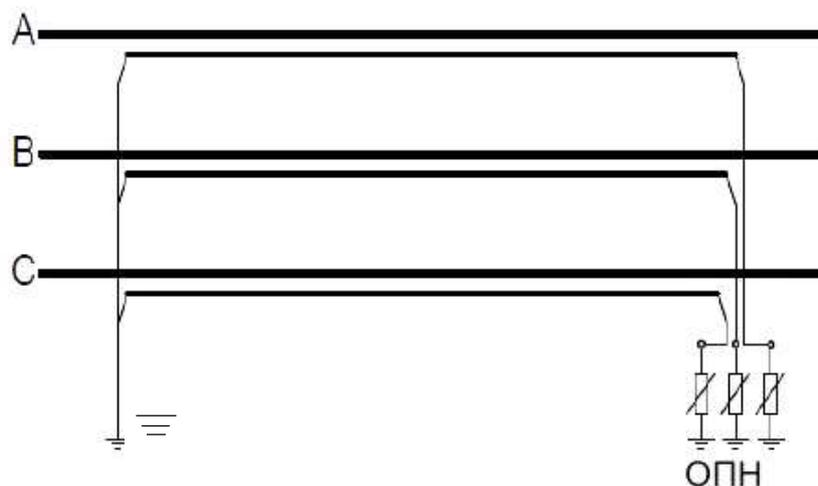
Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (КСПЭ) в своей конструкции имеют металлический экран. Одной из основных его функций является выравнивание электрического поля внутри кабеля, вызывающего старение полимерной фазной изоляции [2]. Однако выравнивание поля возможно только при заземлении экрана.

Основные способы заземления экранов [3]:

а) заземление с одного конца КСПЭ (одностороннее заземление) – рисунок 4;

б) заземление с двух концов КСПЭ (двустороннее заземление) – рисунок 5;

в) заземление с двух концов КСПЭ с использованием полного цикла транспозиции – рисунок 6. Транспозиция экранов кабельной линии, проложенной в грунте, выполняется в коробках транспозиции, размещаемых в колодцах транспозиции.



ОПН – ограничитель перенапряжения  
Рисунок 4 – Одностороннее заземление

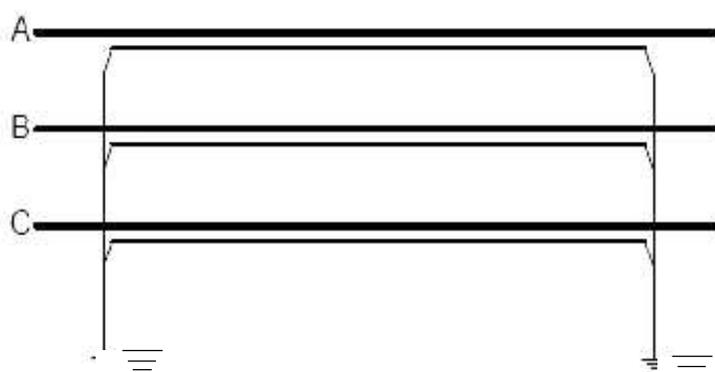


Рисунок 5 – Двустороннее заземление

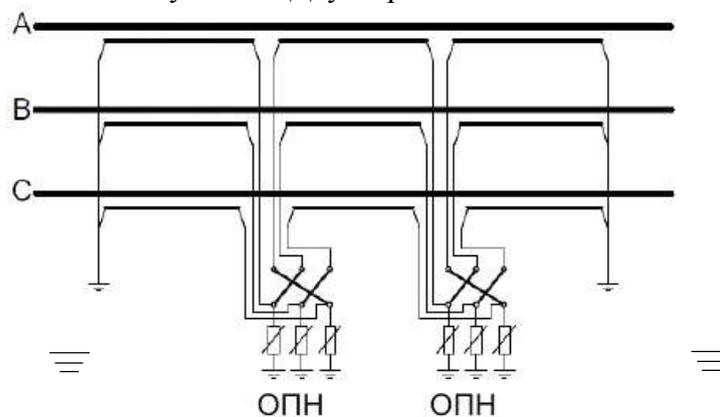


Рисунок 6 – Заземления экранов с полным циклом транспозиции

При одностороннем заземлении экрана отсутствуют продольные токи (так как «экран электрически разорван»). Незначительные потери в экране обусловлены только вихревыми токами, которые на тепловой режим эксплуатации КСПЭ не влияют.

В зависимости от конструкции КСПЭ бывают однофазными или трехфазными. Особенность однофазного кабеля, имеющего заземленный медный экран – отсутствие за его пределами электрического поля, но наличие магнитного. Магнитные поля трех однофазных кабелей, входящих в трехфазную группу, в нормальном режиме дают наводки на контуры, образованные тремя экранами. При двустороннем заземлении экранов эти

контуры получаются замкнутыми, и наведенное напряжение вызывает появление в экранах кабеля продольных токов промышленной частоты, приводящих к нагреву экранов одновременно по всей длине линии, повышающих температуру изоляции и снижающих допустимый ток кабеля. Для минимизации токов и потерь в экранах следует [4]:

- прокладывать кабели сомкнутым треугольником (снижается площадь контуров и поэтому уменьшается наводка);
- применять кабели с малым сечением экрана (растет сопротивление контуров, что обуславливает снижение их тока и потерь).

Как видно из вышесказанного, величина сечения экрана принципиальна в вопросах потерь активной мощности в кабеле в нормальном режиме, а значит – напрямую определяет эффективность однофазных кабелей в электрических сетях. Кабели с малым сечением экрана используются редко, т. к. необходимо избегать перегрева экрана током короткого замыкания, который в случае повреждения главной изоляции кабеля попадает в экран и проходит по нему до мест заземления (рисунок 7).

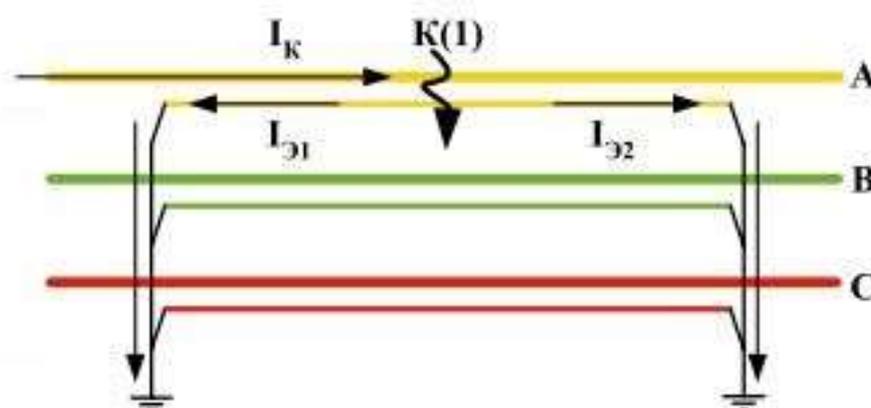


Рисунок 7 – Токи в заземленных по концам экранах однофазных кабелей при однофазном повреждении К(1)

Существуют разные конструкции трехфазных кабелей. В настоящее время чаще встречаются кабели с пофазно экранированными жилами, также у них может быть общий экран или броня.

Применение КСПЭ 6 – 500 кВ является обоснованным с точки зрения высоких эксплуатационных характеристик (возможность работать при повышенных температурах, отсутствие ограничения на перепад высот по трассе кабельной линии и др.) и, в сравнении с кабелями с бумажной пропитанной изоляцией, меньшей пожарной опасности (поскольку применяются кабели, не распространяющие горение), обеспечивающих высокий уровень надёжности для потребителей [5].

#### Литература

1. Винников В. В. Основы проектирования РЭС. Электромагнитная совместимость и конструирование экранов: Учеб. Пособие – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2006. – 164 с.
2. Алехнович, Д. С., Угаров, М. С. Выбор экранов кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена / Д. С. Алехнович, М. С. Угаров // Актуальные проблемы энергетики – 2016:

материалы научно – технической конференции студентов и аспирантов, Минск / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск : БНТУ, 2017. – С. 190 – 194.

3. ТКП 611 - 2017 (33240). Силовые кабельные линии напряжением 6 - 110 кВ. Нормы проектирования по прокладке кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена пероксидной сшивки. - Минск: "Информационно-издательский центр" ОАО "Экономэнергo", 2017. - 160 с.

4. Дмитриев, М. В. Однофазные и трёхфазные кабели 6-35 кВ: различия при выборе сечения экранов и схемы их заземления / М. В. Дмитриев // Энергоэксперт. – 2017. – №1. – С. 49 – 53.

5. Дмитриев, М. В. Особенности применения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена / М. В. Дмитриев // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2015. – №3 (30). – С. 62 – 67.

УДК 621.32

## ТРЕБОВАНИЯ К АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННОМУ ОСВЕЩЕНИЮ

Сурович П.В.

Научный руководитель – м.т.н., ст. преп. Калечиц В.Н.

Архитектурное освещение — это освещение фасадов зданий, памятников, монументов и других архитектурных сооружений. Как правило, светодиодное архитектурное освещение носит декоративный характер и служит для того, чтобы выделить здания и сооружения в общем городском облике в темное время суток.

При организации архитектурного освещения зданий и других объектов необходимо решить следующие задачи:

- обеспечить бесперебойную работу световых приборов в течение длительного срока;
- минимизировать затраты на монтаж и содержание световых приборов;
- сократить объем потребляемой электроэнергии;
- исключить нарушение архитектурного облика зданий;
- соблюсти все требуемые нормы по организации уличного освещения в соответствии с СП 52.13330.2011 и ГОСТ Р 55706 -2013 [8].

Максимально эффективно решить эти задачи позволяют светодиодные светильники для архитектурного освещения. Они обладают следующими преимуществами [1]:

- светильники должны быть оборудованы оптическими системами для точечного или заливающего освещения;
- высокий уровень влаго- и пыленепроницаемости (степень защиты IP67);
- низкое энергопотребление по сравнению с традиционными источниками;
- экономия денежных средств на эксплуатационных расходах;
- долгий срок службы светильников (> 50 000 ч);
- работа в широком диапазоне температур: -60 °с до +60 °с;
- мгновенное зажигание в случае кратковременного прекращения подачи напряжения;
- высокая устойчивость к механическим воздействиям и вибрации;
- они безопасны и экологичны, излучение светодиода не содержит ультрафиолетовых лучей. при утилизации приборы не представляют никакой опасности для окружающей среды и человека в отличие от газоразрядных ламп.

Примерами таких серии светильников являются «AtomSvet® Color», «Луч», «Люмен». Они предназначены для архитектурной подсветки фасадов зданий, сооружений, садовых и парковых территорий. Возможность освещать объекты как заранее заданным цветом, так и воспроизводить предварительно запрограммированные цветодинамические сцены [1].



Люминесцентные лампы – источники света газоразрядного типа, состоящие из стеклянной трубки и электродов. Полость внутри трубки заполнена инертным газом и парами металлов, в частности ртути. Мощность существующих разновидностей таких ламп варьируется в диапазоне от 4 до 50000 Вт [2].

Светодиоды – источники света с регулируемыми показателями мощности и яркости. Представляют собой герметичную капсулу с запаянным электродом. Ввиду небольших размеров для наружного освещения применяются светодиодные комплексы. Чаще всего светильники данного типа монтируются в витрины торговых павильонов. В зависимости от типа светодиода и величины тока позволяют создать подсветку различного цвета и интенсивности [2].

Предотвращение светового загрязнения. Понятие «световое загрязнение» характеризует чрезмерное количество света, которое может негативно сказаться на здоровье человека [6].

Уличные осветительные приборы, которые дают чрезмерное количество света большой мощности, могут раздражать психику, возбуждать нервную систему и даже заслепляют людей, если они размещены на уровне глаз.

Основные принципы, которые необходимо учитывать при продумывании системы наружного освещения, заключаются в следующем [6]:

1. использовать свет только на той территории, где он действительно необходим;
2. использовать свет только в то время, когда в нем есть потребность;
3. ориентировать световой поток в нужном направлении;
4. снижать интенсивность источников света;
5. использовать светильники с теплой цветовой температурой.

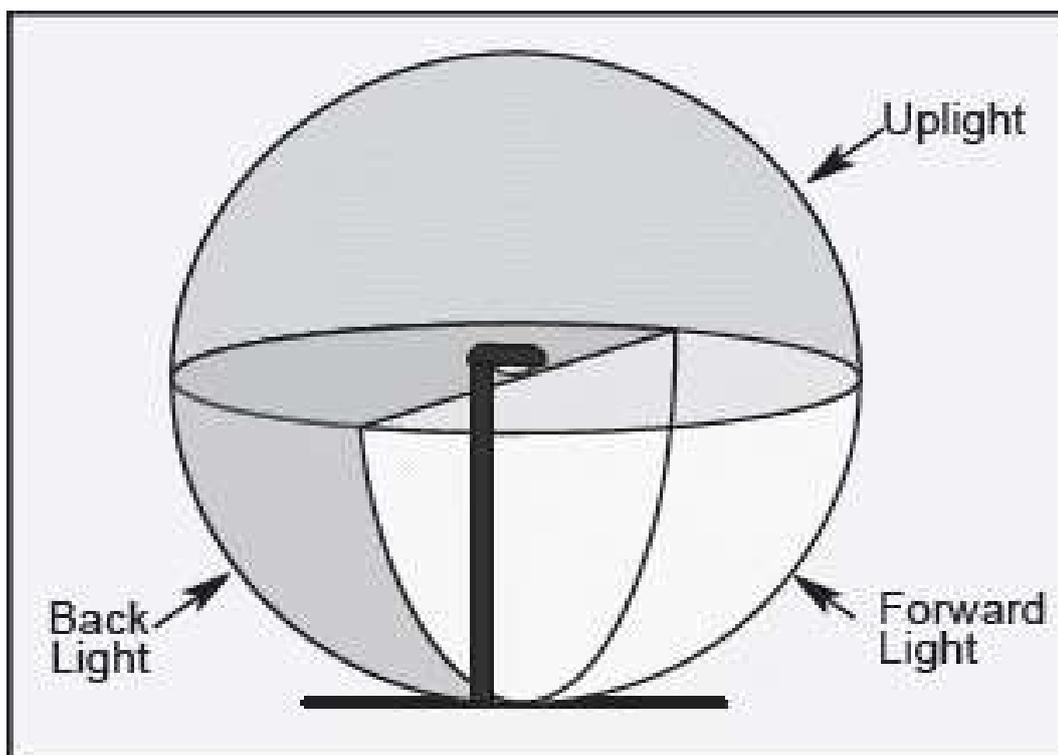


Рисунок 2 – Распространение света



Рисунок 3 – Наружное освещение

При расстановке осветительных приборов рекомендуется следить за распространением света за пределами этих границ. Для этого можно обращать на показатель Backlight, используемый в рейтинговой системе BUG (рисунок 2). Чем ниже значение этого показателя, тем меньше световой поток распространяется в указанном направлении.

В выборе наружных светильников стоит обратить внимание на саму его форму и распределение кривой силы света (данная информация обычно предоставляется производителем).

Стоит исключить применение светильников с распространением света выше горизонтали и отдавать предпочтение тем светильникам, которые имеют ограничение распространения света в верхнюю полусферу.

Светильники с отражающими элементами могут обеспечить тот же уровень освещенности, что и без отражателей, но с меньшими затратами энергии.

Упомянутый ранее рейтинг BUG также позволит выбрать более эффективный светильник, но в этот раз необходимо ориентироваться на показатель Uplight, который учитывает количество света, распространяющегося выше линии горизонта. Наглядно влияние света, распространяющегося выше горизонта, можно заметить на рисунке 3[6].

На верхней части рисунка 3 установлены светильники без ограничения распространения света. Весь испускаемый ими световой поток, направленный в небо, отражается обратно. На среднем изображении установлены светильники лучшей конструкции, и уже можно различить более яркие звезды. Но их суммарный световой поток достаточно большой. Самый благоприятный

вариант приведен на нижней части рисунка 3. Он обеспечивает необходимый уровень освещенности, не создает дополнительного светового загрязнения.

Таким образом, архитектурное освещение формирует пространство в ночное время, т.е. свет не просто выявляет архитектуру, он позволяет заново открыть ее форму и стиль. Но существуют и ограничения для освещения: важно расположить световой прибор на нужном удалении от стены для правильного распределения светового потока, нужно избегать неоправданных затрат на монтажные работы и последующую эксплуатацию. А также учитывать такие характеристики оборудования, как долгий срок службы (50000-100000 ч), устойчивость к механическим воздействиям, широкий температурный диапазон, работа в нестабильных электросетях при изменении напряжения, экологичность.

### Литература

1. © 2010-2019 ООО «АтомСвет Энергосервис» – проектирование и производство светодиодных светильников. Архитектурное освещение. Режим доступа: <http://www.atomsvet.ru/production/architect/> (1.11.2019).
2. Архитектурное освещение: виды и назначение, статья, 2001–2019 Световое оборудование. Режим доступа: <https://svetpro.ru/uchebnik-svetotexniki/arxitekturnoe-landshaftnoe-i-ulichnoe-osveshhenie/arxitekturnoe-osveshhenie-vidyi-i-naznachenie.html> (26.10.2019).
3. **Архитектурная подсветка фасадов зданий "под ключ"**. Светотехническая компания ООО «Лучший Свет» - Режим доступа: <http://lsvet.by/> (10.11.2019).
4. Гутуров М.М. Основы светотехники и источники света. М.: Энергоатомиздат, 1983, 384с.
5. Освещение фасадов зданий архитектурная подсветка. Рубрика: Освещение. Режим доступа: <https://contur-sb.com/osveschenie-fasadov-zdaniy-arhitekturnaya-podsvetka/>(20.10.2019).
6. Световое загрязнение. Нежелательный свет. Режим доступа: <https://5watt.ua/blog/stati/kak-borotsya-s-nezhelatelnym-svetom/>(24.10.2018).
7. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*, введен в действие с 8 мая 2017 г. Пересмотр СП 52.13330.2011 "СНиП 23-05-95\* Естественное и искусственное освещение" Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054197>(20.10.2019).
8. ТКП 45-2.04-153-2009 Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования. Разработан научно-проектно-производственным республиканским унитарным предприятием «Стройтехнорм» (РУП «Стройтехнорм»), техническим комитетом по стандартизации в области архитектуры и строительства «Проектирование зданий и сооружений» (ТКС 04). Утвержден и введен в действие приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 14 октября 2009 г. № 338. - Режим доступа: [https://evn.by/zakonodatelstvo/rabochaya\\_zona/tkp-45-2-04-153-2009-estestvennoe-i-iskusstvennoe-osveshhenie-stroitelnye-normy-proektirovaniya/](https://evn.by/zakonodatelstvo/rabochaya_zona/tkp-45-2-04-153-2009-estestvennoe-i-iskusstvennoe-osveshhenie-stroitelnye-normy-proektirovaniya/)(28.10.2019).

УДК 621.3

## ЭНКОДЕРЫ

Лушинский Д.В.

Научный руководитель — к.т.н., доцент Константинова С.В.

Энкодер (датчик угловых или линейных перемещений, преобразователь "угол-код") представляет собой устройство для преобразования угловых или линейных перемещений в аналоговый или цифровой сигнал. Такой датчик формирует и сообщает устройству управления код точного положения вала за единицу времени.

Энкодерные датчики имеют богатую и разнообразную историю создания, имеется множество типов конструкторских решений, разработаны сложные алгоритмы коррекции ошибок.

Первые энкодеры появились в начале 1960 годов. "Dome" или DOM (Digital Optical Measuring instrument- Цифровой Оптический Измерительный инструмент) является одной из первых. Имеется много названий данного типа изделий: фото-импульсный датчик (ФИД), датчик угловых перемещений, преобразователь фотоэлектрический, преобразователь вращения, преобразователь перемещения, датчик угла поворота (ДУП) и пр. В настоящее время появилось еще одно общее название данного класса приборов - энкодер ("Encoder" - преобразовывать, перекодировать,).

Внешний корпус энкодеров выполняется обычно из алюминиевого сплава, силумина, или пластика. Изделие требует полной герметичности конструкции. Поэтому корпус сажают на специальные уплотнительные кольца из резины или каучука, что придает хорошую герметичность энкодеру, защищает внутренние элементы от проникновения влаги, пыли, иных мелкодисперсных частиц.



Рисунок 1. Устройство энкодера

Внутри корпуса оптического энкодера находится электроника, ИК-излучатель и ИК-приемник (датчик), между которыми вращается идеально отцентрированный диск со специально-нанесенными метками. В конструкции высококачественных энкодеров используются прецизионные подшипники, в некоторых моделях энкодеров используются по два подшипника на вал (Рисунок 1).

Энкодеры делятся, по типу выдаваемых данных, на две группы: абсолютные и инкрементальные.

Абсолютные энкодеры — датчики положения, подсчитывающие число уникальных цифровых кодов за единицу вращения диска, применяются для измерения скорости и положения вала электропривода. Задача абсолютного энкодера - счет последовательности кодов за цикл вращения диска энкодера.

Весь диск абсолютного энкодера (Рисунок 2) разделен на определенное количество секторов, которым присвоены определенные значения. При вращении вала, датчик считывает данные сектора, формируя определенный индивидуальный (абсолютный код), этот код формируют индивидуальные последовательности меток, нанесенные на диске энкодера. Считывание сигналов происходит при помощи фотоэлемента (приемной матрицы). На основании чего можно определить, на какой угол относительно нулевого сектора повернут диск энкодера в каждый конкретный момент. Достигнув максимального значения, абсолютный энкодер, переходит снова в значение "ноль", и, процесс расчета углового положения, повторяется заново.

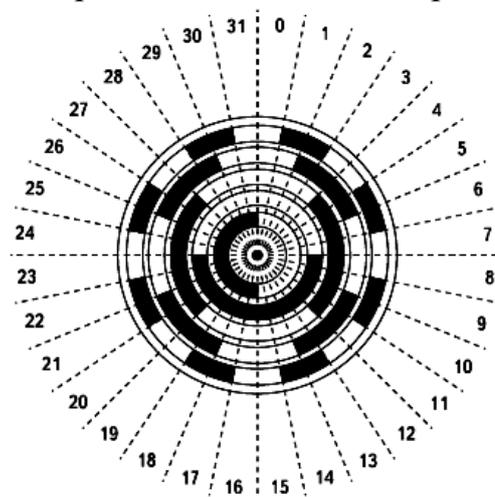


Рисунок. 2. Диск абсолютного энкодера

За единицу вращения диска (цикл) абсолютного энкодера может быть взято любое количество оборотов, в зависимости от типа и модели энкодера. Соответственно, датчики измерения положений бывают однооборотными и многооборотными.

Инкрементальные энкодеры — устройства подсчета количества импульсов от точки отсчета на единицу оборота вращения вала. Они генерируют последовательный импульсный цифровой код, содержащий информацию относительно угла поворота вала. Задача инкрементального энкодера— считать единичные импульсы за цикл, равный одному обороту диска.

Импульсы в инкрементальном энкодере формируются при помощи вращения диска с метками. Отсчет одного оборота определяется стартовыми метками на вращающемся диске инкрементного энкодера, которые определяются импульсным энкодером сразу после включения в режим работы (рисунок. 3).

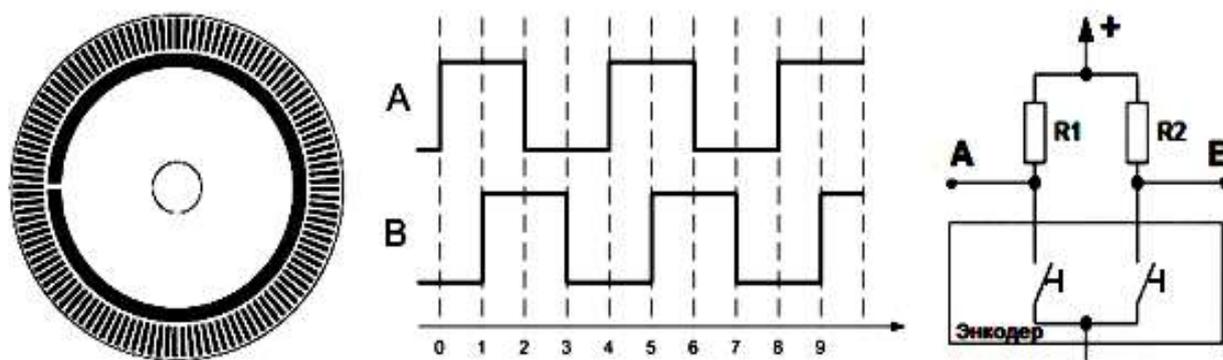


Рисунок 3. Диск, импульсы и схема инкрементального энкодера

При отсутствии вращения, у инкрементального энкодера на выходе формируется логическая единица. В начале вращения инкрементального энкодера формируется - ноль. При вращении энкодера, на выходах опять образуется логическая единица. Цикл повторяется. В энкодере данного типа формируется последовательность нулей и единиц. Подсчет полных циклов работы энкодера, осуществляется при помощи подсчета (сложения) количества сигналов, формируемых за счет вращения диска.

У инкрементального энкодера цифровые значения сигналов образуют всего четыре состояния: 1) Две единицы; 2) Ноль и единица; 3) Ноль и ноль; 4) Единица и ноль. В современных моделях микроконтроллеров инкрементальных энкодеров реализована функция расчета углового положения (поворота) вала энкодера с помощью таймера, считающего на аппаратном уровне (функция встроена в микросхему), на сколько сигналов и в какую сторону был повернут диск энкодера. Счетчик инкрементирует - подсчитывая, складывает числа, прибавляя данные, полученные при подсчете сигналов и значений таймера за один оборот диска. Современный оптический энкодер представлен на рисунке 4. В нем присутствуют источник света, вращающийся диск с рисками (метками), и приёмник— детектор светового сигнала.

Световые сигналы, генерируемые источником света, анализируются приемным световым элементом, подсчитываются и преобразовываются в последовательность электрических импульсов. Преобразование механического углового перемещения в электрические импульсы является основной задачей оптического энкодера.

Работа оптического энкодера основана на принципе оптического сканирования светового потока и преобразовании его в последовательность аналоговых или цифровых сигналов. Один из основных элементов энкодера вращающийся, хорошо отцентрированный диск, с расположенной на нём кодовой матрицей, состоящей из набора меток (рисок).

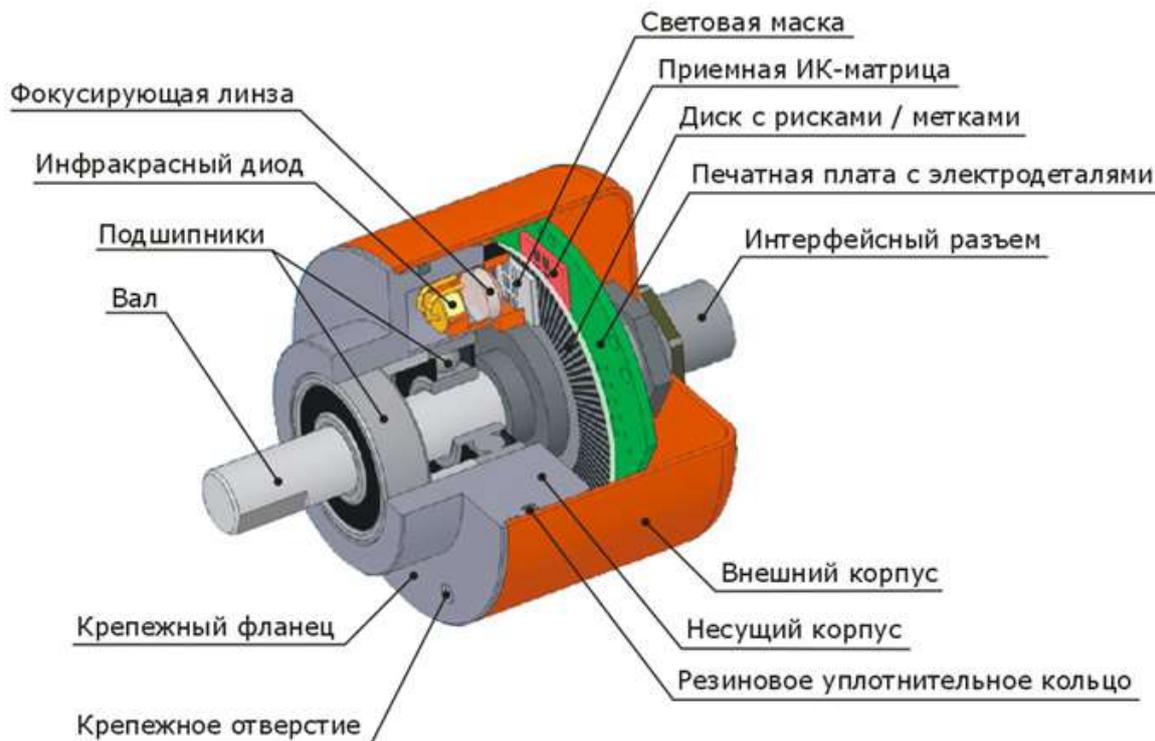


Рисунок 4. Устройство оптического энкодера

У инкрементальных энкодеров метки на диске расположены последовательно, у абсолютных энкодеров метки на диске формируют кодированные рисунки, которые делятся на сектора и образуют определенную последовательность, в которой зашифрован код. Диск энкодера (кодовый диск) установлен между ИК-светодиодом и приемным оптическим элементом (ИК-датчиком), ИК-светодиод и ИК-приемная матрица направлены друг-на-друга. Обычно используются светодиоды, работающие в инфракрасном диапазоне излучения (ИК-светодиоды). Чтобы принять световой сигнал, используются инфракрасные датчики (рисунок. 5).

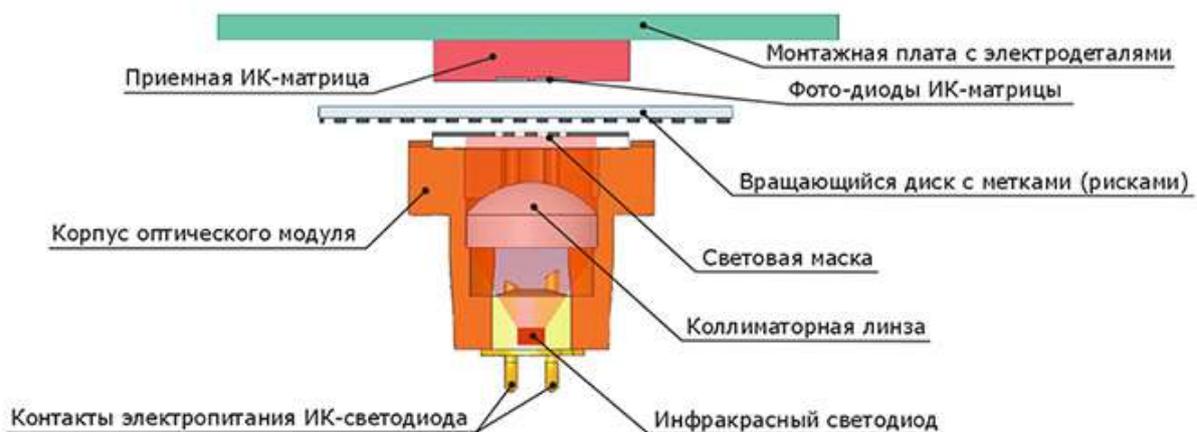


Рисунок 5. Схема считывания данных

Направленный световой поток, излучаемый световым элементом (ИК-светодиодом) через риски вращающегося диска, падает на специальную неподвижную матрицу ИК-детектора, попадает на приемный фотоэлемент (ИК-детектора), который создает сигнал, пропорциональный светосиле.

Вращение диска энкодера с нанесенной на него рисунком-матрицей в виде некоторого количества дорожек, состоящих из кодированной последовательности меток (рисок), приводит к циклическим прерываниям светового потока, ИК-датчик (ИК-сенсор) формирует последовательность сигналов.

Электрические сигналы, обрабатываются операционными усилителями для выдачи в виде N-Bit-ного бинарного сигнала.

Изменения интенсивности источника светового потока регистрируются с помощью дополнительного сенсора и компенсируются электронной схемой (рисунок. 6)

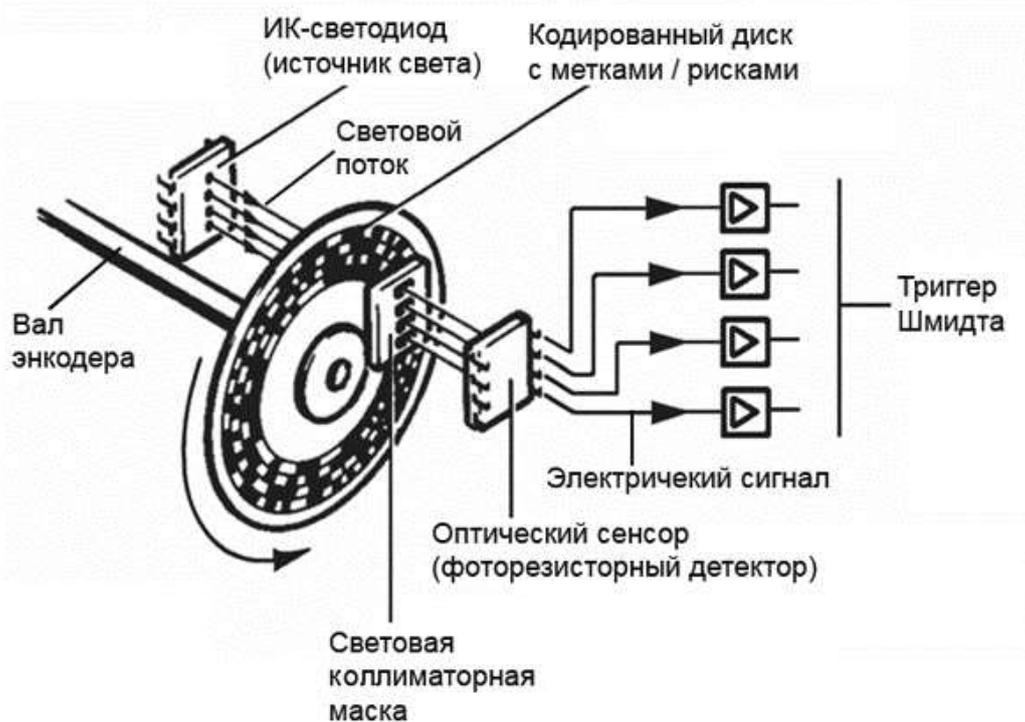


Рисунок. 6. Компенсирующая электронная схема

Абсолютные многооборотные энкодеры имеют дополнительный механический узел, который представляет редуктор с минимальным механическим сопротивлением, состоящий из некоторого количества шестерен с метками (рисунок. 7).

Шестерни вращаются с разной скоростью. Оптические датчики сканируют метки с данных шестерен. Вал энкодера может осуществить несколько оборотов, прежде чем, шестерня с метками осуществит полный оборот в данном узле.

Для некоторых моделей датчиков обратной связи применяются специальные корректирующие цепи устранения ошибок, чтобы свести к минимуму ошибки детектирования световых сигналов и их корректного учета

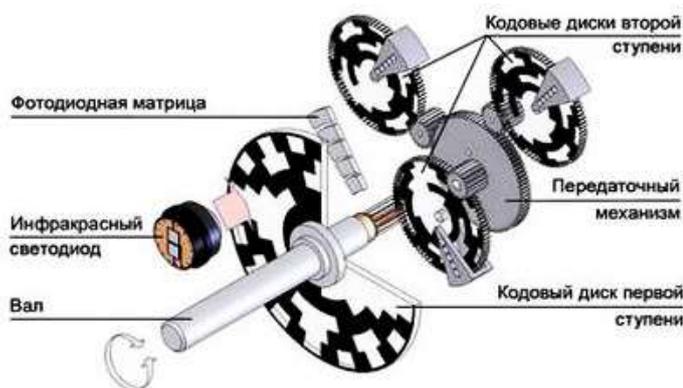


Рисунок. 7. Дополнительный механический узел

Полученные сигналы обрабатываются электроникой внутри энкодера и преобразовываются к виду выходного интерфейсного сигнала энкодера для обмена информацией с внешними устройствами. Выходными сигналами энкодера могут быть и аналоговые, и цифровые сигналы.

Оптические энкодеры широко распространены в промышленности, там, где необходимо контролировать движение или перемещение (станки, производственные линии, роботизированные механизмы).

В настоящее время наиболее востребованы оптические энкодеры с полым валом - они надежны в работе, их легче устанавливать, удобнее настраивать и обслуживать.

Основными направлениями применения энкодеров можно назвать

- Задачи, связанные с измерением угловых положений
- Позиционирование объектов, узлов, конструкций
- Детектирование позиции объектов, узлов, конструкций в пространстве
- Определение углов наклона или поворота объектов, узлов, конструкций
- Измерение вращательных движений

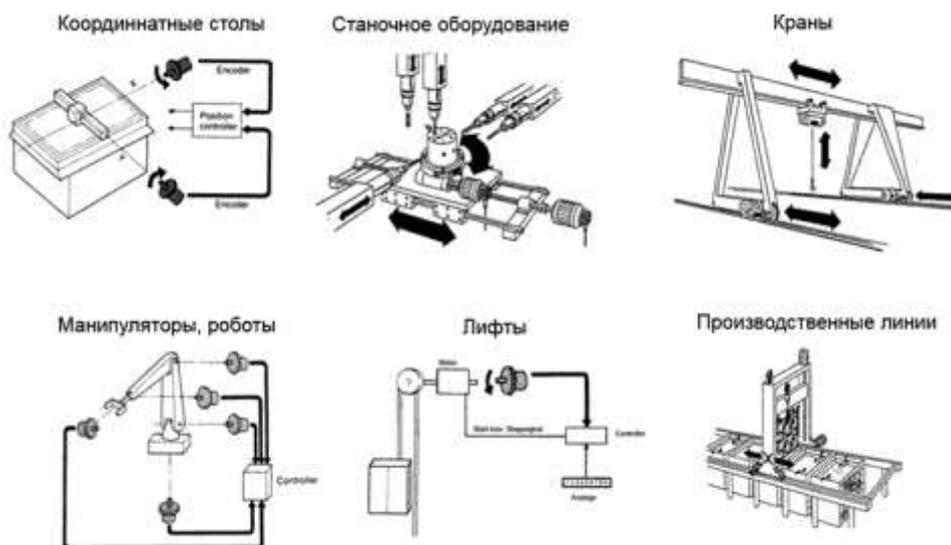


Рисунок 8. Варианты применения энкодеров

#### Литература

1. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1987.
2. Кацман М.М. «Электрические машины. Учебник», М., 2003 г.

УДК 629

## ХАРАКТЕРИСТИКИ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Рудик П.С., Пименов В.В.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Константинова С.В.

В начале XIX века итальянский ученый Алессандро Вольт, используя медные и свинцовые пластинки, получил непрерывное напряжение, называемое Вольтов столб. С этого момента начали появляться первые источники питания. Сегодня, АКБ (аккумуляторные батареи) заняли лидирующее место в системах портативного электроснабжения различных приборов или объектов промышленного и бытового назначения. В данной статье будут рассмотрены следующие характеристики аккумуляторов:

1. Ёмкость аккумулятора.
2. Напряжение батареи.
3. Ток заряда.
4. Допустимая глубина разряда.
5. Срок службы аккумулятора.
6. Саморазряд.

**Ёмкость аккумулятора** Величиной, отражающую энергию, которую может накопить батарея, измеряемая в Ампер-часах, называется ёмкостью. Например: ёмкость в 300Ач обозначает, что батарея способна снабжать потребителя током 3А продолжительностью в 100 часов, или током 6А - 50 часов. Важно принять во внимание, что на АКБ обычно указывают параметр «С» с числовым значением колеблющееся от 1 до 48 часов из соображения, что при росте потребляемого тока, ёмкость аккумулятора падает. Эта характеристика указывает на ёмкость батареи при разряде за определенное время. Маркер С10 считают стандартным, и большинство производителей указывает ёмкость при 10-ти часовом разряде. Например ёмкость 100Ач при С=10 (С10) показывает, что батарея обеспечит данную ёмкость при 10-ти часовом разряде, если взять батарею той же ёмкости с параметром С4, то её ёмкость упадёт и составит примерно 70Ач, а если промежуток времени составит 30 часов, то ёмкость увеличится и составит приблизительно 117Ач. Таким образом, при выборе ёмкости АКБ необходимо учитывать время, в течение которого будет происходить разряд.

**Напряжение батареи** позволяет дать понятие о степени заряженности и о состоянии батареи. Существуют АКБ, у которых нет возможности произвести измерения плотности электролита, например, аккумуляторы с герметизацией. Для таких видов батарей напряжение является ключевым. Распространёнными видами напряжения являются: 1.2, 2.4, 6, 12В. Батареи высших напряжений, 24, 48, 96В, получают, используя несколько батарей напряжением 12В соединённых последовательно. Напряжение на концах батареи измеряют при отсутствии как зарядного, так и разрядного токов в течение 3-4 часов (за такой промежуток времени напряжение становится стабильным). Именно такие условия измерения необходимы для объективной оценки глубины заряженности аккумулятора. В таблице 1 приведена зависимость заряженности

аккумулятора (для АКБ с жидким электролитом) от напряжения без нагрузки (холостой ход). Для герметизированных АКБ значение напряжения выше.

Таблица 1 – Зависимость заряженности аккумулятора от напряжения

Степень заряженности	Батарея 12В	Батарея 24 В	Плотность электролита
100	12.70	25.40	1.265
95	12.64	25.25	1.257
90	12.58	25.16	1.249
85	12.52	25.04	1.241
80	12.46	24.92	1.233
75	12.40	24.80	1.225
70	12.36	24.72	1.218
65	12.32	24.64	1.211
60	12.28	24.56	1.204
55	12.24	24.48	1.197
50	12.20	24.40	1.190
40	12.12	24.24	1.176
30	12.04	24.08	1.162
20	11.98	23.96	1.148
10	11.94	23.88	1.134

**Ток заряда.** Сила тока, которым осуществляется заряд, зависит от ёмкости заряжаемой батареи. В зависимости от типа аккумулятора, зарядный ток может изменяться в пределах 10-30% номинальной ёмкости. Например, для заряда аккумулятора автомобиля 12В ёмкостью 55Ач, ток заряда не должен превышать 5,5А. В процессе зарядки ток снижается, до такого значения, которое соответствует величине тока саморазряда аккумулятора.

Таблица 2 – Характеристика аккумулятора по разряду

Тип батареи	Допустимый разряд,%	Рекомендованный разряд,%
VRLA	70	40
AGM VRLA	80	50
GEL VRLA	90	50
OPZV	90	60
OPZS	90	60
Li-ion	100	90
Ni-Cd	100	70

**Допустимая глубина разряда** - определяющий параметр в сроке службы аккумулятора наряду с интенсивностью эксплуатации. Любую батарею можно вывести из строя за короткий промежуток времени (7 - 10 дней), если производить глубокий разряд несколько раз подряд. Наиболее стойкими АКБ являются: литий-ионные и никель-кадмиевые, а также специализированные свинцово-кислотные батареи. Обычно такие серии маркируются словом «Deep»

(глубокий). Чтобы увеличить срок службы АКБ, следует придерживаться рекомендованных значений разряда. В таблице 2 приведены характеристики аккумуляторов допустимой и рекомендованной глубины разряда.

**Срок службы аккумуляторов** определяется числом циклов заряд-разряд и значительно зависит от условий эксплуатации. Чем глубже разряжается батарея, чем большее время она находится в разряженном состоянии, тем меньшее число возможных циклов работы.

Количество рабочих циклов «заряда-разряда» - понятие относительное, так как сильно зависит от различных факторов. Срок службы аккумуляторов определяется в циклах, время работы в годах — весьма приблизительное и рассчитано для типичных условий работы. Если указано, что срок службы аккумулятора составляет 12 лет, это значит, что производитель рассчитал срок службы для буферного режима с средним числом циклов заряд-разряд 8 в месяц. Например, для AGM аккумуляторов производитель указывается срок службы 12 лет и максимальное число циклов 1200 при разряде на 20%. В год получается 100 таких циклов, в месяц — около 8.

В процессе эксплуатации полезная емкость аккумулятора уменьшается. Все характеристики по количеству циклов обычно приводятся до момента потери им 40% своей номинальной емкости. Например, если указано количество циклов 600 при 50% разряде, это значит, что через 600 идеальных циклов (при температуре 20С и разряде током одной величины, обычно составляющей 0,1С) полезная емкость аккумулятора будет составлять 60% от начальной. При такой емкости уже рекомендуется замена аккумулятора. При окончании срока службы, у аккумулятора повышается внутреннее сопротивление, что влечет за собой рост напряжения при заряде, и более быстрый разряд аккумулятора. Если заряд производится током, близким к предельному, аккумулятор будет нагреваться при заряде сильнее, чем раньше. В таблице 2 приведены примерные данные ресурса в зависимости от типа аккумулятора, на рисунке 1 приведена диаграмма зависимости глубины разряда от количества циклов.

Таблица 3 – Срок службы в зависимости от типа аккумулятора

Тип аккумулятора	Циклический ресурс при глубине разряда				Срок службы, лет
	25%	50%	75%	100%	
VRLA	700-1000	350-500	230-400	150-300	3-5
AGM VRLA	800-2100	500-1200	300-800	200-600	5-15
GEL VRLA	2500-3000	1200-1750	800-1000	600-800	10-15
OPZV	2500-3000	1200-1750	800-1000	600-800	10-15
OPZS	5000-6000	3000-3500	1500-1750	1000-1200	20-25
Li-ion	<7000	<5000	<2000	<1500	20-25
Ni-Cd	<6000	<4000	<2000	<1500	20-25

**Саморазряд** Явление саморазряда заключается в потере аккумуляторами своей емкости после того, как они были полностью заряжены в отсутствие

внешнего потребителя тока. Для количественной оценки саморазряда используют величину потерянной ёмкости за определенный промежуток времени, которая, выражается в процентах от значения, полученного сразу после заряда. За промежуток времени, обычно, принимается интервал времени, равный одним суткам и одному месяцу. Например, для исправных Ni-CD аккумуляторов считается допустимым саморазряд до 10% в течение первых 24 часов после заряда аккумулятора.

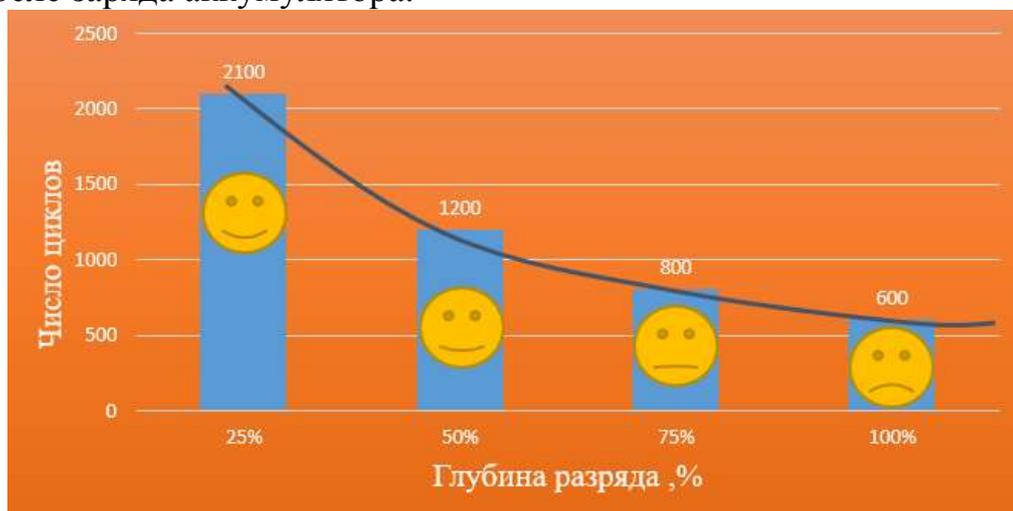


Рисунок 1. Зависимость циклического ресурса от глубины разряда

На данный параметр оказывает значительное влияние температура окружающей среды. На рисунке 2 приведён график зависимости срока хранения батареи, от доступной ёмкости аккумулятора на примере аккумулятора AGM VRLA ёмкостью. 100Ач. Из графика видно, что при повышении температуры окружающей среды, показатель саморазряда будет увеличиваться. Причиной возникновения саморазряда служит выделение молекул кислорода на электроде положительного заряда, а повышение температуры является катализатором данного процесса.

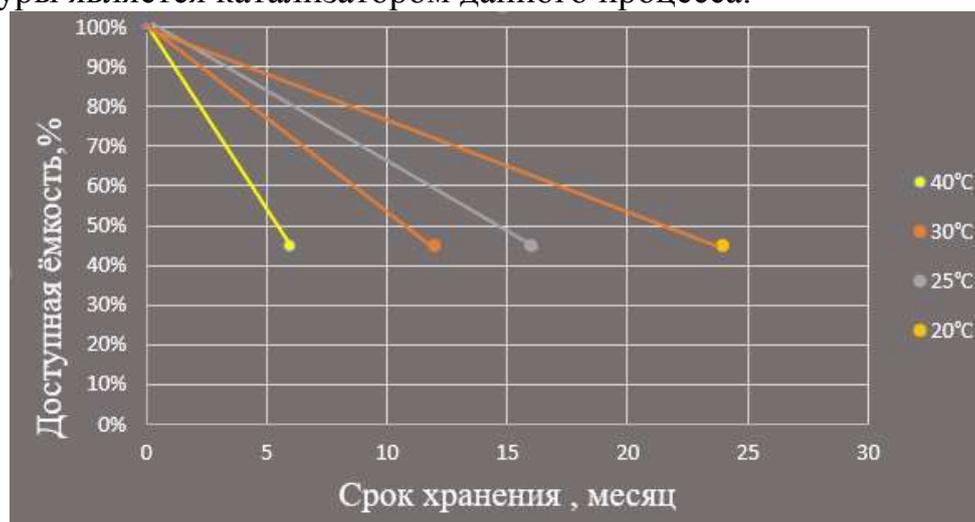


Рисунок 2. Зависимость циклического ресурса от глубины разряда

### Литература

1. <https://best-energy.com.ua/support/battery/411-features-battery>.
2. <http://adopt-zu.soroka.org.ua/history.html>

УДК 621.311

## ОБЗОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НА НАПРЯЖЕНИИ ДО 1 КВ

Шипунов А.А.

Научный руководитель – м.т.н., ст. преп. Ярошевич Т.М.

Автоматические выключатели (выключатели, автоматы) являются коммутационными электрическими аппаратами, предназначенными для проведения тока цепи в нормальных режимах и для автоматической защиты электрических сетей и оборудования от аварийных режимов (токов короткого замыкания, токов перегрузки, снижения или исчезновения напряжения, изменения направления тока, возникновения магнитного поля мощных генераторов в аварийных условиях и др.), а также для нечастой коммутации номинальных токов (6-30 раз в сутки).

Благодаря простоте, удобству, безопасности обслуживания и надежности защиты от токов короткого замыкания эти аппараты широко применяются в электрических установках малой и большой мощности.

Рассмотрим назначение и принцип работы секционного и автоматического выключателя.

Секционные автоматические выключатели предназначены для включения резервного питания в распределительных устройствах (РУ) низкого напряжения, для осуществления подключения резервного питания на трансформаторных подстанциях. Также они используются для поддержания подключения между работающими генераторами на электростанциях, но данный тип подключения используется только на подобных объектах. Основное применение они нашли именно в РУ на напряжении до 1 кВ. Также может применяться в быту, для переключения питания от сетевого ввода на запасное питание от генератора.

Рабочая схема выключателя, следующая: с двух источников питания (основного и резервного) подводятся линии передачи тока на выключатель. Обе линии контролируются выключателем на наличие напряжения трансформаторами тока. При отключении основной линии трансформатор реагирует на отсутствие питания, и через систему реле и исполнительных механизмов поступает сигнал на перемещение контактов выключателя на резервную линию. Переключение происходит с небольшой задержкой по времени. Как только питание на основном вводе восстанавливается, выключатель реагирует и возвращается в основное положение, отключая резервный ввод.

При установке данного выключателя линия должна быть оборудованной дополнительным автоматическим силовым выключателем на вводе. Устройство необходимо, чтобы исключить возможность автоматического переключения ввода в ячейке при ее ремонте, обслуживании.

Секционные автоматические выключатели являются обычно частью устройств АВР – автоматического ввода резерва. Но небольшие выключатели

можно использовать и как устройства управления, встраивая их в технологические процессы.

Данные автоматические выключатели должны обладать высокой селективностью.

Токоограничивающий выключатель — выключатель, у которого собственное время отключения таково, что в данной цепи за это время ток не успевает достигнуть установившегося значения  $I_{кз}$  и отключаемый ток  $I_{отк}$  меньше того, который был бы в цепи в случае отсутствия выключателя или при нетокоограничивающем выключателе

Ограничивающая способность автоматического выключателя – это его способность пропускать во время коротких замыканий ограниченный ток, который меньше расчётных значений.

Рассмотрим и сравним автоматические выключатели следующих производителей:

#### 1. Schneider Electric Compact NSX



Рисунок 1. Внешний вид автоматического выключателя Compact NSX

Новое поколение автоматов производства Schneider Electric с термомагнитными расцепителями МА, ТМ или с полупроводниковыми расцепителями Micrologic защищают от токов перегрузки и КЗ распределительных сетей и, электрооборудования и протяженных линий.

Токоограниченная способность устройств линейки Compact NSX является результатом методики двойного разрыва цепи с вращением (очень быстрое естественное отталкивание контактов и появление двух последовательных вольтовых дуг с очень крутым волновым фронтом).

Токоограничение этих автоматических выключателей позволяет значительно уменьшить воздействие тока КЗ как на элементы сети, так и на сам аппарат. В результате значительно улучшаются основные показатели при отключении повреждений. В частности, рабочая отключающая способность  $I_{cs}$  достигает 100% от предельной отключающей способности  $I_{cu}$ .

Токоограничение автоматического выключателя выражается в виде кривых, которые отображают в зависимости от действующего значения ожидаемого тока короткого замыкания.

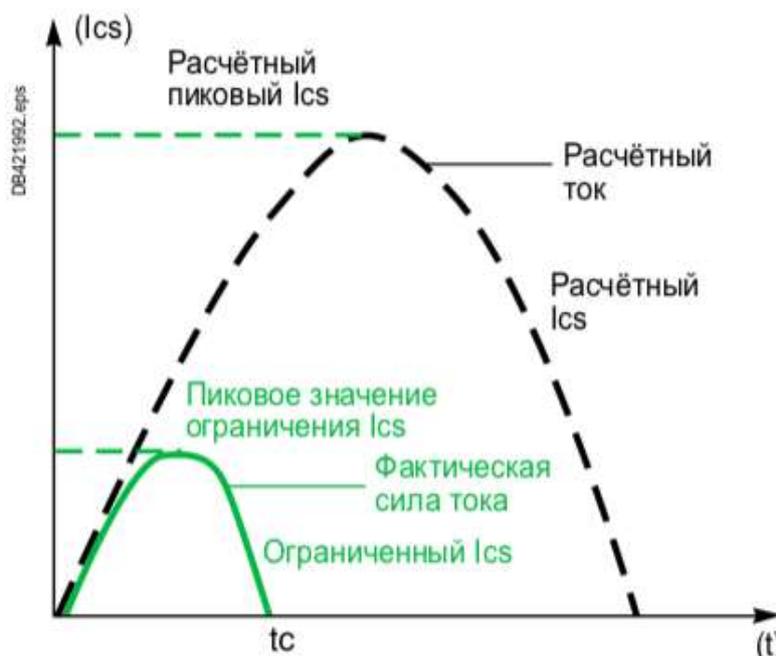


Рисунок 2. Кривые автоматического выключателя

Принцип каскадного соединения, использующий токоограничение автоматических выключателей, позволяет устанавливать ниже токоограничивающего выключателя аппараты с меньшей отключающей способностью, чем ожидаемый ток короткого замыкания. Отключающая способность нижестоящих аппаратов в этом случае увеличивается за счет токоограничения вышестоящего аппарата. Этот принцип позволяет значительно снизить затраты на коммутационные аппараты и распределительные шкафы.

Аппараты Compact NSX гарантируют бесперебойность электроснабжения и обеспечивают экономию за счёт высокого уровня селективности. Селективность обеспечивается при любом уровне короткого замыкания.

Двух-, трех- и четырехполюсные автоматические выключатели Compact NSX предназначены для защиты распределительных сетей напряжением 230/690 В АС, защиты электродвигателей переменного тока, дифференциальной защиты, защиты в особых случаях применения (генераторы, аппаратура управления промышленными процессами, сети 400 Гц), для управления и секционирования. Номинальные токи от 40 до 250 А. Номинальное рабочее напряжение до 690 В АС. Отключающая способность (ток отключения) от 8 до 150 кА. Исполнения: стационарное, втычное на цоколе, выдвижное на шасси. Могут снабжаться магнитотермическими расцепителями ТМ-D и МА для защиты от коротких замыканий и перегрузок, а также электронными расцепителями Micrologic 2/5 с функциями измерения А "Амперметр", Е "Энергия" для защиты от КЗ и перегрузок с защитой нейтрали, от замыкания на землю и селективностью.

Выключатели Compact NSX могут интегрироваться в коммуникационную среду, использующую протокол Modbus.

## 2. АBB Tmax T



Рисунок 3. Внешний вид автоматического выключателя Tmax T

Это также автоматические выключатели в литых корпусах. Возможности их применения практически неограниченно благодаря разным специальным исполнениям, современной электронике, а также полному и унифицированному ассортименту аксессуаров

Также является токоограничивающим и селективным автоматическим выключателем с похожими характеристиками, который предназначен для защиты сетей низкого напряжения.

Данные выключатели комплектуются терромагнитными (с фиксированным и регулируемым тепловым и фиксированным магнитным порогом) и электронными расцепителями.

Имеют также стационарное, втычное и выдвижное исполнение.

### 3.Siemens SENTRON VA



Рисунок 3. Внешний вид автоматического выключателя SENTRON VA

Серия автоматических выключателей Sentron VA от Siemens представляет собой трехфазные токоограничивающие автоматические выключатели. Серия Sentron VA имеет компактные размеры, что позволяет ей идеально подходить для использования в щитах распределения нагрузки.

Они доступны как с терромагнитными расцепителями (от 16 до 630 А), так и с электронными (от 63 до 1600 А).

Данная серия предназначена для защиты оборудования с номинальными токами до 1000 А при симметричной нагрузке всех трех фаз автоматического выключателя. Автоматические выключатели SENTRON VA доступны в следующих исполнениях:

- для защиты электроустановок;
- для защиты электродвигателей;
- для защиты стартерных сборок;
- как выключатель-разъединитель без теплового расцепителя.

Различные исполнения автоматических выключателей SENTRON VA подходят для следующих применений:

- как вводной автомат и автоматический выключатель защиты отходящих линий в распределительных установках;
- как коммутационное и защитное устройство для электродвигателей, трансформаторов и конденсаторов;
- как главный и аварийный выключатель совместно с поворотными приводами с возможностью запираения и защитными крышками.

Также имеются стационарные, втычные и выкатные исполнения.

Сравним вышеописанные выключатели по техническим характеристикам.

Для сравнения выберем по одному выключателю каждого производителя с номинальным током 250А и напряжением до 690 В:

- Schneider Electric Compact NSX250;
- ABB Tmax T4;
- Siemens Sentron 3VA22.

Итоги представим в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики автоматических

Автоматические выключатели	Характеристики							
	Кол-во полюсов	Отключ. способность на линии, кА			Уном изоляции, В	Масса, кг	Протокол связи	Стоимость, бел.руб
		230 В	400 В	690 В				
Schneider Electric Compact NSX250	2,3,4	85	36	8	800	2,4/ 2,8	Modbus	2000
ABB Tmax T4	3	85	50	25	1000	3,5	Modbus	1500
Siemens Sentron 3VA22	3,4	85	55	3	800	2,41/ 3,09	Modbus/ PROFINET	2400

### Литература

1. [Электронный ресурс].Режим доступа: [http://www.comsol.ru/avt\\_viklyuchateli/catalogs/sch/compact\\_nsx.pdf](http://www.comsol.ru/avt_viklyuchateli/catalogs/sch/compact_nsx.pdf). Дата доступа: 20.04.2020
2. [Электронный ресурс]. –Режим доступа: [http://www.ep.ru/product/katalogs/ABB/05\\_Tmax.pdf](http://www.ep.ru/product/katalogs/ABB/05_Tmax.pdf). Дата доступа: 20.04.2020
3. [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <https://new.abb.com/products/ru/1SDA059503R1/t4s-320-pr223ds-in-320a-3p-f-f>. Дата доступа: 20.04.2020
4. [Электронный ресурс]. –Режим доступа: [https://www.tesli.com/upload/iblock/95c/tesli.com\\_siemens\\_catalogue\\_sentron3va\\_ru.pdf](https://www.tesli.com/upload/iblock/95c/tesli.com_siemens_catalogue_sentron3va_ru.pdf). Дата доступа: 20.04.2020
5. [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <https://www.maxcom.by/product/3p3t-avt-vykl-tm160d-nsx250h>. Дата доступа: 20.04.2020
6. [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109766083/circuit-breaker-communication%3A-3va-molded-case-circuit-breakers?dti=0&dl=en&pnid=15859&lc=ru-KZ>. Дата доступа: 20.04.2020
7. [Электронный ресурс]. –Режим доступа: [https://евро-электрика.рф/catalog/tmax\\_t4\\_do\\_320a/](https://евро-электрика.рф/catalog/tmax_t4_do_320a/). Дата доступа: 20.04.2020
8. [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <https://electroguru.ru/silovie-avtomati/siemens/3vl3/17449/>. Дата доступа: 20.04.2020

УДК 621.3

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН

Ализода Зубайдулло

Научный руководитель - к.т.н., доцент Константинова С.В.

В настоящее время огромное внимание обращено на вовлечение возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) в энергетический баланс.

Таджикистан обладает достаточно большими запасами энергоресурсов. Особое место в этом контексте занимает гидроэнергоресурсы с потенциальными возможностями выработки 527 млрд. кВт. час\год. Таджикистан занимает по этому показателю 8-ое место в мире и первое по гидроэнергетическому потенциалу на единицу территории страны. Также в Таджикистане особое внимания уделяется вопросом по освоению возобновляемых энергии в том числе малой энергетики.

В Республике Таджикистан более 200 дней с высокой интенсивностью солнечного света и большое количество горных рек.

Рассматриваются вопросы по освоению других видов ВИЭ, таких как энергия ветра, биомасса и геотермальная энергия.

Таблица 1. Ресурсы возобновляемых источников энергии Таджикистана  
млн. тон условного топлива

Ресурсы	Валовый потенциал	Технический потенциал	Экономический потенциал
Гидроэнергия, общая	179,2	107,4	107,4
В том числе, малые ГЭС	62,7	20,3	20,3
Солнечная энергия	4790,6	3,92	1,49
Энергия биомассы	4,25	4,25	1,12
Энергия ветра	16,3	10,12	5,06
Геотермальная энергия	0,04	0,04	0,04
Всего (без крупных ГЭС)	5020,595	38,63	27,95

В 2019г. около 90% электроэнергии в Таджикистане вырабатывается гидроэлектростанциями- ГЭС; 90%, АИЭ; 1%, ТЭС; 9% .

**Крупные ГЭС.** основной проект из области крупной гидроэнергетики — Рогунская ГЭС. Она расположена на реке Вахш, обладающей большим

гидропотенциалом. В советское время на Вахше был спроектирован и частично построен каскад ГЭС: Нурекская (3000 МВт, самая высокая в мире плотина высотой 300 м), Байпазинская (600 МВт), Сангтудинская ГЭС-1 (670 МВт, пущена в 2008 году), Сангтудинская ГЭС-2 (220 МВт, пущена в 2011 году), Головная (210 МВт), Перепадная (30 МВт) и Центральная (15 МВт).

**Альтернативная энергетика** Географическое расположение Таджикистана позволяет использовать солнечную энергии. В среднем в году имеется 280-330 солнечных дней. Интенсивность суммарной солнечной радиации в течение года в предгорных районах составляет 280 - 925 МДж/м<sup>2</sup>, 360 - 1120 МДж/м<sup>2</sup> в горной местности. Использование имеющейся солнечной энергии в Таджикистане позволяет удовлетворить 10-20% спроса на энергоносители. По оценкам, потенциал солнечной энергии Таджикистана составляет около 25 млрд. кВтч/ год, но в настоящее время этот потенциал практически не используется.

Использование энергии ветра в Таджикистане в настоящее время, оправдано в некоторых регионах. Наиболее сильные ветры в горных районах, в Согдийской области, в Раштской долине. Среднегодовая скорость ветра в среднем в этих регионах составляет около 5-6 м/с

В отчете по устойчивому развитию Таджикистана, который был подготовлен к Всемирному Саммиту Рио+10 сказано, что: “ветроэнергетика в Таджикистане не имеет серьезных перспектив. Солнечная энергия может использоваться только для бытовых нужд. Ещё меньше в Таджикистане перспективы промышленного использования биоэнергии. Тем не менее, в Таджикистане имеются большие потенциальные возможности для использования возобновляемых источников энергии: солнца, ветра, биогаза, гидроэнергии.

**Солнечная энергия.** Расположенная в "мировом солнечном поясе" республика, имеет большой потенциал для развития использования солнечной энергии. Годовая продолжительность солнечного сияния на территории республики колеблется от 2100 до 3170 часов в год. В наиболее обжитых районах - 2700 часов в год, а плотность солнечного излучения доходит до 1 кВт/м<sup>2</sup> и более.

Максимальной интенсивности суммарная радиация на всей территории республики достигает в мае - июле месяцах. Интенсивность суммарной радиации изменяется для предгорных районов от 280 до 925 мДж/м<sup>2</sup>. В высокогорных районах она колеблется от 360 до 1120 мДж/м<sup>2</sup>. Основная проблема отсутствие производство кремния для солнечных батарей. По оценкам аналитиков, Таджикистан имеет все возможности для собственного производства кремния, включая собственное сырье (месторождения горного хрусталя в Вандже и Язгуляме, разработанные еще в советские времена).

**Ветровая энергия.** Еще одним альтернативным источником энергии является ветровая энергия. Ветроэнергетический потенциал республики изучен не достаточно хорошо. По разным оценкам он составляет 30 - 100 млрд. кВт. ч. в год и может быть соизмерим с технически возможным к использованию гидроэнергетическим потенциалом республики.



Рисунок 1. Солнечная мини-электростанция

В замкнутых котловинах и под склонами гор наблюдается наибольшая повторяемость штилей - 44-58%; в предгорных и горных районах - до 30%.



Рисунок 2. Комбинированная ветро-солнечная электростанция

**Биогаз.** Отходы животных, сельского и лесного хозяйства могут быть дополнительным источником энергии за счет получения из них биогаза. Использование биоэнергетических установок является перспективным направлением при наличии крупных животноводческих комплексов и птицефабрик, где существует острая потребность в утилизации отходов.

В ходе биохимических процессов биомасса может быть превращена в такие виды топлива как газ метан, жидкий метанол, твердый древесный уголь.

Из всех известных способов получения биотоплива наиболее перспективным в условиях Таджикистана является способ получения биогаза путем анаэробного брожения жидких отходов животноводства. В условиях сырости, тепла и отсутствия света анаэробные бактерии, существующие за счет разложения углеводов вырабатывают биогаз - смесь  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$ .

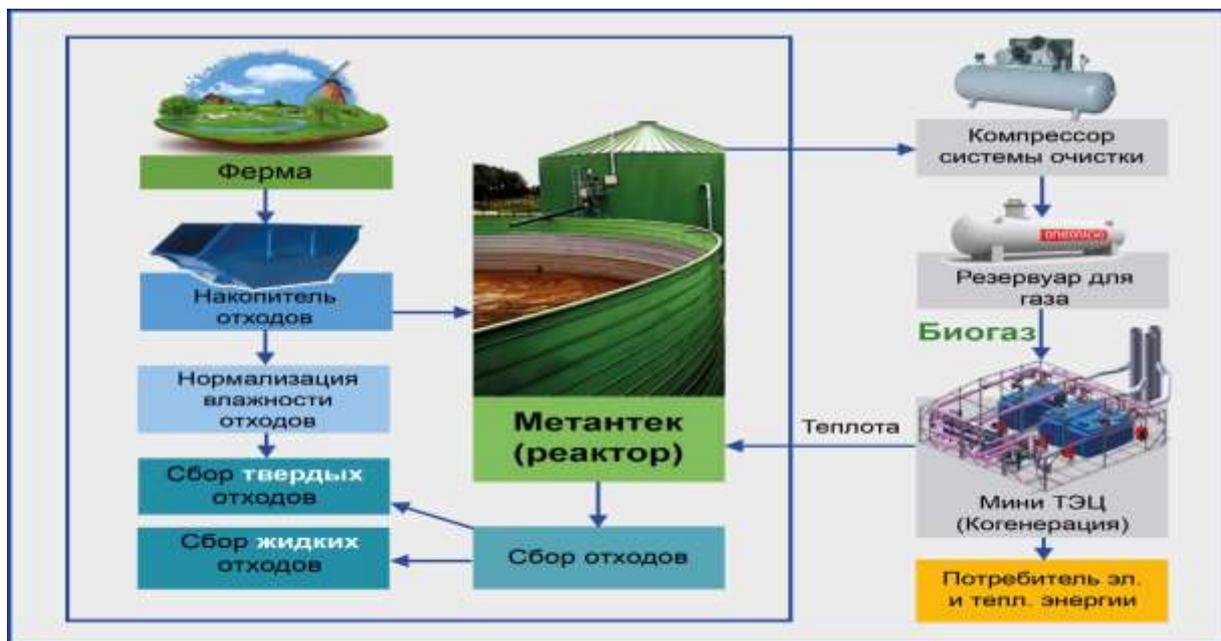


Рисунок 3 .Биоэнергетическая установка

### Литература

1. Солнечная энергетика. Состояние, возможности использования и перспективы развития. Составители: Ахмедов Х.Б., Галигалис С., Эльназаров А. – Душанбе: Дониш, 2007.с96, илл.34.
2. Общая оценка ситуации в энергетике в мире и Таджикистане. Ахмедов Х. М., Каримов Х. С. Докл. АН РТ. т. 40, № 1–2, 1997, с.107.
3. Нормативные правовые акты и национальные стандарты по возобновляемым источникам энергии, действующие в республике Таджикистан Душанбе —2011

УДК621.313.1

## ЗАЩИТА СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Никифорова Д.Р., Писарь А.С.

Научный руководитель – м.т.н., ассистент Капустинский А.Ю.

Синхронные генераторы – важное и ответственное звено в любой энергосистеме. Поэтому к релейной защите генераторов предъявляются повышенные требования. Рассмотрим основные повреждения синхронных генераторов.

**Повреждения в обмотке статора** являются наиболее опасными. К ним относятся:

- Многофазное короткое замыкание, сопровождающееся горением дуги.
- Однофазное замыкание на землю (на корпус), приводящее к возникновению дуги между проводниками обмотки и корпусом.
- Двойное замыкание на землю.
- Замыкание между витками одной фазы (для синхронных генераторов с выведенными параллельными ветвями), сопровождающееся значительным увеличением токов в замкнутых витках, их нагреву и порче изоляции.

Повреждения в обмотке ротора (обмотке возбуждения):

- Замыкание на землю в одной точке обмотки ротора. Этот вид повреждения серьезного влияния на работу генератора не оказывает.
- Замыкание в двух точках цепи возбуждения, сопровождающееся протеканием больших токов, которые значительно искажают магнитное поле ротора. Часто приводит к возникновению дуги.

**Ненормальные режимы работы**, сопровождающиеся протеканием сверхтоков и возникновением перенапряжений (представляют серьезную опасность для генератора):

- Перегрузки систематические и аварийные, связанные с отключением части работающих генераторов, нарушением синхронизма, потерей возбуждения. Во всех этих случаях возможен перегрев различных частей генератора. Поэтому длительность работы агрегатов в таких режимах строго регламентируется. Если генератор работает больше установленного срока, то его разгружают или при необходимости отключают.
- Несимметрия токов в фазах. Приводит к перегреву ротора и к механической вибрации агрегата.
- Повышение напряжения на выводах обмотки статора. Часто возникает на генераторах при внезапном сбросе нагрузки. Может привести к пробое изоляции. На турбогенераторах устанавливаются быстродействующие регуляторы скорости и поэтому значительного увеличения напряжения не возникает.

**Требования, предъявляемые к релейной защите генераторов:**

- Селективность- защита должна отключать генератор только при тех повреждениях и режимах, которые представляют действительную опасность для генератора.
- Быстродействие– чтобы уменьшить размеры повреждения машины и не допустить нарушения устойчивости параллельной работы генераторов и систем.
- Чувствительность– ко всем видам повреждений в синхронном генераторе, а также к КЗ на смежных элементах для резервирования защит и выключателей этих элементов в случае их бездействия.

#### **Виды защит, применяемых для генераторов:**

Продольная дифференциальная защита основная защита от междуфазных повреждений в обмотке статора внутри генераторов средней и большой мощности. Принцип действия основан на сравнении токов фаз, протекающих через участки между защищаемым аппаратом

Поперечная дифференциальная защита – для защиты от межвитковых КЗ при наличии выведенных параллельных ветвей обмоток и их соединении в звезду. Для защиты генераторов, имеющих две параллельные ветви и более, применяется специальная поперечная дифференциальная защита, которая реагирует на разность токов, проходящих в параллельных ветвях обмотки статора.

Защита от замыканий на землю обмотки статора - Для уменьшения тока замыкания на землю в сети генераторного напряжения, что существенно повышает надежность эксплуатации генераторов и кабельных сетей.

**Токовая защита обратной последовательности.** Несимметрия токов в статоре является опасным режимом для ротора. Поэтому на генераторах применяется токовая РЗ от внешних несимметричных КЗ и от несимметричных режимов, вызванных другими причинами.

Токовая отсечка без выдержки времени – применяется в качестве основной защиты для генераторов с мощностью менее 1 МВт от многофазных КЗ в обмотке статора. Устанавливаются со стороны выводов к сборным шинам.

Максимальная токовая защита (МТЗ) и токовая отсечка применяются, как основные защиты в генераторах небольшой мощности, для быстрого, селективного отключения внутренних коротких замыканий. Возможно использование и направленной токовой защиты. В основном эти защиты используются как резервные защиты генератора при внутренних замыканиях, или при внешних КЗ, когда запаздывание в отключении основных защит генератора приводит к недопустимой перегрузке по току.

Защита от повышения напряжения: устанавливается на всех гидрогенераторах, работающих в блоке с трансформаторами. Напряжение срабатывания защиты устанавливается равным  $(1,5...1,7) \cdot U_{г.ном}$ , выдержка времени 0,5 с. На энергоблоках с турбогенераторами 160 МВт и более также устанавливается защита от повышения напряжения с уставкой срабатывания  $1,2 \cdot U_{г.ном}$ . Защита не имеет выдержки времени и может действовать только при работе генератора на холостом ходу (на гашение поля). При работе

энергоблока на нагрузку она автоматически выводится из действия с помощью токовых реле, размыкающих свои контакты при появлении тока.

Защита ротора от перегрузки током возбуждения Защита ротора от перегрузки предусматривается на турбогенераторах с непосредственным охлаждением обмоток, а также – на гидрогенераторах с косвенным охлаждением обмоток мощностью более 30 МВт. Защита обычно имеет две ступени выдержек времени: с первой она действует на сигнал и развозбуждение генератора, со второй – на отключение генератора от сети и на гашение поля. При этом выдержка времени первой ступени примерно на 20 % меньше выдержки времени второй ступени. Время срабатывания второй ступени составляет на генераторах мощностью до 60 МВт включительно – 40 с, а на генераторах мощностью 100 МВт и более – 20 с. На генераторах мощностью (60...100) МВт с электромашинным возбуждением, а также на турбогенераторах мощностью 160 МВт и более с резервным электромашинным возбуждением используется защита, реагирующая на повышение напряжения в обмотке ротора.. Наиболее полноценную защиту ротора от перегрузки можно осуществить с помощью реле, имеющего характеристику, зависящую от тока ротора. Такая специальная защита типа РЗР-1М [2] устанавливается на турбогенераторах мощностью 160 МВт и более.

#### Литература

- 1) Вольдек А. И. Электрические машины. Л., 1978. — 832 с.
- 2) Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины. М., 1980. —928с.
- 3) Кацман М. М. Электрические машины. М., 1990. — 463 с.
- 4) Кацман М. М. Расчет и конструирование электрических машин. М., 1984. — 359 с.
- 5) Кацман М. М. Руководство к лабораторным работам по электрическим машинам и электроприводу. М., 1983. — 215с.
- 6) Кацман М. М. Электрические машины и электропривод автоматических устройств. М., 1987. — 334 с.
- 7) Копылов И. П. Электрические машины. М., 1986. — 360 с.
- 8) Костенко Г. Н., Пиотровский Л. М. Электрические машины. Л., 1972. 4.1.— 544с.; 1973. Ч. И.— 648 с.

УДК 621.3

## ПРОТОКОЛ GOOSE И РАЗВИТИЕ ЗАЩИТ ЛИНИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.

Подлипалин О. Я.

Научный руководитель - к.т.н. доцент Константинова С.В.

Отличительной особенностью распределительных сетей 6–10 кВ крупного промышленного предприятия является относительно малая протяженность силовых линий между распределительными и трансформаторными подстанциями производственных участков с одновременным высоким сечением питающих линий. Так на «головных» участках сети при средней длине линии до 0,5 км ее сечение зачастую составляет от 120 мм<sup>2</sup> и более [1]. Схемы для электроснабжения при этом, как правило, используются радиальные с односторонним питанием, что в свою очередь является причиной пологой характеристики токов короткого замыкания (КЗ) относительно протяженности кабельной сети. Указанные особенности приводят к низкому быстродействию максимальной токовой защиты (МТЗ) и невозможности применения токовой отсечки (ТО) на линиях распределительной сети.

В сетях напряжением 6–10 кВ максимальная токовая защита является основной защитой от аварийных токов коротких замыканий. Уставка данной защиты выбирается по условию отстройки тока ее срабатывания ( $I_{с.з}$ ) от максимальных токов нагрузки линии, а чувствительность МТЗ к токам короткого замыкания, как правило, оказывается достаточной как для основной (непосредственно защищаемой линии), так и для резервной (линии, смежной с защищаемой) зоны. Обладая относительной селективностью, МТЗ обеспечивает надежное резервирование при отказе защиты или выключателя предыдущей линии, что делает ее незаменимой. Однако для обеспечения селективности между защитами предыдущей и последующей линий применяется ступенчатый принцип: выдержка времени срабатывания последующей защиты выбирается на ступень селективности ( $\Delta t$ ) больше времени срабатывания предыдущей МТЗ.

Данная необходимость является основным недостатком МТЗ, так как защиты, расположенные ближе к источнику питания и отключающие близкие КЗ, сопровождающиеся большими токами, имеют наибольшую выдержку времени срабатывания. Согласно ПУЭ, для сохранения бесперебойной работы неповрежденной части электрической сети и ограничения области и степени повреждения элементов устройства релейной защиты должны обеспечивать наименьшее возможное время отключения КЗ. Для выполнения, данного требования и повышения быстродействия защит МТЗ дополняют токовыми отсечками.

Токовая отсечка является быстродействующей токовой защитой, селективность которой обеспечивается отстройкой тока срабатывания защиты от наибольшего тока КЗ в конце защищаемого участка. Оценка зоны действия ТО кабельных линий 6-10 кВ рассмотренная в [2] показывает, что при сечении линии равном 120 мм<sup>2</sup> защита эффективна лишь при длинах более 380 метров.

Так невысокая длина и большие сечения кабельных линий распределительных сетей промышленных предприятий приводит к малой разнице между токами КЗ в начале и в конце линии, что ограничивает применение ТО в качестве основной быстродействующей защиты, в результате чего в данных сетях остается только одна защита – МТЗ [3].

Широкое применение микропроцессорных терминалов релейной защиты в последние годы значительно повлияло на развитие способов обеспечения нормальных режимов работы энергосистемы промышленных предприятий. Несмотря на различные методы и подходы в отношении характеристик времени срабатывания МТЗ ([3], [4], [5], [6]), реализация которых стала возможной благодаря применению микропроцессорных устройств, использование ТО в рассматриваемых распределительных сетях остается жестко ограниченным.

Однако, наряду с совершенствованием уже существующих защит, микропроцессорные устройства значительно расширили возможности применения иных видов защит. Примером может послужить логическая защита шин (ЛЗШ), которая стала неотъемлемой частью системы релейной защиты распределительных подстанций 6-10 кВ [7]. ЛЗШ — это распределенная защита, выполняющая функцию защиты шин распределительного устройства от коротких замыканий и являющаяся аналогом дифференциальной защиты шин. Большое количество присоединений на распределительных подстанциях 6-10 кВ не позволяют эффективно использовать дифференциальные защиты ввиду их дороговизны, в то время как ЛЗШ реализуется исключительно программными методами на уже установленных терминалах.

Данная защита представляет собой отдельную ступень токовой защиты, реализованную на вводных и секционном выключателях и работающую с минимальной выдержкой времени (0,1-0,15 с). При коротком замыкании на отходящем присоединении пусковые органы защит этого присоединения срабатывают и выдают эту информацию путем передачи сигнала, блокирующего работу ЛЗШ на терминалах вводных и секционного выключателей. Блоки защиты присоединений соединены с блоками ввода и секционного выключателями по схеме “выходные контакты – дискретный вход”.

Дальнейшее развитие микропроцессорных терминалов, а также разработка и выпуск стандарта МЭК 61850 «Коммуникационные сети и системы подстанций» в значительной степени повлияло на подходы к построению защит в электроэнергетике и привело к созданию так называемых «цифровых подстанций». Стандартом МЭК 61850 предусмотрены три основных протокола передачи данных [8]:

- MMS (Manufacturing Message Specification) – протокол передачи данных реального времени и команд диспетчерского управления между сетевыми устройствами и/или программными приложениями;

- GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) – протокол передачи данных о событиях на подстанции. Фактически данный протокол служит для замены медных кабельных связей, предназначенных для передачи дискретных сигналов между устройствами;

- SV (Sampled Values) – протокол передачи оцифрованных мгновенных значений от измерительных трансформаторов тока и напряжения (ТТ и ТН). Данный протокол позволяет заменить цепи переменного тока, соединяющие устройства РЗА с ТТ и ТН.

Отправка GOOSE-сообщений осуществляется на канальном уровне по сети Ethernet с использованием физических адресов сетевых устройств, что в конечном итоге позволяет осуществлять групповую рассылку сообщений (Multicast) на все физические устройства, подключенные к данной сети. Другими словами, современные устройства релейной защиты обмениваются информацией о своем состоянии путем транслирования специальных сообщений в локальную сеть подстанции. При этом остальные устройства в этой сети сами определяют необходимость анализа данных сообщений.

При более широком подходе данная технология не просто позволяет заменить классический способ передачи информации, но и значительно расширить область ее применения. Так, используя локальные сети предприятий, становится возможной качественная передача информации не только на отдельно взятой подстанции, но между подстанциями, что в свою очередь позволит реализовать некоторые виды защит без дополнительных существенных затрат. Одной из таких защит может стать логическая защита линии, принцип действия которой будет аналогичен принципу действия ЛЗШ. Так при прохождении сквозного тока короткого замыкания на терминал питающего присоединения посредством передачи GOOSE-сообщения будет приходить сигнал блокировки работы данной защиты, а при коротком замыкании непосредственно на отходящей линии отключение будет производиться с минимальной выдержкой времени аналогично ТО.

Необходимость высокой скорости передачи данных не позволяют реализовать для GOOSE-сообщений получение подтверждений от получателей о доставке. Вместо этого для них был реализован специальный механизм гарантированной доставки данных. В условиях отсутствия изменений в передаваемых наборах данных пакеты с GOOSE-сообщениями передаются циклически, через установленный пользователем интервал. Эта цикличность передачи сообщений позволяет постоянно контролировать информационную сеть. Устройство-приемник ожидает прихода сообщения через заданный интервал времени, и, в случае его отсутствия в течение интервала ожидания, может подать сигнал о неисправности в сети передачи данных, оповещая оперативный персонал о неполадках;

Также в GOOSE-сообщении, помимо набора данных, может содержаться признак качества сообщения, который идентифицирует определенный аппаратный отказ устройства-источника, нахождение его в режиме тестирования или другое нештатное состояние. Устройство-приемник согласно встроенным алгоритмам сначала выполняет проверку этого признака качества, и только потом обрабатывает полученные данные. Это может предупредить неправильную работу устройств-приемников.

Следует учитывать, что при изменении атрибутов данных передача пакетов с минимальной выдержкой времени вызывает повышенную нагрузку

на сеть (режим «информационного шторма»), которая теоретически может приводить к возникновению задержек при передаче данных. Однако согласно проводившимся в лаборатории опытам по исследованию функциональной совместимости устройств, работающих по условиям стандарта МЭК 61850, такая задержка наблюдалась на интервале в 10 мс [9]

**Выводы.**

Использование цифровых технологий в электроэнергетике промышленных предприятий позволяет существенно повысить надежность электроснабжения потребителей. Так современные микропроцессорные терминалы защит позволяют значительно уменьшить выдержки времени ступеней МТЗ путем применения комбинации различных временных характеристик реле. Однако наиболее перспективным направлением развития может оказаться применение новых принципов обмена информацией между устройствами. Использование протоколов «цифрового» стандарта МЭК 61850 позволяют решить одну из наиболее серьезных проблем в организации защит линий распределительной сети предприятия - отсутствие быстродействующих токовых защит. Применение принципов построения ЛЗШ, и использование GOOSE-сообщений для связи терминалов на разных концах линии позволяют программными методами реализовать быстродействующую защиту с абсолютной селективностью. А механизмы гарантированной доставки сообщений обеспечивают дополнительный контроль исправности как сети передачи данных, так и самих микропроцессорных терминалов.

### Литература

1. Ибрагимов, С. С. Способ устранения короткого замыкания в секционированных сетях цеховых кабельных линий 6–10 кВ на предприятиях сельского поселения / С. С. Ибрагимов, Р. С. Ахметшин. — Текст: непосредственный, электронный // Молодой ученый. — 2018. — № 12 (198). — С. 43-47.
2. Исаков Р. Г., Гарке В. Г. Концепция развития релейной защиты системы электроснабжения крупного промышленного предприятия // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. – 2012. – №7-8. С.46-54.
3. Курганов, В. В. Метод повышения быстродействия максимальных токовых защит линий электропередачи / В. В. Курганов // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого: научно - практический журнал. - 2011. - № 1. - С.69-73.
4. О выборе характеристик срабатывания токовых защит линий в распределительных сетях с односторонним питанием / Ф. А. Романюк [и др.] // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика : международный научно-технический и производственный журнал. – 2008. – № 6. – С. 5–10. - Режим доступа:<http://rep.bntu.by/handle/data/7946>
5. Романюк, Ф. А. О выполнении максимальной токовой защиты в распределительных сетях / Ф. А. Романюк, А. А. Тишечкин, Н. Н. Бобко, Е. В. Глинский // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ - Энергетика : научно-технический и производственный журнал. - 2010. - №3. - С. 5-9. - Режим доступа: <http://rep.bntu.by/handle/data/1673>
6. Романюк, Ф. А. Направления совершенствования токовых защит линий распределительных сетей / Ф. А. Романюк, М. А. Шевалдин // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2015. – № 2. – С. 5-10. - Режим доступа: <http://rep.bntu.by/handle/data/17326>

7. Проект РЗА[Электронный ресурс]: Релейная защита и автоматика. Сети 6-35 кВ. Логическая защита шин (ЛЗШ) /Д. Василевский, 2016. - Режим доступа: <https://pro-rza.ru/logicheskaya-zashhita-shin-lzsh/> - Дата доступа: 02.05.2020.

8. E-urchin [Электронный ресурс]: МЭК 61850. Протокол GOOSE. / Н.Г. Макина – Режим доступа: <http://iv-sp.blogspot.com/2015/12/blog-post.html>. – Дата доступа: 02.05.2020.

9. Новости Электротехники [Электронный ресурс]: Стандарт МЭК 61850. Протокол GOOSE / А.О. Аношин, А.В. Головин, 2012. – Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2012/78/07.php>. – Дата доступа: 02.05.2020.

УДК 621.3

## ДАТЧИКИ ПОЛОЖЕНИЯ РОТОРА

Лукашевич Д.А.

Научный руководитель — м.т.н., ассистент Капустинский А.Ю.

В настоящее время датчик положения ротора (ДПР) являются важными элементами электроприводов. Задача ДПР - определение относительного положения магнитной оси ротора и эквивалентной оси статора, выдача соответствующих сигналов для управления.

По форме сигнала ДПР делятся на две группы:

- 1) дискретные;
- 2) аналоговые.

Дискретные ДПР выдают выходной сигнал одного уровня. Он имеет форму близкую к прямоугольной и определенную длительность.

Аналоговые ДПР выдают сигнал, величина которого зависит от текущего углового положения ротора. Сигнал ДПР может изменяться в зависимости от угла по синусоидальному закону.

Также ДПР разделяются на группы по типу чувствительных элементов, преобразующих тот или иной вид энергии в изменение электрического или магнитного параметра. В соответствии с этим признаком рассматриваются три типа ДПР:

- 1) Фотоэлектрические (оптоэлектрическими, датчиками оптического типа).
- 2) Индуктивные.
- 3) Гальваномагнитные.

**Фотоэлектрические датчики.** Используются в маломощных вентильных двигателях (ВД). Элементами фотодатчика являются:

- источник лучистой энергии (светодиод), расположенный на неподвижной части;
- приемник лучистой энергии - чувствительный элемент (фотоэлемент), расположенный на неподвижной части;
- модулятор потока лучистой энергии, расположенный на роторе.

Модулирование потока лучистой энергии может быть обеспечено при использовании тонкого диска с отверстиями или прорезями или же за счет покрытия облучаемой поверхности ротора отражающими и неотражающими излучение материалами. Модулятор может работать на просвет, либо на отражение. Число импульсов определяет положение и скорость вращения ротора ВД.

Достоинства:

- 1) Источник лучистой энергии (светодиод) и приемник (фототранзистор) располагаются на неподвижной части.
- 2) Ротор ДПР (в случае исполнения его в виде диска с прорезями) имеет минимальный момент инерции
- 3) Ротор прост по конструкции.
- 4) Ротор не создает реактивных моментов.

5) Датчики этого типа позволяют получить достаточно крутой фронт сигнала.

6) Компактность конструкции

Недостатки:

1) невысокий КПД из-за двойного преобразования энергии (электрической в световую и обратно).

2) низкий уровень выходного сигнала.

3) малая чувствительность, что требует необходимость фокусировки луча с помощью оптических линз.

4) слабая помехозащищенность, что требует применять специальные меры устранения размытости фронта сигнала; влияние других источников излучения.

5) потеря надежности при загрязнении поверхности элементов.

Требования, предъявляемые к ДПР:

1) Простота конструкции, технологичность в изготовлении, надежность в работе.

2) Размеры датчика не должны превосходить размеров щеточно-коллекторного устройства.

3) Потребляемая мощность не должна превосходить потерь на щетках эквивалентных коллекторных машин.

4) Хорошее согласование сигнала датчика с входными цепями инвертора. Большая кратность максимального и минимального выходного сигнала. Большая крутизна нарастания и спада сигнала.

5) Высокая стойкость к внешним факторам окружающей среды. ДПР должен работать во всем диапазоне воздействий, которым подвергается электродвигатель: температура, свойства среды, вибрация.

6) Помехоустойчивость.

ДПР состоит из двух основных элементов:

1) Сигнального (или управляющего) элемента (СЭ), связанного с ротором двигателя.

2) Чувствительного элемента (ЧЭ), установленного на неподвижной части машины. К чувствительным элементам подводится питающее напряжение.

При достижении СЭ определенного углового положения, он бесконтактно воздействует на чувствительный элемент. В ЧЭ происходит преобразование этой энергии в электрический сигнал. Этот электрический сигнал поступает в систему управления инвертором и используются для управления коммутатором ВД

### **Индуктивные датчики**

Индуктивные ДПР используют дроссельные или трансформаторные чувствительные элементы (ЧЭ).

Для изменения индуктивности обмоток дросселей насыщения и трансформаторов таких датчиков применяется подмагничивание их магнитопроводов магнитным полем постоянного магнита сигнального элемента (СЭ). Под действием СЭ, магнитная проницаемость магнитопровода и его индуктивность изменяются периодически с частотой вращения ротора ВД, с которым связан СЭ.

Достоинства:

- 1) высокая надежность, простота и малая стоимость.
- 2) большая кратность выходного сигнала
- 3) достаточно крутой фронт сигнала.
- 4) относительно малые габариты.
- 5) широкий температурный диапазон и радиационная стойкость.

Недостаток:

- 1) Относительно высоком уровне радиопомех, связанный с датчиками, работающими на переменном токе высокой частоты
- 2) Необходимость вынесения датчика в отдельный узел в конструкции машины.
- 3) Использование в схеме коммутатора отдельного высокочастотного генератора для питания датчика.
- 4) Для микромашин возможны затруднения конструктивного и технологического характера, так как габариты датчика могут оказаться соизмеримыми с габаритами активной части машины.

Основным элементом трансформаторных датчиков является трансформатор насыщения. Если магнит удален, сердечник трансформатора не насыщен, имеется трансформаторная магнитная связь между первичной и вторичной обмоткой. На выходе есть сигнал. Если магнит приближен – сердечник трансформатора насыщается, магнитная связь между обмотками трансформатора практически исчезает, на выходе сигнал пропадает.

Области применения

Индуктивные и трансформаторные датчики переменного тока используются в основном в двигателях большой мощности. В маломощных вентильных двигателях применяются ДПР постоянного тока, не создающие помех (датчики Холла, магнито- и фотодиоды).

Гальваномагнитные датчики (датчик Холла)

Гальваномагнитными называются явления, связанные с воздействием магнитного поля на электрические свойства проводников и полупроводников с током. Техническое применение получили три гальваномагнитных явления:

- 1) Магниторезистивный эффект Гаусса.
- 2) Магнитодиодный эффект
- 3) Эффект Холла.

Наибольшее применение нашли гальваномагнитные датчики ЭДС Холла, наиболее чувствительные и малогабаритные.

Принцип действия датчиков Холла основан на эффекте Холла, который был открыт в 1879 году сотрудником Балтиморского университета Эдвином Холлом: если пластину из проводникового или полупроводникового материала поместить в магнитное поле с напряженностью  $H$  и пропустить через нее ток, то в ней возникает электрическое поле в направлении, перпендикулярном векторам напряженности и тока. При этом на боковых гранях пластины возникает ЭДС Холла. Если плотность тока постоянна, то эта ЭДС пропорциональна напряженности магнитного поля, т.е. магнитному потоку.

Выходной сигнал датчика Холла может быть и аналоговым, и дискретным (микросхема снабжается пороговым элементом (триггером Шмита)).

Достоинства датчиков Холла

1) Малые размеры (собственно микросхемы – до 0,8x0,8x0,1). Благодаря этому микросхемы могут быть встроены в рабочий зазор.

2) Высокая чувствительность к уровню индукции (0,13-0,25Т), чувствительность к направлению магнитного поля.

3) Хорошая помехозащищенность.

4) Достаточно высокая мощность выходного сигнала, обеспечивающая управление микросхемами логики.

5) Безинерционность, отсутствие запаздывания в канале обратной связи по положению ротора.

Недостатки:

1) Необходимость логической обработки выходного сигнала ДПР.

2) Необходимость использования многопроводного канала связи, магнито- и фотодиоды обладают большим внутренним сопротивлением в открытом состоянии и термонестабильны.

#### Литература

1. Гальваномагнитные датчики (датчик Холла) [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://megapredmet.ru/1-29958.html>. – 13.04.2020.
2. Датчики положения ротора [электронный ресурс] / Режим доступа: [https://studopedia.ru/13\\_36562\\_datchiki-polozheniya-rotora.html](https://studopedia.ru/13_36562_datchiki-polozheniya-rotora.html). – 13.04.2020.

УДК 621.3

## СПЕЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ОТ ОДНОФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 КВ

Шостак А. В.

Научный руководитель – ст. препод. Колосова И. В.

Электрические сети предприятия напряжением до 1 кВ выполняются с глухозаземленной нейтралью. В сетях с данным видом заземления нейтрали возможны трех-, двух- и однофазные короткие замыкания (КЗ). Токи однофазного КЗ зачастую лишь незначительно превышают токи нормального режима. Несмотря на это однофазные КЗ весьма опасны, т.к. достаточно быстро могут переходить в другие виды многофазных замыканий. Поэтому необходимо их своевременное отключение.

Следует отметить, что в большинстве случаев выполнить своевременное отключение однофазных КЗ с помощью автоматических выключателей не представляется возможным. Их расцепители не обеспечивают требуемого быстродействия. В связи с этим при выборе автоматических выключателей осуществляется проверка надежного их отключения при наименьшей величине тока однофазного КЗ. Методика данной проверки представлена в [1]. Очевидно, что наименьшее значение ток однофазного КЗ будет иметь при замыкании в наиболее удаленной точке сети. В рассматриваемом случае такой точкой является конец кабельной линии, питающей цех промышленного предприятия. Данная точка принимается за расчетную.

Если условия проверки не выполняются, то отключение КЗ в сети напряжением до 1 кВ должно обеспечиваться специальной защитой.

В качестве такой специальной защиты может применяться защита, выполняемая с использованием трансформаторов тока нулевой последовательности, и токового реле, с действием на вспомогательные расцепители автоматического выключателя, установленного на присоединении. Это так называемая выносная релейная защита. Опыт эксплуатации данного вида защиты показал ее высокую надежность при однофазных КЗ с действием на отключение.

Вспомогательными расцепителями автоматического выключателя являются независимый расцепитель (НР) и расцепитель нулевого напряжения (РНН). Рассмотрим их подробнее.

НР – представляет собой электромагнит с шунтовой катушкой. Он имеет кинематическую связь с механизмом свободного расцепления автоматического выключателя. Как только на катушку независимого расцепителя подается напряжение с помощью замыкающего контакта вспомогательной цепи, он размыкает главные контакты автоматического выключателя. При таком подключении должно исключаться длительное прохождение тока иначе катушка НР сгорит. Поэтому независимый расцепитель работает в кратковременном режиме. НР автоматического выключателя ВА50-43 представлен на рисунке 1.

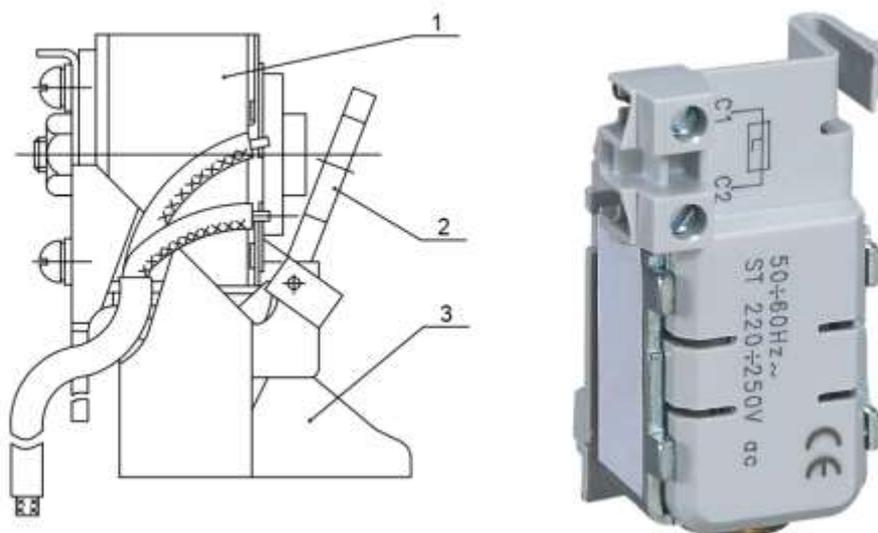


Рисунок 1 – Независимый расцепитель автоматического выключателя ВА50-43. электромагнит, 2 – якорь, 3 – скоба.

РНН – представляет собой электромагнит, катушка которого подключается к контролируемой (главной) цепи. При нормальном напряжении якорь притянут к сердечнику электромагнита, а когда напряжение падает ниже допустимого, якорь отходит, тем самым воздействуя на механизм свободного расцепления, и вызывает срабатывание расцепителя. При восстановлении напряжения якорь находится в опущенном положении и не дает возможности повторного включения. Расцепитель нулевого напряжения:

1. производит мгновенное отключение при падении напряжения на выводах его катушки ниже  $0,35U_{ном}$  при переменном токе и  $0,2U_{ном}$  при постоянном;
2. не срабатывает при напряжении  $0,55U_{ном}$  и более;
3. не блокирует включение при напряжении  $0,85U_{ном}$  и более;
4. ограждает от включения при напряжении  $0,1U_{ном}$  и ниже.

В основном РНН используется для отключения потребителей, не допускающих работу на пониженном напряжении или потребителей, самозапуск которых при автоматическом восстановлении питания нежелателен. Также расцепитель нулевого напряжения может использоваться в качестве независимого расцепителя. Для этого последовательно в цепь его управления включаются размыкающиеся контакты. При размыкании этих контактов РНН отключает автоматический выключатель. Расцепитель нулевого напряжения автоматического выключателя ВА50-43 представлен на рисунке 2.

Выносная релейная защита может быть реализована с воздействием как на независимый расцепитель, так и на расцепитель нулевого напряжения автоматического выключателя. Следует отметить, что данная защита также может применяться при отсутствии у автоматического выключателя названных вспомогательных расцепителей. В таком случае на отходящей линии необходимо наличие пускателя, защита будет действовать на его отключение. С помощью введения пускателя также можно осуществить защиту на отходящих линиях с предохранителями.

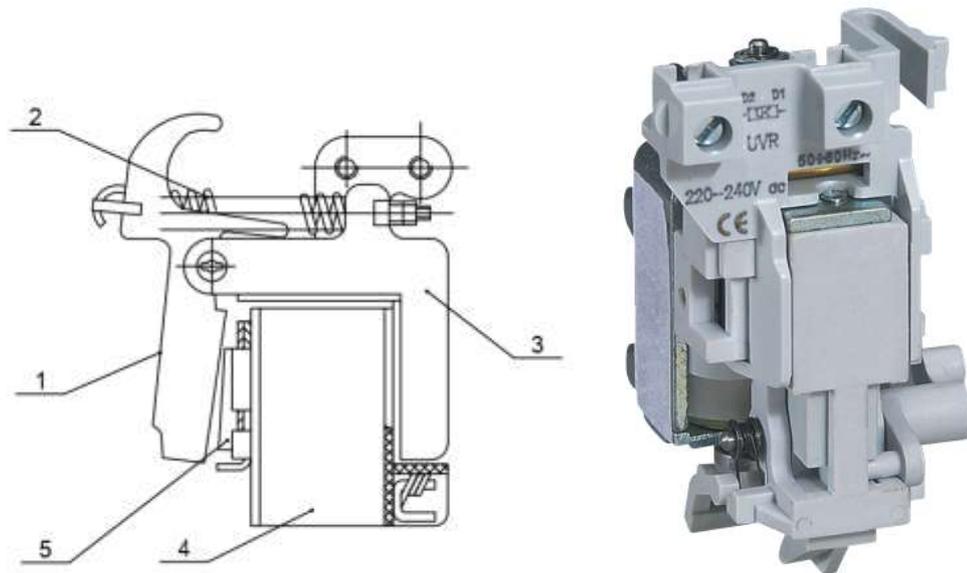


Рисунок 2 – Расцепитель нулевого напряжения автоматического выключателя ВА50-43.  
1 – якорь, 2 – пружина, 3 – ярмо, 4 – катушка, 5 – сердечник.

Рассмотрим принцип действия защиты реализованной по обеим схемам (с РНН и НР), представленным на рисунках 3 и 4 соответственно.

В каждой схеме присутствует трансформатор тока нулевой последовательности (ТТНП), который устанавливается на кабельную линию (охватывает ее). На схемах ТТНП имеет обозначение ТАН. Роль первичной обмотки в ТТНП играет сама КЛ. К выводам вторичной обмотки подключено токовое реле (КА1). В нормальном режиме нагрузочные и емкостные токи наводят в сердечнике ТТНП три магнитных потока, сумма которых равна нулю. При этом ток во вторичной обмотке отсутствует.

В случае однофазного КЗ в сердечнике ТТНП создается однонаправленный магнитный поток, что вызывает появление тока во вторичной обмотке. Под действием этого тока срабатывает реле КА1 (см. Рисунок 3), которое своим контактом КА1.1 размыкает цепь питания промежуточного реле КЛ1. Реле КЛ1 своим контактом КЛ1.1 размыкает цепь питания расцепителя нулевого напряжения КV и он отключает автоматический выключатель QF1. Также расцепитель отключает автомат при снижении напряжения на выводах его катушки до  $0,35U_{ном}$  независимо от действия защиты от однофазных КЗ. Схему рекомендуется применять на отходящих линиях, неселективное отключение которых допустимо при внешних КЗ.

Схема защиты с действием на НР представлена на рисунке 4. Аналогично предыдущей схеме под действием тока во вторичной обмотке ТТНП срабатывает реле КА1, которое своими контактами КА1.1 включает цепь промежуточного реле КЛ1. Реле КЛ1 в свою очередь замыкает контакт КЛ1.1 включая цепь независимого расцепителя К1, который отключает автоматический выключатель QF1. Питание цепей управления осуществляется от независимого источника переменного или постоянного тока защищаемого автоматическим выключателем QF2. Схему целесообразно применять на

отходящих линиях, для которых недопустимо отключение при внешних коротких замыканиях

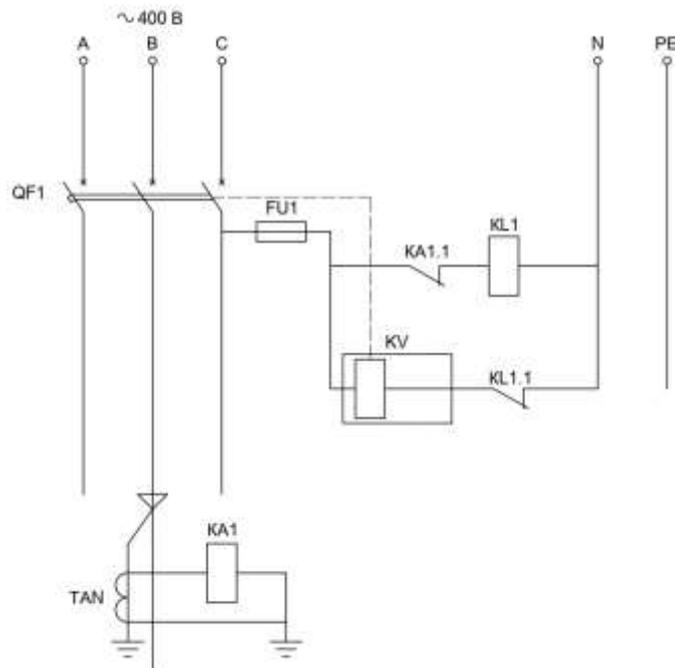


Рисунок 3 – Схема защиты отходящих линий от однофазных КЗ с воздействием на РНН автоматического выключателя.

Также для защиты отходящих линий от однофазных КЗ могут применяться автоматические выключатели с электронными (микропроцессорными) максимальными расцепителями переменного тока. Данные выключатели позволяют производить ступенчатое регулирование различных параметров. Одним из таких параметров является уставка по току срабатывания при однофазном КЗ  $I_0$  кратная номинальному току автомата  $I_n$ . Например, автоматический выключатель ВА50-43 с электронным максимальным расцепителем МРТ1-МП переменного тока позволяет регулировать уставку тока срабатывания защиты от однофазного КЗ  $I_0$  в диапазоне от  $0,4I_n$  до  $1,1I_n$  с интервалом  $0,1I_n$ . Регулирование осуществляется с помощью переключателя, расположенного на лицевой панели блока МРТ1-МП. Электрические принципиальные схемы выключателя переменного тока с расцепителем МРТ1-МП представлены на рисунках 5 и 6.

При возникновении однофазного короткого замыкания на землю в цепи выключателя переменного тока (с расцепителем МРТ1-МП), величина тока, протекающего по одному полюсу выключателя, превысит значения токов других полюсов на величину уставки тока срабатывания защиты от однофазных замыканий  $I_0$ , кратной номинальному току выключателя  $I_n$ , блок управления электронным расцепителем (БУПР) выдаст сигнал на срабатывание исполнительного электромагнита К1 (см. Рисунок 5). Исполнительным электромагнитом электронного расцепителя служит независимый расцепитель К1. При получении сигнала на срабатывание от БУПР пластинчатый якорь 2 НР (см. Рисунок 1) притягивается к сердечнику, охватываемому катушкой 1, и действует на отключение автомата.



что предохраняет катушку независимого расцепителя от длительного нахождения под током.

БРД – блок резисторов и диодов; ХР1, ХР2 – блок контактных соединений (штырей) для подключения элементов расцепителя и электромагнитного привода соответственно

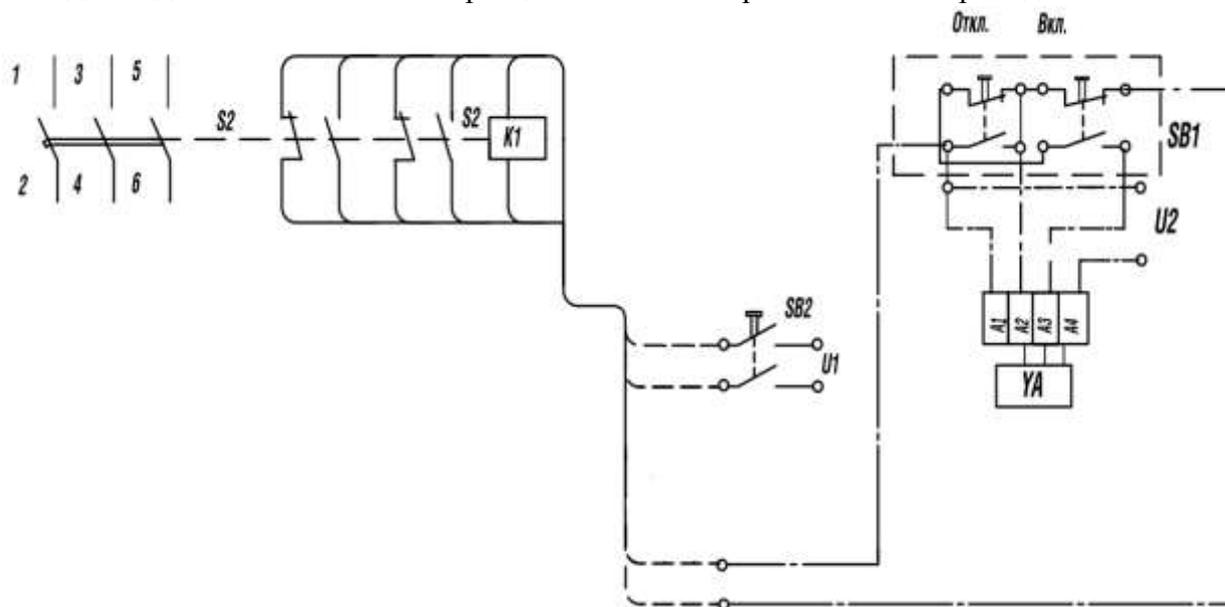


Рисунок 6 – Схема электрическая принципиальная выключателя переменного тока с расцепителем МРТ1-МП, с обозначением контактов:

YA – привод электромагнитный; SB1 – выключатель кнопочный электромагнитного привода; SB2 – выключатель кнопочный независимого расцепителя

Защита отходящих линий от однофазных КЗ с помощью автомата с электронным расцепителем является более современной и компактной по сравнению с выносной релейной защитой, но в тоже время и более дорогой.

#### Литература

1. Радкевич В.Н. / Электроснабжение промышленных предприятий / В.Н. Радкевич, В.Б.Козловская, И.В.Колосова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 589с.
2. Каталог: Выключатели автоматические серии ВА50-43, Завод «КОНТАКТОР».
3. Сибикин Ю. Д. Основы проектирования электроснабжения промышленных и гражданских зданий : учебник / Ю. Д. Сибикин. – 6-е изд., перераб. – М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. – 507 с

УДК 621.3

## ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Богданов Ю. И., Литош А.С.

Научный руководитель – м.т.н., ассистент Капустинский А.Ю.

Исполнительные двигатели – это двигатели, предназначенные для преобразования электрического сигнала в механическое перемещение. Двигатели этого типа являются важнейшими элементами систем автоматики. От их характеристик зависит качество работы всей системы в целом. Исполнительные двигатели почти всё время работают с не номинальными параметрами. В основном они находятся в переходных режимах пуска, реверса, остановки, движения с изменяющейся скоростью и т.п. Такие двигатели имеют линейные механические характеристики и обеспечивают устойчивость работы практически при любых частотах вращения. Специфика условий работы исполнительных двигателей определяет предъявляемые к ним требования. Энергетические параметры здесь не являются главными. В первую очередь важны показатели как быстродействие; диапазон регулирования; надёжность; малые габариты и масса; малая мощность управления, а также целый ряд показателей, связанных с регулировочной характеристикой, устанавливающей связь между сигналом управления и регулируемым параметром двигателя. К ним относятся: отсутствие мёртвой зоны и самохода (движение в отсутствии сигнала управления); линейность регулировочной характеристики; устойчивость работы во всём диапазоне регулирования.

Удельная мощность исполнительных двигателей постоянного тока в несколько раз больше, чем двигателей переменного тока. Это связано с тем, что для повышения линейности характеристик и устранения влияния на них поля реакции якоря магнитную систему двигателей делают менее насыщенной, а также, в этих двигателях снижают плотность тока в обмотках, чтобы снизить нагрев в условиях плохой вентиляции, потому что исполнительные двигатели никогда не снабжаются встроенными вентиляторами (крыльчатками). Так как самовентиляция неэффективна, при низких частотах вращения, при которых часто работают двигатели, плюс к этому вентилятор увеличивает момент инерции ротора и тем самым ухудшает динамику двигателя.

Исполнительные двигатели постоянного тока изготавливают номинальной мощности от долей ватта до 600 Вт нормальной и специальной конструкций, Масса исполнительных двигателей постоянного тока в 2 - 4 раза меньше, чем масса одинаковых по номинальной мощности исполнительных асинхронных двигателей, а КПД их при номинальной мощности 5...10 Вт составляет около 0,3 и достигает значения 0,65 и несколько выше для двигателей номинальной мощностью 200 - 300 Вт.

Двигатели стандартной конструкции аналогичны машинам постоянного тока общего применения. В них отсутствуют добавочные полюса, и станина с главными полюсами собирается из тонких листов электротехнической стали, изолированных друг от друга. К двигателям специальной конструкции

относятся машины постоянного тока с постоянными магнитами (что позволяет за счёт исключения потерь в обмотке возбуждения заметно увеличить КПД, до 60...70% даже при мощностях в единицы ватт), малоинерционные машины (с полым немагнитным ротором, который представляет тонкостенный цилиндр из пластмассы с запрессованной обмоткой из медного провода; двигатели с дисковым якорем, представляющим собой тонкий немагнитный диск из керамики, текстолита, стекла).

Постоянные магниты обеспечивают почти полную независимость основного магнитного потока двигателя от внешних воздействий, что улучшает эксплуатационные характеристики.

Отсутствие тепловыделения обмотки возбуждения в двигателе с постоянными магнитами даёт возможность при той же рабочей температуре увеличить ток якоря, и соответственно, увеличить вращающий момент и мощность двигателя.

В настоящее время, серийно выпускаются двигатели с магнитоэлектрическим возбуждением мощностью от долей ватта до нескольких десятков киловатт.

В системах автоматики применяются также бесколлекторные (вентильные) двигатели, у которых щеточно-коллекторный узел заменяют полупроводниковой схемой, управляемой сигналами датчика углового положения ротора. Бесколлекторный электродвигатель постоянного тока состоит из двигателя, полупроводникового коммутатора и датчика углового положения ротора. Бесконтактный двигатель имеет обмотку якоря на статоре и систему возбуждения с постоянными магнитами на роторе, с ротором жестко связан якорь датчика углового положения. В качестве таких датчиков могут применяться магниторезисторы, датчики Холла, радиоактивные элементы, емкостные, трансформаторные, индуктивные датчики, фоточувствительные устройства. Датчики положения ротора должны быть бесконтактными, надежными, малой массы и габаритов, иметь стабильный выходной сигнал, высокую чувствительность к угловому положению ротора.

Применение бесконтактных коммутаторов обмоток двигателя постоянного тока удорожает и укрупняет исполнительный двигатель, но увеличивает срок службы и надежность.

#### Литература

1. Усольцев А.А. Электрические машины автоматических устройств /Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2011, – 213 с.
2. Кацман М.М. «Электрические машины. Учебник», М., 2003 г

УДК 621.3

## ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Ракусевич А.О.

Научный руководитель – ст. преп. Колосова И.В.

В последние годы в мире всё чаще возникает проблема изменения климата. Увеличенный выброс углерода в атмосферу Земли сильно сказывается на состоянии экосистемы планеты в целом. Согласно последним подсчётам, мировые запасы углеводородов иссякнут примерно через 50 лет. При этом доля энергии, получаемой от органического топлива превышает 90%. Один из способов уменьшить затраты на закупку топливо-энергетических ресурсов – развитие альтернативных источников электроэнергии. Учитывая географическое положение и характер климатических условий Республики Беларусь, наиболее выгодным на сегодняшний день является развитие фотовольтаики, или другими словами – использование энергии Солнца. В данной статье рассматривается возможность применения солнечных панелей для электроснабжения административно-бытового корпуса (АБК) завода по производству грузовых автомобилей в г. Минске. Порядок расчёта приведён ниже.

### 1. Расчёт прихода солнечной радиации на наклонную поверхность

Оптимальный угол наклона солнечных панелей зависит от широты местности, а также может быть изменён в зависимости от того, какой оптимизации в производстве энергии необходимо добиться. Также, он может быть уменьшен от оптимального значения, если фотоэлектрическая (ФЭ) система работает в летний период, увеличен, если система эксплуатируется только в осенне-зимний период, или принят средним по значению, если система предназначена для круглогодичной эксплуатации.

Принимаем систему, которая будет эксплуатироваться круглогодично с изменением угла наклона 4 раза в год.

При регулировании угла наклона солнечных панелей четыре раза в год лучшими углами наклона будут:

- для лета: 35°; для весны: 46°; осени: 63°; для зимы 73°. Таким образом, средний градус: 48,9°.

Оптимальное время для изменения угла наклона на летний период – 18 апреля, на осенний период – 24 августа, на зимний период – 7 октября, на весенний период – 5 марта.

Для максимальной производительности энергии фотоэлектрические модули должны быть смонтированы таким образом, чтобы солнечные лучи падали на рабочую поверхность модуля под углом 90°. Добиться данного требования для солнечных установок возможно только при использовании специальных поворотных конструкций с двухосевой системой слежения за солнцем – трекерных систем. Такие солнечные установки, кроме явных преимуществ в максимальном исполнении солнечной энергии, являются достаточно дорогими устройствами, потребляют, хоть и незначительно, но

постоянно энергию, требуют большую по площади площадку для установки по сравнению с фиксированными конструкциями. Поэтому обычно идут на компромисс в производительности системы и стоимости конструкции, и в основном в фотоэлектрических системах используют стационарные конструкции. Принимаем ориентацию конструкции на юг, с незначительными отклонениями по азимуту. Также стационарную конструкцию с изменяемым углом наклона.

Среднемесячное суммарное дневное количество солнечной энергии  $E_K$ , поступающей на наклонную поверхность можно определить из выражения:

$$E_K = R \cdot E, \quad (1)$$

где  $R$  – коэффициент пересчёта суммарной солнечной радиации, принимается по [1];

$E$  – среднемесячное дневное количество суммарного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность, МДж/м<sup>2</sup>, принимается по СНБ 2.04.02-2000.

## 2. Расчёт выработки электроэнергии солнечными панелями

Удельная электрическая мощность, которую можно получить с 1 м<sup>2</sup> поверхности при оптимальном угле наклона солнечной панели, кВт·ч/(м<sup>2</sup>·день):

$$P_K = E_K / (3,6 \cdot N_{ДН}), \quad (2)$$

где  $N_{ДН}$  – число дней в рассматриваемом месяце.

При этом паспортная мощность панелей приведена при температуре окружающей среды  $t = 25^\circ\text{C}$ . Температурный коэффициент при расчётах можно принять равным  $-0.47\%$  на каждый градус разницы между текущей температурой и номинальной температурой (следовательно, при температурах ниже  $25^\circ\text{C}$  мощность панелей увеличивается, и наоборот):

Мощность панели с учётом поправочного коэффициента:

$$P_{ФАКТ} = P_{НОМ} (1 + 0,0047 \cdot (25 - t)). \quad (3)$$

Тогда среднемесячная выработка электроэнергии, кВт·ч, составит:

$$W = P_K \cdot P_{ФАКТ} \cdot N_{ДН} \cdot N_{ПАН} \cdot \eta, \quad (4)$$

где  $N_{ПАН}$  – число установленных панелей;  $\eta$  – суммарный КПД оборудования станции.

## 3. Определение количества солнечных панелей

Количество солнечных панелей выбирается для обеспечения необходимой выработки электроэнергии. Однако при выборе количества панелей следует учесть занимаемую площадь. Максимальное затенение одной солнечной панели другой будет при максимальном угле ее наклона (в зимний период). Площадь, занимаемая солнечной панелью при продольном ее расположении, будет зависеть от косинуса угла наклона. При этом расстояние между панелями

должно полностью исключать возможность затенения. Схема расположения солнечных панелей приведена на рисунке 1.

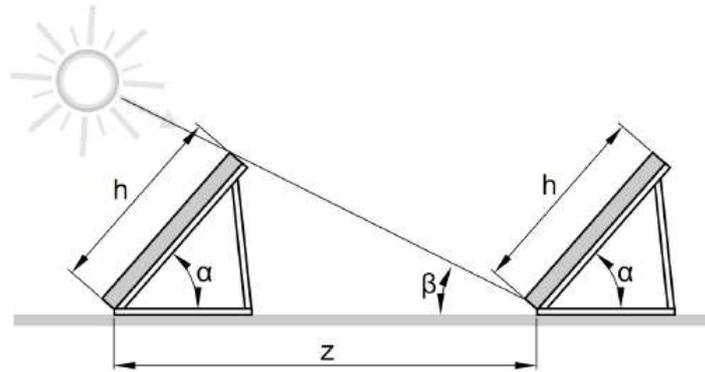


Рисунок 1 – Схема расположения солнечных панелей

Максимальная площадь, занимаемая одним модулем,  $m^2$  :

$$S_{MAX} = L \cdot z, \quad (5)$$

где  $L$  – длина модуля, м;

$z$  – размер тени, отбрасываемой модулем, м:

$$z = \left[ \sin(180^\circ - (\alpha + \beta)) \right] \cdot h, \quad (6)$$

где  $h$  – высота модуля, м.

Число панелей, которые можно расположить на свободной площади  $S_{CB}$ ,  $m^2$  :

$$N_{ПАН.МАХ} = S_{CB} / S_{MAX}. \quad (7)$$

Примем к установке солнечные ФЭ модули One-Sun 200М в количестве 450 шт. [2]. При этом накопители электроэнергии использоваться не будут. Данные по потреблению электроэнергии АБК и её выработке солнечной электростанцией приведены в таблицах 1-4.

При этом максимальное число панелей на выделенном участке площадью  $1200 m^2$  :

$$N_{ПАН.МАХ} = \frac{1200}{1,508 \cdot \left[ \sin(180^\circ - (15^\circ + 15^\circ)) \right] \cdot 0,08} \approx 987.$$

Данные по расходу электроэнергии АБК по месяцам с указанием фактического времени работы сведены в таблицы 1-2. Данные по среднемесячной температуре приняты по [3]

Таблица 1 – Силовые электрические нагрузки АБК

Вид оборудования	Уст. мощн. кВт	$K_{II}$	Расход электроэнергии, кВт·ч												
			январь	февр.	март.	апр.	май	июнь	июль	авг.	сен.	окт.	нояб.	дек.	итого
			165 ч	149 ч	165 ч	156 ч	172 ч	172 ч	172 ч	173 ч	173 ч	173 ч	165 ч	165 ч	
Кондиционеры и вентиляция	30	0,6	2970	2682	2970	2808	3096	3096	3096	3114	3114	3114	2970	2970	36000

Компьютеры, оргтехника	55	0,4	3630	3278	3630	3432	3784	3784	3784	3806	3806	3806	3630	3630	44000
Лифты	15,7	0,15	388,6	350,9	388,6	367,4	405,1	405,1	405,1	407,4	407,4	407,4	388,6	388,6	4710
Итого			6988,6	6310,9	6988,6	6607,4	7285,1	7285,1	7285,1	7327,4	7327,4	7327,4	6988,6	6988,6	84710

Таблица 2 – Осветительные нагрузки АБК

Уст. мощн. кВт	Расход электроэнергии, кВт·ч												
	январь	фев.	март	апр.	май	июнь	июль	авг.	сен.	окт.	нояб.	дек.	итого
	165 ч	149 ч	150 ч	135 ч	105 ч	110 ч	120 ч	135 ч	145 ч	150 ч	160 ч	165 ч	
40,5	6682,5	6034,5	6075	5467,5	4252,5	4455	4860	5467,5	5872,5	6075	6480	6682,5	68404,5

Таблица 3 – Суммарный расход электроэнергии АБК

Расход электроэнергии, кВт·ч												
январь	фев.	март	апр.	май	июнь	июль	авг.	сен.	окт.	нояб.	дек.	итого
1367	1234	1306	1207	1153	1174	1214	1279	1319	1340	1346	1367	15311
1,1	5,4	3,6	4,9	7,6	0,1	5,1	4,9	9,9	2,4	8,6	1,1	4,5

Таблица 4 – Прогнозируемая выработка электроэнергии солнечными панелями

Месяц	$E$ МДж/м <sup>2</sup>	$R$	$E_K$ МДж/м <sup>2</sup>	$P_K$ , кВтч/(м <sup>2</sup> день)	$P_{ном}$ , кВт	$t$ °C	$P_{факт}$ кВт	$N$ ПАН	$N$ дн	$\eta$	$W$ кВт ч
январь	69	1,5295	105,54	0,95	0,20	-4,50	0,23	450	31	0,9	3004,2
февраль	133	1,415	188,20	1,87		-4,40	0,23		28		5354,99
март	291	1,3592	395,53	3,54		0,00	0,22		31		11050,04
апрель	393	1,13	444,09	4,11		7,20	0,22		30		12031,06
май	567	1,064	603,29	5,41		13,30	0,21		31		15911,57
июнь	624	1,0385	648,02	6,00		16,40	0,21		30		16855,43
июль	590	1,053	621,27	5,57		18,50	0,21		31		16006,24
август	478	1,104	527,71	4,73		17,50	0,21		31		13657,85
сентябрь	315	1,224	385,56	3,57		12,10	0,21		30		10223,41
октябрь	154	1,6985	261,57	2,34		6,60	0,22		31		7104,74
ноябрь	59	1,5715	92,72	0,86		0,60	0,22		30		2583,79
декабрь	41	1,525	62,53	0,56		-3,40	0,23		31		1771,77

#### 4. Приблизительная оценка срока окупаемости проекта

Электричество, выработанная солнечной электростанцией, уходит полностью на покрытие нужд АБК. Однако в летние месяцы выработанные излишки следует продавать в энергосистему по льготному тарифу. Недостаток электроэнергии докупается предприятием по установленным тарифам у энергосистемы.

Электростанция приносит прибыль при генерировании электроэнергии. Эту прибыль можно разделить на 2 части – сэкономленные средства на покупку электроэнергии и прибыль от продажи излишков. Для расчёта примем льготный тариф на продажу электроэнергии 0,41587 руб/кВт·ч, а на покупку

0,3199 руб/кВт·ч [4]. Количество потреблённой от электростанции и проданной электроэнергии, а также её стоимость приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Количество и стоимость потреблённой от электростанции и проданной электроэнергии

Месяц	$W_{ПОТР}$ , кВт·ч	$W_{ПРОД}$ , кВт·ч	$C_{ПОТР}$ , руб	$C_{ПРОД}$ , руб
январь	3004,2	0	961	0
февраль	5354,99	0	1713,1	0
март	11050,04	0	3534,9	0
апрель	12031,06	0	3848,7	0
май	11537,6	4374	3690,9	1819,0
июнь	11740,1	5115,4	3755,7	2127,3
июль	12145,1	3861,2	3885,2	1605,7
август	12794,9	862,9	4093,1	358,9
сентябрь	102223,41	0	32701,3	0
октябрь	7104,74	0	2272,8	0
ноябрь	2583,73	0	826,5	0
декабрь	1771,77	0	566,8	0
Итого:			67761 руб.	

Как видно из таблицы 5, ежегодная прибыль от электростанции составляет  $\Pi = 67761$  руб.

где  $c_{сэс}$  – удельные капитальные затраты на солнечные электростанции (по данным коммерческих запросов, зависят от мощности электростанции: 1780 руб/кВт при малой мощности; при мощности более 100 кВт -1720руб/кВт;

$P_{уст}$  – установленная мощность солнечных панелей, в рассматриваемом случае  $P_{уст} = 90$  кВт, тогда:

$$K_{сэс} = 1780 \cdot 90 = 160200 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления:

$$A = \frac{K_{сэс}}{T_{сэс}}, \quad (9)$$

где  $T_{сэс}$  – срок службы электростанции, при  $T_{сэс} = 25$  лет:

$$A = \frac{160200}{25} = 6408 \text{ руб.}$$

Нормативов обслуживания солнечных электростанций нет. В расчете принято, что увеличение заработной платы электротехнической службы организации, которая выполняет обслуживание станции, будет пропорционально ее мощности, при этом на станцию мощностью 500 кВт потребуется один специалист с фондом заработной платы 80000 руб./год:

$$I_{зп} = P_{уст} \cdot 80000 / 500, \quad (10)$$

$$I_{зп} = 90 \cdot 80000 / 500 = 14400 \text{ руб.}$$

Затраты на текущий ремонт и обслуживание принимаем равными половине затрат на амортизацию:

$$И_{ТР} = 0,5 \cdot A = 0,5 \cdot 6408 = 3204 \text{ руб.}$$

Приведенные затраты для солнечной электростанции, руб:

$$З = A + И_{ТР} + И_{ЗП}, \quad (11)$$

$$З = 6408 + 3204 + 14400 = 24012 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости проекта:

$$T_{OK} = \frac{K_{СЭС}}{П - З}, \quad (12)$$

$$T_{OK} = \frac{160200}{67761 - 24012} = 3,66 \text{ лет.}$$

Вышеприведённые расчёты являются приблизительными из-за существования следующих допущений:

- 1) невозможность точного определения выработки электроэнергии от солнечных станций;
- 2) потеря электроэнергии в линиях и трансформаторах не учтена;
- 3) приближенное определение затрат на текущий ремонт, обслуживание и заработную плату;
- 4) усреднение стоимости на возведение электростанций;
- 5) усреднение потребления электроэнергии административно-бытовым корпусом.

Более подробная оценка проекта требует детального технико-экономического анализа. В настоящее время солнечные электростанции получают более широкое распространение из-за отсутствия пагубного влияния на окружающую среду и всё большего снижения затрат на их стоимость. Окончательное решение о возможности возведения объекта принимают собственники или руководство предприятия.

#### Литература

1. Ю.А. Лосюк, В.В. Кузьмич «Нетрадиционные источники энергии», Минск УП «Технопринт», 2005- 234 с.
2. Солнечная Энергоимперия [Электронный ресурс] / ООО «Солнечная энергоимперия» – Режим доступа: <http://solarempire.ru/oborudovanie/solnechnii-fe-modul-one-sun-200m-24.html> – Дата доступа 05.04.2020
3. Справочник по климату Беларуси. Часть I.: справочник / Государственный климатический кадастр. – Минск, 2017. – 85 с.
4. Тарифы на электрическую энергию для юридических лиц и индивидуальных предпринимателей [Электронный ресурс] / РУП «МИНСКЭНЕРГО» ФИЛИАЛ «ЭНЕРГОСБЫТ». – Режим доступа: [http://www.energosbyt.by/tariffs\\_ul\\_ee.php](http://www.energosbyt.by/tariffs_ul_ee.php). - Дата доступа: 05.04.2020.

УДК 621.3

## К ВОПРОСУ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Лычковский С.Н.

Научный руководитель – м.т.н., ст. преп. Казак Д.А.

Вопросам накопления и хранения энергии уделяется огромное внимание.

Одной из таких известных технологий являются гидроаккумулирующие электростанции: два резервуара на разной высоте, в верхний закачивается вода – накапливается потенциальная энергия, при необходимости, вода сливается в нижний резервуар, приводя в движение турбину гидрогенератора, вырабатывающего электрическую энергию.



Рисунок 1 Гидроаккумулирующая электростанция

Хранилища гидроаккумулирующих электростанций (аккумулирующие бассейны) – гигантские аккумуляторы, у которых ГЭС забирает энергию в зависимости от спроса, тем самым решая, в некоторой мере, вопросы сглаживания графика нагрузки, и вопросы накопления энергии.

Блоки литий-ионных батарей (Илон Маска) могут накапливать энергию и отдавать ее обратно в сеть, но их нельзя назвать единственным решением проблемы хранения электроэнергии. Во-первых, лития на земле ограниченное количество, это один из невозобновляемых ресурсов и на все «электронужды» его не хватит. Во-вторых, батареи стареют, их нужно регулярно менять и производить новые. Химические батареи – отличный способ выравнять скачки в сети, именно это и делают хранилища построенные Tesla. Также они незаменимы в удаленных местах вроде домика в глуши или острова в океане. Но, для мегаполисов будущего нужны новые технологии. Одна из таких перспективных технологий – сжатый воздух. Пока есть солнце, ветер или

прилив - компрессоры нагнетают воздух в гигантские подземные резервуары или, даже, старые шахты, а на пике спроса сжатый воздух выходит и вращает турбину.

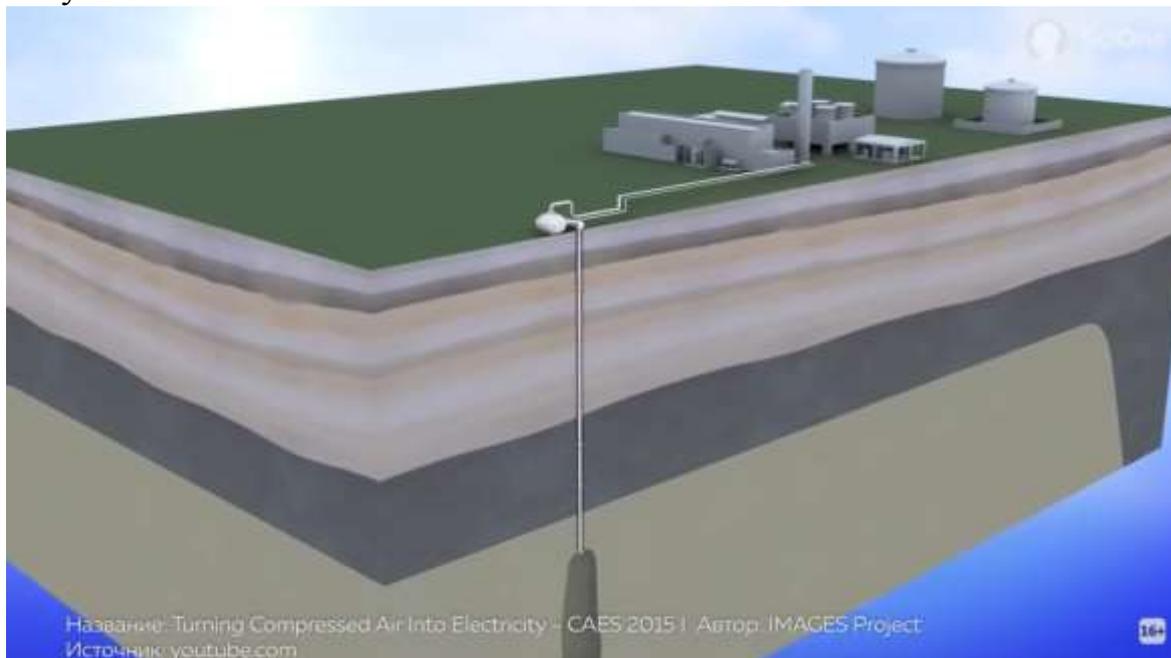


Рисунок 2 Аккумулирующая электростанция использующая сжатый воздух

Более сложный в исполнении способ – воздушные накопители в виде огромных мешков глубоко под водой. Давление воды в десятки атмосфер обеспечивает стабильную и ровную выработку электричества. Следующая ступень накопителя – криогенный. Воздух или другой газ охлаждается до  $-200$  по шкале Цельсия. Этот сжиженный газ можно компактно хранить в колбах-термосах. В нужный момент его выпускают в теплообменник и когда газ испаряется он сильно увеличивается в объеме, вращая генератор.



Рисунок 3 Криогенная аккумулирующая электростанция. Англия

Если разморозку производить под землей, то можно использовать холод для замораживания следующей порции газа. Так КПД криогенной батареи повышается до 50 %. А если использовать для разогрева побочное тепло от какой-нибудь фабрики эффективность возрастает до 70 %.

Еще один способ хранения энергии – маховик, огромное колесо, раскрученное до десятков оборотов в минуту, подключенное к генератору, который будет отбирать у колеса его кинетическую энергию.

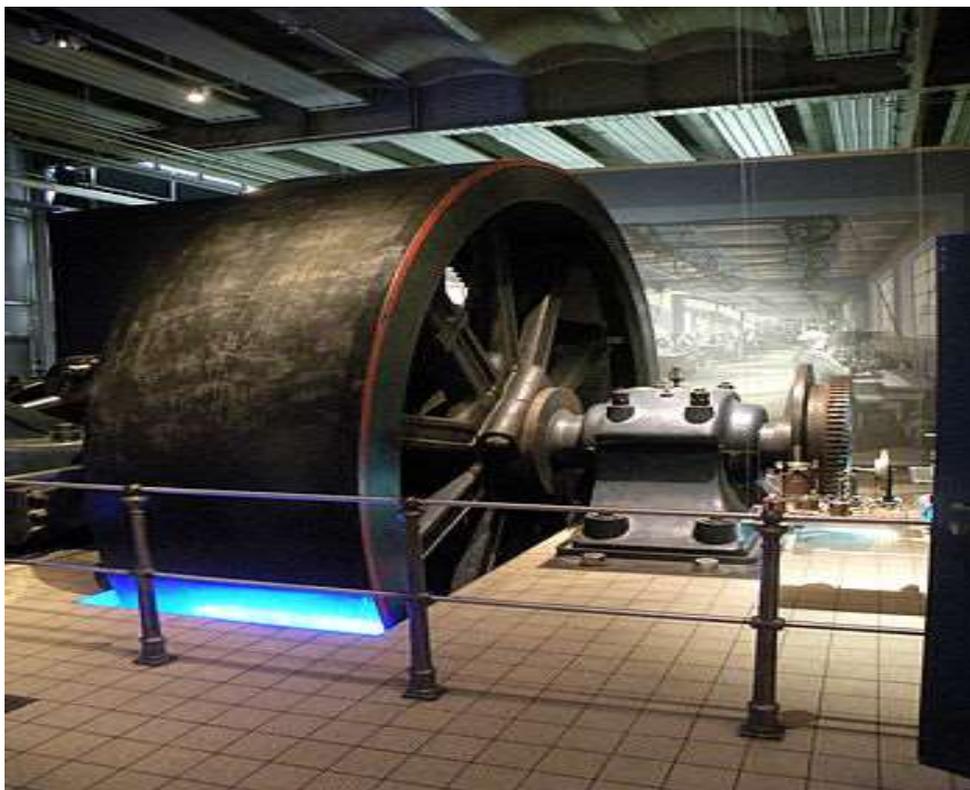


Рисунок 4 Маховик

Для воплощения в жизнь данной технологии необходимо выполнить несколько условий:

- 1) Поместить маховик в вакуум;
- 2) Использовать вместо подшипников магнитную подушку;
- 3) Маховик сделать из углеволокна или другого сверхпрочного материала.

#### Литература

1. <https://youtu.be/nTigu0pLIV8>

УДК 621.321

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ С МАГНИТОПРОВОДОМ ИЗ АМОРФНЫХ СПЛАВОВ

Мангул Д.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Збродыга В.М.

Как известно, в трансформаторе нагрузочные потери являются переменными, потери холостого хода постоянными.

Уменьшить потери в трансформаторах возможно использованием в трансформаторах магнитопроводов из аморфных сплавов.

Аморфные (нанокристаллические) сплавы, представляют собой новый класс металлических материалов с беспорядочной структурой на атомном уровне [2]. Отличительной особенностью таких материалов является то, что они имеют в 3–7 раз меньшие удельные потери при перемагничивании по сравнению с электротехническими сталями.

Исходным материалом для производства магнитопроводов энергоэффективных трансформаторов служит лента, получаемая методом сверхбыстрого (со скоростью порядка  $10^6$  К/с) охлаждения струи готового аморфного нано-кристаллического расплава, который выливается на поверхность барабана, вращающегося с большой скоростью, что изображено на рисунке 1 и 2.

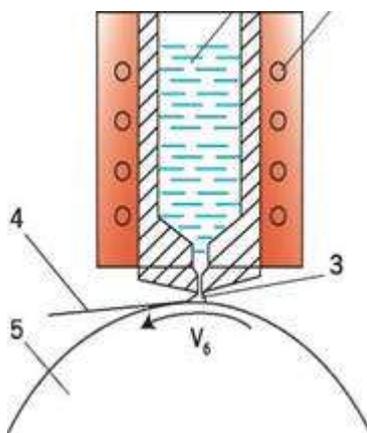


Рисунок 1. Схема поступления аморфного раствора на барабан: 1 – аморфный расплав; 2 – плавильная камера; 3 – лужа расплава; 4 – лента; 5 – охлаждающая поверхность

Получаемую ленту отжигают в среде инертного газа при воздействии магнитного поля напряженностью  $800 \text{ А/м}$ , что позволяет получить значительно меньшую площадь петли гистерезиса, чем у электротехнической стали, рисунок 3, значительно уменьшить потери холостого хода в магнитопроводе трансформатора. Аморфная лента имеет малую толщину ( $0,024 \text{ мм}$ ), ее сворачивают в пять слоев в рулон, затем изготавливают витые конструкции магнитопроводов трансформаторов.

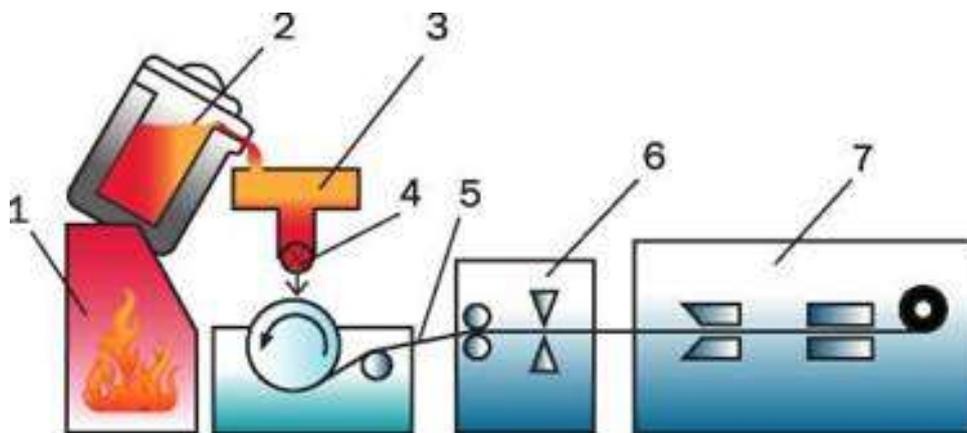


Рисунок 2. Упрощенная схема установки, для изготовления ленты из аморфного расплава:

1 – печь; 2 – аморфный расплав; 3 – резервуар; 4 – дозатор; 5 – лента из аморфного расплава; 6 – устройство непрерывного технологического контроля; 7 – устройство, осуществляющее непрерывное охлаждение ленты

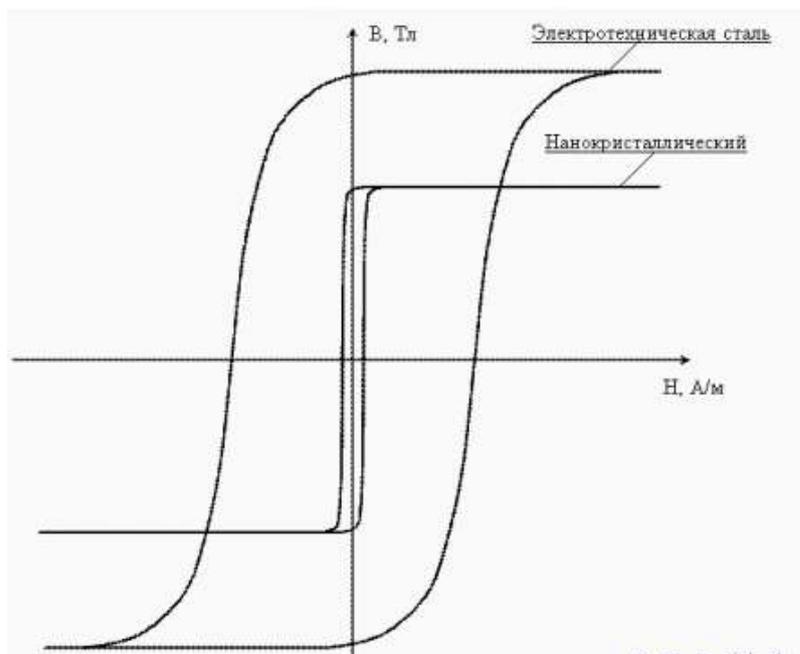


Рисунок 3. Петля гистерезиса для электротехнической стали и аморфного сплава

Электротехническая сталь является холоднокатанной, с ориентированными зернами (кристаллическая), как изображено на рисунке 4, имеет низкое удельное электрическое сопротивление с кристаллической магнитной анизотропией. Аморфный (некристаллический) сплав имеет не регулярную атомную структуру рисунок 5, отсутствие кристаллической магнитной анизотропии, его электрическое сопротивление выше, чем у холоднокатаной электротехнической стали с направленной кристаллической структурой [1].

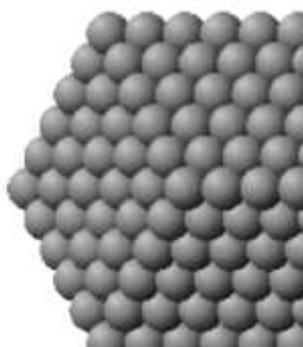


Рисунок 4. Атомную структура электротехнической стали

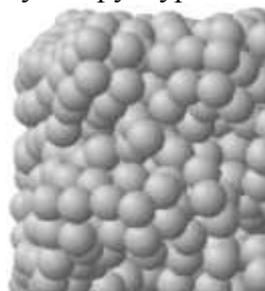


Рисунок 5. Атомную структура аморфного сплава

Потери холостого хода составляют одну треть потерь трансформаторов с сердечником из холоднокатаной электротехнической стали с направленной кристаллической структурой.

В таблице 1 показан сравнительный анализ потерь холостого хода для силовых трансформаторов номинальным напряжением 10 кВ мощностью от 25 до 2500 кВ·А.

Таблица 1 - Потери холостого хода в энергоэффективных и традиционных конструкциях распределительных трансформаторов напряжением 10 кВ

Мощность трехфазного трансформатора, кВ·А	Потери холостого хода, Вт	
	магнитопровод из электротехнической стали	магнитопровод из аморфного сплава
25	100	28
40	140	39
63	180	50
100	260	66
250	520	150
630	1000	280
1000	1700	350
1600	2100	490
2500	2700	550

Использование в магнитопроводах распределительных трансформаторов аморфных сплавов вместо электротехнической стали позволяет сократить потери холостого хода в 4–5 раз. Стоимость трансформаторов выше, но за счет своей экономичности в долгосрочной перспективе их выгоднее применять, чем трансформаторы с магнитопроводом, изготовленным из электротехнической стали.

Не так давно был изготовлен и начал работать крупнейший в Европе трехфазный распределительный трансформатор мощностью 1600 кВ·А с сердечником из аморфного сплава, изображенный на рисунке 6.



Рисунок 6. Трехфазный распределительный трансформатор мощностью 1600 кВ·А с сердечником из аморфного сплава

Изготовление крупногабаритных магнитопроводов энергоэффективных трансформаторов из ленты, получаемой методом сверхбыстрого охлаждения струи готового аморфного расплава, требует создания новой технологии производства магнитопроводов,

Аморфный магнитопровод, изготовленный из аморфной ленты, из-за низкой механической прочности не допускает воздействия на него чрезмерной весовой нагрузки. Поэтому он крепится к обмоткам, расположенным на несущей базе, и требует дополнительных мероприятий по увеличению жесткости конструкции. Отсутствие опыта эксплуатации такой конструкции магнитопровода энергоэффективных трансформаторов, требует дальнейших разработок

#### Литература

1. Аморфный сплав для энергоэффективного распределительного трансформатора / JASE-W Японские продукты и технологии интеллектуальной энергетики, 2013 г.
2. Масляные энергосберегающие трансформаторы / Кравченко А., Метельский В., – Электрик. – 2013 г., № 5.

3. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы / Вольдек А.И., Попов В.В. – СПб.: Питер, 2008 г.
4. Электроснабжение нефтеперекачивающих станций магистральных нефтепроводов / Шабанов В.А., Алексеев В.Ю. – Уфа: ООО «Монография», 2010 г.

УДК 621.3

## КОНСТРУКЦИЯ И ОСОБЕННОСТИ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Богданов Ю.И., Пильник А.С.

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

В настоящее время использование светодиодов в освещении встречается повсеместно: светодиодные светильники можно увидеть в отелях, офисных и общественных зданиях, почти всё концертное и театральное освещение стало светодиодным. Уже не редкостью являются лампы этого типа и в жилых помещениях, их без труда можно найти на полках в магазинах. Светодиоды хорошо проявили себя и в автомобилестроении. Высокая светоотдача и холодный свет мощных белых светодиодов составили конкуренцию ксеноновому освещению.

Светодиодная лампа — это сложное электронное устройство с большим количеством деталей, от которых зависит качество света, безвредность для здоровья и срок службы лампы.

Конструкция светотехнических изделий влияет не только на ресурс работы и надежность, но и на стоимость готовых изделий. Так, оптимальная конструкция призвана обеспечить отвод тепла от кристалла, выдерживать термоциклирование, обеспечить высокую технологичность монтажа. На долговечность работы изделия также влияют метод монтажа кристалла и материал теплоотводящего основания.



Рисунок 1 – Конструкция светодиодной лампы

Рассеиватель имеет форму полусферы и служит для рассеивания света от светодиодов, а также является верхней крышкой светодиодной лампы.

Чипы представляют собой непосредственно источник света – это светодиод, соединенный последовательно с другими светодиодами, которые в совокупности составляют светодиодный модуль.

Алюминиевая печатная плата на теплопроводимой пасте обеспечивает эффективный отвод тепла от чипов к радиатору, что гарантирует оптимальный температурный режим работы чипов.

Радиатор предназначен для эффективного отвода тепла от компонентов лампы.

Драйвер выступает источником питания для светодиодов. Он выпрямляет и стабилизирует питающий ток, а также обеспечивает защиту от перенапряжений.

Полимерное основание цокольной части выступает в качестве защиты корпуса от пробивания электрическим током. Выполняется из полиэтилентерефталата.

Цоколь обеспечивает надежный контакт с патроном и предотвращает возникновение коррозии за счёт того, что он выполняется из латуни с никелевым покрытием.

#### Достоинства

Светодиодные источники света не просто так получили такую популярность. Они обладают множеством преимуществ по сравнению с другими источниками света:

- низкое энергопотребление;
- сверхдолгий срок службы;
- прочность, стойкость к механическим воздействиям;
- отсутствие ультрафиолетового излучения;
- без инерционность;
- отсутствие мерцания;
- различное рабочее напряжение;
- отсутствие шума;
- высокая светоотдача;
- направленность излучения;
- работа при низких температурах.

Рассмотрим подробнее некоторые из них.

Срок службы 30–50 тыс. часов. Это больше, чем у других видов источников света. Однако за этот длительный период выявятся некоторые недостатки, но об этом позже.

Светодиоды могут излучать свет в широком диапазоне – начиная от 1800°K и перешагивая границу в 6000°K. В зависимости от нужд потребитель может подобрать светодиодный источник света любого тона: холодного, нейтрального, тёплого.

Частые включения и выключения не влияют на срок службы светодиода, а в момент подачи питания он светится сразу на полную мощность. Кроме этого,

в светодиодных осветительных приборах нет опасных химических элементов, а их колба может быть изготовлена из пластика, что делает их менее хрупкими.

Бесспорным преимуществом светодиодных ламп является возможность копирования форм-фактора любого другого осветительного прибора. И как результат, рынок полон лампами на основе светодиодов с широко используемыми стандартными цоколями: E14, E27, G4, G5 и прочие.

#### Недостатки

Однако нужно учесть, что светодиодные источники света не идеальны, и имеют ряд недостатков:

- высокие требования к качеству теплоотвода;
- относительно высокая цена;
- негативное влияние на зрение человека;
- невозможность работы при высоких температурах;
- необходимость в дополнительных устройствах.

Отдельно нужно отметить деградацию светодиодов – это необратимый процесс падения уровня светового потока от времени. Другими словами, чем дольше работает светодиодная лампочка, тем тусклее становится её свет. Из-за длительного срока службы, светодиодные источники света почти не исследуются в области деградации светового потока. Поэтому вы, как потребитель, вряд ли сможете узнать через какой промежуток времени лампы станут светить тусклее на 10%, а через какой на все 30% и ее нельзя будет использовать.

#### Эффективный и полный срок службы

На все стандартные типы светодиодов существует техническая документация (datasheet), где указывается графическая зависимость относительного светового потока (%) от времени работы (ч) при определенной температуре окружающей среды.

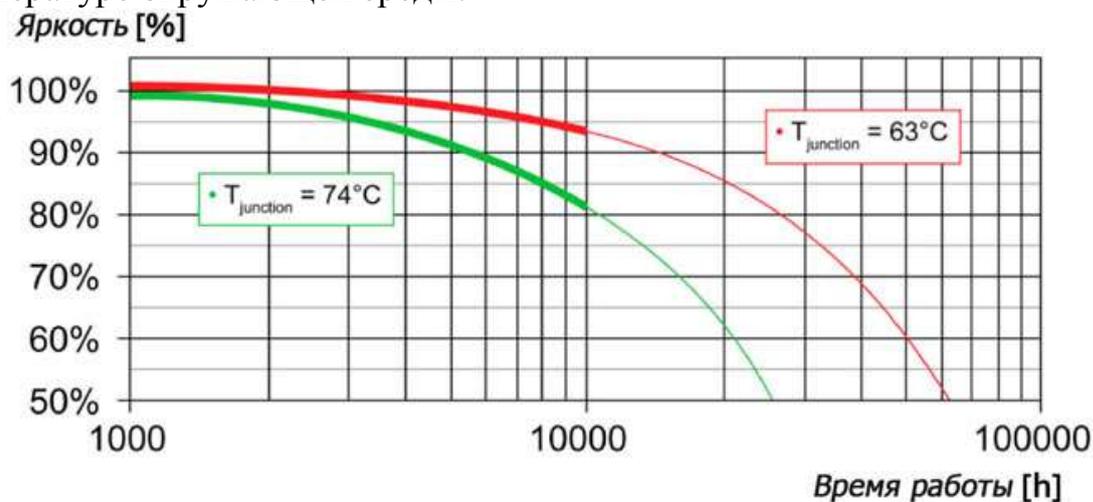


Рисунок 2 – График потери яркости лампой за время работы

Стоит заметить, что данные приводятся только для первых 3000 часов использования, и за это время яркость падает не менее, чем на 5%, а далее зависимость линейная. На практике кривая имеет большую кривизну из-за неидеальных условий эксплуатации. Причём постепенная потеря яркости никак

не отображается в технических характеристиках лампочек. Производителям светодиодных ламп и светильников гораздо выгоднее указывать в спецификации к изделию полный срок службы светодиода, тем самым завлекая покупателя числом с четырьмя нулями. На самом деле более корректно указывать эффективный срок службы светодиодных светильников и ламп в соответствии со стандартом IES LM-80 (методы измерений светового потока LED источников света). В соответствии с п.3.6 IES LM-80 эффективный срок службы – это время, в течение которого световой поток упадёт до 50% или 70% от начального значения и обозначается L50 и L70 соответственно. Кроме этого, на эффективный срок эксплуатации влияет время, за которое выйдет из строя половина светильников по причине:

- низкой светоотдачи B50;
- неисправности в электрической цепи F50.

Поэтому полный срок службы – это просто теоретический расчёт, предоставленный производителем светодиодов, и реальный осветительный прибор этот показатель никак не характеризует.

#### Литература

1 Козловская В.Б. Электрическое освещение: учебник /В.Б. Козловская, В.Н. Ракевич, В.Н.Сацукевич. – Минск: Техноперспектива, 2011. – 543 с.

2 [https://ru.wikipedia.org/wiki/Светодиодная\\_лампа](https://ru.wikipedia.org/wiki/Светодиодная_лампа)

УДК 697.329

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТИПОВ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Буйницкий С.В., Курилик А.С.

Научный руководитель – м.т.н., ст. преп. Сталович В.В.

Одним из видов альтернативной энергии является солнечная. Особым критерием данной энергии является то, что она неисчерпаема. Освещённая поверхность нашей планеты постоянно принимает поток излучения мощностью порядка 120 петаватт, что в 10 000 раз больше, чем сейчас потребляет человечество. Несмотря на то, что солнечную энергию, в отличие от ископаемых видов, необходимо всё время накапливать и хранить, солнечные станции сейчас появляются всё чаще. Лидирует в производстве данного вида альтернативной энергии Китай, где уже построено солнечных станций на 180 ГВт. Все солнечные станции мира вырабатывают около 500 ГВт энергии.

Ученые ещё в середине 19 века задумались о получении энергии от солнца. Впервые такое явление, как получения тока, инициированное светом, было открыто Эдмондом Беккерелем в 1839 году. Он работал с фотогальваническим эффектом электрохимической батареи. Но первую батарею – полупроводниковый фотоэлемент из селена, покрытый золотом – создал американский учёный Чарльз Фриттс в 1883 году. Эффективность его батареи была крайне мала, около 1%, однако она являлась первым устройством для данного явления. Окончательную и полную теорию фотоэффекта сформулировал Альберт Эйнштейн, за что получил нобелевскую премию 1921 года по физике. В 1954 году лаборатория Белла (AT&T Bell Laboratories) выпустила первую кремниевую батарею с р-п переходом для телефонной связи, эффективность которой была 6%, а уже в 1958 году в космос отправились спутники с фотогальваническими элементами на борту.

Изменение климата на планете, удорожание и невозобновляемость традиционных источников энергии – всё это и многое другое заставляет людей, корпорации и даже целые государства переходить на возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Сегодня солнечные панели можно встретить как на крыше домов, так и на фонарных столбах города. Основываясь на мировом опыте, установленное значение стоимости 1 Вт солнечной энергии составляет порядка 3\$, большая часть цены которой состоит из проектирования (1,05\$), стоимости модуля (0,84\$), монтажные материалы (0,51\$), монтажные работы (0,31\$) и др. При этом, прогнозы в области удешевления достаточно позитивны: Международное агентство возобновляемой энергетики IRENA полагает, что стоимость снизится до 0,30 \$/Вт энергии. В связи с удешевлением добычи солнечной энергии, всё больше граждан устанавливают панели у себя дома для перекрытия некоторых бытовых нужд (так называемая, микрогенерация). Микрогенерация – это производство электроэнергии объектами очень малой мощности; к микрогенерации относятся объекты мощностью до 15 кВт, установленные у потребителей и используемые ими в бытовых целях.

Однако, солнечное излучение можно использовать не только для выработки электроэнергии, но и для прямого нагрева воды с помощью

солнечных коллекторов (гелиоколлекторов). Гелиоколлекторы – это устройства, позволяющие с помощью солнечной энергии нагревать теплоноситель, тем самым отапливая помещение и/или нагревая воду для бытовых нужд.

Гелиосистема – это полный комплект оборудования для преобразования из солнечного света тепловой энергии, состоящая из: солнечного коллектора, аккумулятора, насоса и контролера управления. На рисунке 1 представлена типовая схема и принцип работы гелиосистемы [1,2].

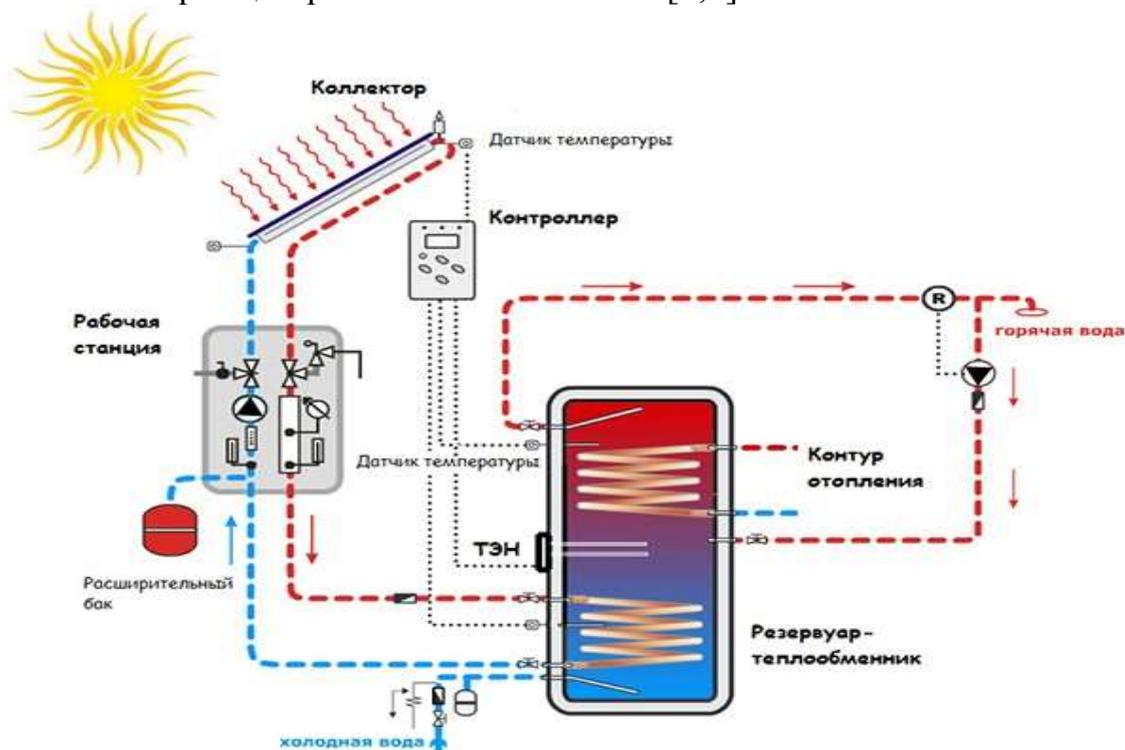


Рисунок 1 – Типовая схема и принцип работы гелиосистемы

В настоящее время наиболее распространены гелиоколлекторы двух типов: плоские и вакуумные [1]. Общий вид вакуумного гелиоколлектора представлен на рисунке 2. Главным элементом вакуумного гелиоколлектора является тепловая труба. Внешне она представляет собой ряд, состоящий из стеклянных трубок, заключённых в алюминиевом каркасе. Каждая трубка состоит из двух трубок разных диаметров, а между ними находится вакуум. Благодаря нему теплоноситель внутри неё намного лучше защищён от воздействия температуры окружающей среды. Медная труба с меньшим диаметром содержит внутри себя специальную нетоксичную жидкость. При нагревании она испаряется. Пар поднимается к самому верху трубки – к наконечнику. Там он отдаёт тепло теплоносителю, находящемуся в теплопроводе.

Конденсируясь на стенках трубы, жидкость обратно стекает вниз. Далее процесс снова повторяется. Все трубы расположены параллельно. Угол наклона зависит от места монтажа системы и географической широты объекта. Панель должна быть направлена на юг.

Чтобы внутри трубок как можно дольше сохранялся вакуум, один их конец покрыт толстым слоем бария. Он поглощает различные газы, которые появляются во время эксплуатации и хранения устройства.



Рисунок 2 – Общий вид вакуумного гелиоколлектора

Чтобы провести замену не нужно останавливать всю систему. Также, если одна из трубок вышла из строя, то коллекторы всё равно продолжают работать как прежде. В случае необходимости в систему можно добавить трубки или снять лишние.

Основными преимуществами вакуумных гелиоколлекторов являются [3]:

- удобный монтаж;
- простое обслуживание;
- низкие теплотери;
- длительный период работы.

К основным недостаткам вакуумных гелиоколлекторов относят трудности в очистке их от снега, который закрывает значительную часть труб, что уменьшает поглощение солнечного излучения.

Как уже отмечалось, ещё одним наиболее распространённым типом гелиоколлекторов являются – плоские. Общий вид плоского гелиоколлектора представлен на рисунке 3.

Внешне плоские гелиоколлекторы представляют собой прямоугольную панель. Корпус выполнен из алюминия. Для подачи и вывода теплоносителя имеются 2 патрубка. Боковые стороны и одна стена обычно утеплены теплоизолятором толщиной аорядка 3-4 см. Это позволяет значительно сократить теплотери устройства.

Главная часть всего гелиоколлектора – это абсорбер, соединенный с теплопроводом. Именно он поглощает инфракрасное излучение. Сверху он закрыт закалённым стеклом. Чаще всего поглощающий элемент делается из меди, так как она имеет высокую теплопроводность.

Принцип действия плоского гелиоколлектора следующий [3]: солнечные лучи проникают сквозь стекло и попадают на абсорбер. Он нагревается и

передаёт тепло теплоносителю. В отличие от вакуумных систем, плоские коллекторы могут самостоятельно очиститься от снега. Их монтаж можно провести под любым углом. Но по сравнению с вакуумными устройствами, у них больше теплотери, и устанавливать их нужно только в полностью собранном виде. Еще один недостаток – в случае повреждения придётся менять всю панель. Но по сравнению с вакуумными, они более надёжные и простые.



Рисунок 3 – Общий вид плоского гелиоколлектора

При выборе гелиоколлектора необходимо оценивать температурный и радиационный режимы климата в Республике Беларусь [1]. Так, годовая суммарная солнечная радиация в северных районах Беларуси составляет порядка 3500-3600 МДж/м<sup>2</sup>, в то время как южные районы получают более 4100 МДж/м<sup>2</sup>. Больше всего солнечной радиации поступает на поверхность в июне, которой в 15 раз больше, чем в декабре. Из выше сказанного, логично сделать вывод, что наилучшие показатели по выработке тепловой энергии от гелиоколлекторов получаются в южных районах Беларуси, в особенности Брестской, Гродненской и Гомельской областях.

### Литература

1. Покотилов, В.В. Гелиосистемы теплоснабжения жилых зданий для эксплуатационных условий Республики Беларусь: рекомендации по проектированию / В.В. Покотилов, М.А. Рутковский. – Минск: БНТУ, 2017 – 60 с.
2. Преобразование и использование солнечной энергии для теплоснабжения. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.systel.com.ua/2017/06/15/preobrazovanie-i-ispolzovanie-solnechnoj-energii-dlya-teplosnabzheniya>.
3. Как работают гелиоколлекторы? [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://realsolar.ru/article/opyt-ekspluatacii/kak-rabotayut-geliokollektory>.

УДК 621.314

## К ВОПРОСУ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Сивцов Н.А., Ратомский Е.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Збродыга В.М.

Для продления срока службы силовых трансформаторов важным является диагностирование наиболее вероятных дефектов, влияющих на снижение запаса прочности и повышающих вероятность выхода из строя (аварийной ситуации) в условиях эксплуатации, которыми являются:

- 1) дефекты электрической изоляции;
- 2) электромагнитные дефекты;
- 3) механические дефекты;
- 4) дефекты устройств ввода и регулирования под нагрузкой;
- 5) дефекты системы охлаждения трансформатора.

Важно не только выявить дефект, но и определить скорость его развития. При этом, качественное прогнозирование зависит от своевременного диагностирования, задачами которого являются объективная оценка, обнаружение отклонений и установление степени нарушения функционирования на основе измерения физических, химических или иных объективных показателей с помощью инструментальных или лабораторных методов исследования, представленных самостоятельной организационной структурой в виде оснащенных соответствующими аппаратами, лабораториями и специально подготовленными специалистами.

В качестве электрической изоляции в силовых трансформаторах широко применяются минеральное трансформаторное масло и целлюлозные материалы. Целлюлозная изоляция обеспечивает диэлектрическую прочность трансформатора и расстояние между обмотками, а также пространство между обмотками, которые имеют другой потенциал. Минеральное трансформаторное масло, благодаря пропитке в бумаге, повышает ее электрическую прочность.

Во время работы трансформаторы подвергаются воздействию электрических, термических и механических напряжений, что приводит к ухудшению изоляции. Последствиями являются быстрые химические реакции и разрушение материалов (из которых многие образуют газы в масле), повреждение изоляции, снижение эксплуатационной безопасности и, в конечном итоге, выход из строя или поломка.

Причины образования газов можно разделить на три категории: коронный или частичный разряд, пиролиз (разложение веществ под воздействием высоких температур), термическое разложение и искры. Большая часть энергии высвобождается во время искр с последующим перегревом и, наконец, из-за появления короны. Газы, которые появляются во время повреждения, являются типичными для разрушения системы изоляции: углеводороды, оксиды углерода и газы, которые не происходят из-за повреждений: водород ( $H_2$ ), метан ( $CH_4$ ), этан ( $C_2H_6$ ), ацетилен ( $C_2H_2$ ), этилен ( $C_2H_4$ ), окись углерода ( $CO$ ) и двуокись углерода ( $CO_2$ ) и другие[1].

Поэтому в качестве диагностирующего инструмента возможно использование трансформаторного масла, показатели которого можно разделить на 4 функциональные группы:

- 1) показатели идентификации;
- 2) показатели электрической прочности;
- 3) показатели старения;
- 4) показатели продуктов аномальной деградации.

Эффективность выявления дефектов повышается посредством изменения температуры и нагрузки перед отбором пробы, использование нескольких точек для отбора проб, тангенса угла потерь и температурной миграции влаги и газов. Разные масла образуют разные продукты окисления из них выделим основные:

- 1) продукты, ускоряющие декомпозицию целлюлозы,
- 2) проводящие и полярные,
- 3) продукты аккумуляции связанной воды.

Использование трансформаторного масла в качестве диагностирующего инструмента подразумевает анализ микрочастиц в масле, образованных при ненормальном режиме работы: перенапряжениях, пиролизе, разрядах. Анализ растворенного газа (АРГ) – лучший способ обнаружить неисправности в работе трансформаторов, который может выявлять и предупреждать 70 % самых частых случаев отказа силовых трансформаторов. В настоящее время хроматографический анализ газов трансформатора является одним из наиболее важных и наиболее чувствительных методов раннего обнаружения изменений состояния масляной бумажной изоляции.

В газовой хроматографии подвижной фазой является газ, который переносит компоненты смеси через неподвижную фазу. Неподвижной фазой служат твердый адсорбент или жидкость, нанесенная на твердый носитель. Газ-носитель поступает в хроматограф из баллона через редуктор. Обычно в качестве газа-носителя применяют гелий, азот, аргон. Ввод пробы осуществляется автоматически. Компоненты смеси проходят через колонку с потоком инертного газа, при выходе из колонки вещества попадают детектор, который позволяет идентифицировать их и определить количественно. В хроматограф с масс-селективным детектором позволяет проводить анализ объектов окружающей среды, лекарственных препаратов, пищевых продуктов и растительного сырья, а также проводить идентификацию компонентов веществ органического происхождения неизвестного состава. Рассмотрим устройство газожидкостного хроматографа. Основными узлами прибора являются баллон с газом носителем, масс-спектрометр, авто-сэмплер и газовый хроматограф. Хроматографическая колонка представляет собой полую металлическую проволоку, в качестве детектора используется подключенный к хроматографу масс-спектрометр, позволяющий получить масс-спектр каждого компонента смеси, выходящего из колонки. С помощью масс-спектров можно легко определить подлинность компонент. Сегодня не существует абсолютного метода, который бы позволял выполнять такую настройку со стандартами абсолютно известных концентраций газа [2].

Критерий скорости нарастания газов в масле при превышении концентрации газов за граничные значения является решающим для отключения трансформатора.

Отсутствие единой методики интерпретации результатов ГХА масла силовых трансформаторов и автотрансформаторов делает затруднительным сравнение состояния трансформаторов, которые контролируются разными организациями. Невозможно координировать критерии оценки состояния трансформаторов, использовать опыт других организаций [2].

С помощью ГХА определяем постепенно развивающиеся дефекты, такие как замыкания параллельных проводников в обмотке, дефекты потенциальных соединений экранирующих колец и других деталей, частичные разряды между дисками или проводниками из-за загрязнения масла, дефекты болтовых соединений, скользящих и подвижных контактов, образование замкнутых контуров тока через стяжные болты с двойным заземлением сердечника. Но существуют и быстроразвивающиеся дефекты, которые нельзя предупредить с помощью ГХА масла. К таким дефектам относятся мгновенно развивающиеся перекрытия с общими серьезными последствиями; перекрытия, развивающиеся в течение короткого времени - от секунд до минут (дефекты контакта токоведущих частей, замыкания витковой изоляции после динамических воздействий КЗ).

Измерение сопротивления обмоток постоянному току также входит в обязательный объем заводских контрольных испытаний каждого трансформатора. Кроме того, при поступлении информации о неисправности трансформатора от средств непрерывного контроля или средств периодического контроля, выполняемого без отключения трансформатора, в ряде случаев выполняют измерение сопротивления обмоток постоянному току для уточнения характера и места дефекта.

Эти измерения позволяют проверить: - качество соединений и паек, имеющихся в обмотках; - качество контактов в переключателях; - отсутствие обрывов, правильность числа параллелей (отсутствие обрывов одной или нескольких параллелей в обмотках, намотанных из нескольких параллельных проводников).

Сопротивление обмоток постоянному току измеряются по схеме «моста» или по методу потери напряжения (с помощью вольтметра и амперметра) [3].

Измеренные значения сравнивают с полученными ранее. Они не должны отличаться от исходных более чем на 5 %, а разница в измеренных на разных фазах не должна отличаться более чем на 2 % (при одинаковых положениях регулировочных отпаяк).

Измерение сопротивлений короткого замыкания позволяет определить нарушение геометрии обмоток силового трансформатора в результате механических воздействий при протекании больших токов или нарушения механизма прессовки.

При протекании по обмоткам трансформатора больших токов (например, токов внешних КЗ) возникают электродинамические силы, которые могут вызвать деформацию отдельных проводников, катушек или всей обмотки.

Вероятность повреждений при таких воздействиях зависит не только от значения тока, но и от числа внешних КЗ, создавших броски тока. Ослабление усилий прессовки приводит к повышенным вибрациям обмотки и, как следствие к витковым замыканиям из-за истирания изоляции [1].

Коэффициент трансформации измеряют с помощью специальных электрических схем (мостов) по способу компенсации или методом двух вольтметров, один из которых присоединяется к обмотке низшего, а другой к обмотке высшего напряжения [2]. Класс точности измерительных вольтметров должен быть не ниже 0,2. Коэффициент трансформации определяют на всех регулировочных ответвлениях обмоток и на всех фазах.

Проверку электрической прочности изоляции проводить при вводе маслонаполненных трансформаторов в эксплуатацию и капитальных ремонтах без смены обмоток и изоляции не обязательно. Испытание изоляции сухих трансформаторов обязательно.

При капитальном ремонте с полной сменой обмоток и изоляции испытание повышенным напряжением обязательно для всех типов трансформаторов.

Электрическую прочность изоляции между обмотками разных напряжений (ВН, СН, НН) и каждой из них относительно заземленных частей трансформатора определяют приложенным напряжением. Это испытание, называемое часто испытанием главной изоляции трансформатора, состоит в том, что от постороннего источника переменного тока через специальный испытательный трансформатор подают напряжение на испытываемую обмотку трансформатора, при этом один провод от испытательного трансформатора подключают к соединенным между собой вводам испытываемой обмотки, а другой - соединяют с заземленным баком. Все остальные вводы других обмоток, включая вводы расщепленных ветвей обмоток, а также зажимы измерительных обмоток трансформаторов тока, встроенных во вводы трансформатора, соединяют между собой и заземляют вместе с баком испытываемого трансформатора [3].

В результате приложения повышенного напряжения в испытываемой изоляции создается увеличенная напряженность электрического поля, что позволяет выявить в ней дефекты, не обнаруженные другими методами.

Наиболее характерными дефектами, выявляемыми при этом испытании, являются: — недостаточные расстояния между гибкими неизолированными отводами обмоток НН в месте их подключения к шпильке ввода; — наличие в трансформаторе воздушных пузырей; — некоторые виды местного увлажнения и загрязнения изоляционных деталей.

Для оценки состояния изоляции трансформатора в условиях производства на заводе применяют следующие методы испытаний: измерение сопротивления изоляции обмоток под напряжением постоянного тока; измерение тангенса угла диэлектрических потерь; испытание пробы трансформаторного масла; испытание электрической прочности изоляции обмоток напряжением промышленной частоты.

Результаты этих испытаний в процессе производства используют для проверки технологических режимов обработки изоляции (сушка, пропитка), а

также после окончательной сборки трансформатора перед испытанием прочности изоляции обмоток напряжением промышленной частоты; эти испытания являются исходными данными при оценке состояния изоляции на монтаже перед вводом его в эксплуатацию.

Используя статистические данные результатов ХАРГ для отдельных трансформаторов, возможно создать модель прогнозирования для оценки медленно развивающихся дефектов. Это позволит увидеть реальную перспективу использования конкретных трансформаторов в будущем и планировать различные мероприятия с целью предотвращения их внезапного выхода из строя [3].

Таким образом, учитывая требования современных энергосистем, вопрос надежности трансформатора является одним из главных приоритетов. Необходимость контроля работы трансформаторов возникает одновременно с началом их эксплуатации.

#### Литература

1. Диагностика силовых трансформаторов [Электронный ресурс]. –2020. – Режим доступа: [https:// ru.scribd.com/doc/24028189/Диагностика силовых трансформаторов/](https://ru.scribd.com/doc/24028189/Диагностика-силовых-трансформаторов/). – Дата доступа: 21.04.2020.
2. Оптимизация схемы диагностики силовых трансформаторов высших классов напряжения [Электронный ресурс]. –2020. – Режим доступа: <https://www.dissercat.com/content/optimizatsiya-skhemy-diagnostiki-silovykh-transformatorov-vysshih-klassov-napryazheniya/>. – Дата доступа: 22.04.2020.
3. Давиденко, И.В. Системы диагностирования высоковольтного маслонаполненного силового электрооборудования / И.В. Давиденко, В.Н. Осотов // Электрические станции.– 2003. – 117с.

УДК 621,3

## ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Мацук А.С., Клявдо М.А.

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

В настоящее время светодиодные источники света применяются повсеместно. Они обладают множеством преимуществ по сравнению с другими источниками света: низкое энергопотребление, большая продолжительность горения, прочность, стойкость к механическим воздействиям, отсутствие ультрафиолетового излучения, безинерционность, отсутствие мерцания, различное рабочее напряжение, отсутствие шума, возможность работы при низких температурах. При этом современные светодиодные источники света (СД ИС) обладают хорошей световой отдачей. В свою очередь, к основным недостатками СД ИС можно отнести высокие требования к качеству теплоотвода и высокую стоимость.

К основным характеристикам источников света относят потребляемую активную мощность, световой поток, световую отдачу, срок службы и другие, которые в каталогах производителей указываются при номинальных параметрах электрической энергии. При изменении показателей качества электроэнергии характеристики источников света отклоняются от номинальных значений. Рассмотрим, как влияют отклонения основных показателей качества электроэнергии на основные характеристики светодиодных ламп.

Показатели и нормы качества электрической энергии установлены [1]. Такими показателями в том числе являются отклонения напряжения от номинала и колебания напряжения, несинусоидальность напряжения, отклонение частоты и гармоники более высоких порядков. Рассмотрим влияние изменения каждого из этих показателей на эксплуатационные характеристики СД ИС.

### **Влияния отклонения напряжения от номинала и колебаний напряжения.**

Установлены регрессионные зависимости потребляемой мощности, светового потока, световой отдачи в пределах 15% отклонений от номинального напряжения для СД ИС некоторых крупных производителей. Эти зависимости в основном линейны. Для светодиодных ламп производства Германии и фирмы Navigator (Китай) при отклонениях напряжения в пределах 15% от номинального, потребляемая мощность, световой поток и световая отдача практически не изменяются [3]. Это подтверждается научными работами, результаты которых приведены в таблицах 1 и 2.

Обобщенных оценок влияния отклонений напряжения на срок службы новых светодиодных источников света нет. Это связано с тем, что срок службы этих ламп зависит от многих факторов: температуры нагрева, отклонений напряжения, частоты включений и отключений и ряда других факторов. Некоторые фирмы–изготовители, проведя собственные исследования,

фиксируют доминирующие факторы, влияющие на срок службы различных источников света. Отклонения напряжения, усугублённые резкопеременным характером, ещё более снижают эффективность работы и срок службы светотехнического оборудования. Вызываемая колебаниями напряжения пульсация светового потока ламп освещения — фликер — приводит к утомлению глаз, снижает производительность труда и, в конечном счёте, влияет на здоровье людей. Мера восприятия человеком пульсаций светового потока — доза фликера. Наиболее раздражающее действие фликера проявляется при частоте колебаний 8,8 Гц и размахах изменения напряжения  $\delta U_t = 29\%$ .

Таблица 1-Освещенность при изменении питающего напряжения, для лампы СДЛ 9 [4]

Напряжение, В	187	198	209	220	231	242	253
Освещенность, лк	313	310	310	309	309	309	307

Таблица 2-Коэффициент пульсации при изменении питающего напряжения, для лампы СДЛ 9 [4]

Напряжение, В	187	198	209	220	231	242	253
Коэффициент пульсации, %	2,2	1,4	1	0,6	0,4	0,2	0

### Влияние высших гармоник

Значения суммарных коэффициентов гармонических колебаний при напряжении 0,4 кВ составляют 8% для 95% времени и 12% для 100% времени [1].

Влияние высших гармонических составляющих в кривых тока и напряжения на электроприемники, в том числе и на осветительное оборудование, многообразно. Применительно к осветительному оборудованию это влияние может выражаться в:

- нагреве и дополнительных потерях в конденсаторах, магнитных частях трансформаторов;
- искажении формы кривой питающего напряжения;
- ухудшении работы электрических и электронных элементов;
- снижении сроков службы.

В основном это приводит к снижению срока службы осветительного оборудования опосредованно, например, через перегрев электронных элементов дросселей, драйверов. При этом возникает деградация структуры светодиода, что способствует преждевременному выходу его из строя.

Для стабилизации режима функционирования светодиодов применяют драйверы, поддерживающие ток на постоянном уровне с целью защиты светодиода от колебаний напряжения и перенапряжений.

Оказалось, что в драйверах происходит повышенная эмиссия высших гармонических составляющих рабочего тока. И при совместной работе сети с группой подобных светильников возникает ситуация, при которой суммирующиеся значения каждой гармоники оказываются выше их

допустимого значения в питающей сети. Таким образом, анализ влияния светодиодной нагрузки на сеть необходимо рассматривать с учетом двойного действия драйверов. С одной стороны, они обеспечивают защиту от влияния уровня входного напряжения на функционирование светодиодов, а с другой-одновременно создают дополнительную эмиссию высших гармоник в питающую электрическую сеть.

### **Влияние отклонения частоты в энергосистеме**

Пониженная частота в электрической сети влияет на срок службы оборудования, содержащего элементы со сталью, например, трансформаторы. За счет увеличения тока намагничивания в таких аппаратах происходит дополнительный нагрев стальных элементов и соответственно нагрев кристалла в светодиоде и нагрев изоляции. Значительные изменения частоты приводят к отказу осветительного оборудования.

Таким образом из проведенного анализа можно сделать вывод, что светодиодные источники света имеют большой срок службы и малое энергопотребление при номинальных параметрах. Однако отклонение показателей качества электроэнергии существенно снижает срок эксплуатации, вплоть до выхода из строя не только лампы, но и драйвера. Учитывая высокую стоимость СД ИС, следует уделить дополнительное внимание обеспечению их качественной электроэнергией.

### **Литература**

1. Вагин, Г.Я. влияние качества питающего напряжения на параметры искусственного освещения рабочего места / Г.Я Вагин, О.В. Маслеева, Г.В. Пачурин, Терентьев П.В. // Фундаментальные исследования. – 2014. – . – Т. 2, № 3. – С. 247-252
2. ГОСТ 32144-2013 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
3. Козловская, В. Б. Электрическое освещение: справочник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. - 2-е изд. - Минск: Техноперспектива, 2008. - 271 с,
4. <http://lighting.eep.kz/upload/iblock/405/4055f20bdb4eb55a32597cb31f3c7c19.pdf>

УДК 629.439

## МАГЛЕВ. ПОЕЗД НА МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ

Демещик А.В., Рымко А.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С. В.

Магнитолевитационные поезда (маглевы) – самый быстрый вид наземного общественного транспорта, которые совмещают комфорт и безопасность. Маглев — состав, который использует магнитную левитацию для перемещения, при этом не имея контакта с землёй. Данные поезда способны ездить в любую погоду и не могут сойти со своего единственного рельса — чем дальше поезд отклоняется от путей, тем сильнее его толкает обратно магнитная левитация.

В 1902 году появился патент на конструкцию поезда, оснащенного линейным двигателем (линейный двигатель — электродвигатель, у которого один из элементов магнитной системы разомкнут и имеет развёрнутую обмотку, создающую бегущее магнитное поле, а другой выполнен в виде направляющей, обеспечивающей линейное перемещение подвижной части двигателя), немецкого изобретателя Альфреда Зейдена. Спустя четыре года Франклин Скотт Смит разработал еще один ранний прототип поезда на электромагнитном подвесе. В период с 1937 года по 1941 год, еще нескольких патентов, получил немецкий инженер Герман Кемпер. В конце 1940-х годов британскому инженеру Эрику Лэйзвейту, которого многие называют «отцом маглевок», удалось разработать первый рабочий полноразмерный прототип линейного асинхронного двигателя. Позже, в 1960-х годах, он присоединился к разработке скоростного поезда Tracked Hovercraft (Рисунок 1).



Рисунок 1 - Скоростной поезд Tracked Hovercraft



Рисунок 2 – Шанхайский маглев, произведенный в Германии

В 1973 году проект закрыли из-за нехватки средств. В 1979 году появился первый в мире прототип поезда на магнитной подушке для предоставления услуг по перевозке пассажиров – Transrapid 05. Испытательный трек длиной 908 м был построен в Гамбурге и представлен в ходе выставки IVA 79. Максимальная скорость этого поезда составляла 75 км/ч. Первый коммерческий магнитоплан появился в 1984 году в Бирмингеме, Англия. Железнодорожная линия на магнитном подвесе соединяла терминал

международного аэропорта Бирмингема и расположенную рядом железнодорожную станцию. Она успешно проработала с 1984 по 1995 год. Протяженность линии составляла всего 600 м, высота, на которую состав с линейным асинхронным двигателем поднимался над полотном дороги – 15 миллиметров. В 2003 году на ее месте была построена система пассажирских перевозок AirRail Link на базе технологии Cable Liner. В 1980-х годах к разработке и реализации проектов по созданию высокоскоростных поездов на магнитной подушке приступили в Японии, Корее, Китае и США (Рисунок2).

Известные свойства магнитов – притяжение разноименных полюсов и отталкивание одноименных, заложен в маглевах, которые скользят по воздуху над рельсом на незначительном расстоянии. Магнит впереди тянет с помощью притягивающего (противоположного) магнитного полюса, а магнит сзади толкает с помощью отталкивающего (аналогичного) магнитного полюса. Магнит посередине движется вперед. Путепровод Маглева состоит из длинного ряда электромагнитов, которые тянут поезд спереди и толкают его сзади. Электромагниты питаются от источников регулируемых переменных токов, поэтому они могут быстро менять свои тяговые и толкающие полюса и, таким образом, непрерывно продвигать поезд вперед (рисунок.3).

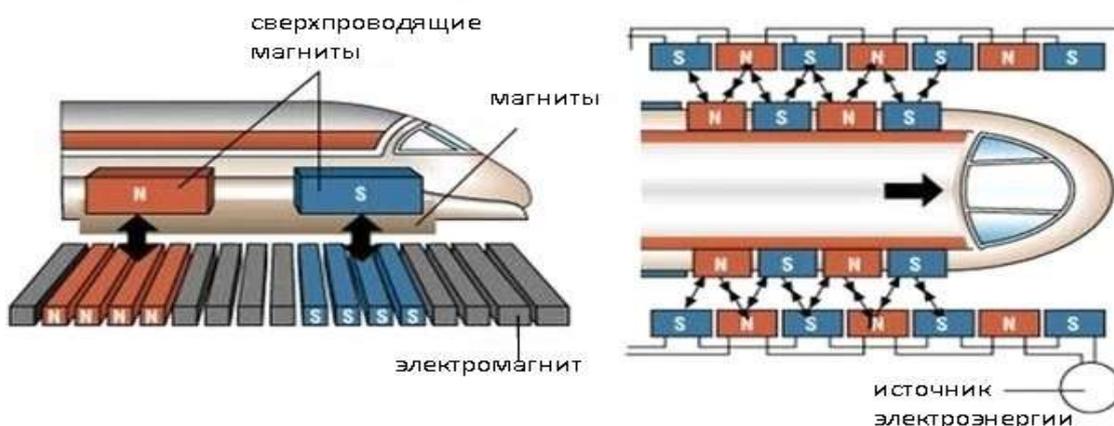


Рисунок 3 – Схема расположения магнитной системы маглева.

Существует три технологии магнитного подвеса - две основные EMS, EDS и одна экспериментальная (рисунок.4):



Рисунок 4 – Виды левитации.

1. Поезда, построенные на базе технологии электромагнитного подвеса (EMS) для левитации используют электромагнитное поле, сила которого изменяется по времени. Практическая реализация данной системы похожа на работу обычного железнодорожного транспорта. Применяется Т-образное рельсовое полотно, выполненное из проводника (в основном металла), поезд вместо колесных пар использует систему опорных и направляющих электромагнитов, которые расположены параллельно к ферромагнитным статорам, размещенным на краях Т-образного пути. Основной недостаток технологии EMS – расстояние между опорным магнитом и статором, которое составляет 15 миллиметров и должно контролироваться, и корректироваться специальными автоматизированными системами в зависимости от множества факторов, включая непостоянную природу электромагнитного взаимодействия. Работает система левитации благодаря батареям, установленным на борту поезда, которые подзаряжаются линейными генераторами, встроенными в опорные магниты. В случае остановки поезд сможет достаточно долго левитировать на батареях.

2. В случае применения технологии электродинамического подвеса (EDS) левитация осуществляется при взаимодействии магнитного поля в полотне и поля, создаваемого сверхпроводящими магнитами на борту состава. Сверхпроводящий магнит представляет собой соленоид или электромагнит с обмоткой из сверхпроводящего материала, как известно, обмотка в состоянии сверхпроводимости обладает нулевым омическим сопротивлением. Если такая обмотка замкнута накоротко, то наведённый в ней электрический ток сохраняется практически сколь угодно долго. Магнитное поле незатухающего тока, циркулирующего по обмотке сверхпроводящего магнита, исключительно стабильно и лишено пульсаций, что важно для ряда приложений в научных исследованиях и технике. Обмотка сверхпроводящего магнита теряет свойство сверхпроводимости при повышении температуры выше критической температуры  $T_k$  сверхпроводника, при достижении в обмотке критического тока  $I_k$  или критического магнитного поля  $H_k$ . Учитывая это, для обмоток сверхпроводящих магнитов применяют материалы с высокими значениями  $T_k$ ,  $I_k$  и  $H_k$ . Сверхпроводящие электромагниты могут проводить электричество даже после того, как источник питания был отключен, например, в случае отключения электроэнергии. Основным достоинством системы EDS является высокая стабильность – при незначительном сокращении расстояния между полотном и магнитами возникает сила отталкивания, которая возвращает магниты в первоначальное положение, в то же время увеличение расстояния снижает силу отталкивания и повышает силу притяжения, что опять же ведет к стабилизации системы. В этом случае никакой электроники для контроля и корректировки расстояния между поездом и полотном не требуется. Недостатки: - достаточная для левитации состава сила возникает только на больших скоростях, поэтому поезд на системе EDS должен быть оснащен колесами, которые смогут обеспечивать движение при низких скоростях (до 100 км/ч). Соответственные изменения также должны быть внесены по всей

длине полотна, так как поезд может остановиться в любом месте в связи с техническими неисправностями; -при низких скоростях в передней и задней частях отталкивающих магнитов в полотне возникает сила трения, которая действует против них. Сильные магнитные поля в секции для пассажиров требуют установки магнитной защиты. Без экранирования путешествие в таком вагоне для пассажиров с электронным стимулятором сердца или магнитными носителями информации, противопоказано.

3. Третьей, наиболее близкой к реализации технологией, существующей пока только на бумаге, является вариант EDS с постоянными магнитами Inductrack, для активации которых не требуется энергия. Ранее считалось, что постоянные магниты не обладают достаточной для левитации поезда силой. С помощью размещения магнитов в «массив Хальбаха» этот вопрос возможно решить. Магниты при этом расположены таким образом, что магнитное поле возникает над массивом, а не под ним, и способны поддерживать левитацию поезда на очень низких скоростях – около 5 км/ч. Стоимость таких массивов из постоянных магнитов очень высока, поэтому пока и не существует ни одного коммерческого проекта данного рода.

Таким образом, можно сделать следующее заключение: преимущества магнитолевитационных поездов:

- отсутствие движущихся частей, как в обычных поездах, что значительно снижает стоимость обслуживания;
- отсутствие между поездом и рельсом физического контакта, поэтому сопротивление качению отсутствует;
- отсутствие колес;
- достаточная безопасность для окружающей среды, из-за отсутствия двигателей внутреннего сгорания.
- устойчивы к погодным условиям, что означает, что дождь, снег или сильный мороз не мешают их работе.
- Системы Маглева являются энергоэффективными. Для дальних путешествий они используют около половины энергии на пассажира в качестве типичного коммерческого самолета.
- безопасность. Поезда Маглева «движутся» по механизированной направляющей. Любые два поезда, движущиеся по одному и тому же маршруту, не могут догнать и врезаться друг в друга, потому что все они способны двигаться с одинаковой скоростью. Точно так же традиционные крушения поезда, которые происходят из-за слишком быстрого поворота, не могут случиться с Маглевом. Чем дальше поезд Маглева попадает из своего нормального положения между стенами направляющей, тем сильнее становится магнитная сила, толкающая его на место.

К недостаткам магнитолевитационных поездов относятся:

- высокая стоимость при начальной стройке. В то время как быстрые обычные поезда, отлично работают на путях, которые предназначались для медленных поездов, поезда Маглев требуют абсолютно новой установки с нуля.
- маглевы не гарантируют какую-либо прибыль. Например, шанхайский маглев приносит ежегодные убытки в размере \$93 миллионов.

На данный момент множество стран продолжают инвестировать огромные средства в проекты по созданию высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ). Например, в Японии были возобновлены скоростные испытания поезда на магнитной подушке Maglev L0, который планируют ввести в эксплуатацию к 2027 году.

#### Литература

1. Barbara Saffer How Maglevs Work [Электронный ресурс] / , Barbara Saffer — Электронные данные. — Режим доступа: <https://www.eduplace.com/science/hmxs/ps/mode2/cricket/sect7cc.shtml>, свободный.
2. Transrapid MagLev System. Darmstadt: Hestra-Verlag, 1989
3. Дроздов Б. В., Терентьев Ю. А. Перспективы вакуумного магнитолевитационного транспорта // Мир транспорта : журнал / учредитель: Моск. гос. ун-т путей сообщения (МИИТ). — 2017. — № 1. — С. 90–99
4. Как работает маглев [Электронный ресурс] — Электронные данные. — Режим доступа: <https://hi-news.ru/eto-interesno/kak-rabotaet-maglev.html>, свободный.
5. Поезда на магнитной подушке: почему «транспорт будущего» не прижился [Электронный ресурс] — Электронные данные. — Режим доступа: <https://rb.ru/story/maglevs-now/>, свободный.
6. Поезда на магнитной подушке – транспорт, способный изменить мир [Электронный ресурс] — Электронные данные. — Режим доступа: <https://itc.ua/articles/poezda-na-magnitnoy-podushke-transport-sposobnyiy-izmenit-mir/>, свободный.
7. Преимущества и недостатки поездов на магнитной подушке [Электронный ресурс] — Электронные данные. — Режим доступа: <http://www.enersy.ru/energiya/preimuschestva-i-nedostatki-poezdov-na-magnitnoy-podushke.html>, свободный.
8. Соломин А. В. Система магнитолевитационного транспорта со стабилизацией воздушного зазора // Известия высших учебных заведений. Электромеханика : науч.-техн. журн. / Южно-Рос. гос. техн. ун-т. — 2019. — № 5. — С. 88–93
9. Что такое «летающий поезд»: плюсы и минусы [Электронный ресурс] — Электронные данные. — Режим доступа: <https://auto.mail.ru/article/71571-cto-takoe-letayushchii-poezd-plyusy-i-minusy/>, свободный.

УДК 621.3

## ШАГОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Пильник А.С.

Научный руководитель – м.т.н., ассистент Капустинский А.Ю.

Первые шаговые двигатели появились в 30-х годах XIX века.

Шаговый двигатель представляет собой электрическую машину, предназначенную для преобразования электрической энергии сети в механическую энергию. Конструктивно состоит из обмоток статора и магнитомягкого или магнитотвердого ротора. Отличительной особенностью шагового двигателя является дискретное вращение, при котором заданному числу импульсов соответствует определенное число совершаемых шагов.

Перемещение ротора происходит шагами известной величины. Подсчитав шаги, определяем, как изменилось положение ротора, определяем его абсолютную позицию. Шаговый двигатель включает в себе двигатель и позиционирующее устройство без обратной связи, является универсальным приводом для многих устройств.

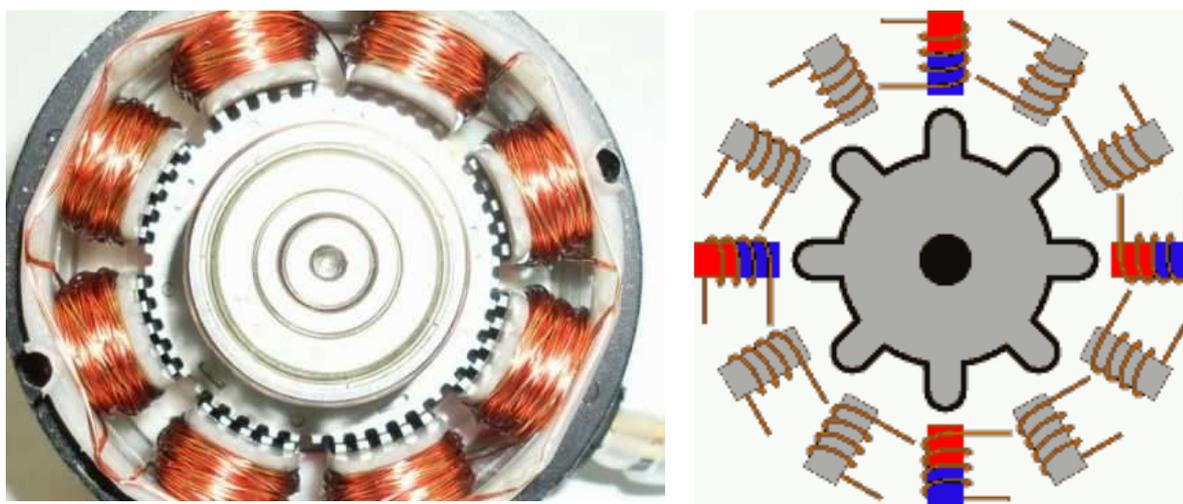


Рисунок 1. Шаговый двигатель

Принцип работы шаговых двигателей можно рассмотреть с помощью рисунка 2. Ротор (двухполюсный постоянный магнит на валу двигателя) окружен замкнутым магнитопроводом с двумя обмотками АВ и CD, расположенными на противоположных полюсах – (статором) .

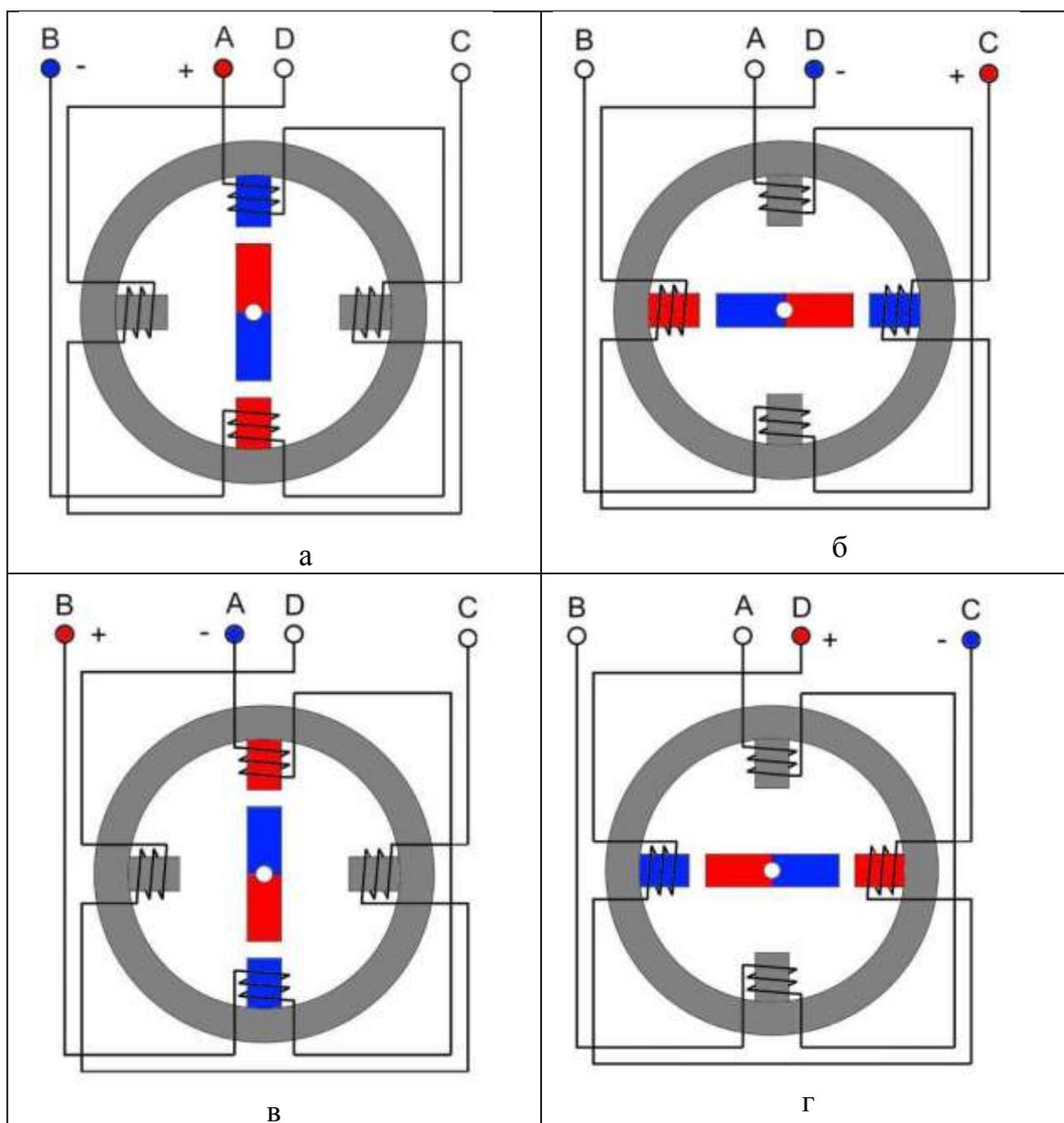


Рисунок 2. Принцип работы шагового двигателя

Подключив к источнику напряжения обмотку АВ (полярность + -) как показано на рисунке 2а, ток в этой обмотке вызовет появление магнитного поля статора с полюсами сверху N, снизу S. Как известно, разноименные полюса магнитов притягиваются. В результате ротор (постоянный магнит) займет положение, в котором оси магнитных полей ротора и работающих полюсов статора совпадают. Механическое положение будет устойчивым. При попытке сдвинуть ротор, возникнет сила, возвращающая его назад. Снимая напряжение с обмотки АВ и подавая на обмотку CD (полярностью + -), ток в обмотке CD вызовет магнитное поле с горизонтальными полюсами, слева S, справа N. Магнитный поток стремится замкнуться по минимальному пути. Ротор повернется в положение, указанное на рисунке 2б. Механическое положение

ротора опять устойчивое. Это первый шаг двигателя. В нашем случае он равен одной четвертой оборота.

Отключив обмотку CD, и подав напряжение опять на обмотку AB, но уже в другой полярности (- +), магнитное поле статора повернется на  $90^\circ$ , а за ним и ротор (рисунок 2.в). Далее, AB - отключаем, CD - подключаем (полярность - +) и ротор совершает еще один шаг на одну четвертую окружности. Следующая коммутация (с которой мы начали) вернет ротор в исходное положение. Полный поворот сделан за 4 шага. Если продолжить переключение фаз, ротор будет вращаться с частотой, пропорциональной частоте переключения фазных обмоток. Если коммутировать фазы в противоположной последовательности – крутиться в обратном направлении, прекратить коммутацию - остановится. В этом заключается принцип работы биполярного шагового двигателя.

Основные виды шаговых двигателей:

- с переменным магнитным сопротивлением
- с постоянными магнитами
- гибридные.

**Шаговые двигатели с переменным магнитным сопротивлением** - в таких двигателях ротор выполнен из магнитомягкого материала и имеет зубчатую форму, магнитный поток замыкается через ближайšie к полюсам статора зубцы. Зубцы притягиваются к полюсам, чем обеспечивается вращение. При одинаковых размерах, двигатели с переменным магнитным сопротивлением имеют меньший крутящий момент, чем другие типы шаговых двигателей. Применяются они довольно редко.

**Двигатели с постоянными магнитами.** У шаговых двигателей этого вида ротор содержит постоянные магниты. Число шагов на оборот доходит до 48, что соответствует углу шага  $7,5^\circ$

**Гибридные двигатели.** Гибридные двигатели обеспечивают меньшую величину шага, больший момент и скорость. Число шагов на оборот для такого типа двигателей составляет до 400 (угол шага  $0,9^\circ$ ). Они более дорогие и сложные в изготовлении. Это самый распространенный тип шаговых двигателей.

Преимущества шаговых двигателей.

- Точное позиционирование без обратной связи. Число импульсов определяет угол поворота.
- Двигатель обеспечивает полный крутящий момент при снижении скорости вращения, вплоть до остановки.
- Двигатель фиксирует свое положение при остановке за счет тока удержания.
- Регулировка скорости вращения с высокой точностью без обратной связи.
- Способность быстрого старта, остановки, реверса.
- Высокая надежность. Отсутствие коллекторных щеток.

Недостатки шаговых двигателей.

- Сложная система управления.
- Невысокая частота вращения.
- Возможно явление резонанса.
- Может произойти потеря позиционирования при механических перегрузках.

- Низкая удельная мощность.

К характеристикам шаговых двигателей относятся:

- Количество полных шагов за один оборот. Основной параметр двигателя, определяющий его точность, разрешающую способность, плавность движения (например, на двигателях серии FL57 - 200 и 400 шагов на оборот).
- Угол полного шага. Показывает на какой угол повернется вал при одном полном шаге. (для двигателей серии FL57 составляет  $1,8^\circ$  и  $0,9^\circ$ ).
- Номинальный ток. Наибольший допустимый ток, при котором электродвигатель может работать сколь угодно длительное время.
- Номинальное напряжение. Допустимое постоянное напряжение на обмотке двигателя в статическом режиме.
- Индуктивность фазы.
- Крутящий момент. Показывает максимальный крутящий момент, который способен создать двигатель.
- Момент инерции ротора.
- Удерживающий момент. Это крутящий момент при остановленном двигателе.
- Стопорный момент. Момент, необходимый чтобы повернуть вал двигателя при отсутствующем напряжении питания.
- Сопротивление изоляции. Сопротивление между корпусом и обмотками.
- Пробивное напряжение. Минимальное напряжение, при котором происходит пробой изоляции между обмотками и корпусом

#### Литература

1. <http://www.530.ru/electronics/projects.php?do=p077>
2. <https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/stepper/>
3. <http://homecnc.ru/book/11-steps-dir>

УДК 621.3

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ МАЛОЙ МОЩНОСТИ. МИКРОМАШИНЫ

Ласица В.В., Бурдук Д.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С.В.

Электрические машины мощностью до 1 кВт, получившие название электрических машин малой мощности (ЭМММ), вследствие своей специфичности выделены в классификаторах промышленной продукции в отдельную группу. ЭМММ отличаются от электрических машин средней и большой мощности не только массовостью производства и применения, но, главным образом, существенно большим многообразием выполняемых функций и конструктивных исполнений, особенностями применения и эксплуатации. Они выполняют задачи не только преобразования электрической энергии в механическую, или электрического сигнала в механическую величину (угол, угловую частоту, момент), но и обратного преобразования механической величины в электрический сигнал по определенной функциональной зависимости. ЭМММ оказывают существенное влияние на надежность и на функциональные характеристики систем автоматики и радиоэлектронной аппаратуры, в частности на точность и быстродействие.

Электрические микромашины - условное наименование электрических машин малой мощности (до 750 Вт), предназначенные для работы в системах регулирования и управления, гироскопических устройствах, бытовых приборах.

Микромашины можно разделить на 2 основные группы: общего применения и специальные. Машины первой группы широко применяются в качестве двигателей (микродвигатели) для электрического привода малой мощности. Микромашины общего применения имеют нижний предел мощности, в зависимости от типа машины, 5-10 Вт. КПД электрических микромашин общего применения колеблется в зависимости от мощности и типа в пределах 45-75%.



Рисунок 1. Электрические микромашины, применяемые в детских игрушках

При изготовлении современных микромашин широко используются пластиковые массы и литье под давлением.

Микромашины второй группы отличаются большим многообразием типов, напряжений, скоростей вращения, мощностей, схем, назначений, что объясняется широким развитием таких специфических областей техники, как автоматика, телемеханика, звукозапись и звуковоспроизведение, авиация, автомобилестроение, судостроение и т.д. Мощность специальных электрических микромашин в большинстве случаев составляет от нескольких десятых долей ватта до 5-10 Вт. КПД специальных электрических микромашин лежит в пределах от 10 до 40%, в некоторых случаях ( для машин наименьшей мощности) до 1 %. Конструктивно эти машины устроены весьма разнообразно, так как их размеры и форма исполнения чаще всего зависят от той установки, для которой они предназначены.

Таким образом, области применения электродвигателей, генераторов и преобразователей постоянного и переменного тока в диапазон мощностей от долей ватта до нескольких сотен ватт весьма разнообразны:

1. установки автоматического управления и регулирования в промышленности и в специальной технике;
2. устройства проводной и радиосвязи (телеграфия, сигнализация, телевидение, радиолокация и др.);
3. счетно-решающие приборы и устройства; гироскопические приборы;
4. самолеты, автомашины, тракторы и другие движущиеся объекты;
5. всевозможные механизмы дистанционного управления;
6. различные самопишущие приборы, часы, звуковое кино;
7. часовая промышленность;
8. индивидуальный привод веретен в текстильной промышленности;
9. вентиляторы, дрели, сирены и другие устройства;
10. мелкие электромеханизмы в сельском хозяйстве;
11. установки домашнего быта (патефоны, швейные и полотерные машины, пылесосы, холодильники и т. д.).

Имеется также целый ряд других установок и устройств, в которых широко используются электрические машины малой мощности.

В этих установках, в зависимости от их назначения, применяются маломощные электродвигатели и генераторы постоянного тока, вращающиеся преобразователи, электромашинные усилители, универсальные коллекторные двигатели, синхронные реактивные и гистерезисные двигатели, асинхронные двигатели, сельсины и вращающиеся трансформаторы в диапазоне мощностей от долей ватта до нескольких сотен ватт. Так, например, для привода механизма электрических часов применяют сверхминиатюрные реактивные электродвигатели мощностью порядка нескольких долей ватта. Эти двигатели строят как для скорости вращения 3000 об/мин и ниже при частоте 50 Гц, так и для сверхвысоких скоростей, достигающих 40 000 об/мин при повышенных частотах. Так, для привода часового механизма встречаются реактивные двигатели, делающие 1 об/ч, но вместе с этим имеются малые реактивные двигатели для шлифовального инструмента в часовой промышленности на 42 000 об/мин при питании их от источника переменного тока частотой 700 Гц.



Рисунок 2. Электрические машины малой мощности

### Литература

1. Кацман М.М. «Электрические машины. Учебник», М., 2003 г.
2. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1987.
3. Ермолин Н.П. Электрические машины малой мощности. – М.: Высшая школа, 1961. – 503 с.
4. Чечет Ю.С., Выбор основных размеров и параметров однофазных асинхронных микродвигателей, “Электричество”, 1948 г.
5. Каспржак Г.М., Расчет рабочих параметров асинхронных микродвигателей, “Электричество”, 1949 г.

УДК 621.3

## АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО, ПОЛУЧАЕМОЕ НА МУСОРОСОРТИРОВОЧНЫХ ЗАВОДАХ

Тихно В.Д.

Научный руководитель – ст. преп. Колосова И.В.

Твердое вторичное топливо – (англ. refuse-derived fuel, сокращенно - RDF), производимое путем сортировки, измельчения (фракция размером 20–60 мм) и обезвоживания твердых бытовых отходов (ТБО), характеристики которого определяются согласно действующим стандартам либо техническим условиям производства топлива. В его состав входят высококалорийные компоненты отходов.

Путь получения RDF-топлива выглядит следующим образом: собранные у населения отходы сортируют, извлекая вторсырьё – стекло, пластик, металл, бумагу и картон. Всё вторсырьё отправляют на переработку. На сортировочной линии должна отделяться также и органика (в основном остатки еды и растений), которая может использоваться для получения биогаза или удобрений. А всё, что осталось, является сырьём для топлива. После такой сортировки останется примерно треть мусора. Это – прочие отходы, в число которых входят неперерабатываемые материалы, а также перерабатываемые, но сильно загрязнённые. Эти остатки измельчают, получая пре-RDF-топливо (по составу не отличается от RDF-топлива, но более крупной фракции 100-150 мм). Далее эту массу измельчают до фракции размером 20–60 мм и, при необходимости, прессуют в гранулы и брикеты – готовое RDF-топливо.

Некоторые характеристики RDF-топлива [1]:

- Теплотворная способность топлива RDF составляет  $20000 \pm 2000$  кДж/кг.
- Величина зерна RDF составляет ~20-60 мм.
- Содержание опасных составляющих в топливе строго контролируется и не превышает допустимых норм.
- По теплотворной способности 1,7 кг RDF соответствует 1 куб. м газа.

Технологический цикл производства RDF включает следующие основные стадии [1]:

- сепарация (сортировка) — распознавание и удаление из общей массы ТБО таких не перерабатываемых компонентов, как: камни, стекло, песок, керамика, а также извлечение опасных компонентов: металлов, изделий на основе поливинилхлорида (ПВХ), автомобильных запчастей и комплектующих, ламп, хлорсодержащих веществ и т.д.

- измельчение (дробление) до необходимого размера фракции. Часто процесс проводится в несколько этапов: предварительное и вторичное дробление. Предварительное измельчение может предшествовать этапу сепарации.

- сушка — потеря ТБО влаги с 20-30% до 9-11% при высокой температуре (250-500°C), повышение теплотворных и энергетических показателей.

- изготовление топливных брикетов — прессование под высоким давлением на механических прессах.

Схема технологического цикла производства RDF представлена на Рисунок 1.



Рисунок 1 – Схема технологического цикла производства RDF

Сжигание RDF оказывает значительно меньшее воздействие на окружающую среду, чем сжигание ТБО, т.к. в оборудовании, в котором происходит сжигание RDF-топлива, технологические процессы проходят при температуре около 1700°C, что обеспечивает снижение до минимума содержания вредных веществ в отходящих газах в следствии сжигания при более высоких температурах, чем, например, в топках мусороперерабатывающих заводов или в агрегатах других промышленных производств [2].

Однако, есть вероятность попадания в RDF-топливо вредных компонентов. Это, например, лампы, батарейки, остатки лекарств. В мусор попадают также остатки лакокрасочной продукции, автомобильные отходы, пластики. В процессе сжигания все эти отходы могут выделять небезопасные вещества, многие из которых являются стойкими органическими загрязнителями (после попадания в окружающую среду они накапливаются, «вклиниваясь» в пищевые цепочки), тяжёлыми металлами (например, свинец в любой концентрации опасен для нашего здоровья).

На данный момент на территории Республики Беларусь нет предприятий по производству RDF-топлива, однако существуют концепции развития такого производства.

Зарубежные предприятия по переработке твёрдых бытовых отходов, которые производят RDF-топливо, делают его разного качества в зависимости от требований покупателя. Как правило, качество определяется тем, какова теплотворная способность топлива (в среднем по теплотворной способности 1,7 килограмма RDF-топлива соответствует одному кубометру природного газа) и содержанием вредных примесей. Именно вредные примеси удешевляют RDF-

топливо и чаще всего не позволяют использовать его больше, чем 10—20% от общего количества всего топлива на конкретном предприятии.

Потребителями RDF-топлива являются, прежде всего, предприятия, позволяющие производить сжигание при высоких температурах, чтобы содержание вредных веществ в выбросах было в пределах нормы. Однако стоит быть готовыми к тому, что в процессе сжигания могут возникать различные технические нюансы, от которых зависит качество процесса сжигания. Многие предприятия в Европе, сжигающие RDF-топливо, занимаются генерацией электрической и тепловой энергии. Цена такой энергии, при поставках её в энергосистему, зависит от стабильности поставки. Например, в Австрии электроэнергия покупается по цене 45 евро/МВт·ч при гарантированном обеспечении ею потребителя, и 25 евро/МВт·ч, если поставка электроэнергии зависит от режима работы поставщика. Тарифы на отпуск тепловой энергии составляют 10 и 6 евро/МВт·ч (11,6 и 7 евро/Гкал) соответственно [3]. Таким образом, при соответствующем технико-экономическом обосновании выгодно использовать электрическую и тепловую энергию как для собственных нужд предприятий, так и для продажи её в энергосистему.

Использовать такое топливо при более низких температурах опасно для окружающей среды и здоровья человека. Именно поэтому недопустимо использовать RDF-топливо в коммунальных печах, котельных.

**Заключение.** RDF-топливо дает возможность на действующей промышленной печи произвести замещение от 30 до 60% природного газа, что дает снижение себестоимости производства продукта. Однако, необходимо учитывать экологические нюансы и соблюдать все стадии производства RDF-топлива. Таких как тщательная (автоматическая) сортировка ТБО, основанная на применении оптического сканирования материалов, позволяет повысить степень отбора фракций вторичного сырья, в сравнении с ручной сортировкой. Соответственно, повышается качество отбираемого сырья, пригодного для производства топлива RDF. Также система автоматической сортировки позволяет исключить попадание в альтернативное топливо RDF компонентов, сжигание которых опасно, например, хлорсодержащих материалов. Так же важно, чтобы RDF-топливо использовалось только в высокотемпературных печах, так при таком сжигании образуется меньше вредных выбросов и золы.

#### Литература

1. Центр экологических решений [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ecoidea.by/ru/article/2673>. – Дата доступа: 16.01.2020.
2. ГУ «Оператор вторичных материальных ресурсов» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://vtopoperator.by>. – Дата доступа: 28.02.2020.
3. Тугов, А.Н. Исследование процессов и технологий энергетической утилизации бытовых отходов для разработки отечественной ТЭС на ТБО: автореф. дис. д.т.н.: 05.14.14 / А.Н. Тугов; ВАК РФ. – СПб., 2014. – 44 с.

УДК 621.3

## ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП ТОКАМИ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Смоловская Д.М.

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

### 1. Преимущества питания газоразрядных ламп токами повышенной частоты ламп низкого давления

С ростом частоты питающего напряжения в люминесцентных лампах низкого давления значения токов, напряжений и коэффициентов мощности с различными типами балластов сближаются между собой, а начиная с частот 800-1000 Гц, практически перестают зависеть от типа балласта. Для улучшения основных характеристик ламп их питание осуществляется на повышенной частоте. Комбинация, при которой осветительный прибор дополняется ЭПРА, имеет ряд важных преимуществ:

- лампа начинает гореть с минимальной задержкой времени;
- пульсации светового потока значительно снижаются и на частоте 1000 Гц и выше настолько малы, что стробоскопический эффект отсутствует;
- при данном варианте осветительному прибору не грозит поражение током;
- с ростом частоты до 20 кГц световая отдача источников света увеличивается примерно на 20-30%;
- меньший спад светового потока из-за меньшей нагрузки люминесцентной лампы, и, соответственно, меньшему затемнению концов колбы лампы;
- срок службы ламп повышается на 20-30%;
- ЭПРА защищают лампу от "скачков" напряжения в пределах 5-10%;
- во время работы светильника не наблюдается мерцание света;
- применение электронных пускорегулирующих аппаратов позволяет осуществлять регулирование светового потока. В настоящее время широко внедряются системы управления освещением, поэтому регулирование светового потока весьма актуально;
- обеспечивается высокий порог КПД;
- потери мощности в ПРА снижаются в 1,5-2 раза;
- обеспечиваемая мощность намного превышает традиционную схему и достигает значения 0,9.
- ЭПРА допускают работу при входном напряжении постоянного тока, что часто требуется в аварийном освещении.

Условия стабилизации разряда при работе на повышенной частоте примерно такие же, как и на промышленной частоте. Так как значение индуктивности уменьшается обратно пропорционально частоте, следовательно, с увеличением частоты размеры и масса ПРА снижаются. Однако, увеличение частоты приведёт к возрастанию удельных потерь мощности в обычной электротехнической стали. Поэтому для уменьшения потерь на частотах свыше 1000 Гц и получения малогабаритного дросселя применяют специальные

магнитные материалы. Также особенностью ЭПРА является то, что дроссель в нём скомбинирован с внутренним генератором высокой частоты. На высоких частотах индуктивность дросселя сильно уменьшается, поэтому потери в нём значительно ниже. Такое соединение не обеспечивает зажигание лампы за счёт прерывания тока, поэтому в электронном пускорегулирующем аппарате для люминесцентных ламп параллельно лампе подключается конденсатор для образования последовательного резонансного контура.

## **2. Достоинства питания газоразрядных ламп токами повышенной частоты ламп высокого давления**

Комбинации, при которой ГЛВД дополняется ЭПРА, имеют ряд недостатков:

- световая отдача ГЛВД на повышенных частотах почти не растёт;
- значительная часть ГЛВД используется в системе наружного освещения, где пульсация светового потока не нормируется;
- отсутствием мощных надёжных дешёвых транзисторов.

Важной проблемой является искажение разряда акустическими волнами, создаваемыми быстрыми изменениями давления, вызываемыми, в свою очередь, изменениями температуры плазмы внутри разрядной трубки при протекании через нее переменного тока. На повышенных частотах длина этих волн соизмерима с межэлектродным расстоянием внутри горелки, в результате чего возможно возникновение стоячих волн, получившее название «акустического резонанса». Это негативное воздействие приводит к искажению и искривлению разрядного канала, местному перегреву стенок разрядной трубки и ее растрескиванию. Акустический резонанс вызывает увеличение напряжения на лампе и, как следствие, нестабильность светового потока и даже погасание разряда. В настоящее время для борьбы с акустическим резонансом в ГЛВД применяется питание низкочастотным током прямоугольной формы.

К одному из главных достоинств ЭПРА для ГЛВД можно отнести практически полное отсутствие пульсаций светового потока ламп. Однако световая отдача увеличивается мало из-за небольшой доли анодно-катодных участков в длине разряда высокого давления и срок службы увеличивается незначительно.

Преимущество ЭПРА для ГЛВД является группировка в одном аппарате трёх элементов: зажигающего устройства, балласта и компенсирующего конденсатора, что ощутимо снижает массу аппаратов и повышает надёжность зажигания.

Использование ЭПРА позволяет рационально управлять лампой в рабочем и аномальном режимах. Это приводит к уменьшению затрат, так как даже при небольшом увеличении напряжения сети срок службы лампы сокращается в среднем в 2 раза, что требует более частую замену ламп.

Использование ЭПРА позволяет также осуществлять управление светом без дополнительных усложнений питающей сети, регулировать мощность лампы в зависимости от времени суток и изменяемых условий облученности. Экономия электроэнергии благодаря более высокому КПД ЭПРА и

возможности управления энергетическим потоком может достигать 40% по сравнению с питанием от электромагнитного ПРА.

Работа лампы высокой частоты с электронным пускорегулирующим аппаратом обеспечивает:

- высокий коэффициент мощности ( $\cos\varphi = 0,98-0,99$ );
- отсутствие низкочастотной пульсации светового потока;
- большой срок службы лампы благодаря возможности контролировать мощность — «мягкий» старт и стабилизация мощности на лампе при старении;
- возможность соединять ЭПРА в интеллектуальные сети;
- высокий КПД — 95%;
- уменьшение массогабаритных параметров.

#### Литература

1. Козловская, В.Б. Электрическое освещение : учебник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. — Минск : Техноперспектива, 2011. — 543 с.
2. Краснопольский А.Е. и др. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп / А.Е. Краснопольский, В.Б. Соколов, А.М. Троицкий; под общ. ред. А.Е. Краснопольского. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 208 с.
3. Рохлин, Г.Н. Разрядные источники света / Г.Н. Рохлин. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1991. — 719 с.

УДК 621.38

## СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СИГНАЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Ермолинская Л.Э., Тарарай А.О.

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

В статье [1] нами была предложена схема высокочувствительного сигнализатора напряжения в электроустановках, основанная на использовании эффекта магнитострикции для индикации магнитных полей, возникающих в электроустановках, находящихся под напряжением ниже 1 кВ.

С целью расширения функциональных возможностей устройства путем регистрации электрических полей малой напряженности в устройство добавлен датчик электрического поля в виде интерферометра Маха-Цендера, в одно из плеч которого помещен световод с сердцевинкой из двуокиси кремния с добавкой германия и оболочкой из двуокиси кремния с добавкой фтора и фосфора, причем оболочка световода покрыта пьезоэлектрическим полимером [2]. Структурная схема высокочувствительного сигнализатора напряжения представлена на рисунке 1.

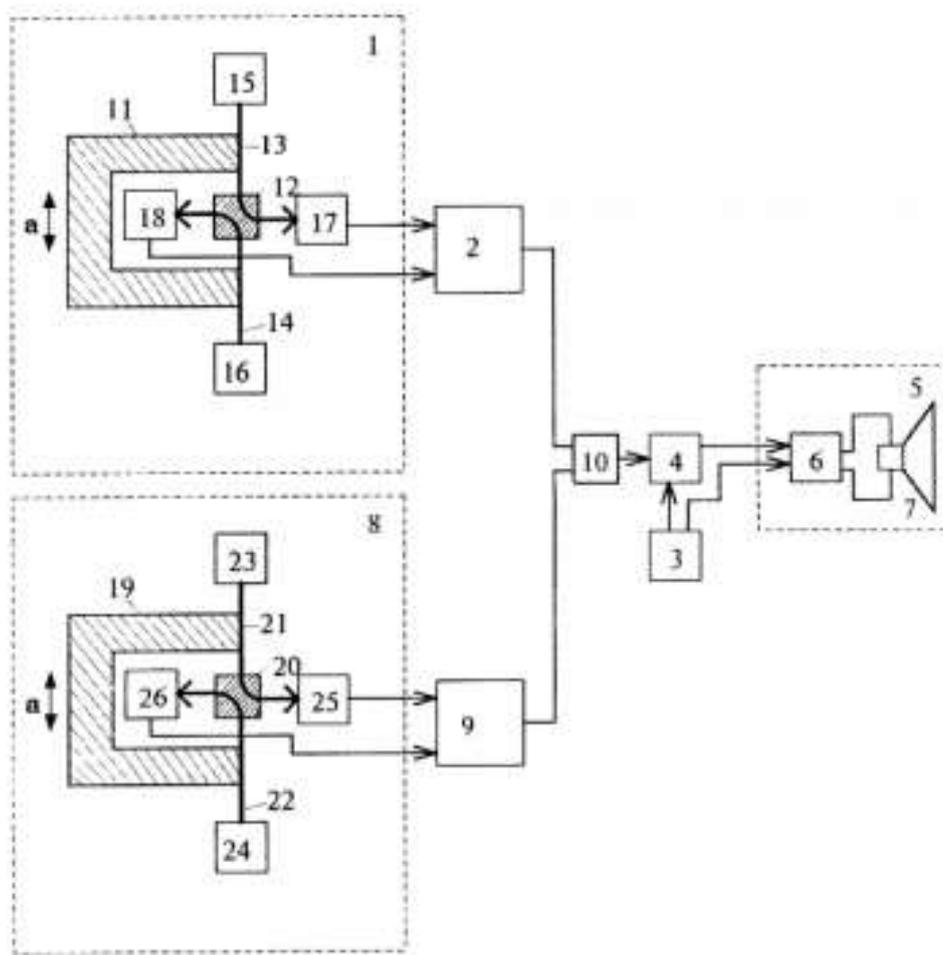


Рисунок 1. Структурная схема сигнализатора напряжения

Устройство содержит датчик магнитного поля 1, дифференциальный усилитель 2, блок питания 3, электронный ключ 4 и блок звуковой сигнализации 5. Электронный ключ 4 включен между дифференциальным усилителем 2 и блоком 5. Входы дифференциального усилителя 2 соединены с выходами датчика 1. Силовой вход электронного ключа 4 подключен к первому выходу блока питания 3, а выход - к первому входу блока 5. Второй вход блока 5 подключен ко второму входу блока питания 3. Блок 5 звуковой сигнализации выполнен на последовательно соединенных импульсном генераторе 6 и громкоговорителе 7. Устройство дополнительно содержит датчик электрического поля 8, второй дифференциальный усилитель 9 и элемент ИЛИ 10. Входы второго дифференциального усилителя 9 соединены с выходами датчика электрического поля 8, выходы обоих дифференциальных усилителей 2 и 9 через элемент ИЛИ 10 подключены к управляющему входу электронного ключа 4. Датчик 1 содержит пьезоэлектрический цилиндр 11, инерционный элемент 12, световоды 13, 14, светодиоды 15, 16 и фотоприемники 17, 18. Датчик 8 содержит пьезоэлектрический цилиндр 19, инерционный элемент 20, световоды 21, 22, светодиоды 23, 24 и фотоприемники 25, 26. Датчик 1 используется в качестве чувствительного элемента магнитного поля, возникающего в электроустановках под воздействием малых токов. Он представляет собой волоконный интерферометр Маха-Цендера. Конструктивно это фазовый датчик, использующий в своей работе оптическое излучение, который построен на основе схемы, регистрирующей изменение фазы электромагнитной волны, распространяющейся по оптическому каналу. Волоконный фазовый датчик имеет два плеча, выполненные на основе оптических волокон, в одно из которых помещен световод с нанесенным магнитострикционным материалом, например, металлическим стеклом. Дифференциальный усилитель 2 предназначен для усиления рабочих сигналов, поступающих с выходов фотоприемников и управления через элемент ИЛИ 10 ключом 4.

Блок питания 3 предназначен для питания импульсного генератора 6, создающего предупредительные сигналы в громкоговорителе 7 при приближении датчика 1 к токоведущим частям электроустановок, находящихся под нагрузкой, или датчика 8 к частям электроустановок, находящихся под напряжением. Электронный ключ 4 управляет работой импульсного генератора 6 по сигналам с выходов дифференциальных усилителей 2 или 9. Громкоговоритель 7 воспроизводит предупредительные звуковые сигналы при приближении к токоведущим частям электроустановок, находящимся под нагрузкой или под напряжением. Датчик 8 (фигура) представляет собой также интерферометр Маха-Цендера, в одно из плеч которого помещен световод 21 с сердцевинной из двуокиси кремния с добавкой германия и оболочкой из двуокиси кремния с добавкой фтора и фосфора, причем оболочка световода 21 покрыта пьезоэлектрическим полимером [3]. Дифференциальный усилитель 9 предназначен для усиления рабочих сигналов, поступающих с выходов фотоприемников 25, 26, а также для управления ключом 4 через элемент ИЛИ 10. Пьезоэлектрические цилиндры 11, 19 обеспечивают ускорение

инерционных элементов 12, 20, т.е. перемещение этих элементов в направлениях, показанных стрелками. Эти ускорения необходимы для обеспечения нормальной работы датчиков 1, 8. Для этого на цилиндры 11, 19 подается синусоидальное напряжение от специального источника, который на схеме не показан. Инерционные элементы 12, 20 представляют собой определенные массы, соединенные со своими световодами 13, 14 и 21, 22. Инерционные массы 12, 20 при подаче на цилиндры 11, 19 синусоидальных напряжений начинают колебаться. При этом под действием возникающих ускорений, а они перемещаются в направлениях, указанных стрелками, чем обеспечивают перемещение связанных с ними световодов 13, 14 и 21, 22, необходимое для обеспечения работы интерферометров. Световоды 13, 14 и 21, 22 используются в качестве чувствительных элементов датчиков 1, 8 и соединены с инерционными массами 12, 20. Каждый из световодов 13, 14 и 21, 22 включен в плечи интерферометров, что увеличивает их чувствительность. Световод 13 имеет нанесенный непосредственно на поверхность световода слой металлического стекла. При работе датчика 1 в результате изменения размеров световода 13 в магнитном поле в этом плече интерферометра возникает дополнительный набег фазы, что позволяет в конечном итоге снимать сигнал, пропорциональный изменению магнитного поля. Фазовый сдвиг в этом случае обуславливается возникающим магнитным полем. Световод 21 используется в качестве чувствительного элемента датчика 8. Он выполнен с сердцевиной из двуокиси кремния с добавкой фтора и фосфора. Кроме того, оболочка световода 21, покрыта пьезоэлектрическим полимером. При работе датчика 8 происходят изменения фазы электромагнитной волны, распространяющейся по световоду 21. Эти изменения возникают при внешнем воздействии электрического поля на используемый материал световода 21. Светодиоды 15, 16 и 23, 24 служат для создания необходимых световых потоков в световодах 13, 14 и 21, 22. Фотоприемники 17, 18 и 25, 26 необходимы для образования световых потоков, поступающих от светодиодов 15, 16 и 23, 24 в электрические сигналы.

Устройство работает следующим образом.

Перед началом работы оператор вдали от электроустановки включает прибор. При приближении к токоведущим частям электроустановок, находящимся под нагрузкой, на расстояние 8-10 м на датчик 1 начинает действовать магнитное поле, возникающее в токоведущих частях вследствие протекания по ним токов согласно закону Био-Саварра-Лапласа. Возникающее магнитное поле регенерируется датчиком 1. Находясь в зоне действия магнитного поля, пьезоэлектрический цилиндр 11 под действием синусоидального напряжения начинает перемещать инерционный элемент 12 в направлениях, показанных стрелками. Светодиоды 13 и 14, соединенные с инерционной массой 12, также начинают перемещаться в указанных направлениях. При этом происходит изменение относительной длины светодиодов 13 и 14 пропорционально возникшему ускорению  $a$ . При продольном воздействии усилий на светодиоды 13 и 14 происходит их удлинение, приводящее к изменению фаз излучений от светодиодов 15 и 16,

пропускаемых через эти световоды. В том случае, если бы внешнее магнитное поле отсутствовало, возникший фазовый сдвиг в световодах 13 и 14 был бы одинаков и фототоки приемников 17 и 18 были бы равны, одинаковые сигналы поступили бы на вход усилителя 2. Под действием же имеющегося магнитного поля световод 13 дополнительно изменяет свои размеры, т.к. он, в отличие от световода 14, имеет специальное нанесенное покрытие, которое для усиления магнитострикционного эффекта выполнено из металлического стекла. Изменение размеров световода 13 приводит к тому, что в этом плече интерферометра возникает дополнительный набег фазы излучения от светодиода 15. Это изменение излучения и регистрируется фотоприемником 17, фототок которого изменяется и становится отличным от фототока приемника 18. Сигналы с выходов фотоприемников 17 и 18 поступают на вход дифференциального усилителя 2. Полученный в результате сигнал рассогласования усиливается усилителем 2 и через элемент ИЛИ 10 подается на управляющий электрод ключа 4. Ключ 4 открывается, и второй потенциал источника 3 по силовой цепи прикладывается к импульсному генератору 6. Генератор 6 генерирует сигналы, которые и воспроизводит громкоговоритель 7. Таким образом, производится звуковое оповещение обслуживающего персонала электроустановки. При выходе из зоны действия магнитного поля датчик 1 улавливает это изменение, сигнал с выхода усилителя 2 уменьшается, электронный ключ 4 закрывается, обесточивается генератор 6 и звуковое оповещение прекращается. При приближении к токоведущим частям электроустановок со снятой нагрузкой, но с не отключенным по каким-либо причинам напряжением на датчик 8 начинает действовать электрическое поле. Возникающее электрическое поле регистрируется датчиком 8. Находясь в зоне действия электрического поля, пьезоэлектрический цилиндр 19 под действием синусоидального напряжения начинает перемещать инерционный элемент 20 в направлениях, показанных стрелками. Световоды 21 и 22, соединенные с инерционной массой 20, также начинают перемещаться в указанных направлениях. При этом происходит изменение относительной длины световодов 21 и 22 пропорционально возникшему ускорению  $a$ . При продольном воздействии усилий на световоды 21 и 22 происходит их удлинение, приводящее к изменению фаз излучений от светодиодов 23 и 24, пропускаемых через эти световоды. В том случае, если бы внешнее электрическое поле отсутствовало, возникший фазовый сдвиг в световодах 21 и 22 был бы одинаков и фототоки приемников 25 и 26 были бы равны, и одинаковые сигналы поступили бы на вход усилителя 9. Под действием же имеющегося электрического поля световод 21 дополнительно изменяет свои размеры, т.к. он, в отличие от световода 22, имеет другую сердцевину и специальное нанесенное пьезоэлектрическое полимерное покрытие. Изменение размеров световода 21 приводит к тому, что в этом плече интерферометра возникает дополнительный набег фазы излучения от светодиода 23. Это изменение излучения регистрируется фотоприемником 25. Фототок приемника 25 изменяется и становится отличным от фототока приемника 26. Сигналы с выходов фотоприемников 25 и 26 поступают на вход дифференциального

усилителя 9. Полученный в результате сигнал рассогласования усиливается усилителем 9 и через элемент ИЛИ 10 подается на управляющий электрод ключа 4. Ключ 4 открывается, и второй потенциал источника 3 по силовой цепи прикладывается к импульсному генератору 6. Генератор 6 генерирует сигналы, которые и воспроизводит громкоговоритель 7. Таким образом, производится звуковое оповещение обслуживающего персонала электроустановки. При выходе из зоны действия электрического поля датчик 8 улавливает это изменение, сигнал с выхода усилителя 9 уменьшается, электронный ключ 4 закрывается, обесточивается генератор 6 и звуковое оповещение прекращается. Таким образом, использование предлагаемой схемы расширяет функциональные возможности устройства путем регистрации электрических полей малой напряженности, обусловленных, например, наличием не отключенного с электроустановки напряжения.

#### Литература

1. Ермолинская, Л.Э. Высокочувствительный сигнализатор напряжения / Л.Э. Ермолинская, А.О. Тарарай. –БНТУ, СНТК (электронная публикация), 2019.
2. Устройство для регистрации магнитных полей в системах электроснабжения: патент Республики Беларусь 7781 МПК G 01R33/06, G 01R 33/032, G 01R 33/19 (2006.01) / А.В. Горностай, Ю.А. Ролик; И.Ю. Горновский, Н.Н. Кульчинский, дата публ.: 30.12.2011