

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Рапопорт Д.Л.
Руководитель МИХАЙЛОВА Я.В.

РАЦИОНАЛЬНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ЗАГРУЗКИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМУМА КПД

Супрунюк А.В., Мильто А.В.
Научный руководитель - к.т.н., доцент РАДКЕВИЧ В.Н.

РАЗВИТИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Капустинский А.Ю.
Научный руководитель – ассистент МИХАЙЛОВА Я.В.

ВЫБОР ИСТОЧНИКОВ СВЕТА В АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННОМ ОСВЕЩЕНИИ

Ахундова Ю.Д.
Научный руководитель – к.т.н., КОЗЛОВСКАЯ В.Б.

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Галин А.А., Матяс Т.В.
Научный руководитель – к.т.н., доцент КОНСТАНТИНОВА С.В.

ВЫБОР ЭКРАНОВ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Алехнович Д.С., Угаров М.С.
Научный руководитель – к.т.н., доцент РАДКЕВИЧ В.Н.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДУКЦИОННЫХ ЛАМП ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Марчук А.В., Дубатовка А.Д.
Научный руководитель - к.т.н., доцент КОЗЛОВСКАЯ В.Б.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ХОЗЯЙСТВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ (ДО 20 КВТ) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Байрашевский М.Я.
Научный руководитель – к.т.н., доцент КОНСТАНТИНОВА С.В.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

Кузьма А. Ю.
Научный руководитель – старший преподаватель САЦУКЕВИЧ В.Н.

УДК 621.32

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Рапопорт Д.Л.

Руководитель МИХАЙЛОВА Я.В.

В данной работе будут приведены краткое описание и сравнительный анализ 3 источников света: люминесцентная лампа, светодиодная лампа и индукционная лампа.

Люминесцентная лампа — это газоразрядный источник света, световой поток которого возникает из-за свечения люминофоров под воздействием ультрафиолетового излучения разряда. Люминесцентные лампы широко применяются для общего освещения, при этом их световая отдача в несколько раз больше, чем у ламп накаливания. Наиболее распространенными являются газоразрядные лампы низкого и высокого давления. При обеспечении достаточного качества электропитания, балласта и соблюдения ограничений по числу коммутаций, срок службы люминесцентных ламп может до 20 раз превышать срок службы устаревших ламп накаливания.

К основным достоинствам относятся: высокая светоотдача (до 75 лм/Вт), длительный срок службы (до 20000 часов); рассеянный свет; малая себестоимость и большой спектр цветов света.

К недостаткам относятся: низкий коэффициент мощности ламп (0,4-0,5); наличие радиопомех; специальная утилизация, так как в лампе содержится ртуть; деградация люминофора, которая приводит к уменьшению светоотдачи и изменению спектра излучаемого света [1]; наличие дополнительного оборудования ЭПРА (электронный пускорегулирующий аппарат). В Республике Беларусь проводится программа, которая подразумевает, что с 2020 будет запрещено производство, импорт или экспорт продукта, содержащего ртуть. Под запрет этой конвенции попадают некоторые виды люминесцентных ламп.

В последнее время широкое распространение получили световые приборы на основе светодиодов. Светодиод — полупроводниковый прибор, создающий оптическое излучение из преобразованной электрической энергии. В производстве светодиодных ламп не используется ртуть или другие ядовитые вещества, таким образом при разрушении или выхода из строя лампа не представляет опасности для окружающих.

К основным преимуществам относятся: очень низкое энергопотребление; отсутствие ультрафиолетового излучения; высокая механическая прочность; экологичность, высокий КПД (90-95%); высокий срок эксплуатации (до 50 000 часов); устойчивость к низким температурам; светодиодная лампа не требует специальной утилизации, из-за отсутствия токсичных веществ.

К недостаткам относятся: относительно высокая стоимость, по сравнению с люминесцентными лампами; узконаправленный свет, что обуславливает наличие в конструкции специальных рассеивающих фильтров; при выходе из строя любого элемента светильник чаще всего подлежит замене; плохая устойчивость к высоким температурам; деградация кристалла; неоднородный спектр в светодиодах белого цвета.

Индукционные лампы – это безэлектродная газоразрядная лампа, в которой первичным источником света служит плазма, возникающая в результате ионизации газа под действием высокочастотного магнитного поля. Свечение происходит благодаря электромагнитной индукции в газе, заполняющем лампу. Для получения светового излучения используется комбинация трех физических процессов - электромагнитной индукции, электрического разряда в газе, свечения люминофора при взаимодействии с газом.

К преимуществам относятся: безэлектродное исполнение, что обуславливает очень высокий срок службы (до 100000 часов); высокая светоотдача (от 80 лм/Вт); уменьшение светового потока к концу срока службы на 10-15%; большой гарантийный срок; относительно низкая стоимость; высокий КПД (90%).

К недостаткам относятся: наличие токсичных веществ в составе (амальгама); большая стоимость по сравнению с люминесцентной лампой; чувствительность к низким температурам; ультрафиолетовое излучение; сложная схема питания; необходимость специальной утилизации.

В таблице 1 для сравнения приведены основные параметры ламп.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики источников света

Принцип работы	Газоразрядные			Твердотельные
	Низкого давления	Высокого давления	Индукционные	Светодиодные
Светоотдача, лм/вт	70-85	90	80-110	80-180
Индекс цветопередачи, Ra	70-90	40-60	80-90	70-90
Срок службы, час	6000-9000	7000	100000	50000
Цветовая температура, °К	2300-4900	2300-2900	2700-6500	2700-6500
Рабочая температура, °С	от -15 до +50	от -40 до +40	от -35 до +50	от -60 до +45
Время включения	0-30 сек.	7-10 мин.	0,1-3 мин.	мгновенно
Механическая прочность	низкая	средняя	низкая	очень высокая
Экология	ртуть	ртуть	амальгама	безопасна
Диммирование	возможно	нет	возможно	возможно
Побочные излучения	есть	есть	есть	нет
Прочие недостатки	утилизация	утилизация	цена, утилизация	цена

Вывод: В ходе выполненной работы был проведен сравнительный анализ 3 источников света, было выявлено, что наибольший срок службы у индукционной лампы, но из-за сравнительно недавнего потребительского производства, эти данные пока не имеют экспериментального подтверждения. С точки зрения безопасности и экологии лучше всего подходят светодиодные лампы, так как в их исполнении отсутствуют токсичные вещества, однако еще до конца не выявлены особенности их влияния на организм человека. Таким образом светодиодные лампы находят широкое применение в потребительском применении: прожекторах, декоративной светотехнике и особенно в компактных осветительных приборах (ручных фонариках), также широко распространено светодиодное уличное освещение. Индукционные лампы подходят к промышленным объектам из-за более высокой рабочей температуры и более низкой цены по сравнению со светодиодными.

Литература

1. Козловская В. Б. Электрическое освещение: учебное пособие/В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. – Минск: «Техноперспектива», 2011. – 543 с.
2. Трофимов, Ю.В. Светодиоды: тенденция и проблемы внедрения / Ю.В. Трофимов, С.И.Лишик // Энергоэффективность.-2013.-№4.-с.24-26.
3. Макареня, С. Индукционная лампа – источник качественного и энергоэффективного освещения / С. Макареня, А. Павлов, Н. Фомин // Современная электроника. – 2011. – № 9. – С. 8–13.

УДК 621.311.017

РАЦИОНАЛЬНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ЗАГРУЗКИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМУМА КПД

Супрунук А.В., Мильто А.В.

Научный руководитель - к.т.н., доцент РАДКЕВИЧ В.Н.

В процессе проектирования и эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий необходимо обеспечивать экономичность и надежность функционирования силовых трансформаторов напряжением (6-10)/0,4 кВ. В статической постановке задачи, т.е. без учета фактора времени, одним из простых критериев оценки эффективности работы трансформатора может служить максимум коэффициента полезного действия (КПД) трансформатора. Максимум имеет место, когда потери холостого хода (XX) равны потерям в обмотках трансформатора. Из условия равенства потерь XX и нагрузочных потерь можно найти коэффициент загрузки трансформатора, соответствующий максимуму КПД [1]:

$$\beta_{TP} = \sqrt{\frac{\Delta P_x}{\Delta P_\kappa}}, \quad (1)$$

где ΔP_x и ΔP_κ - соответственно потери XX и короткого замыкания трансформатора, кВт.

Так как нагрузки, минимизирующие потери активной и реактивной мощности, не всегда совпадают, то при оценке рационального режима работы трансформаторов в некоторых случаях пользуются так называемыми приведенными потерями холостого хода $\Delta P'_x$ и короткого замыкания $\Delta P'_\kappa$ трансформатора. Они учитывают не только потери активной мощности непосредственно в трансформаторах, но и дополнительные потери активной мощности, возникающие во всей цепи от генераторов источника питания до рассматриваемых трансформаторов из-за потребления ими реактивной мощности. Приведенные потери активной мощности определяются по следующей формуле [2]:

$$\Delta P'_T = \Delta P'_x + \Delta P'_\kappa \cdot \beta_T^2, \quad (2)$$

где $\Delta P'_x$ - приведенные потери холостого хода, кВт;

$\Delta P'_\kappa$ - приведенные потери короткого замыкания, кВт;

β_T - коэффициент загрузки трансформатора.

Приведенные потери холостого хода вычисляются по выражению

$$\Delta P'_x = \Delta P_x + \kappa_{ин} \cdot \frac{I_x \cdot S_{ном}}{100}, \quad (3)$$

где $\kappa_{ин}$ - коэффициент изменения потерь (экономический эквивалент реактивной мощности), кВт/квар;

I_x - ток холостого хода трансформатора, %;

$S_{ном}$ - номинальная мощность трансформатора, кВ·А.

Значение приведенных потерь КЗ рассчитывается по формуле

$$\Delta P'_\kappa = \Delta P_\kappa + \kappa_{ин} \cdot \frac{U_\kappa \cdot S_{ном}}{100}, \quad (4)$$

где U_k – напряжение КЗ трансформатора, %.

Коэффициент изменения потерь показывает, сколько киловатт активной мощности теряется в элементах электроэнергетической системы при передаче одного киловольт-ампера реактивного от генераторов электростанции до трансформаторов, установленных на предприятии. Для промышленных предприятий его значение принимается равным 0,07-0,1 кВт/квар [2].

Коэффициент загрузки силового трансформатора, соответствующий минимуму приведенных потерь мощности, отнесенных к единице передаваемой мощности, определяется по выражению [2]

$$\beta'_{TP} = \sqrt{\frac{\Delta P'_x}{\Delta P'_k}} \quad (5)$$

В СЭС промышленных предприятий могут применяться разные типы силовых трехфазных трансформаторов напряжением (6-10)/0,4 кВ с жидким диэлектриком. Как правило, используются номинальные мощности $S_{ном} = 630; 1000$ и 1600 кВ·А. Их общая характеристика дана в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика силовых трехфазных трансформаторов напряжением (6-10)/0,4 кВ

Тип	Номинальная мощность, кВ·А	Особенности конструктивного исполнения
ТНЭЗ	630; 1000; 1600	Защищенный герметичный трансформатор с обмотками из меди, у которого в качестве изолирующего и охлаждающего диэлектрика применяется негорючая и экологически чистая жидкость <i>Midel 7131</i> .
ТНЭЗ А	630; 1000; 1600	То же, но с обмотками, выполненными из алюминия.
ТМГ	630; 1000;	Герметичный маслonaполненный трансформатор с обмотками из алюминия.
ТМГ11	630; 1000; 1600	То же, но с меньшими потерями холостого хода.
ТМГ12	630; 1000	То же, но с меньшими потерями КЗ по сравнению с ТМГ11
ТМГ15	630; 1000	То же, но меньшими потерями холостого хода по сравнению с ТМГ12
ТМГ21	630; 1000	Герметичный маслonaполненный трансформатор с обмотками из алюминия. Вторичная обмотка выполнена из алюминиевой фольги с бумажной изоляцией.
ТМЗ	630; 1000; 1600	Маслonaполненный защищенный трансформатор. В баке под небольшим избыточным давлением имеется азотная подушка.
ТМ	630; 1000; 1600	Маслonaполненный трансформатор с открытыми изоляторами и расширителем для масла.

Приняв $k_{ин}=0,1$ кВт/квар, произведем расчет β_{TP} и β'_{TP} для основных типоразмеров силовых трехфазных трансформаторов разных серий. Полученные результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициенты загрузки трансформаторов напряжением (6-10)/0,4 кВ, соответствующие максимуму КПД

Коэффициент загрузки	$S_{\text{ном}}$, кВ·А	Тип силового трансформатора								
		ТНЭЗ	ТНЭЗА	ТМГ	ТМ11	ТМГ12	ТМГ15	ТМГ21	ТМ3	ТМ
β_{TP}	630	0,53	0,44	0,37	0,38	0,34	0,33	-	0,40	0,41
	1000	0,47	0,38	0,39	0,36	0,32	0,30	0,33	0,39	0,43
	1600	0,50	0,41	-	0,36	-	-	0,35	0,40	0,45
β'_{TP}	630	0,52	0,43	0,36	0,37	0,34	0,32	-	0,39	0,40
	1000	0,45	0,38	0,38	0,35	0,32	0,29	0,33	0,39	0,42
	1600	0,48	0,40	-	0,35	-	-	0,34	0,39	0,44
β_{Tw}	630	0,92	0,76	0,64	0,65	0,59	0,57	-	0,68	0,70
	1000	0,80	0,66	0,67	0,62	0,56	0,51	0,58	0,68	0,73
	1600	0,86	0,71	-	0,62	-	-	0,60	0,69	0,77

Значение β_{TP} зависит от технических характеристик трансформатора, которые устанавливаются в процессе его создания. Силовые трансформаторы проектируются таким образом, чтобы максимум КПД имел место при коэффициенте загрузки $\beta_{TP}=0,5-0,7$ [1], т.е. соответствовал бы их наиболее вероятной нагрузке в нормальном режиме работы в условиях эксплуатации.

Данные, приведенные в таблице 2, показывают, что значения β_{TP} находится в диапазоне 0,3-0,53, а β'_{TP} - 0,29 - 0,52. Это несколько меньше величин коэффициента загрузки, указанных в [1]. Расчеты β'_{TP} по приведенным потерям ХХ и КЗ трансформаторов дают результаты, несущественно отличающиеся от значений β_{TP} .

Потери активной мощности в системах электроснабжения являются важным режимным показателем. Однако этот показатель не в полной мере характеризует эффективность передачи электроэнергии в электрической сети [3]. Трансформаторы, как правило, имеют неравномерный график нагрузки. Поэтому при оценке эффективности использования трансформатора, вместо КПД по мощности, более правомерно применять КПД по электрической энергии, который рассчитывается по формуле

$$\eta_w = \frac{W_2}{W_1}, \quad (6)$$

где W_1 и W_2 – соответственно количество электроэнергии, полученной из питающей электрической сети, и отданной в сеть вторичного напряжения в течение рассматриваемого периода (как правило, года).

Значение электроэнергии, полученной трансформатором за год из питающей электрической сети, можно определить по следующему соотношению:

$$W_1 = W_2 + \Delta P_x \cdot T_g + \Delta P_k \cdot \beta_T^2 \cdot \tau, \quad (7)$$

где T_g - число часов включения трансформатора в течение года, ч;

β_T -коэффициент загрузки трансформатора, найденный по максимальной полной мощности;

τ - время максимальных потерь, ч.

С учетом (7) выражение (6) запишем как

$$\eta_w = \frac{W_2}{W_2 + \Delta P_x \cdot T_g + \Delta P_k \cdot \beta_T^2 \cdot \tau} \quad (8)$$

В соответствии с [1,3] из условия $\frac{\partial \eta_w}{\partial \beta_w} = 0$ получаем

$$\beta_{Tw} = \sqrt{\frac{\Delta P_x \cdot T_g}{\Delta P_k \cdot \tau}} \quad (9)$$

Так как $T_g > \tau$, то β_{Tw} в $\sqrt{T_g/\tau}$ раз больше β_{TP} . Следовательно, значение коэффициента загрузки трансформатора, соответствующее максимуму годового КПД по электроэнергии, определяется как

$$\beta_{Tw} = \beta_{TP} \sqrt{\frac{T_g}{\tau}} \quad (10)$$

Значение τ , характеризующее график нагрузки трансформатора, зависит от времени использования максимума нагрузки T_{max} . При оценке использования и технического уровня трансформаторного оборудования промышленных предприятий, имеющего высшее номинальное напряжение 10 кВ, рекомендуется принимать $T_g = 8600$ ч, $T_{max} = 5000$ ч, $\tau = 2900$ ч [4]. В этом случае можно записать

$$\beta_{Tw} = 1,72 \beta_{TP} \quad (11)$$

По выражению (11) выполним расчеты коэффициента загрузки для силовых трансформаторов (таблица 1). Результаты расчета показаны в таблице 2.

Используя данные, приведенные в таблице 2, находим, что для основных типоразмеров силовых трансформаторов напряжением (6-10)/0,4 кВ $\beta_{Tw} = 0,51 - 0,92$.

Работа силовых распределительных трансформаторов с коэффициентом загрузки β_{Tw} снижает потери электроэнергии в СЭС и обеспечивает надежное электроснабжение потребителей электроэнергии.

Выводы

1. Более высокие коэффициенты загрузки, соответствующие максимуму КПД, как по активной мощности, так и по электроэнергии, имеют силовые трансформаторы типа ТНЭЗ и ТНЭЗ А, в которых в качестве изолирующего и охлаждающего диэлектрика применяется негорючая и экологически чистая жидкость *Midel 7131*. При этом номинальная мощность трансформаторов типа ТНЭЗ с обмотками, выполненными из меди, используется в более высокой степени.

2. Трансформаторы типа ТМГ15 по сравнению с другими рассмотренными типами имеют наиболее низкие значения коэффициентов загрузки, соответствующие максимуму КПД по мощности и электроэнергии. Следовательно, обеспечить минимальные потери мощности и электроэнергии в этих трансформаторах можно только за счет существенного недоиспользования трансформаторной мощности.

3. При планировании режимов работы силовых трансформаторов в СЭС промышленных предприятий в качестве критерия эффективности целесообразно применять максимум годового КПД по электрической энергии.

Литература

1. Копылов, И.П. Электрические машины / И.П. Копылов. - М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.
2. Федоров, А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А.А. Федоров, В.В. Каменева. - М.: Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.
3. Фурсанов, М.И. Об оптимальных режимах работы силовых трансформаторов / М.И. Фурсанов, В.Н. Радкевич // Энергетика... (Изв. выш. учеб. заведений и энергетических объединений СНГ)-2008. – №2. – с.32 – 38.
4. Указания для проектирования. Выпуск 4. М.: ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект», 1988. – 16 с.

УДК 620.91

РАЗВИТИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Капустинский А.Ю.

Научный руководитель – ассистент МИХАЙЛОВА Я.В.

Потребность в освоении возобновляемых источников энергии объясняется возрастающим спросом на топливо, ростом населения и требований к уровню жизни, а также ухудшающейся экологической обстановкой на планете вследствие сжигания топлива. Важным последствием освоения возобновляемых источников энергии может стать повышение военной безопасности на планете, потому что большинство войн и военных конфликтов 20 и 21 столетия возникали в борьбе за владение энергоресурсами.

Ввиду того, что наша страна не обладает значительным запасом источников энергии, вопрос энергетической безопасности является одним из самых актуальных для Беларуси. Собственные топливно-энергетические ресурсы страны покрывают лишь 15% от объема общего потребления, что и обуславливает развитие всех возобновляемых источников энергии, которые возможно использовать на территории нашей страны.

Одним из наиболее перспективных направлений реализации целей указанных проектов является развитие белорусской ветроэнергетики. Согласно национальной программы развития местных и возобновляемых источников на 2011 – 2015 гг. на территории Республики Беларусь выявлено 1840 площадок, где можно разместить ветроустановки (ВЭУ). Среднегодовая скорость фонового ветра колеблется от 3 до 4 м/с на высоте 10-12 метров. Поэтому в программе оговорена необходимость тщательного технико-экономического обоснования строительства ветроустановок в каждом отдельном случае. Беларусь располагает значительными ресурсами энергии ветра, которые оцениваются потенциально возможной установленной мощностью более чем 1600 МВт·ч и годовой выработкой электроэнергии более чем 2,4 млрд кВт·ч. На территории нашей страны выявлено около 1840 площадок, пригодных для размещения ветроэнергетических станций и ветропарков. Эти площадки представляют собой в основном ряды холмов высотой от 250 м над уровнем моря, где средняя скорость ветра колеблется от 5 до 8 м/с. На каждой из них можно разместить от 3 до 20 ветроэнергетических установок.

Однако использование данного вида ресурсов в Республике Беларусь еще не нашло широкого применения несмотря на высокий потенциал развития. ГПО «Белэнерго» принадлежит всего одна введенная в эксплуатацию ветропарк мощностью 9 МВт (рядом с д. Грабники, Новогрудский район). Помимо этого, в стране установлено около 20 ветроустановок, не принадлежащих ГПО «Белэнерго», суммарная мощность которых не превышает 1000 кВт (размещены в поселке Жилихово (Копыльский район), Янковцы, Волма (Держинский район), агрогородке Занарочь, поселке Дружная (Мядельский район), Грабники (Новогрудский район), деревне Райца (Кореличский район), и др.

Самым мощным, экологически чистым, естественным и общедоступным источником энергии на нашей планете является Солнце. На территорию Беларуси за год поступает солнечная энергия суммарной величиной около $3 \cdot 10^{14}$ кВт·часов, что эквивалентно 40 млрд т.у.т. и более чем на три порядка. По количеству световой энергии, падающей на единицу поверхности (инсоляции), наша страна отстаёт от территорий, близких к экватору, однако находится примерно на одном уровне с такими странами, как Германия, Япония, Канада, где солнечная энергетика развивается очень активно. Анализ показывает, что потенциальная эффективность использования солнечных батарей на территории Беларуси только за счет благоприятных условий инсоляции

- более чем на 10% выше, чем в Польше, Нидерландах;
- более чем на 17% выше, чем в Германии, Бельгии, Дании, Ирландии, Великобритании;

- еще выше относительно стран расположенных севернее и северо-западнее Республики Беларусь.

В условиях Республики Беларусь рассматриваются два способа использования солнечной энергии: это преобразование солнечной энергии в тепловую энергию и преобразование солнечной энергии непосредственно в электрическую при помощи PV-систем. Еще одним вариантом является разработка тандемных, более сложных систем, например – солнечная батарея плюс солнечный коллектор, плюс дизель.

Получение энергии от такого источника, как солнце, активно развивается. Существует огромное количество небольших солнечных электростанций (всего в несколько панелей), которые используются в частном порядке для выработки электроэнергии жителями нашей страны. Крупных солнечных электростанций в Республике Беларусь относительно немного. Выделяются две новые, достаточно крупные солнечные электростанции, построенные в 2016 году. Одна из них находится недалеко от озера Нарочь, в Мядельском районе Минской области. Она занимает площадь 15 га, ее установленная мощность и годовая выработка электроэнергии соответственно составляют 5,7 МВт и 6,3 млн. кВт·ч. Вторая находится в городе Брагин, в Гомельской области, и занимает 56 га. Ее установленная мощность и годовая выработка электроэнергии соответственно составляют 22,3 МВт и 27,1 млн кВт·ч. Брагинская солнечная электростанция представляет собой отличный пример использования земель, загрязненных в результате катастрофы на ЧАЭС.

Перспективы использования биомассы у нашей страны велики. Республика Беларусь обладает значительным потенциалом использования биоресурсов в энергетических целях и при этом может сэкономить огромные средства, необходимые для закупки нефти и газа. Основное наше достояние – леса, ими покрыто 38 % территории Беларуси. До 44 % территории – сельскохозяйственные угодья, которые могут быть задействованы и для получения биомассы. Значительные площади могут быть использованы для посева быстрорастущих культур, в том числе масличных, причем не для сжигания в топках, а как сырье для производства топлива. К тому же, по международной классификации выбросы от сжигания древесины и иной биомассы не являются парниковыми.

В каждом районе республики имеется от одного до четырех животноводческих и птицеводческих комплексов, отходы которых могут быть использованы в качестве биотоплива. Попутно производятся экологически чистые удобрения. Они обладают высокой эффективностью и обеспечивают дополнительный прирост урожайности культур в среднем на 20 %. В масштабах республики из навозных стоков животноводческих ферм, комплексов и куриного помета птицефабрик ежегодно в потенциале можно получать по биогазовой технологии около 2,5 млрд м³ биогаза и вырабатывать на его основе с использованием высокоэффективных когенерационных установок около 5 млн МВт·ч электрической и 8,5 млн Гкал тепловой энергии. С учетом замещения невозобновляемых источников энергии это способствовало бы ежегодной экономии около 2,9 млн т у.т.

Кроме этого, для получения энергии могут быть использованы бытовые и промышленные отходы. Данная технология успешно внедрена на одном из мусорных полигонов вблизи города Минск, а именно на полигоне «Тростенецкий».

В Республике Беларусь построено три импортных биогазовых комплекса, в СГЦ «Западный» Брестского района, на племптицезаводе «Белорусский» Минского района и на Гомельской птицефабрике. Согласно государственной политики, в Беларуси предусмотрено строительство не менее 39 биогазовых комплексов общей мощностью 40,4 МВт, что позволит ежегодно вырабатывать около 340 млн кВт·ч электроэнергии и замещать импортируемый природный газ в объеме более 145 тыс. т у.т.

Что касается гидроэнергетики, потенциальная мощность всех водотоков Беларуси составляет 850 МВт, в том числе технически доступная – 520 МВт, а экономически целесообразная 250 МВт. На сегодняшний день в Беларуси действует 41 гидроэлектростанция, суммарная мощность которых составляет 16,1 МВт. Самая крупная ГЭС находится в Осиповичском районе и имеет установленную мощность 2,175 МВт.

Планируется строительство и реконструкция 33 гидроэлектростанций. Основной упор развития гидроэнергетики Республики Беларусь делается на малые, микро и мини-ГЭС.

Развитие возобновляемых источников энергии во многом обусловлено стимулированием государством за счет применения повышающих коэффициентов. Согласно постановлению Министерства Экономики Республики Беларусь от 7 августа 2015 г. № 45 тарифы на электрическую энергию, производимую на территории Республики Беларусь, для ветроустановок вне зависимости от установленной мощности, введенных в эксплуатацию в период с 21 мая 2015 г. по 20 августа 2015 г. либо созданных в пределах, выделенных в установленном порядке квот на создание установок после 20 августа 2015 г., установлены с применением коэффициентов:

В нашей стране развитием альтернативных источников энергии усиленно занимается компания «Белоруснефть». За последние пять лет компанией были введены в эксплуатацию 22 тепловых насоса, 15 гелиоколлекторов, 12 фотоэлектрических станций. Одна из них, которая находится на Белорусском газоперерабатывающем заводе мощностью 3,75 МВт, является крупнейшей солнечной электростанцией в Беларуси. Это был первый проект, реализованный по инвестиционному договору с Гомельским облисполкомом в сфере возобновляемой энергетики. Второй проект договора предусматривает строительство фотоэлектрической станции мощностью 55 МВт. Также компания «Белоруснефть» занимается и вопросами ветроэнергетики. Компанией получены необходимые согласования на строительство двух ветропарков. Строительство ветропарков будет вестись в населенных пунктах Бурмаки (Минская область) и Лужище (Гродненская область). Первый предусматривает работу 15 ветроэнергетических установок суммарной мощностью до 50 МВт, второй - 29 установок мощностью до 80 МВт. Компания «Белоруснефть» также планирует построить ветропарк в Ошмянском районе Гродненской области. «Сейчас ведется подготовка реализации данного проекта. В частности, специалисты объединения провели согласования по поставкам ветроэнергетических установок из Германии», - отметил собеседник. Предполагается, что мощность ветропарка в Ошмянском районе превысит 20 МВт.

Крупные проекты, касающиеся развития возобновляемых источников энергии в нашей стране, были осуществлены при участии инженерно-консалтинговой компании «ЭНЭКА». Ее проекты, реализованные в нашей стране, сведены в таблицу 1.

Таблица 1: проекты в области возобновляемой энергетики компании «ЭНЭКА»

Биоэнергетика	Солнечная энергетики	Ветроэнергетика
«Утилизация послеспиртовой барды с получением биогаза и доочисткой стоков до сброса в канализацию и установкой ГПА в контейнерном исполнении на ОСЦ ПЦ Бере-зинский спиртзавод» (ПЕРВЫЙ ПРОЕКТ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛА-РУСЬ, введен в эксплуатацию)	Выполнение бизнес-плана по объекту: «Фотоэлектрическая станция на БППЗ с выдачей электроэнергии на шины п/ст «Подмостье» по процедуре сравнительной таблицы цен» (мощность 3,4 МВт)	«Строительство ветроэнергетической установки в районе н.п. Грабники Новогрудского района» для РУП «Гродноэнерго» (введен в эксплуатацию)
«Установка для активной дегазации полигона ТКО Тростенец» (ПЕРВЫЙ ПРОЕКТ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ, введен в эксплуатацию) Описание: Установка на полигоне ТКО «Тростенец» 3-х газопоршневых установок общей электрической мощностью 3 МВт использующих свалочный газ (биогаз) в качестве основного топлива. Вырабатываемая электроэнергия реализуется в сети РУП «Минскэнерго»	Разработка ОИ, ТЭО и Бизнес-плана по объекту: «Фотоэлектрическая станция на Головных сооружениях РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»» (мощность 50 МВт)	«Строительство ветроэнергетической установки в районе Крево-маяк Сморгонского района» Технико-экономическое обоснование по объекту: «Строительство ветропарка в Лиозненском районе Витебской области с экспресс-анализом ветрового потенциала»
«Строительство биогазовой установки мощностью 1МВт на базе свиноварного комплекса на 24 тыс. голов возле агрогородка Греск Слуцкого района»	«Разработка, строительство и эксплуатация ООО «Солар Парк» солнечного парка «Брагин I» (мощность 4,2 МВт)	«Строительство ветроэнергетической установки в районе д.Герники Дятловского района»

Таким образом, развитие возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь имеет место, несмотря на то, что, на первый взгляд, их применение не является весьма эффективным. За счет сжигания отходов деревообработки, быстрорастущих пород древесины, биогаза, использования солнечной энергии и энергии воды и ветра, а также использования низкопотенциальной энергии земли тепловыми насосами могут быть частично покрыты нужды в энергии крупных предприятий промышленности, а также полностью покрыты нужды небольших предприятий и бытового сектора.

Литература

1. Олешкевич М.М. Нетрадиционные источники энергии. Учебно-методическое пособие. Минск. БНТУ, 2007.
2. Постановление Министерства Экономики Республики Беларусь от 7 августа 2015 г. № 45
3. <http://www.energo.by/>
4. <http://www.eneca.by/>
5. <http://www.belorusneft.by/>
6. <http://www.minenergo.gov.by/>
7. <http://energobelarus.by/>

УДК 621.32

ВЫБОР ИСТОЧНИКОВ СВЕТА В АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННОМ ОСВЕЩЕНИИ

Ахундова Ю.Д.

Научный руководитель – к.т.н., КОЗЛОВСКАЯ В.Б.

Для архитектурно-художественного освещения применяют такие источники света как светодиодная лампа, лампы ДРЛ и ДНаТ.

Для осуществления наиболее удачного выбора лампы при выполнении такого рода освещения необходимо знать характеристики каждой из этих ламп. Также следует учитывать наличие у всех ламп как положительных, так и отрицательных показателей.

Светодиодные лампы

Главным достоинством лампы является очень высокое КПД – не менее 90% (95-98%). Благодаря этому светодиодная технология обеспечивает низкое энергопотребление и малое тепловыделение. Помимо этого, в силу самой природы получения излучения, светодиоды обладают совокупностью характеристик, недостижимой для других технологий. Данному виду лампы характерна высокая механическая и температурная устойчивость, также устойчивость к перепадам напряжения, продолжительный срок службы, отличная контрастность и цветопередача. Экологичность при производстве также является важным достоинством. Следует отметить что у светодиодов отсутствует мерцание, и они обладают довольно ровным светом.

Дуговые ртутные лампы (ДРЛ)

Напрямую в сеть эту лампы подключить не возможно. В связи с этим ее комплектуют пускорегулирующим аппаратом (дросселем). Он испускает низкочастотный гул и вызывает раздражающее глаз мерцание лампы, а также приводит к повышенному потреблению электроэнергии. Помимо большой массы, дроссель имеет и внушительные габариты. Наконец, по дроссельной схеме практически невозможно включить горячую лампу – при кратковременном исчезновении напряжения сети разогретая лампа не загорится вновь, потребуются время, чтобы она остыла. Этот эффект связан с тем, что в процессе горения дуги давление в горелке многократно возрастает, а поэтому растет и напряжение, требуемое для ее повторного пробоя. Сеть уже не может обеспечить лампу таким напряжением. Все эти факторы привели к тому, что в последнее время светильники с лампами ДРЛ начинают комплектовать современными пускорегулирующими аппаратами (ПРА) на электронных компонентах. Они вырабатывают высокочастотное напряжение, период изменения которого находится за пределами восприятия глаза и уха человека. Поэтому лампы горят ровно и без мерцаний, и из светильника не слышен гул.

Помимо этого, в электронных ПРА имеется возможность формировать начальный импульс высокого напряжения, который гарантированно пробивает межэлектродное пространство даже в разогретой лампе и обеспечивает ее стабильный и быстрый запуск при любых условиях. Правда, вследствие высоких мощностей питаемых ламп для цепей управления ПРА требуются достаточно дорогостоящие мощные транзисторы, и стоимость электронных балластов пока остается довольно высокой. Необходимо отметить, что лампы ДРЛ обладают меньшей светоотдачей по сравнению с лампами ДНаТ, но в отличие от них не требуют для излучения света дополнительных высоковольтных запускающих устройств.

Эргономические показатели освещения ламп ДРЛ (коэффициент пульсаций светового потока, соответствие спектра излучения солнечному спектру) немного хуже, чем, например, у ламп ДРИ, но гораздо лучше, чем у ламп ДНаТ.

Дуговые натриевые трубчатые лампы (ДНаТ)

Лампы ДНаТ обладают самой высокой светоотдачей среди газоразрядных ламп и меньшим значением снижения светового потока при длительных сроках службы. Однако лампе ДНаТ характерен очень высокий коэффициент пульсации и большое отклонение

спектра излучения в область красного цвета, что нарушает цветопередачу объектов. Большая зависимость светоотдачи и напряжения включения у ламп ДНаТ от состава и давления внутреннего газа, от проходящего через лампу тока и от температуры горелки предъявляют очень высокие требования к качеству изготовления и условиям эксплуатации ламп ДНаТ. Поэтому для эффективной работы ламп ДНаТ необходимо обеспечивать "комфортные" условия эксплуатации - высокую стабильность напряжения питания, температуру окружающей среды от -20°C до $+30^{\circ}\text{C}$. Отклонение от "комфортных" условий эксплуатации приводит к резкому сокращению срока службы ламп и уменьшению светоотдачи. На срок службы ламп ДНаТ также влияет качество используемых импульсных запускающих устройств. В настоящее время существует широко распространенное заблуждение, что замена ламп ДРЛ на более эффективные лампы ДНаТ приводит к улучшению качества освещения и экономии электроэнергии. При этом не учитывается, что лампа ДНаТ аналогичной мощности при большем световом потоке имеет и больший потребляемый ток.

Для удобства при сравнении вышеописанных видов ламп, их параметры сведены в табл. 1.

Таблица.1

	Тип	Номинальная мощность, Вт	Потребляемая активная мощность, Вт	Средняя продолжительность горения, часов	Световой поток, Лм
ДРЛ	ДРЛ-125	125	140	12000	6000
	ДРЛ-250	250	280	12000	13000
	ДРЛ-400	400	450	15000	9400
ДНаТ	ДНаТ-100	100	115	6000	14000
	ДНаТ-150	150	70	10000	24000
	ДНаТ-250	250	290	15000	24000
	ДНаТ-400	400	460	15000	47500
СД	аналог ДРЛ-125	40	40	До 100000	2500
	аналог ДРЛ-250	80	80	До 100000	5000

В качестве примера следует произвести между собой лампы ДРЛ-250, ДНаТ-250 и Светодиодный светильник, который является аналогом лампы ДРЛ-250. Данные сведены в таблицу 2.

Таблица.2

Тип лампы	ДРЛ-250	ДНаТ-250	СД светильник
Световой поток, Лм	13000	14000	5000
Потребление, Вт	280	290	80
Срок службы, часов	12000	15000	до 100000
Контрастность и цветопередача	слабая	слабая	высокая
Механическая прочность	средняя	средняя	высокая
Температурная устойчивость	слабая	очень слабая	высокая
Устойчивость к перепадам	слабая	слабая	высокая
Время выхода в рабочий режим	10-15 минут	10-15 минут	Мгновенно
Нагревается	сильно	сильно	Слабо
Экологическая безопасность	лампа содержит до 100мг паров ртути	лампа содержит натриево-ртутную амальгаму и ксенон	абсолютно безвредна

По результатам сравнения можно сделать вывод, что предпочтительнее использовать светодиодные лампы. В качестве дополнения списка достоинств светодиодов по сравнению с остальными видами ламп, можно отметить наличие эффекта старения у ламп ДРЛ и ДНаТ. Известно, что после 400 часов работы падение светового потока у ламп ДРЛ составляет более 20%, а к концу срока службы более 50%. С лампами вида ДНаТ ситуация ещё более критичная, ввиду их меньшей температурной устойчивости. Тогда как светодиоды в течение всего своего срока службы сохраняют свои исходные параметры. Лишь к концу срока может наблюдаться незначительное их ухудшение.

Таким образом можно сделать такое заключение:

Лампы ДРЛ обладают наиболее простой и доступной по цене технологией. Если при проектировании освещения отсутствуют жесткие требования к свету, то освещение, выполненное этим видом ламп является наименее затратным.

- **Лампы ДНаТ имеют** лучшую светоотдачу среди газоразрядных ламп. Однако в виду наличия очень слабого показателя цветопередачи и большой чувствительности к температуре следует их выбирать обоснованно.
- **Лампы СД не** обладают техническими недостатками. В дополнение можно добавить, что светодиодным лампам не требуются пусковые токи, а соответственно требуется меньшее сечение кабеля. Конечно же необходимо помнить, что данным вид ламп является самым дорогим на рынке освещения.

Литература

1. Лесная О.И. Декоративно-художественное освещение архитектурной среды: Учебное пособие.– Харьков: ХНАГХ, 2008. – 284 с.
2. Радкевич, В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособие/ В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И. В. Колосова. –Минск : ИВЦ Минфина, 2015. -589 с.
3. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Под ред. Г. М. Кнорринга. Л., «Энергия»,197. -384 с.
4. Электрическое освещение: учебник / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич.- Минск:Техноперспектива, 2011. -543 с.

УДК 620.91

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Галин А.А., Матяс Т.В.

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

Солнечные энергетические технологии превращают электромагнитное излучение Солнца в формы тепла и электроэнергии, пригодные для использования. Солнечная энергия может использоваться в деятельности человека, включая: сушку, приготовление пищи, дистилляцию/опреснение, обогрев бассейнов, нагрев воды, отопление, охлаждение и производство электроэнергии. Солнечная энергия может использоваться посредством трех основных технологий:

- Солнечные коллекторы используются для нагрева воды или воздуха;
- Фотоэлектрические (ФЭ) технологии позволяют преобразовывать солнечное излучение в электричество;
- Технология концентрированной солнечной энергии, в которой солнечное тепло используется для получения пара, с помощью которого турбины производят электроэнергию.

Для использования солнечного излучения следует определить, в каком количестве оно поступает в определенное место за определенный период времени. Это называется «радиационным балансом», который регулируется астрономическими отношениями (суточными и сезонными циклами) с одной стороны, и атмосферными условиями (мутностью и облачностью), с другой. Кроме того, рельеф местности (возвышенности и затенение) также влияют на радиационную нагрузку.

Солнечная постоянная, равная примерно 1360 Вт/м^2 , это количество энергии, которое поступает в верхние слои атмосферы. Когда солнечный свет проходит через земную атмосферу, происходит три процесса, изображенных на рис. 1. Солнечное излучение проходит через атмосферу, рассеивается или поглощается. Поглощение верхней части атмосферного излучения атмосферными газами составляет около 18%. Рассеивание происходит, когда фотон излучения при прохождении атмосферы встречает препятствие на своем пути и изменяет направление. Мутность атмосферного воздуха (т. е. наличие рассеянных молекул солнечного света в атмосфере) присутствует даже при безоблачном небе и при наличии облаков, рассеивание увеличивается, и нагрузка излучения значительно уменьшается. Часть излучения, которая не рассеивается и не поглощается, направляется непосредственно к поверхности земли. Радиационный баланс в любом определенном месте формируется из диффузного (рассеянного) излучения.

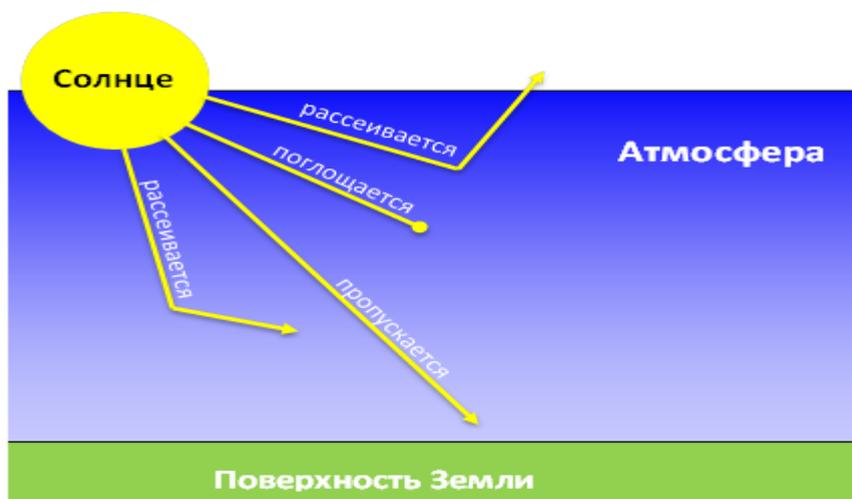


Рисунок 1. – Взаимодействие атмосферы и солнечного излучения

Существующие карты солнечного излучения (рис.2.), показывают радиационный баланс в Европе и Беларуси (ежегодный общий в кВт/м²). В целом, радиационный баланс уменьшается с увеличением широты от экватора, а также при влажном климате и в присутствии загрязнения в связи с повышенной концентрацией частиц в атмосфере.

Беларусь ежегодно получает в общем 1000-1150 кВт/м², что составляет около половины радиационного баланса Южной Европы и Ближнего Востока (приблизительно 2200 кВт/м²) и превышает показатель Северной Европы и России (800 кВт/м²).

Эти измерения применяются к солнечному излучению, падающему на горизонтальную поверхность. Для применения солнечных технологий уместней будет рассмотреть, какое количество излучения поступает на поверхность под оптимальным углом наклона, так как солнечные коллекторы и фотоэлектрические панели устанавливаются под углом к солнцу. На таких поверхностях солнечный ресурс увеличивается до 1150-1350 кВт/м², изменяясь между западной и восточной частями страны.



Рисунок 2 – Карты солнечного излучения

Карты были составлены с использованием климатологических данных Европейского атласа солнечного излучения и данных о солнечном излучении, предоставленными солнечной радиационной моделью, это значит, что они основаны на средних величинах, измеренных различными метеорологическими станциями Европы, которые были интерполированы, чтобы заполнить расстояние между отдельными местоположениями станций. В настоящее время использование солнечной энергии минимально. На 2007 год выработка электроэнергии с использованием солнечной энергии в Беларуси не проводилась. Существует только несколько пилотных проектов солнечных водонагревательных установок с использованием плоских солнечных коллекторов.

Литература

1. tycoon.by [Электронный ресурс] – Электронные данные. – Режим доступа: http://www.tycoon.by/up_page_2 Дата доступа 10.10.2016г.
2. re.energybel [Электронный ресурс] – Электронные данные. – Режим доступа: <http://re.energybel.by/solar-energy> Дата доступа 10.11.2016.

УДК 621.315.2

ВЫБОР ЭКРАНОВ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Алехнович Д.С., Угаров М.С.

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

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ), имеющие ряд преимуществ по сравнению с кабелями с бумажной пропитанной изоляцией, начиная с 80-х годов XX века, применяются в электрических сетях напряжением 6-10 кВ и выше городов и промышленных предприятий Беларуси. Как известно, трехфазная линия электропередачи может быть выполнена одним трехжильным кабелем или тремя одножильными. Линия, выполненная трехжильным кабелем, требует меньших затрат на сооружение и эксплуатацию. Поэтому в распределительных сетях напряжением 6-10 кВ, как правило, применяются трехжильные кабели. Однако трехжильные кабели могут иметь сечение токопроводящих жил до 300 мм², что ограничивает их пропускную способность. Питающие линии промышленных предприятий, имеющие большие токи нагрузки, могут выполняться спаренными трехжильными или одножильными кабелями. Одножильные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена выпускаются в Беларуси и России с сечением токопроводящих жил до 800 мм², а в зарубежных странах – до 2000 мм². Такие кабели обеспечивают высокую пропускную способность линии электропередачи. Конструктивное исполнение одножильного кабеля с изоляцией из СПЭ показано на рисунке 1.

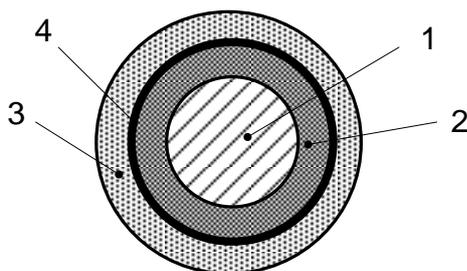


Рисунок 1- Конструкция одножильного кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена:
1-токопроводящая жила; 2 – изоляция жилы; 3 – защитная оболочка; 4 - экран

Токопроводящая жила кабеля 1 может быть алюминиевой или медной, изоляция жилы 2 – из СПЭ, оболочка 3 – из полиэтилена или поливинилхлоридного пластика. У одножильного кабеля с полимерной изоляцией на напряжение выше 1 кВ наряду с токоведущей жилой имеется экран 4 из медных проволок и (или) лент.

Кроме металлического экрана в одножильном кабеле есть еще два так называемых полупроводящих экрана. Один из них наносится на внешнюю поверхность токопроводящей жилы, а второй – поверх слоя фазной изоляции кабеля. Полупроводящие экраны осуществляют локальное выравнивание напряженности электрического поля на неровных поверхностях многопроволочной токопроводящей жилы и металлического экрана [1].

Одной из основных функций металлического экрана является выравнивание электрического поля внутри кабеля, вызывающего старение полимерной фазной изоляции. Однако выравнивание поля возможно только при заземлении экрана. Поэтому при выборе кабеля необходимо не только определять площади сечения токопроводящей жилы и экрана, но и принимать решения по схемам соединения и заземления экранов в трехфазных электрических сетях.

Трехфазная линия электропередачи, состоящая из одножильных кабелей, представляет собой систему из трех изолированных проводников, расположенных по вершинам равностороннего треугольника или в одной плоскости. На рисунке 2 показано возможное расположение при прокладке трех одножильных кабелей, имеющих внешний диаметр d .

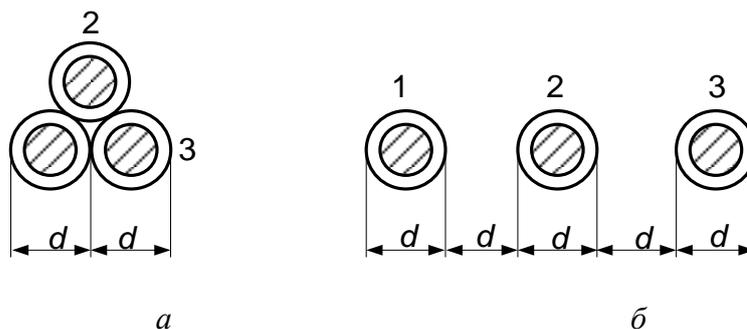


Рисунок 2-Расположение одножильных кабелей при прокладке:
 а- по вершинам равностороннего треугольника; б- в одной плоскости

В случае расположения кабелей по вершинам равностороннего треугольника линия имеет меньшие габариты и одинаковые сопротивления жил. Однако при такой схеме несколько ухудшаются условия охлаждения кабелей, что снижает длительно допустимые по нагреву токи. Тем не менее, такое расположение одножильных кабелей наиболее часто применяется при сооружении трехфазной линии электропередачи в системах электроснабжения.

При проектировании систем электроснабжения, как правило, применяют заземление экранов в двух точках по концам линии (рисунок 3) [2]. В первую очередь это связано с наличием заземляющих устройств на источниках питания (ИП) и в пунктах приема электроэнергии. В то же время существуют и другие схемы заземления экранов одножильных кабелей, применяемых в трехфазных электрических сетях напряжением выше 1 кВ [1,3].

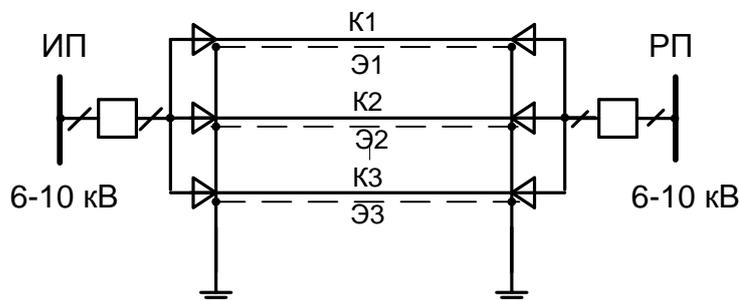


Рисунок 3- Схема заземления экранов по концам кабелей:
 ИП – источник питания; РП – распределительный пункт;
 К1, К2, К3-кабели; Э1, Э2, Э3- экраны кабелей

Экран выполняет важную защитную функцию в рабочем и аварийном режимах. При протекании переменного тока по токопроводящей жиле одножильного кабеля в экране индуцируется ЭДС. При однофазном замыкании на землю (ОЗЗ) в электрических сетях с изолированной нейтралью напряжением 6 – 35 кВ по экрану протекает ток ОЗЗ. Поэтому экран должен рассчитываться на протекание максимальное значение такого тока на время, необходимое для устранения ОЗЗ.

Однако в соответствии с инструкциями производителей кабелей площадь сечения экрана выбирается только по току короткого замыкания (КЗ). В руководствах по применению кабелей даются минимальные сведения по выбору сечений токопроводящих жил в виде конечных расчетных формул без пояснений [4]. Поэтому целесообразно рассмотреть методику выбора сечения экрана по условию термической стойкости более подробно.

При токе короткого замыкания I_k за время t (с момента возникновения аномального режима до отключения линии релейной защитой) в одном метре экрана одножильного

кабеля в соответствии с законом Джоуля-Ленца выделяется количество теплоты, определяемое по формуле

$$Q = I_k^2 \cdot R_s \cdot t, \quad (1)$$

где R_s - активное сопротивление медного экрана кабеля, Ом, значение которого вычисляется по выражению

$$R_s = \rho_s / F_s, \quad (2)$$

где ρ_s - удельное активное сопротивление проводникового материала, из которого сделан экран, Ом/(мм²·м);

F_s - площадь поперечного сечения экрана, мм².

С учетом (2) выражение (1) запишем как

$$Q = I_k^2 \cdot \rho_s \cdot t / F_s. \quad (3)$$

Из формулы (3) выразим значение тока КЗ

$$I_k = \sqrt{\frac{Q \cdot F_s}{\rho_s \cdot t}}. \quad (4)$$

Для экранов, как и для токопроводящих жил кабелей, производителями устанавливаются допустимые односекундные токи КЗ, которые определяются по формуле

$$I_{к1с} = \sqrt{\frac{Q_{дон} \cdot F_s}{\rho_s}}, \quad (5)$$

где $Q_{дон}$ - допустимое количество теплоты, выделяемой в экране в течение 1 с, не вызывающее тепловое старение и повреждение экрана.

Значения допустимых односекундных токов КЗ для медных экранов, рассчитанных исходя из конечной температуры экрана 350 °С, приведены в таблице 1 [4].

Таблица 1-Допустимые односекундные токи КЗ в медных экранах

Площадь сечения экрана, мм ²	Допустимый односекундный ток КЗ, кА
16	3,3
25	5,1
35	7,1
50	10,2
70	14,2
95	19,3
120	24,4

Длительность действия тока КЗ в реальных электрических сетях может быть разной. Однако тепловое воздействие на экран не должно превышать $Q_{дон}$. Тогда при условии $Q = Q_{дон}$ представим выражение (4) как

$$I_k = \sqrt{\frac{Q_{\text{доп}} \cdot F_s}{\rho_s}} \cdot \sqrt{\frac{1}{t}}. \quad (6)$$

Формулу (6) с учетом (5) запишем в виде

$$I_k = I_{\text{к1с}} \cdot \frac{1}{\sqrt{t}}. \quad (7)$$

Представим выражение (7) как

$$I_k = k \cdot I_{\text{к1с}}, \quad (8)$$

где k - поправочный коэффициент на допустимый односекундный ток КЗ, который учитывает фактическую продолжительность тока КЗ.

В соответствии с инструкциями производителей кабелей с изоляцией из СПЭ по термической стойкости сечение экрана выбирается по условию

$$k \cdot I_{\text{к1с}} \geq I_k. \quad (9)$$

Допустимый односекундный ток КЗ экрана кабеля можно определить по такой формуле:

$$I_{\text{к1с}} = A \cdot F_s, \quad (10)$$

где A - допустимая плотность тока в экране кабеля в течение 1 с, кА/мм².

Для медного экрана в расчетах принимают $A=0,203$ кА/мм². Тогда условие (9) можно записать в виде

$$0,203 \cdot k \cdot F_s \geq I_k / \quad (11)$$

Из условия (11) выразим площадь сечения экрана кабеля:

$$F_s \geq \frac{I_k}{0,203k}. \quad (12)$$

С учетом того, что $k=1/\sqrt{t}$, сечение экрана кабеля можно определить по формуле

$$F_s \geq \frac{I_k \cdot \sqrt{t}}{0,203}. \quad (13)$$

В соответствии с [5] при выборе экрана кабеля напряжением 6-10 кВ в качестве расчетного вида КЗ следует принимать одновременное замыкание на землю различных фаз в двух разных точках схемы (двойное замыкание на экран). В электрических сетях с изолированной, компенсированной и заземленной через высокоомный резистор нейтралью расчет по формулам (9), (12) и (13) производится по току двухфазного КЗ. Этот вычисляется по выражению

$$I_k = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\text{к(3)}}, \quad (14)$$

где $I_{\text{к(3)}}$ - ток трехфазного КЗ в расчетной точке, кА.

При двухстороннем заземлении экранов кабелей (рисунок 2) образуется электрический контур, замыкающийся через землю. В данном случае, из-за наличия электромагнитного поля в кабеле по экранам протекают токи, которые обуславливают потери мощности, передаваемой по кабелю. Эти потери меньше при расположении одножильных кабелей треугольником (рисунок 2, а).

Если не принять специальные меры, токи в экранах могут быть значительными и сопоставимыми с токами токопроводящих жил кабелей. При этом ток в экране кабеля возрастает при увеличении нагрузки линии.

В [1] приводится информация о токах линии напряжением 10 кВ, выполненной одножильными кабелями, имеющими сечения токопроводящих жил 500 мм^2 , а экранов – 95 мм^2 . При токе нагрузки в нормальном режиме 186 А ток в экране, полученный путем измерения, составлял 115 А, т.е. 61,8% рабочего тока линии. Увеличение тока кабельной линии до 700 А приводило к повышению тока в экранах до 430 А, что недопустимо для экрана сечением 95 мм^2 .

Большие токи в экранах могут вызывать повреждения и отказы одножильных кабелей и, как следствие, нарушения электроснабжения потребителей. Такие случаи имели место в системах электроснабжения крупных промышленных предприятий в разных странах, имеющих недостаточный опыт применения таких кабелей, в том числе и в Республике Беларусь. Многие кабельные линии, ранее введенные в эксплуатацию, для которых выбор экранов одножильных кабелей производился только по термической стойкости, работают только благодаря небольшой нагрузке в нормальных режимах.

Следовательно, при проектировании систем электроснабжения необходимо не только определять сечения экранов одножильных кабелей, но и выполнять другие электрические расчеты, учитывающие специфику выбора кабелей с изоляцией из СПЭ. Важно правильно выбрать способ соединения и заземления экранов, так как это существенно влияет на величину тока, потери мощности и электроэнергии в экране, напряжение на экране относительно земли и сопротивление токопроводящих жил кабеля [1].

Выводы

1. При проектировании и эксплуатации систем электроснабжения следует учитывать достоинства, недостатки и особенности кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, уделять должное внимание схемам соединения и заземления экранов одножильных кабелей в трехфазных сетях.

2. Выбор сечений, схем соединения и заземления экранов одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена должен сопровождаться расчетами по определению индуктированных напряжений и токов, а также потерь мощности и электроэнергии в экранах.

Литература

1. Дмитриев, М.В. Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6-500 кВ / М.В.Дмитриев.- СПб.: Изд-во Политехн. университета, 2010.-152 с.
2. Радкевич, В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий. / В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 589 с.
3. Невар, Г.А. Схемы соединения экранов одножильных кабелей в трёхфазных электрических сетях. / Г.А. Невар, В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская. - Энергия и менеджмент. - №2, 2010.- С.4-7.
4. Руководство по выбору, прокладке, монтажу, испытаниям и эксплуатации кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение от 6 до 35 кВ. – Харьков: ЗАО «Южкбель», 2007. – 104 с.
5. СТП 09110.17.202-06. Методические рекомендации по монтажу и эксплуатации кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение от 6, 10 кВ. Минск: ГПО «Белэнерго», 2007. – 58 с.

УДК 621.3

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДУКЦИОННЫХ ЛАМП ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Марчук А.В., Дубатовка А.Д.

Научный руководитель - к.т.н., доцент КОЗЛОВСКАЯ В.Б.

Индукционная лампа — безэлектродная газоразрядная лампа, в которой первичным источником света служит плазма, возникающая в результате ионизации газа высокочастотным магнитным полем. Для создания магнитного поля баллон с газом лампы размещают рядом с катушкой индуктивности. Отсутствие прямого контакта электродов с газовой плазмой позволяет назвать лампу безэлектродной. Отсутствие металлических электродов внутри баллона с газом значительно увеличивает срок службы и улучшает стабильность параметров[4]. Промышленные помещения отличаются высокими потолками (с монтажной высотой 6-10 м и выше 10 м), поэтому лампы с высокой светоотдачей и длительным сроком эксплуатации прекрасно подходят для таких условий эксплуатации. Индукционная лампа – идеальный источник света и для промышленных помещений с невысокими потолками (как правило это производство небольших партий продукции или отдельных товаров): при высоте от 2,8 до 6 м дневной свет создает комфортную рабочую среду с естественными красками[7].

Основные характеристики индукционных ламп:

1) Срок службы: 60 000 – 150 000 часов (благодаря безэлектродному исполнению срок службы значительно выше, чем у традиционных источников света). Он не зависит от количества включений/выключений, и от температуры окружающей среды: лампа надежно работает в диапазоне температур от -40 до + 50 градусов Цельсия.

2) Благодаря отсутствию нагревающих элементов (спиралей) невосприимчива к вибрациям и встряскам[5].

3) Световая отдача:

- номинальная светоотдача: > 80 лм/Вт;

- эффективная светоотдача (видимая): 120 – 180 Флм/Вт (данный параметр часто используется специалистами для качественной оценки источника света и способности восприятия света и оттенков цветов человеческим глазом. Например, натриевая лампа высокого давления имеет номинальную светоотдачу 70-110 лм/Вт, но реально воспринимается как источник света со светоотдачей 40-70 Флм/Вт); Флм/Вт показывает фотооптическую эффективность, в то время как лм/Вт характеризует эффективность и экономичность источников света).

4) Цветовые характеристики:

- высокий индекс цветопередачи (CRI): $R_a > 80$ (комфортное освещение, мягкий и естественный излучаемый свет, что благоприятно сказывается на восприятии оттенков цветов, в отличие от натриевых ламп ($R_a > 30$), которым присущ желто-оранжевый оттенок света и неестественная цветопередача);

- диапазон цветовых температур: 2700К – 6500К;

5) Высокий уровень светового потока после длительного использования (после 60 000 часов уровень светового потока составляет свыше 70% от первоначального);

6) Напряжение питания: 120/220/277/347В AC, 12/24В DC;

7) Номинальные мощности: 12 – 500 Вт [3].

Световой поток в паспорте лампы является общей характеристикой, включающей в себя все части спектра, излучаемого ей. Если взять лампу ДРЛ 400 Вт со световым потоком 18000 люменов и 150 Вт индукционную, со световым потоком 12000 люменов, то на первый взгляд может показаться, что лампа ДРЛ заметно мощнее. Но, как показывает практика, при использовании индукционных ламп меньшей мощности качество освещенности заметно выше.

Для доказательства вышеизложенного, с помощью программы DIALux, были произведены расчеты освещенности помещения размером 10x10 метров с высотой потолка 6 метров, высота подвеса светильников 5,5 метра, равным количеством светильников (6 шт.), оснащенных, в первом случае, лампами ДРЛ 400 Вт, а во втором- индукционными лампами, мощностью 150 Вт. Результаты приведены на рис.1, в виде карт изолиний, а сравнительные характеристики- в табл.1.

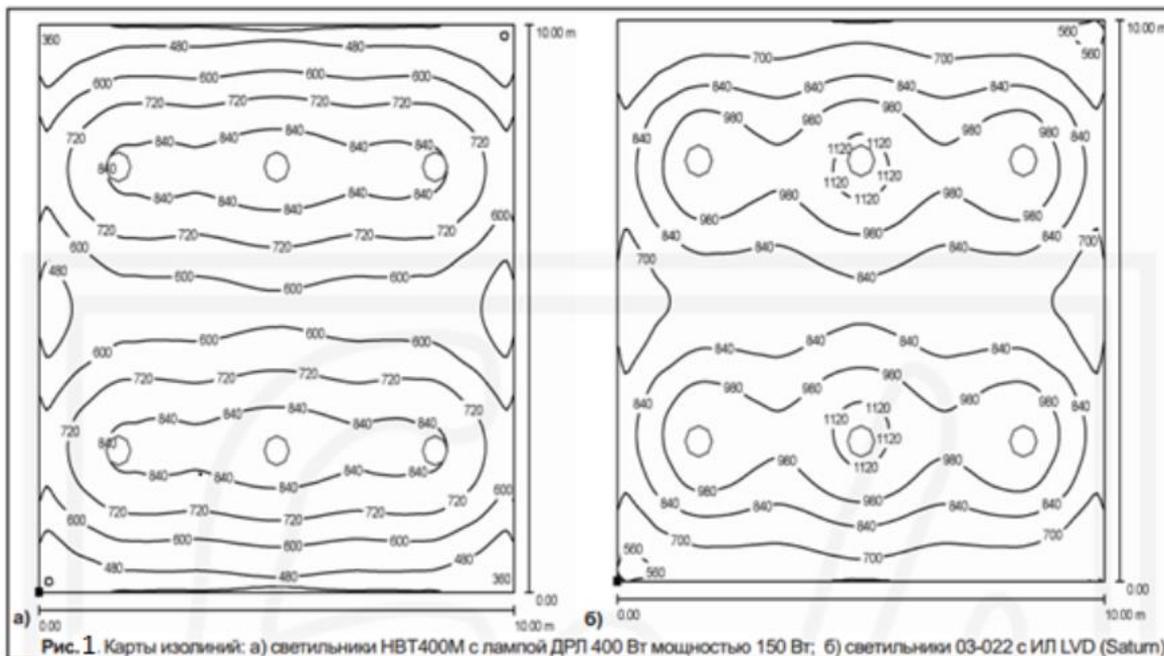


Рис. 1. Карты изолиний: а) светильники НВТ400М с лампой ДРЛ 400 Вт мощностью 150 Вт; б) светильники 03-022 с ИЛ LVD (Saturn)

Таблица.1

Светильник	Потребляемая мощность, Вт	$E_{ср}$, Лк	$E_{min}/E_{ср}$	E_{max} , Лк	E_{min}/E_{max}	Удельная подсоединенная мощность, Вт/м ²
НВТ400М	2400	669	0,492	918	0,358	24
03-022	900	857	0,555	1167	0,407	9

Из представленных данных табл. 1 следует, что индукционная лампа, мощностью 150 Вт имеет лучшие световые характеристики, чем лампа ДРЛ 400 Вт. При этом светильники для индукционных ламп имеют улучшенный КПД за счет более равномерного распределения света лампы. Использование ИЛ создает более комфортное освещение, близкое к естественному.

Это происходит потому, что у ИЛ индекс цветопередачи (Ra) заметно выше, чем у лампы ДРЛ. Индекс цветопередачи показывает, какое количество видимого для глаза человека света содержится в излучаемом спектре лампы. Для качественной характеристики света была введена единица, которая называется «зрачковый» световой поток (plm) и связана с особенностями восприятия света человеком. У ИЛ этот показатель является одним из самых высоких, а значит, они более подходят для качественного освещения[8].

Благодаря чрезвычайно большому сроку службы ИЛ представляют собой идеальный источник света для освещения цехов с непрерывным режимом работы и в случаях, когда доступ к светильникам при обслуживании затруднен, например, при значительной высоте установки (потолки) и загроможденности зон подхода, а также там, где замена ламп связана со значительными материальными затратами[6].

Индукционные лампы имеют лучшие характеристики, чем традиционные источники света, такие, как ртутные, натриевые и металлогалогенные.

Рассмотрим характеристики ИЛ различных типов (здесь, на примере продукции компании LVD) [2].

Спецификации индукционных ламп Saturn

Серия	Тип	Гарантия лет раб.	Рабочее напряжение, (В)	Номинальный световой поток, (лм)	Видимый световой поток, (лм)	Габариты, (мм)	Мощность, (Вт)
Saturn	LVD-ZWJY-TX-40	5	220	2800	3900-4500	166x152x181(E27) 166x152x201(E40)	45
Saturn	LVD-WJY40HW1	5	220/120/277/347 12/24	2800	3900-4500	Φ152xH89	45
Saturn	LVD-WJY80HW1	5	220/120/277/347	6400	9600-11100	Φ214xH99	86
Saturn	LVD-WJY120HW1	5	220/120/277/347	9600	15500-18000	Φ274xH99	128
Saturn	LVD-WJY150HW1	5	220/120/277/347	1200	19500-22000	Φ274xH99	160
Saturn	LVD-WJY200HW1	5	220/120/277/347	16000	28000-30000	Φ314xH110	212
Saturn	LVD-WJY300HW1	5	220/120/277/347	2400	45000-48000	Φ388xH110	316

Литература

1. http://elredy.by/induksionnye_lampy/
2. <http://e-elf.ru/Индукционные%20лампы.html>
3. <http://malahit-irk.ru/index.php/2011-01-13-09-04-43/158-2011-05-20-14-44-07.html>
4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Индукционная_лампа
5. <http://sd-svet.ru/info/stati/lampa-indukcionnogo-osveshheniya.-otvety-na-samye-chasto-zadavaemye-voprosy>
6. <http://www.diagram.com.ua/list/elektriku/elektriku211.shtml>
7. http://lvd-lamp.ru/catalog/induction-svet/industrial-luminaires/iles/induksionnaya_lampa_istochnik_kachestvennogo_i_energoeffektivnogo_osvescheniya.pdf

УДК 621.3

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ХОЗЯЙСТВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ (ДО 20 кВт) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Байрашевский М.Я.

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

К автономным хозяйствам малой мощности (до 20 кВт) относятся различные объекты придорожного сервиса, агроусадьбы, фермерские хозяйства и др. объекты. Их отличительной чертой является удаленность от электрических и в особенности от тепловых сетей, которые нецелесообразно прокладывать на большие расстояния из-за высоких потерь.

Следует отметить, что в настоящее время все развитые и развивающиеся страны стремятся наращивать объемы производства. При этом возникает необходимость в постоянном увеличении вырабатываемой энергии, запуске новых мощностей. Однако энергия, получаемая при сжигании угля, продуктов переработки нефти приводит к всё большему загрязнению окружающей среды окислами серы, азота, выбросу парниковых газов.

Выработка электрической и тепловой энергии на атомных электростанциях и атомных теплоэлектроцентралях хоть и позволяет исключить выбросы, характерные для станций, работающих на угле и мазуте, но порождает ряд других, не менее серьезных с точки зрения экологической безопасности проблем. Это касается радиационной безопасности при эксплуатации этих станций и обращения с ядерными отходами. Аварии на Чернобыльской АЭС, на АЭС в Фукусиме, которые привели к катастрофическим последствиям, являются наглядным примером той опасности, которую таит в себе использование энергии атома в мирных целях.

Сегодня реальность такова, что мы не можем полностью отказаться от традиционных источников энергии, однако мы в состоянии снизить их долю во всеобщем энергетическом балансе мира. Этому будет способствовать вовлечение в производство энергии возобновляемых природных ресурсов – энергии ветра, воды, солнца, геотермальной энергии, энергии биомассы.

Передовые страны мира уже сейчас интенсивно наращивают выработку энергии, используя возобновляемые ресурсы. Например, интенсивное развитие ветроэнергетики наблюдается в Европе и во многих странах мира. Это свидетельствует о том, что ветроэнергетика как экологически чистый возобновляемый источник энергии в будущем станет одним из важных источников удовлетворения энергетических потребностей человечества. Ведущие страны мира к 2030г. планируют довести долю ветровой энергии в национальных энергобалансах до 15-50 % (Дания – 50 %; Германия – 30 %; США – 25%; Китай, Австралия – 15 %). Аналогичные программы имеют Голландия, Испания, Англия и другие страны, при этом мощность отдельных ветроустановок возросла от 500 до 5000 кВт (Производители – ведущие мировые фирмы Vestas, GET, Enron, Tacke, Nordex, Micon, Yakobs, Sudwind, Genesys) [1].

Анализ современной возобновляемой энергетики в мире показал её устойчивый рост. Увеличиваются установленные мощности электростанций, использующих ВИЭ, чему способствуют прирост инвестиций и совершенствование технической базы. Увеличение в мировом энергетическом балансе доли энергии, полученной за счет ВИЭ, позволит улучшить экологическую обстановку на планете.

В Республике Беларусь наблюдается ежегодный прирост генерирующих мощностей на базе ВИЭ, чему способствуют приток иностранных инвестиций и частного капитала. Создана необходимая правовая база, применяются налоговые льготы, электроэнергия реализуется в централизованную сеть с применением повышающего коэффициента. Однако потенциал в этой области еще не использован в полной мере. Перспективным направлением является

энергообеспечение частных субъектов хозяйствования за счет использования ВИЭ. При этом для автономных объектов, удаленных от централизованных сетей, этот вариант выглядит единственно возможным.

Использованное в исследовательской части работы специализированное программное обеспечение «HOMER Energy Modeling Software» позволило провести необходимые расчеты и представить результаты в наглядной форме.

Программное обеспечение HOMER Energy Modeling Software [9] представляет собой мощный инструмент для проектирования и анализа гибридных систем энергообеспечения, в состав которых входят обычные генераторы, ветряные турбины, солнечные модули, аккумуляторы, топливные элементы, гидрогенераторы, биоэнергетика и т.д. В настоящее время используется во всем мире десятками тысяч людей. Исходные данные по солнечной радиации для указанных географических координат программа загружает автоматически, для этого необходимо пройти регистрацию на сайте NASA в соответствующем разделе.

С помощью данного программного обеспечения моделируем варианты системы электроснабжения со следующими источниками энергии:

1. Солнечные панели;
2. Солнечные панели и ветроустановка;
3. Солнечные панели, ветроустановка, дизельный генератор.

Графиком нагрузки автономного объекта задаемся в программной среде

Расчеты по различным структурам автономных потребителей малой мощности выполнялись для средних широт РФ, при этом акцент ставился на получении информации технического характера: требуемой мощности установок, количества аккумуляторов, мощности резервного источника питания, выработки электроэнергии в различное время года и т.д. Результаты, полученные в процессе написания работы, могут иметь практическое применение при проектировании систем электроснабжения на основе использования возобновляемой энергии как в РФ, так и во всем мире.

Литература

1. Кривцов В.С., Неисчерпаемая энергия. Кн.2 Ветроэнергетика/ В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев – Учебник. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», Севастополь: Сев. нац. техн. ун-т, 2004 – 519 с.
2. Кривцов В.С., Неисчерпаемая энергия. Кн.1 Ветроэлектрогенераторы/ В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев – Учебник. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», Севастополь: Сев. нац. техн. ун-т, 2003 – 400 с.
3. enesa.by [Электронный ресурс] – Электронные данные. – Режим доступа: http://www.enesa.by/ru_place_for_vau0/ Дата доступа 1.11.2015.
4. tycoon.by [Электронный ресурс] – Электронные данные. – Режим доступа: http://www.tycoon.by/up_page_2 Дата доступа 5.11.2015г.
5. re.energybel [Электронный ресурс] – Электронные данные. – Режим доступа: <http://re.energybel.by/solar-energy> Дата доступа 9.11.2015.
6. Кузьмин С.Н., Биоэнергетика: учебное пособие/ С.Н. Кузьмин, В.И. Ляшков, Ю.С. Кузьмина. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 80 с.
7. re.energybel [Электронный ресурс] – Электронные данные. – Режим доступа: <http://re.energybel.by/biogas/> Дата доступа 9.11.2015.
8. energy-ds.ru [Электронный ресурс] – Электронные данные. – Режим доступа: <http://energy-ds.ru/catalog/generating/vetrogenerator.html> Дата доступа 20.10.2016.
9. homerenergy.com [Электронный ресурс] – Электронные данные. – Режим доступа: http://www.homerenergy.com/HOMER_pro.html Дата доступа 23.10.2016.

УДК 621.383.52

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

Кузьма А. Ю.

Научный руководитель – старший преподаватель САЦУКЕВИЧ В.Н.

Описывая технические характеристики светодиодного светильника производитель, как правило, делает упор на типы используемых светодиодов. Но надежность современных светильников в большей степени зависит от используемого блока питания. Поэтому задача выбора осветительных приборов с качественными блоками питания является весьма сложной, тем не менее, она решаема.

В светотехнике для обозначения БП часто жаргонно используется термин «драйвер». Драйвер — это устройство, которое стабилизирует ток, питающий светодиоды. Некоторые драйверы способны регулировать световой поток у светодиодов, т.е. диммировать их. Но драйвер не выполняет функций преобразования питающего напряжения и выпрямления тока. Тем не менее, на некоторых БП можно встретить слово driver, означающее в данном контексте стабилизацию выходного тока.

По месту размещения БП делятся на внешние (размещаются вне корпуса) и внутренние (размещаются внутри корпуса светильника). При этом внешние БП могут идти в комплекте со светильником или приобретаться отдельно /1/.

По своей конструкции БП можно разделить на две большие категории — изолированные и неизолированные. Особенностью изолированного БП является то, что его выход не имеет гальванической связи с входом. В принципе, БП изолированного типа — это и есть та самая классическая конструкция БП на основе трансформатора. Данные БП стоят относительно дорого, но они хорошо справляются с бросками напряжения и импульсными помехами, которые есть в электрических сетях.

Неизолированные БП имеют гальваническую связь с выходом. Преимуществами неизолированных БП являются компактность, низкая цена и немного больший КПД, чем у изолированных БП.

Светодиоды не излучают энергию в инфракрасном диапазоне длин волн (как устройства на базе других технологий), они излучают свет только в видимом спектре. Поэтому, несмотря на то, что светодиоды более энергоэффективны, чем другие источники света, они рассеивают намного больше тепла в самой лампе. КПД играет большую роль в выделении тепла. Например, при его снижении с 95 до 85% рассеиваемая мощность уменьшается вовсе не на 10%. Напротив — количество рассеиваемого тепла увеличивается в 3,3 раза. Следствием рассеиваемого тепла является ограничение срока службы компонентов драйвера. Для того, чтобы излучать больше света, лампа должна работать при довольно высокой температуре — часто от 80 до 100°C. При такой температуре срок службы платы драйвера может влиять на долговечность в целом. Особую проблему представляют собой транзисторы и электролитические конденсаторы.

Так как при высоких температурах конденсаторы довольно быстро высыхают, то их срок службы ограничен немногим более 10000 часами, и это становится лимитирующим фактором для длительности работы всей лампы. Выражение для срока службы электролитического конденсатора выглядит следующим образом:

$$L_x = k \cdot L_0 \cdot 2^{(T_s - T_a)/10}$$

где L_x — срок службы; k — коэффициент, определяемый СКЗ тока пульсаций конденсатора и его рабочим напряжением; L_0 — величина срока службы, определенная в стандартных условиях и приведенная в техническом описании компонента; T_s — номинальная температура корпуса; T_a — рабочая температура корпуса. Из уравнения видно, что понижение температуры на 10° увеличивает срок службы в два раза. /3/

Проблему можно решить полной заменой электролитических конденсаторов на керамические, которые являются практически «вечными» электронными компонентами. График на рисунке 1 показывает пример деградации ресурса светодиодной лампы в зависимости от внутренней рабочей температуры лампы. Как можно видеть, при температуре около 80°C срок службы уменьшается для ламп, использующих электролитические конденсаторы по сравнению с лампами, которые используют керамические. /4/

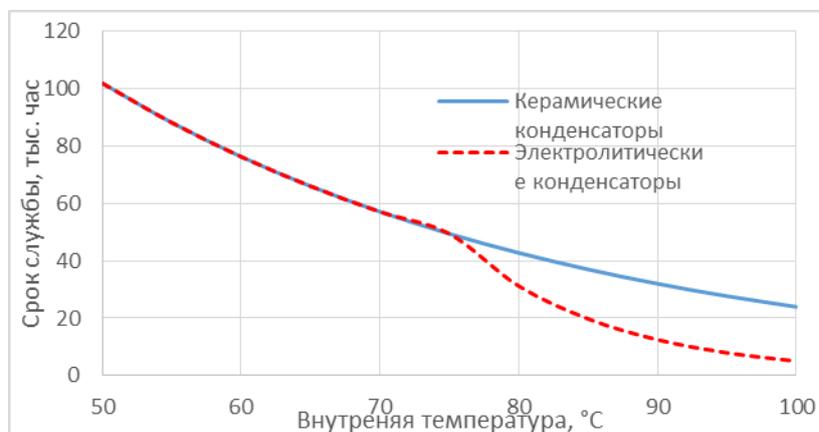


Рисунок 1. При увеличении внутренней температуры лампы ее срок службы уменьшается. Лампы, использующие электролитические конденсаторы на платах драйверов (штриховая линия) имеют меньший срок службы, чем лампы с керамическими конденсаторами (сплошная линия)

Но здесь возникает вопрос цены по отношению к общей целесообразности. Нет смысла в установке конденсаторов со сроком службы 100 тыс. часов в драйвер светильника, светодиоды которого прослужат до 50 тыс. часов.

Срок службы транзисторов, входящих в состав блока питания, также сильно зависит от температуры. При расчете показателей надежности устройств необходимо располагать справочными данными о показателях надежности элементов. В настоящее время основной характеристикой безотказности элементов, приводимой в технических документах, является интенсивность отказов (λ – принимается постоянным в течение определенной наработки и соответствует номинальному электрическому режиму нормальным условиям эксплуатации). На практике условия работы часто являются более жесткими, чем нормальные, поэтому возникает задача определения интенсивности отказов, соответствующей эксплуатационным факторам (электрическому режиму, условиям работы и конструктивно-технологическим особенностям элемента). Эту интенсивность отказов называют эксплуатационной:

$$\text{- для биполярных транзисторов - } \lambda_{\text{Э}} = \lambda_0 K_p K_{\phi} K_d K_U K_{\text{Э}} K_{\text{П}};$$

$$\text{- для полевых транзисторов - } \lambda_{\text{Э}} = \lambda_0 K_p K_{\phi} K_{\text{Э}} K_{\text{П}},$$

где λ_0 – базовая интенсивность отказов элементов данной группы (или конкретного типа), отвечающая температуре окружающей среды +25 °C и номинальной электрической нагрузке; K_p – коэффициент режима работы, зависящий от температуры корпуса элемента; K_{ϕ} – коэффициент, учитывающий функциональный режим работы прибора; K_d – коэффициент, зависящий от значения максимально допустимой по ТУ нагрузки по мощности (или току); K_U – коэффициент, зависящий от отношения рабочего напряжения к максимально допустимому по ТУ (коэффициента нагрузки по напряжению); $K_{\text{Э}}$ – коэффициент эксплуатации, зависящий от жесткости условий эксплуатации; $K_{\text{П}}$ – коэффициент приёмки, учитывающий степень жесткости требований к контролю качества и правила приёмки элемента в условиях производства. Значения этих параметров сведены в таблицу 1 /2/.

Таблица 1 – Значения параметров математической модели

Тип транзистора	Параметры, входящие в математическую модель					
	$\lambda_B \cdot 10^{-6}, \text{ч}^{-1}$	КФ	КД	КУ	КЭ	КП
Биполярные кремниевые	0,044	1,5	0,5	3,03	1,5	5,5
Полевые кремниевые	0,065	1,5	1	1	1,3	5,5

Коэффициент режима работы K_p зависит от температуры окружающей среды. Его значения могут быть рассчитаны с помощью математической модели:

$$K_p = A \cdot \exp \left[\frac{N_T}{273 + t_{окр} + \Delta t} + \left(\frac{273 + t_{окр} + \Delta t}{T_M} \right)^L \right],$$

где $A, N_T, T_M, L, \Delta t$ – константы модели. Для транзисторов $A=5,5; N_T= -1162; T_M= -448; L=13,8; \Delta t=150/2$.

Наработка на отказ вычисляется по формуле: $T_0 = \frac{1}{\lambda_3}$.

Результаты расчета показателей надежности транзисторов при различных температурах окружающей среды сведены в таблицу 2. График зависимости наработки на отказ от температуры окружающей среды приведен на рисунке 2.

Таблица 2 – Расчет показателей надежности при различных температурах

Тип транзистора	Параметр	$t_{окр}, \text{°C}$				
		50	60	70	80	90
Биполярные кремниевые	K_p	3,7	7,9	20,87	72,36	354,12
	$\lambda_3, 10^{-6}, \text{ч}^{-1}$	3,05	6,52	17,22	59,69	292,12
	$T_0, \text{ч}$	327851,89	153479,41	58081,63	16753,09	3423,23
Полевые кремниевые	K_p	3,70	7,90	20,87	72,36	354,12
	$\lambda_3, 10^{-6}, \text{ч}^{-1}$	2,58	5,51	14,55	50,44	246,87
	$T_0, \text{ч}$	387951,61	181614,28	68728,79	19824,16	4050,76

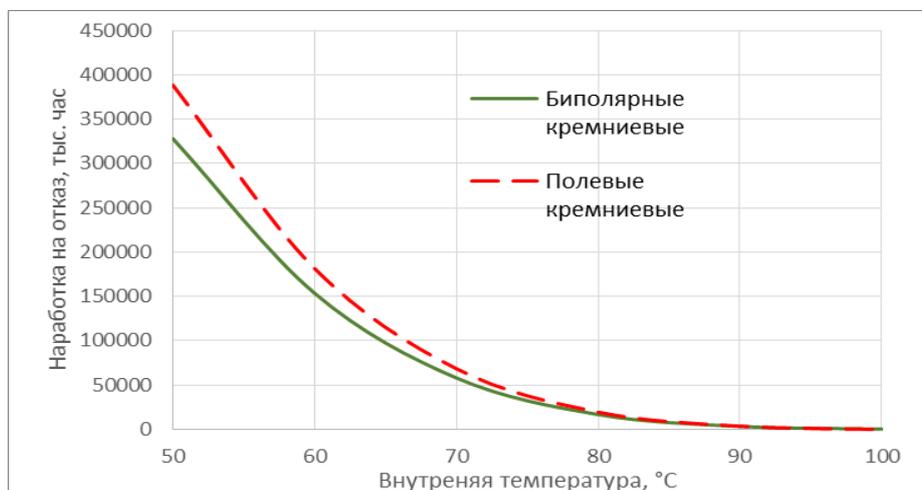


Рисунок 2. Зависимость наработки на отказ транзисторов от температуры окружающей среды

Результаты расчета подтверждают факт снижения срока службы транзистора с увеличением температуры окружающей среды.

Литература

1. Блок питания как «слабое звено» светодиодного светильника [Электронный ресурс] URL: <http://www.elec.ru> (дата обращения 08.04.2016).
2. Боровиков С.М. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств/ С.М. Боровиков, И.Н. Цырельчук, Ф.Д. Троян – Минск: БГУИР, 2010. -68 с.: ил.
3. Зависимость времени наработки на отказ электролитических конденсаторов от реальных условий их эксплуатации [Электронный ресурс] URL: <http://www.rtelectronics.ru> (дата обращения 08.04.2016).
4. Срок службы светодиодных светильников [Электронный ресурс] URL: <http://www.russianelectronics.ru> (дата обращения 04.04.2016).