СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

ПРИМЕНЕНИЕ ИНДУКЦИОННЫХ ЛАМП В ОСВЕЩЕНИИ

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

НАДЕЖНОСТЬ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Бакун Т.А.
Научный руководитель – д.т.н., профессор Анищенко В.А.

БИОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ВНЕДРЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Журавлёв Е.Д., Михнёнок В.Г.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

НОВОВВЕДЕНИЯ В КОНСТРУКЦИЯХ ГЕНЕРАТОРОВ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВОК С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Капустинский А.Ю.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ

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

ВОЗМОЖНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ БЕСШУМНЫХ МАЛОМОЩНЫХ ВЕТРОТУРБИН В БЕЛАРУСИ

Ануфриев М. В.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М. М.

УПРОЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

Власенко Е.О.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

ЭФФЕКТЫ СОЕДИНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Власенко Е.О.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Лавринович А.А.
Научный руководитель – старший преподаватель Колосова И.В.

НАДЕЖНОСТЬ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА

Кузьма А.Ю., Михайлова Я.В.
Научный руководитель – старший преподаватель Сацукевич В.Н.

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ МГ12

Никитин С.С.
Научный руководитель – Прокопенко Л.В.

АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

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

КОНТРОЛЬ НАГРУЗКИ СИЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Самиев Ф.Х.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

РАСЧЕТ СРОКА ОКУПАЕМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА БИОГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Павлович Е.М.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

УДК 621.3

ПРИМЕНЕНИЕ ИНДУКЦИОННЫХ ЛАМП В ОСВЕЩЕНИИ

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

Промышленное освещение – важная часть технологического процесса многих предприятий. Правильно подобранная освещённость и спектр света улучшают различаемость предметов и сказывается на росте производительности труда, снижает производственный травматизм. Таким образом, остаётся актуальным поиск оптимальных решений в освещении промышленных помещений.

В современных осветительных установках, используемых в производственных помещениях, в качестве источника света применяют газоразрядные лампы высокого и низкого давления, светодиодные, а также индукционные. Следует отметить, что светодиодное освещение пока ещё не имеет широкого применения ввиду сложности обоснования расхода целевых средств. В настоящее время в ряде стран в промышленном освещении получают распространение индукционные лампы (ИЛ). Лампы данного типа обладают хорошими показателями и на данный момент являются одними из перспективных источников света. Рассмотрим некоторые характеристики ИЛ:

- в электронную пускорегулирующую аппаратуру (ЭПРА) встроена защита от скачков напряжения и коротких замыканий;
- срок службы может составлять свыше 100000 ч и определяется компонентами электронного балласта и скоростью старения люминофора;
- диапазон единичной мощности от 15 до 300 Вт. Изделия большей мощности – это индивидуальные заказы большого объёма поставки на стратегические объекты;
- индекс цветопередачи $Ra > 80$, это обеспечивает более точное восприятие оттенков цветов;
- диапазон цветовых температур от тёплого белого до дневного света (2700 – 6500 *K*).
- световая отдача около 80 лм/Вт. Новые стойкие люминофоры позволили повысить светоотдачу лампы до 3 раз по сравнению с обычным люминофором и уменьшить её габариты.

Кроме того, лампа характеризуется мгновенным включением/выключением и неограниченным количеством циклов включения/выключения, что позволяет построить системы освещения с применением датчиков движения. Работа датчика движения может совмещаться с работой датчика уровня освещённости. Большая продолжительность горения сокращает такие эксплуатационные расходы как стоимость закупки и хранения традиционных ламп. Затраты определяются стоимостью покупки, доставки, монтажа и демонтажа. Стоимость утилизации не так заметна благодаря длительному сроку службы.

Основным недостатком ИЛ является их высокая стоимость. Также, при низкой температуре окружающей среды, потребуется некоторое время, чтобы лампа вышла на номинальные характеристики. ИЛ – это новация в освещении, и на данный момент отсутствуют нормы и правила их выбора, хранения, утилизации.

Обоснование экономического эффекта лучше рассматривать на конкретной ситуации. В работе приводится результат расчёта эффективности использования светодиодных светильников, светильников с лампами высокого и низкого давления, индукционными лампами в помещении размером $78 \times 18 \times 10$ м (табл. 1). Проекты разрабатывались с условием обеспечения освещённости рабочей поверхности 400 лк. Значения срока окупаемости указаны на рис. 1.

Таблица 1 – Технико-экономическое обоснование вариантов освещения

	Освещение люминесцентными лампами	Освещение индукционными лампами	Светодиодное освещение	Освещение лампами высокого давления
N, светильников	44	48	44	48
P, потребляемая мощность светильника, кВт	0,34	0,254	0,20	0,30
Суммарная мощность, кВт	14,96	12,19	8,8	14,16
Расход ЭЭ за год, кВт·ч	64,627	52,669	38,016	61,171
Δ в потреблении ЭЭ, %	22,7	–	-27,82	16,14
Срок окупаемости, мес	32,5	–	7,8	43,6

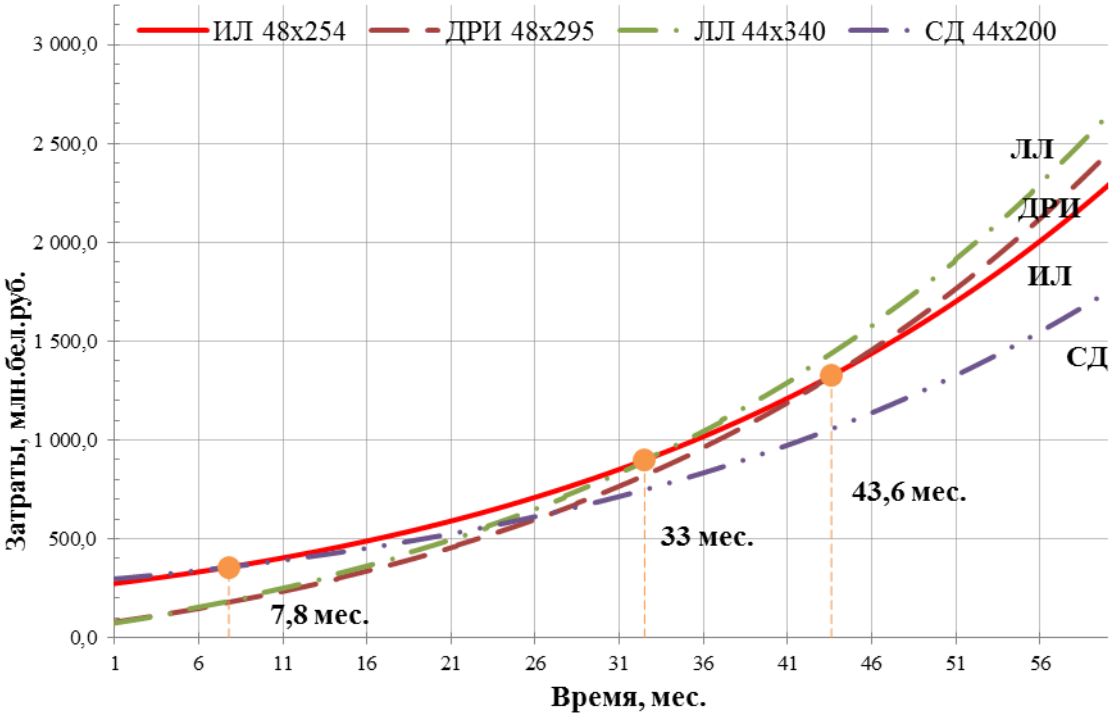


Рисунок 1 – Срок окупаемости ИС

Учитывая характеристики ИЛ, снижение затрат на эксплуатацию и обслуживание, можно утверждать, что индукционные лампы хорошо подходят для промышленного освещения.

Литература

1. Дуговым источникам света 200 лет: учебное пособие / Г.Н. Рохлин. М: ВИГМА, 2001. – 72 стр.

2. Современные проблемы энергоэффективного освещения / Ю.Б. Айзенберг // Энергосбережение. - 2009. - № 1. - С. 42 - 47.

3. Стратегии исследований в области безопасности освещения / О.Р. Бокова, О.А. Гизингер // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». - 2012. - Вып. 18. - № 37(296). - С. 26-29.

4. Ультрафиолетовое излучение / А. Мейер, Э. Зейтц. - М.: Наука, 1982. - 63 с.

5. Электрическое освещение: учебник / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. – Минск: Технoперспектива, 2011. – 543 с.

УДК 620.004.5

НАДЕЖНОСТЬ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Бакун Т.А.
Научный руководитель – д.т.н., профессор Анищенко В.А.

Одной из важных характеристик, учитываемых при проектировании, разработке и эксплуатации систем, является надежность. Надёжность — свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Стоимость отказов, потери продукции, несчастные случаи, снижение производительности обходятся значительно дороже, чем стоимость ремонта. Поэтому во избежание миллионных потерь производится систематический подход к моделированию надежности проектируемых систем.

Очевидна необходимость фактического обеспечения высокой надежности самолета, космического корабля, подвесной канатной дороги или парашюта. Интенсивное развитие данных сфер деятельности человека привело к необходимости количественной оценки надежности. Такие показатели можно задавать, анализировать, измерять как конструктивный параметр. Особенно количественная характеристика стала необходима в настоящее время в связи с возрастанием сложности систем и их масштабов.

Работоспособность устройств, системы определяется совокупностью заданных параметров, характеристик и допустимыми пределами их изменений – допусками. Если изменяемый во времени параметр будет выходить за допустимые границы изменений, а его допуски будут превосходить установленные значения, наступает повреждение или отказ.

Отказы, возникающие в условиях эксплуатации, можно разделить на:

–полные и частичные (при частичных отказах электротехническое устройство теряет частично свою работоспособность);

–внезапные и постепенные (постепенные отказы характеризуются постепенным изменением и выходом за заданную границу одного или нескольких параметров; при внезапных отказах изменение параметра протекает с большой скоростью);

–независимые и зависимые (зависимые отказы зависят от отказов других устройств);

–устойчивые и неустойчивые (сбои – самоустраняющиеся отказы, приводящие к кратковременному нарушению работоспособности).

В электрооборудовании, функционирующем не постоянно во времени, отказы могут быть следующих видов:

–отказ срабатывания;

–ложное срабатывание.

Ложные срабатывания – это отказ объекта, работающего в сложном режиме, приводящий к включению его в работу при отсутствии требования на включение. Ложные срабатывания характерны как для быстродействующих, так и длительнодействующих управляющих систем, а также оборудования, выполняющего функции управления. Подобные срабатывания могут привести к неоправданным трудозатратам и расходу материальных ресурсов, отключению электроприемников, перебой электроснабжения которых может привести к ситуациям, опасным для потребителей (отключение пожарной сигнализации и т.п.).

Как следует из определения, ложные срабатывания устройств могут происходить по разным причинам, не имеющим отношения к надежности устройства. Часть внешних причин обусловлена воздействием на устройство электромагнитных помех, на которые оно реагирует так, как если бы было сформировано требование на срабатывание. Для исключения таких причин ложных срабатываний, устройства должны отвечать определенным требованиям по электромагнитной совместимости. Ложное срабатывание

также может быть спровоцировано некачественным монтажом и условиями окружающей среды. Рассмотренные внешние причины нельзя отнести к характеристикам надежности устройства.

Для характеристики надежности устройства целесообразно рассматривать только те ложные срабатывания, которые вызваны внутренними причинами, когда отказ того или иного элемента устройства приводит к срабатыванию устройства таким образом, как оно сработало бы при наличии требования на срабатывание.

Повышение надежности систем без изменения надежности отдельных элементов производится структурным резервированием. В случае релейно-контактных систем резервирование может, как повысить, так и понизить их надежность. Это зависит от преобладающего типа отказов и числа элементов, а также от топологии системы.

Рассмотрим влияние количества элементов (n) на надежность системы в целом. При рассмотрении отдельно будем учитывать влияние отказов двух типов: замыкание цепи и обрыв цепи, и влияние ложных срабатываний также двух типов: ошибочное включение при отсутствии команды на сигнал и ошибочное отключение при наличии управляющей команды.

Для определения показателей надежности используется биноминальное разложение Ньютона (рассматриваются идентичные элементы):

$$(p + q_o + q_s + r_s + r_o)^n = 1,$$

где p – вероятность исправной работы элемента;

q_o – вероятность отказа типа «обрыв» при подаче требования на замыкание контактов элемента;

q_s – вероятность отказа типа «замыкание» при подаче требования на размыкание контактов элемента;

r_s – вероятность самопроизвольного замыкания контактов элемента при отсутствии требования на срабатывание;

r_o – вероятность самопроизвольного размыкания контактов элемента при отсутствии требования на срабатывание;

n – количество элементов в устройстве.

Для устройства в целом имеем соответствующие нормируемые показатели надежности, удовлетворяющие условию:

$$P + Q_o + Q_s + R_s + R_o = 1.$$

При параллельном соединении элементов имеем:

$$P = (1 - q_s)^n + (1 - r_s)^n - q_o^n - r_o^n - 1; \quad Q_o = q_o^n; \quad Q_s = 1 - (1 - q_s)^n;$$
$$R_o = r_o^n; \quad R_s = 1 - (1 - r_s)^n; \quad Q_\Sigma = 1 - P.$$

При последовательном соединении имеем:

$$P = (1 - q_o)^n + (1 - r_o)^n - q_s^n - r_s^n - 1; \quad Q_s = q_s^n; \quad Q_o = 1 - (1 - q_o)^n;$$
$$R_s = r_s^n; \quad R_o = 1 - (1 - r_o)^n; \quad Q_\Sigma = 1 - P.$$

Параллельное резервирование снижает вероятности отказа типа «обрыв» и самопроизвольного размыкания релейно-контактной системы, но повышает вероятности отказов типа «замыкание» и самопроизвольного замыкания системы. При последовательном соединении элементов вероятности отказа типа «обрыв» и самопроизвольного размыкания релейно-контактной системы увеличиваются, а вероятности отказов типа «замыкание» и самопроизвольного замыкания системы уменьшаются.

Построим графики зависимостей надежностных показателей от количества идентичных элементов от одного до четырех при следующих значениях:

- для параллельного соединения:

$p = 0{,}98;$ $q_o = 0{,}006;$ $q_s = 0{,}004;$ $r_s = 0{,}005$ $r_o = 0{,}005.$

- для последовательного соединения:

$p = 0{,}98;$ $q_o = 0{,}004;$ $q_s = 0{,}006;$ $r_s = 0{,}005$ $r_o = 0{,}005.$

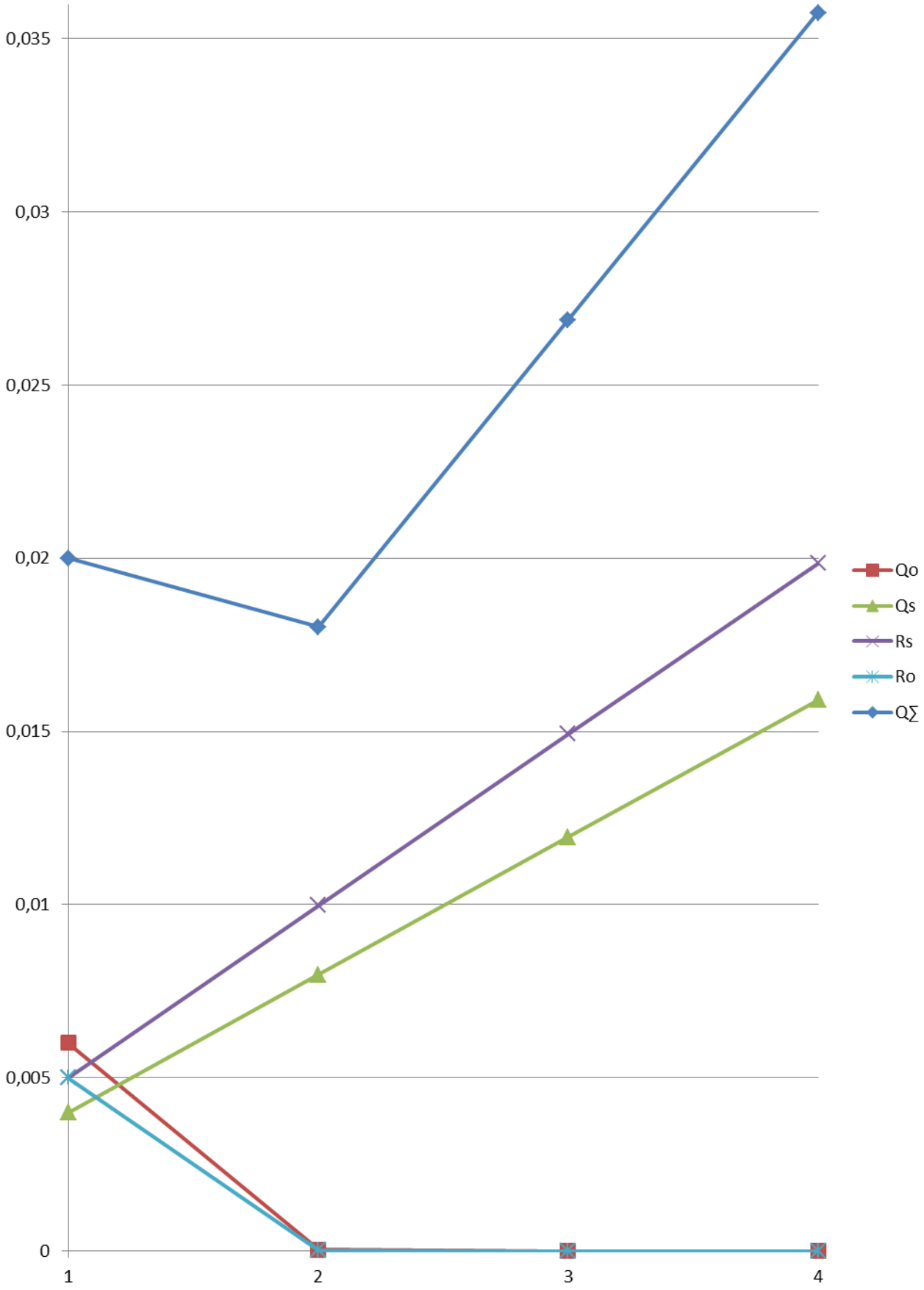


Рисунок 1 – Графики зависимости $Q_o(n)$, $Q_s(n)$, $R_s(n), R_o(n)$ и $Q_\Sigma(n)$ для параллельного соединения элементов

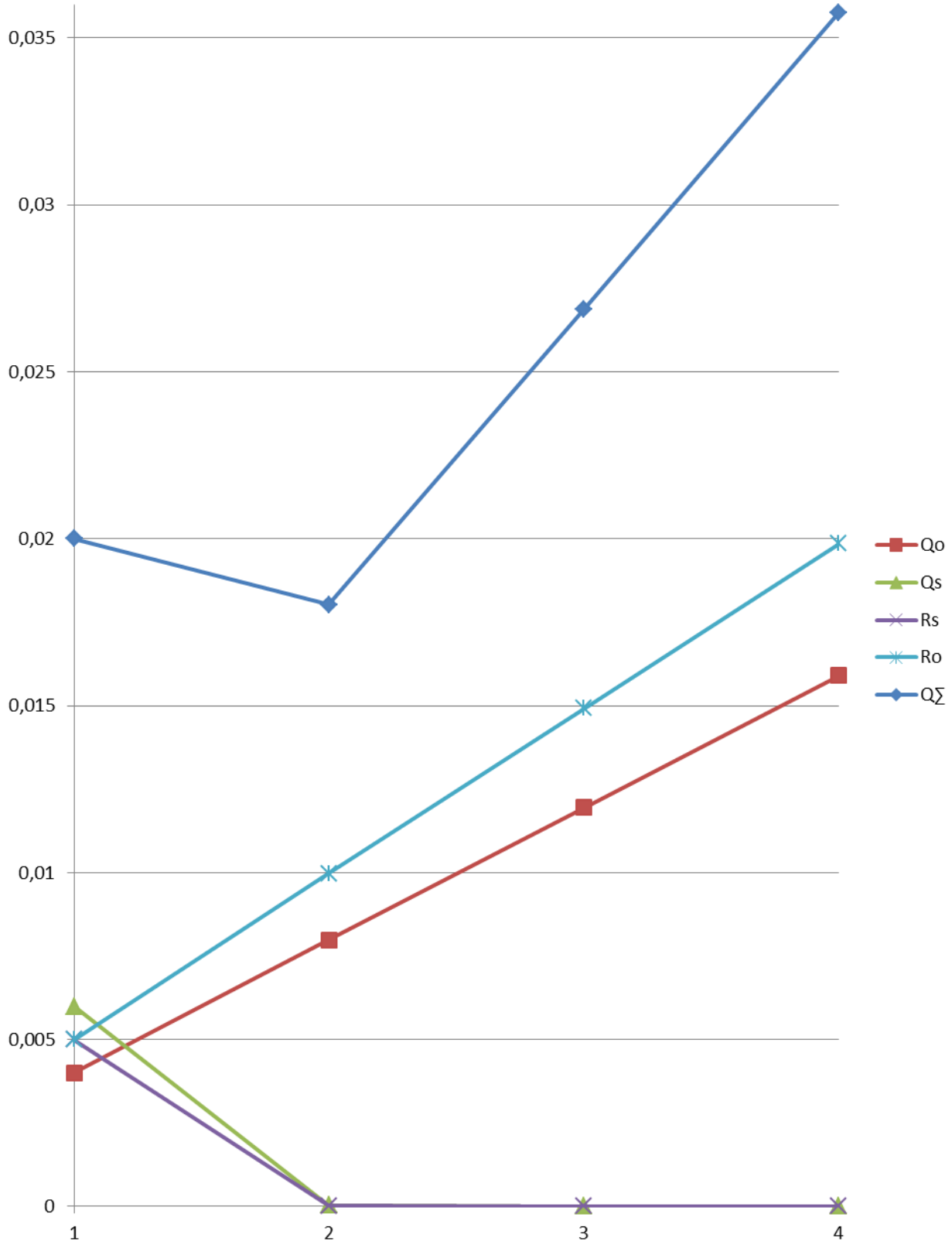


Рисунок 2 – Графики зависимости $Q_o(n)$, $Q_s(n)$, $R_s(n), R_o(n)$ и $Q_\Sigma(n)$ для последовательного соединения элементов

Литература:

1. Диллон, Б.С. Инженерные методы обеспечения надежности систем: пер.с англ. / Б. Диллон, Ч.Сингх. – М.: Мир, 1984. – 318 с., ил.

УДК 620.9

БИОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ВНЕДРЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Журавлёв Е.Д., Михнёнок В.Г.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

Биогаз – это газ, состоящий из примерно из 50-80% метана и 50-20% углекислого газа. Биогаз близок по своим характеристикам к природному газу. Калорийность биогаза от 6000 до 9500 ккал/м^3, при средней калорийности природного газа 7900 ккал/м^3. Его можно использовать для обогрева помещений, технологических целей, получения пара, для получения электроэнергии. Выгоднее всего использовать когенерационные установки, для одновременного производства тепловой и электрической энергии. Газ можно использовать как топливо для автомобилей, но для этого потребуется установка дополнительной системы обогащения биогаза.

На рассмотрение берём небольшое фермерское хозяйство с площадью для выращивания сырья для БГУ равную 70 Га. Поголовье свиней – 800, а КРС - 600. При расчётах мы получаем примерно 10 т/сутки навоза свиного с влажностью 85%, и 30 т/сутки навоза от КРС. Также 5 т/сутки картофельной мезги с влажностью 91%. По этим данным рассчитаем полезные и технические характеристики нашей установки.

Общие технические характеристики:

1) Длина модуля конструкции, м – 12
2) Количество модулей, шт – 4
3) Полезный объём биореактора, м^3 – 756
4) Диаметр модуля биореактора, м – 4,5
5) Длина конструкции биореактора, м – 8
6) Технологический процесс брожения - непрерывный
7) Производительность биореактора, тонн навоза/сутки – 45
8) Время брожения, суток – 5-18
9) Производительность по биогазу до, м^3/сутки – 2620
10) Эквивалент по возможной вырабатываемой электроэнергии до, кВт*час – 262
11) Количество дополнительной вырабатываемой тепловой энергии до, кВт*час – 306
12) Количество вырабатываемой только тепловой энергии до, кВт*час – 677
13) Потребляемая энергия для начального нагрева, кВт*час – 630
14) Способ нагрева трубчатые теплообменники
15) Режим брожения мезофильный-термофильный
16) Мешалка-миксер, шт – 1
17) Насос измельчитель 1 шт., мощность, кВт – 14.7
18) Избыточное давление биогаза 2кПа. (200 мм. вод. ст.)
19) Температура брожения в мезофильной секции 30-40 С
20) Температура брожения в термофильной секции 45-57 С
21) Мягкий газгольдер, объём, м3 – 1091,67
22) Количество жидких удобрений на выходе, тонн/сутки – 59
23) Период перемешивания 4 раза в сутки по 10 минут

Принцип работы биореактора следующий: в приемную емкость (Поз.1) производится загрузка сырья, все делается в соответствии с датчиком уровня. Далее загруженное сырье подвергается тщательному перемешиванию и смешиванию с порциями воды для достижения необходимой консистенции. Как правило, вода добавляется из расчета 1/3, после чего открывается вентиль в следующий отсек и включается перемешивающий насос измельчитель, который позволяет добиться необходимой степени измельченности сырья. Далее, при достижении нужного состояния, в противоположном конце открывается

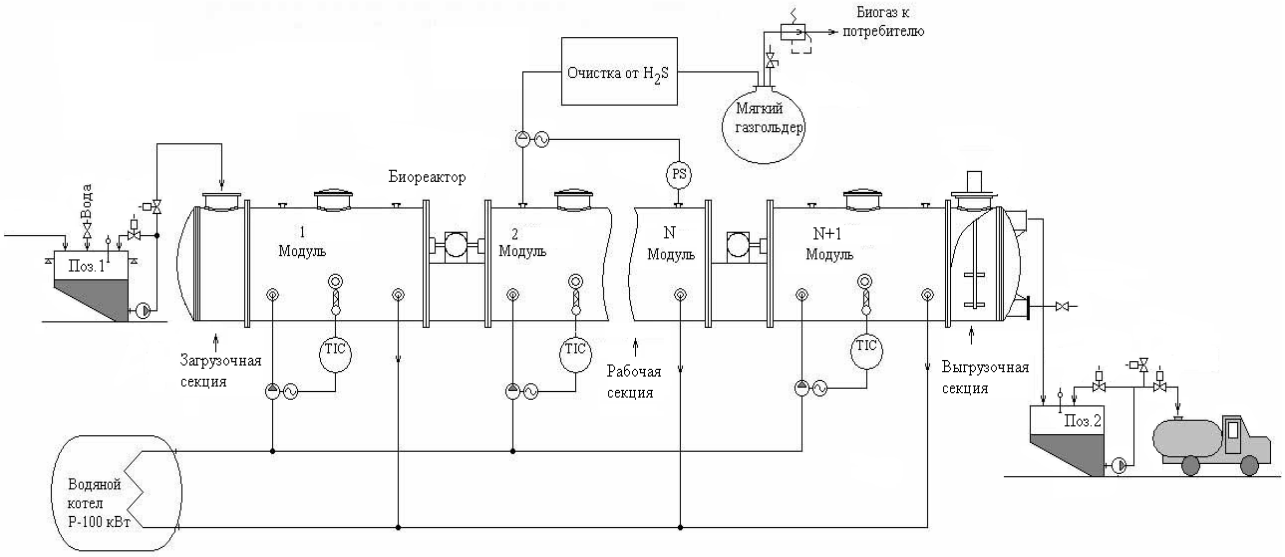
выгрузочный люк и происходит постепенная перегрузка сырья в биореактор, при этом насос не останавливается. После полного опорожнения приемной емкости насос выключается автоматически.

Биореактор представляет собой трубчатую пластиковую или стальную емкость, расположенную горизонтально. Разделение на три части биореактора позволяет выделить перевалочные и рабочие зоны: загрузочную, собственно рабочую и выгрузочную. Рабочая секция состоит из N модулей (N – количество модулей). Количество модулей может наращиваться в любое время при расширении производства. В верхней части рабочей секции расположен герметично закрывающийся люк, а также два штуцера: для отбора газа и для подключения тягонапоромера с релейным выходом.

Тягонапоромер позволяет следить за уровнем давления газа в биореакторе и при достижении определенных величин автоматически включает и выключает компрессор, который откачивает выделившийся газ в газгольдер. В каждом модуле есть трубчатый теплообменник, он позволяет контролировать температуру биомассы и поддерживать ее на необходимом уровне. Также внутри смонтированы особые перемешивающие устройства, что позволяет биомассе быть в движении и предотвращает образование плавающей корки.

После того, как масса достаточно перебродит, приходит очередь выгружать ее через выгрузочный сектор в емкость-накопитель жидких удобрений (Поз.2), в нижней части которой находится насос, используемый как для перемешивания биомассы, так и для ее откачки. Биогаз же из газгольдера по редуцирующим клапанам поступает к потребителю.

Весь технологический процесс автоматизирован и контролируется диспетчером с персонального компьютера.



Произведём оценку стоимости нашего проекта в млн.бел.руб, предварительно обозначим, какое оборудование будет использоваться в нашей БГУ и где оно произведено.

Секции биореактора производим на предприятии СЗАО «ЛИПЛАСТ-СПб, которое располагается в Лиде, это заметно снизит стоимость реактора по сравнению с российскими аналогами. Измельчитель произведем на Белорусско-Итальянском совместном предприятии ООО «Унибокс». Мягкий газгольдер - произведём на ЗАО «БЕЛНЭТЭКСПЕРТ», Минск. Мешалки-миксеры, электрически двигатели с редукторами, компрессоры вакуумные, регулирующую арматуру заказываем на заводе ООО «ЭСКО» в г. Могилев. Шкаф управления с визуализацией и элементы КИПиА заказываем на заводе ОДО «МИКСМАРТАЛЬЯНС» в г. Могилёве. А силовой шкаф на ОАО «Минский электротехнический завод им. В. И. Козлова». Станцию когенерации АГП-100, центробежный насос с измельчителем, станцию очистки H2S и влагоотделитель, клапана,

регуляторы, преобразователи заказываем из РФ. Таким образом, практически всё оборудование произведено на территории РБ. В табл.1 и табл.2 приведены сами цифры.

Таблица.1

1 Биореактор				
Секция биореактора из стеклопластика с технологическими отверстиями	шт.	4	430.54	1722.16
Обвязка	шт.	1	448.25	448.25
Насос измельчитель	шт.	1	24.77	24.77
Центробежный насос с измельчителем	шт.	1	14.43	14.43
Резервуар для предварительного подогрева	шт.	2	177.88	355.76
Обвязка	шт.	1	68.33	68.33
Станция очистки H2S	шт.	1	56.6	56.6
Влагоотделитель	шт.	1	56.6	56.6
Мягкий газгольдер	шт.	1	557.95	557.95
Мешалка-миксер	шт.	4	19.81	79.24
Эл. двигатель с редуктором	шт.	4	7.92	31.68
Клапана, регуляторы, преобразователи	компл.	4	13.3	53.2
Регулирующая арматура	шт.	4	11.89	47.56
Компрессор вакуумный	шт.	2	44.37	88.74
Расходные материалы	компл.	1	135.09	135.09
Элементы КИПиА	компл.	1	75.65	75.65
Шкаф управления, с визуализацией на диспетчерский пункт	шт.	2	39.62	79.24
Шкаф силовой	компл.	1	29.72	29.72
Монтаж системы " подключ"		30%	3924.97	1177.09
Пуско-наладочные работы		5%	3924.97	196.25

Продолжение Таблица.1

Всего по разделу 1, с НДС		5298.31
Срок окупаемости по газу (из расчета руб/м3),лет	1000	5.3

Таблица.2

2 Здания и сооружения				
Быстровозводимое здание под биогазовую установку, высота 6 м	$м^2$	266	2.9	772.58
3 Станция когенерации АГП-100	шт.	3	492.45	1477.35

Итого общая стоимость внедрения биогазовой установки, с НДС, составит 7548.24 (528.25) млн. рублей (тыс. $).

При сравнении данной биогазовой установки с биогазовой установкой близкой мощности российского производства, мы получили, что удельное капиталовложение нашей БГУ (2016 $/кВт) на 18% меньше чем у российского аналога (2472 $/кВт). При этом 82% от всех средств, вложенных в установку, идут белорусским предприятиям, то есть большая часть денег остаётся в стране. Это является огромным плюсом для экономики в настоящее время.

Литература

1. Технический кодекс установившейся практики. ТКП 17.02-05-2011 (02120)

Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок расчёта экономической эффективности биогазовых комплексов.

3. Эдер Барбара, Шульц Хайнц Биогазовые установки. Практическое пособие. (Пер. с нем. Zorg Biogas в 2011 году). Под ред. И. А. Реддих.

4. http://www.rosbiogas.ru/

5. http://mkp.easc.org.by/

6. Биогаз на основе возобновляемого сырья. Сравнительный анализ шестидесяти одной установки по производству биогаза в Германии. Под ред. Специальное агентство возобновляемых ресурсов.

УДК 620.9

НОВОВВЕДЕНИЯ В КОНСТРУКЦИЯХ ГЕНЕРАТОРОВ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВОК С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Капустинский А.Ю.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

ВЭУ (ветроэнергоустановка) – энергоустановка, преобразующая кинетическую энергию ветра в электроэнергию. Основные составные части любой ВЭУ – ветроколесо, которое приводит в движение ротор ЭГ (электрогенератора), и сам ЭГ. Ветрогенераторы работают при скорости ветра от 3 до 25 м/с, т.к. при скорости ветра меньше 3 м/с электроэнергии, вырабатываемой генератором, не хватает на покрытие потерь электроэнергии. При скорости ветра более 25 м/с могут возникнуть сильные повреждения ветроэнергоустановки, следственно они отключаются (ветроколесо затормаживается, генератор отключается от сети). Срок службы ВЭУ – от 15 до 25 лет, при этом срок окупаемости – от 5 до 7 лет, что делает их применение выгодным с экономической точки зрения.

Недостатком ВЭУ является малая частота вращения, что приводит к увеличению размеров генератора для выработки промышленной частоты. Существует 2 способа получения промышленной частоты с помощью ветрогенератора: применение редуктора и подключение ВЭУ к энергосистеме через СПЧ (статический преобразователь частоты). Недостатками редуктора являются: трудности при эксплуатации, а именно необходимость менять масло каждый сезон, большая масса, большие габариты, снижение надежности всей установки. При подключении ветрогенератора в сеть через СПЧ также нет необходимости проводить синхронизацию СГ (синхронного генератора), что является несомненным преимуществом такого подключения. Однако частотный преобразователь имеет очень высокую стоимость. Но, несмотря на это ввиду его преимуществ перед редуктором подключение через СПЧ является более выгодным.

В ветроустановках в качестве генератора могут применяться синхронные и асинхронные машины. Самым простым и надежным является синхронный генератор с возбуждением постоянными магнитами. В таких генераторах отсутствует классическая система возбуждения, то есть отсутствует машина постоянного тока, а, следовательно, в электромагнитной цепи генератора отсутствуют такие ненадежные элементы, как контактные кольца, щетки и щеткодержатели, что повышает надежность машины.

Кроме того, что данная конструкция проще и надежнее альтернативных из-за отсутствия возбудителя, она позволяет выполнить обмотку статора без укорочения шага, что, в свою очередь, опять упрощает конструкцию СГ. Подавление высших гармоник в такой обмотке возможно чисто геометрически за счет выполнения пазов статора скощенными на 2/7 полюсного деления, а постоянных магнитов на роторе сдвинутыми друг относительно друга на 1/5 полюсного деления [1]. Это позволяет полностью подавить 5 и 7 гармоники. Обмоточный коэффициент считается через коэффициенты скоса и сдвига.

$$k_{сдв} = \cos(\frac{\nu \cdot \gamma_1}{2})$$

$$k_{ск} = \cos(\frac{\nu \cdot \gamma_2}{4})$$

$$k_{обм} = k_{ск} \cdot k_{сдв} = \cos(\frac{\nu \cdot \gamma_1}{2}) \cdot \cos(\frac{\nu \cdot \gamma_2}{4})$$

где:

ν – номер гармоники

γ_1 – электрический угол между ЭДС, возникающий в результате сдвига

$\gamma_2/2$ – электрический угол между ЭДС, возникающий в результате скоса

ЭДС ν-ой гармоники равна:

$$E_\nu' = E_\nu \cdot k_{обм} = E_\nu \cdot \cos(\frac{\nu \cdot \gamma_1}{2}) \cdot \cos(\frac{\nu \cdot \gamma_2}{4}) = E_\nu \cdot \cos(\frac{\nu}{2} \cdot \frac{1}{5} \cdot 180) \cdot \cos(\frac{\nu}{4} \cdot \frac{2}{7} \cdot 180)$$

Очевидно, что ЭДС 5 и 7 гармоники подавлены полностью. ЭДС более высоких гармоник подавлены частично, следственно их влияние не существенно.

Для работы такого генератора необходимы мощные постоянные магниты. Подходящими являются магниты NdFeB (Неодим-железо-бор). Магниты из этого материала обладают большой остаточной индукцией (1,1 Тл) и коэрцитивной силой (800000 А/м).

Расчет постоянного магнита выполняется на основании графика кривой размагничивания постоянного магнита в относительных единицах, где по оси ординат отложена индукция $\frac{B}{B_r}$, а по оси абсцисс напряженность магнитного поля в магните $\frac{H}{H_C}$, где B_r и H_C - остаточная индукция и коэрцитивная сила магнита. Кривая размагничивания редкоземельного магнита – это прямая линия.

Координаты рабочей точки на кривой размагничивания постоянного магнита определяются на основании отношения ординаты к абсциссе, которое равно:

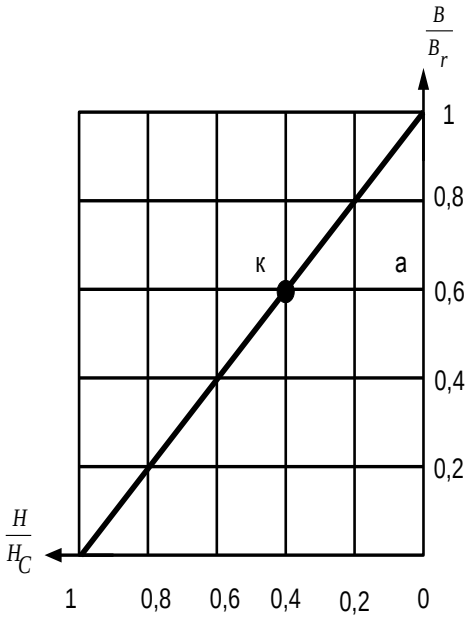


Рисунок1: Кривая размагничивания постоянного магнита

$$\frac{oa}{ak} = \frac{\Phi_a \cdot \sigma \cdot H_C \cdot h_{МАГН}}{\Phi_{МАГН\ max} \cdot F_{МАГН}} = \frac{2\mu_0 \cdot \sigma \cdot \tau \cdot l_\delta \cdot H_C \cdot h_{МАГН}}{\pi \cdot k_{\mu_0} \cdot B_r \cdot S_{МАГН} \cdot F_{ВН} * \cdot \delta},$$

где ордината кривой размагничивания *oa* равна отношению основного магнитного потока машины к максимальному возможному потоку в нейтральном сечении магнита при отсутствии размагничивания

$$oa = \frac{\Phi_a \cdot \sigma}{\Phi_{МАГН\ max}} = \frac{2 \cdot B_{\delta H} \tau \cdot l_\delta \cdot \sigma}{\pi \cdot B_r \cdot S_{МАГН}},$$

а МДС магнита равна МДС магнитной цепи, т.е. равна МДС воздушного зазора с учетом коэффициента насыщения магнитной цепи и размагничивающего действия реакции якоря,

$$F_{МАГН} = ak \cdot H_C \cdot h_{МАГН} = F_{ВН}* \cdot B_{\delta H} \frac{\delta}{\mu_0},$$

откуда

$$ak = \frac{F_{ВН}* \cdot B_{\delta H} \frac{\delta}{\mu_0}}{H_C \cdot h_{МАГН}}$$

$B_{\delta H}$ - основная гармоника индукции в воздушном зазоре при номинальных условиях, Тл,

$F_{ВН*}$ - МДС возбуждения с учетом реакции якоря (по диаграмме Потье), о.е.,

δ - средняя величина воздушного зазора, м,

$S_{МАГН} = b_{МАГН} \cdot l_{МАГН}$ - площадь сечения магнита, м^2,

$h_{МАГН}$ - высота магнита, м,

$k_{\mu 0}$ - коэффициент насыщения магнитной цепи машины,

σ - коэффициент рассеяния полюсов.

Уточненный расчет был сделан для машины 7,5 кВт. Сравним полученные параметры генератора с параметрами других типов генераторов той же мощности.

Таблица 1 Характеристики аналогичных генераторов

Наименование электрической машины	Тип электрической машины	Номинальная мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Номинальный КПД, %	Масса, кг	Температура обмотки °C
Разрабатываемый синхронный генератор с постоянными магнитами неодим-железо-бор	-	7,5	200	85,3	186,5	135
Генератор синхронный трехфазный	ОС 52	8	1500	82	138 - 156	-
Генератор синхронный трехфазный	ЕСС5-61-4	8	1500	84,7	160	-
Асинхронный двигатель с фазным ротором	4АК160М8У3	7,5	750	82	200	-
Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором	АИР160 S8	7,5	750	87	125	135
Синхронный генератор с постоянными магнитами неодим-железо-бор производства КНР	GL-ПМГ-7500	7,5	200	-	180	180

Расчеты показали, что генератор такого типа соизмерим по расходу материалов и другим характеристикам с другими генераторами той же мощности, а некоторые генераторы даже заметно превосходит. Этот факт, в сочетании с простотой конструкции и надежности в эксплуатации, способствует развитию ветроэнергоустановок с возбуждением постоянными магнитами в последние годы.

Литература

1. Синхронная электрическая машина с постоянными магнитами: Патент на изобретение №14108 РБ от 2010.11.25/ Олешкевич В.М., Олешкевич М.М.; заявл. №20081055, 2008.08.08; МКИ, Н 02К 21/00; опубл. //Нацыянальны цэнтр інтэлектуальнай уласнасці Рэспублікі Беларусь. Афіцыйны бюлетэнь: вынаходствы, карысныя мадэлі, прамысловыя ўзоры . №1(78) 2011.-с.148
2. Олешкевич М.М. Нетрадиционные источники энергии. Учебно-методическое пособие. Минск. БНТУ, 2007.

УДК 621.3

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ

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

Проблема эффективного использования солнечного света – естественного источника энергии – для освещения центральной части зданий глубокого заложения, бесфонарных сооружений и зданий без естественного света является одной из важнейших в современной технике освещения и её успешное решение весьма существенно для реализации программы энергосбережения. Решением данной проблемы является создание эффективных систем совместного искусственного и естественного освещения. При использовании светопроемов не всегда можно достичь требуемого уровня и качества освещенности, также вследствие недостаточной теплоизоляции присутствуют тепловые потери. В отличие от систем с искусственным освещением системы интегрального освещения позволяют получать естественный свет и все связанные с этим преимущества. Введение естественного света в помещение позволяет осуществить связь человека с окружающей средой. Известно, люди, довольные своим окружением, легче настраиваются на выполнение рабочих задач, они меньше отвлекаются и производительность их труда выше. С помощью световодов можно более эффективно использовать солнечный, а также транспортировать и распределять искусственный свет.

В данной работе показана система комбинированного освещения на примере проекта Heliobus. Рассмотрена конструкция, принцип действия, материалы для изготовления осветительной установки. Произведена оценка реализованной системы освещения.

Перед разработчиками стояла задача освещения солнечным и искусственным светом рекреационной зоны, которая располагается на каждом из четырех этажей (три надземных и один заглубленный). Изначально для введения солнечного света на крыше здания был предусмотрен световой колодец размером 1,25х1,25 м и световой фонарь на крыше. Каждая рекреация 5х5 м была освещена 8 лампами накаливания мощностью 75 Вт. При значительном электропотреблении (установленная мощность 2,4 кВт) освещенность была на очень низком уровне 10 – 18 лк. Разработчикам необходимо было без кардинальной реконструкции здания, крупных капиталовложений, без прерывания учебного процесса создать совмещенную систему освещения, обеспечивающую нормативную освещенность и имеющую улучшенные эстетические свойства. Поскольку не требовалось создание высокого уровня освещенности и особой равномерности освещения, конструкция приемного устройства упрощалась.

Конструкция светоприемного устройства выглядит следующим образом. Зеркало приемника и световод выполнены из двух пересекающихся цилиндров с равными диаметрами. Зеркало приемника образовано частью боковой поверхности наклонного цилиндра, ограниченного двумя взаимно перпендикулярными плоскостями. Внутренняя поверхность приемника обращена к югу, а ось наклонного цилиндра, образующего эту поверхность, ориентирована на Солнце в полдень дня летнего солнцестояния, т.е. отклонена к югу на угол по вертикали $\alpha_0 = 24°$, учитывая широту местности 47,5°. Такое расположение приемной поверхности позволяет солнечным лучам в момент наивысшей высоты Солнца проникать в световод не касаясь зеркала, а по мере удаления от дня летнего солнцестояния Солнце будет находиться ниже, и всё больший поток будет перехватываться зеркальным отражателем, и направляться в световод. Данный эффект будет наблюдаться вплоть до угла наклона солнечных лучей от вертикали на угол $\alpha_0 = 48°$, что соответствует дням равноденствия, отражённые лучи будут направлены вертикально вниз. Стоит отметить, что перехват солнечного света по сравнению с днем летнего солнцестояния будет достигать 80%. После будет происходить снижение роста перехвата потока, а затем и спад. Так как часть отраженных лучей не будет попадать в световод. Стоит отметить, прозрачный защитный

экран, расположенный вертикально будет защищать оптическую поверхность от загрязнения и отводить пыль и грязь.

Между приемным устройством и световодом использовался переходной элемент, который позволил: разместить в себе источники искусственного света, согласовать размеры приемника и входной торец световода, осветить рекреацию верхнего этажа.

В качестве транспортирующего и светораспределяющего элемента системы был выбран призматический световод, работа которого основана на явлении полного внутреннего отражения. Для создания более равномерного светового потока в рекреации первого и второго этажей использовался объемный цилиндрический экстрактор диаметром 200 и 100 мм соответственно. Для уменьшения потерь торцы экстрактора выполнены полыми, а внутренняя поверхность также покрыта микропризматической пленкой. Экстрактор – устройство позволяющее нарушать условие полного внутреннего отражения и способствует выходу солнечных лучей из канала световода.

Принцип работы установки следующий: лучи солнечного света, перехваченные светоприемным устройством направляются через переходное устройство (непосредственно и с помощью зеркально отражающих поверхностей) во входной торец вертикального полого световода, в который, при недостаточном естественном освещении, направляется также излучение искусственных источников. Свет солнца и искусственных источников распространяется внутри и вдоль световода (по отдельности и одновременно), испытывая полное внутреннее отражение. При попадании лучей на экстрактор, они рассеиваются и переотражаются на стенки световода. Для большинства таких лучей условия полного внутреннего отражения нарушаются и они, после преломления на стенках световода выходят наружу в освещаемые помещения на разных этажах здания.

Оценка реализованной системы совмещенного освещения:

- Качественные и количественные характеристики полученной осветительной установки удовлетворяют предъявляемым требованиям при различных режимах работы, как при солнечном освещении, так и совместном использовании солнечного света и работе одной из ламп (в предвечернее время), так и при только искусственном освещении.
- Установка отличается простотой и надежностью конструкции, относительно дешева.
- Потребление электроэнергии резко снижено (установленная мощность уменьшена в 2 раза), а потребление электроэнергии должно снизиться более значительно, благодаря сокращению времени работы искусственного освещения.
- Протяженность электрической сети сведена к минимуму.
- Эксплуатационные расходы также минимальны и определяются только необходимостью замены ламп один раз в 5 - 6 лет (срок службы металлогалогенных ламп 15 тыс. часов при наработке в год 2,5 - 3 тыс. часов).

Литература

Айзенберг Ю.Б. Система совмещенного освещения школьного здания солнечным и искусственным светом на основе полых световодов//Светотехника. – 1996. – №8. – С. 8-18.

ВОЗМОЖНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ БЕСШУМНЫХ МАЛОМОЩНЫХ ВЕТРОТУРБИН В БЕЛАРУСИ

Ануфриев М. В.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М. М.

Использование всех традиционных видов топлива для энергетических целей (нефть, уголь, газ), оказывает серьезное негативное экологическое воздействие. В комплексе энергетика, основанная на использовании традиционных источников топлива, обуславливает значительную долю выбросов в окружающую среду, прежде всего в атмосферу.

В связи с этим чрезвычайно важным является развитие экономики и энергетики в направлении создания экологически чистых технологических процессов и производств. Одним из решений может быть увеличение объема использования возобновляемых источников энергии.

Возобновляемая энергетика является одним из приоритетных направлений развития энергетического комплекса Республики Беларусь. Это обусловлено двумя основными факторами: во-первых, это требование природоохранного характера, значение которого возрастает, как следствие, обязательных с точки зрения законодательства условий, принятых Конвенцией по климату в декабре 1997 г.; во-вторых, это требование в отношении увеличения мощностей выработки энергии, согласно которому отдается предпочтение таким формам производства энергии, которые можно создавать быстрыми темпами и постепенно наращивать.

Из всех отраслей возобновляемой энергетики, ветроэнергетика является одной из наиболее динамично развивающихся. Несмотря на глобальный экономический кризис и снижения стоимости на топливные ресурсы, с каждым годом увеличивается установленная мощность ветроустановок и расширяется география их использования. Технический ветроэнергетический ресурс Республики Беларусь достаточно велик, чтобы игнорировать его возможности в ликвидации прогнозируемого в ближайшем будущем дефицита традиционных источников энергии. Мощные ветроэлектростанции по рекомендациям Ветроэнергетического кадастра Беларуси целесообразно возводить в точках, определенных Ветроэнергетическим атласом по региональным признакам. Это холмы, продуваемые долины рек, прибрежные зоны крупных водных объектов (Заславское и Вилейское водохранилище, озеро Нарочь и пр.).

Однако возведение отдельной ветроустановки или ветропарка всегда связано с определенными проблемами, главной из которых является выбор места предполагаемого строительства. Помимо достаточной среднегодовой скорости ветра, следует учитывать необходимое удаление ветроэлектростанции от мест проживания населения, наличие подъездных путей, тип грунтового основания. Также должны оцениваться гидрогеологические условия, вероятность затопления площадки, которые могут усложнить условия возведения и эксплуатации объекта. Неизбежность тщательного, детального планирования и сложности в согласовании часто приводят к тому, что мощные ветроэнергетические проекты не доходят до этапа реализации.

В этом контексте следует учитывать возможность применения маломощных бесшумных ветроустановок, способных работать в условиях городской среды, без ущерба и снижения комфортности жизни населения. Прототипом таких установок может являться разработка голландской фирмы the Archimedes, турбина Liam F1. Главной особенностью этой турбины является необычная форма лопастей, напоминающая форму наутилуса. Как утверждают сами разработчики, она была скопирована ими из чертежей древнегреческого ученого Архимеда, который использовал эту форму для создания проекта винтового насоса.

Рисунок 1 Турбина *Liam F1* голландской фирмы the Archimedes

В результате использования необычной формы лопастей, удалось добиться уменьшения сопротивления воздуха, и тем самым увеличить КПД установки, который составляет 45%. Ось закреплена с двух сторон, что снижает в несколько раз уровень шума генератора, а также предотвращает возникновение вибрации. Кроме того, благодаря своей конструкции, турбина имеет возможность автоматической ориентации в соответствии с направлением ветра.

Таблица 1 Технические характеристики турбины Liam F1

Максимальная мощность	1500 Вт
КПД генератора	86 %
Общий КПД установки	45 %
Скорость ветра для включения	2,5 м/с
Предельно допустимая скорость ветра	35 м/с
Диапазон рабочих температур	от -25 до +60 °С
Масса	100 кг
Диаметр лопасти	1500 мм
Размеры	1745x1345x1760 мм

Выходная мощность турбины прямо пропорциональна скорости ветра.

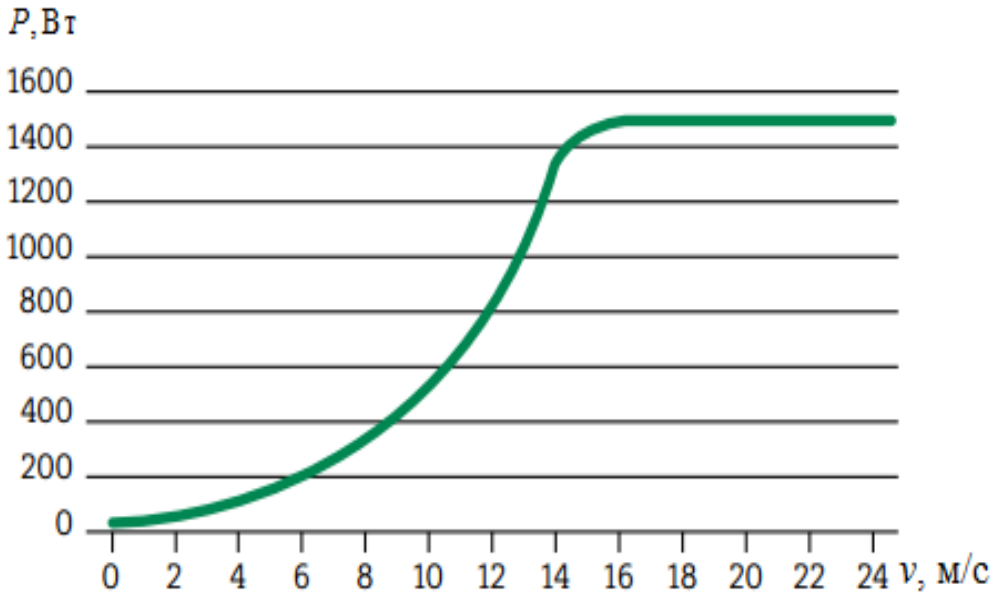


Рисунок 2 Зависимость выходной мощности турбины Liam F1 от скорости ветра

Отсутствие шумового загрязнения и вибраций делает возможным применение ветрогенераторов, подобных турбине Liam F1, на крышах жилых и общественных зданий, а относительно небольшие размеры и масса минимизируют транспортные расходы и упрощают установку. В Минске, столице Республики Беларусь, где среднегодовая скорость ветра составляет всего 2,9 м/с, следует обратить внимание на многоэтажные постройки, с высотой выше 100 м. Самым оптимальными в этом плане являются:

- жилой дом “Парус” (ввод в эксплуатацию в 2015 г., высота 114 м.)
- бизнес-центр “Royal Plaza” (ввод в эксплуатацию в 2014 г., высота 116 м).

Для оценки изменения скорости ветра по высоте используются различные модели – спираль Экмана, логарифмический закон, степенной закон. Эти модели позволяют оценить скорость ветра v на высоте h, если известна скорость ветра v_0 на высоте h_0. Например, степенной закон изменения скорости ветра по высоте имеет вид [3]:

$$v_h = v_0 \cdot \left(\frac{h}{h_0}\right)^{\alpha} \quad (1)$$

где v_h – скорость ветра, м/с, на высоте h, м;

v_0 – скорость ветра, м/с, измеренная на высоте h_0, м (как правило, скорости ветра измеряются на высоте 10 – 15 м);

α – показатель степени, зависящий от типа местности и устанавливаемый экспериментально; для центров крупных городов рекомендуется принимать α = 0,33.

Учитывая погрешность вычисления, можно предположить, что среднегодовая скорость ветра на крышах указанных зданий будет в пределах от 5,5 до 6,5 м/с, что является оптимальным значением для работы таких турбин, как Liam F1.

Стоимость одной турбины вместе с установкой будет составлять около восьми – девяти тысяч евро. При современных тарифах на электроэнергию, мероприятия по оснащению высотных зданий ветроустановками будут обладать длительным сроком окупаемости. Однако, в связи с ожидаемой ликвидацией перекрестного субсидирования и увеличением стоимости электроэнергии, а также неисчерпаемости энергии ветра, можно утверждать, что в скором времени такие проекты будут более рентабельны в нашей стране.

Литература

1. Кундас С. П., Позняк С. С., Шенец Л. В. Возобновляемые источники энергии: монография /; МГЭУ им. А. Д. Сахарова. – Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2009. – 315 с.
2. Родькин О. И. [и др.]; под общ. ред. Кундаса С. П. Энергосбережение и возобновляемые источники энергии: учебно-методическое пособие – Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2011. – 160 с.
3. Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения – Москва: Стройиздат, 1984. – 360 с.
4. The Archimedes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – http://dearchimedes.com – дата доступа 15.10.2015
5. Wind turbines for low wind speeds defy Betz limit efficiency [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – http://www.radiolocman.com/review/article.html?di=152095 – дата доступа 15.10.2015

УДК 620.9

УПРОЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

Власенко Е.О.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

Данная статья посвящена исследованию характеристик солнечных батарей с целью определения создания и построения вольт – амперной характеристики.

Модель солнечного элемента (СЭ) можно описать аналитически, либо множеством экспериментально снятых точек вольт-амперной характеристики (ВАХ). Эти множества точек можно экстраполировать для условий работы солнечного элемента (температура, освещенность и др.), для которых отсутствуют экспериментальные данные. Модели с распределенными параметрами, не пригодны для практического анализа работы солнечного элемента, так как параметры солнечного элемента изменяются с изменением температуры и освещенности, что затрудняет измерение параметров во всех диапазонах. Модели с сосредоточенными параметрами нашли наибольшее распространение для достижения наиболее точных результатов [1]. Эквивалентная схема СЭ описывается уравнением и представлена на рисунке 1:

$$I_H = I_{K3} - I_0\left(e^{\frac{e(U+I_H R_П)}{AkT}} - 1\right) - \frac{U}{R_Ш}, \quad (1)$$

где *I*кз – фототок или ток короткого замыкания СЭ; *I*н – ток нагрузки; I_0 -ток насыщения; *R*п, *R*ш – соответственно последовательное и шунтирующие сопротивление СЭ;

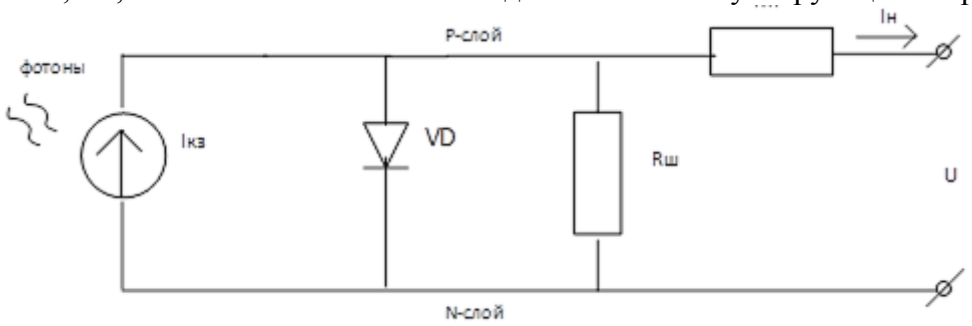


Рисунок 1. Эквивалентная схема солнечного элемента для постоянного тока.

Однако для упрощения расчетов, в том случае, когда все модули соединены последовательно была разработана упрощенную модель, которая описывает поведение модуля в рабочей точке и дает очень низкий уровень погрешности при расчете мощности, полученной от каждого модуля. В этой системе уравнений напряжение зависит от трех параметров, которые изменяется при варьировании температуры и освещенности:

$$U = (I_{K3} - I) \cdot R_Ш \quad (2)$$

$$U = a + b \cdot I + c \cdot I^2 \quad (3)$$

$$U = Uxx - Rп \cdot I \quad (4)$$

где *I, U* – соответственно значение тока и напряжения в рабочей точке; *U*xx – напряжение холостого хода; *a,b,c* – коэффициенты, определяемые изменением температуры и освещенности

Также данная модель расчета может быть полезной при частичном затемнении модуля и позволяет легко прослеживать колебания температуры и изменение освещенности [2].

Так как в этой системе уравнений напряжение является явной функцией, то квадратичная зависимость тока дает нам информацию об изменении точки максимальной мощности.

Упростив систему, определим максимальные значения тока и напряжения в данной точке:

$$I_m = \frac{b}{3 \cdot c} \cdot \left(\sqrt{1 - \frac{a/b}{1/3 \cdot b/c}} - 1 \right) \quad (5)$$

$$V_m = \frac{2}{3} \cdot a + \frac{b}{3} \cdot I_m \quad (6)$$

Эти данные дают информацию о потерях энергии, которые могут быть вызваны изменением условий.

Данный подход позволяет сравнить ожидаемую и рабочую мощность и сделать вывод о функционировании как одного модуля, так и всей фотовольтаической системы в целом.

Литература

1. M.J. Sáenz, V. Martínez and J.C.. Jimeno, “Theoretical analysis of sorting and series connection of solar cells”. 19-ая Европейская выставка-конференция по фотовольтаике (19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition), стр. 344-347. Париж, 2004.
2. S. Silvestre, A. Boronat and A. Chouder, “Study of bypass diodes configuration on PV modules”. Applied Energy 86, стр.1632-1640, 2009.

УДК 620.9

ЭФФЕКТЫ СОЕДИНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Власенко Е.О.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

Данная статья посвящена исследованию эффектов соединения элементов фотоэлектрического модуля и последствиям несоответствия их параметров на вольт – амперную характеристику.

Эффекты соединения солнечных элементов

Кристаллический модуль состоит из нескольких отдельных солнечных элементов, практически всегда соединенных последовательно (рис.1), что позволяет увеличить напряжение и выходную мощность по сравнению с одним солнечным элементом. Чаще всего напряжение модуля делают так, чтобы он соответствовало напряжению батареи 12 *В*. Напряжение отдельного солнечного элемента при 25 *°С* и атмосферной массе 1.5 составляет около 0.6 В. Учитывая тот факт, что производительность солнечных элементов уменьшается при увеличении температуры, а для аккумулятора может потребоваться напряжение 15 В, большинство модулей включают в себя 36 элементов, соединенных последовательно. Такой модуль вырабатывает напряжение 21 В при стандартных условиях тестирования и рабочее напряжение равное 17 - 18 В при максимальной мощности и температуре. Избыточное напряжение необходимо, чтобы компенсировать падение напряжения на других элементах фотоэлектрической системы и работу не в точке максимальной мощности из-за уменьшения интенсивности излучения.

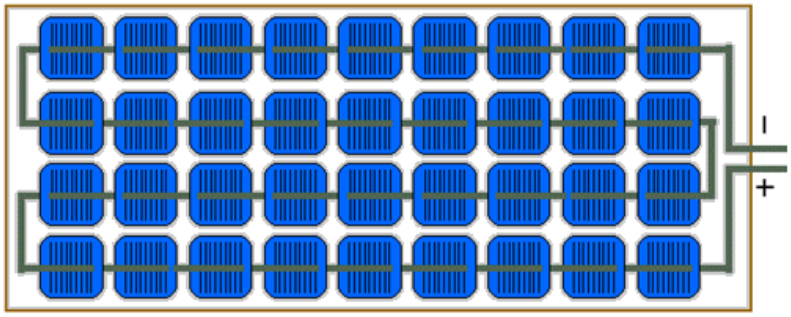


Рисунок 1 Последовательное соединение 36 элементов в фотоэлектрическом модуле.

Тогда как напряжение фотоэлектрического модуля определяется количеством солнечных элементов, вырабатываемый им ток зависит от размера солнечных элементов и их эффективности. Для атмосферной массы 1.5, при оптимальном угле наклона плотность тока, вырабатываемой солнечными элементами равна примерно 30 – 36 мА/см×см. Обычно монокристаллические солнечные элементы имеют площадь 100 см×см, и дают ток примерно равный 3.5 А [1]. Стоит отметить, что ток, вырабатываемый в модуле, не зависит от температуры, как напряжение, но в то же время он сильно зависит от угла наклона модуля по отношению к солнцу.

Однако на практике часто сталкиваются с эффектом несоответствия, который вызван соединением в одном модуле элементов с различными свойствами или работающими в различных условиях. Несоответствие является серьезной проблемой для фотоэлектрического модуля, так как выходные параметры модуля в плохих условиях определяются характеристиками солнечного элемента с самым низким выходом. Иными словами, когда на один из элементов модуля падает тень, мощность, вырабатываемая остальными элементами, может рассеяться на «плохом» элементе, что в свою очередь приведет к уменьшению полезной нагрузки и рассеянию большого количества электрической мощности на малом

участке, в результате чего на нем значительно возрастет температура и вероятность необратимого повреждения.

Затенение части модуля и отличие параметров (тока короткого замыкания или напряжения холостого хода) одного из солнечных элементов в модуле от остальных являются существенными проблемами, вызывающими несоответствие характеристик элементов в модуле. Различие между неидеальной и идеальной вольт-амперными характеристиками (ВАХ) представлено ниже.

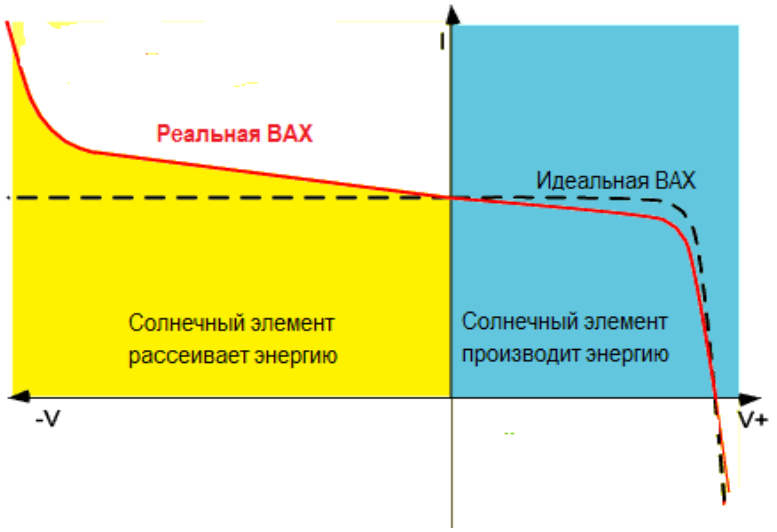


Рисунок 2 - Сравнение идеального и реального солнечных элементов

Несоответствие последовательно соединенных элементов. Наиболее часто встречаемым видом соединения фотоэлектрических элементов в модуле является последовательное и зачастую данное соединение может вызвать некоторые несоответствия[2]. Два наиболее распространенных – это несоответствие тока короткого замыкания и напряжения холостого хода, которые значительно влияют на эффективность функционирования модуля.

Несоответствие напряжения холостого хода (Uxx) для последовательно соединенных элементов.

Как показано на следующем рисунке в точке короткого замыкания общий ток модуля остается неизменным, однако мощность модуля в точке максимальной мощности уменьшается из-за более низкой производительности «плохого» солнечного элемента[3]. Поскольку два элемента подключены последовательно, через них течет одинаковый ток и результирующее напряжение можно вычислить, если сложим напряжения на двух элементах.

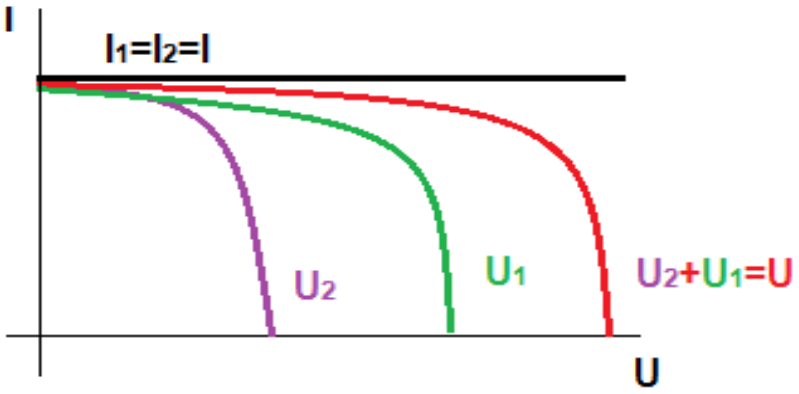


Рисунок 3 - Несоответствие напряжения холостого хода (*U*xx)

Несоответствие тока короткого замыкания у элементов, соединенных последовательно.

Как изображено на рисунке ниже, в точке напряжения холостого хода влияние снижения тока короткого замыкания относительно не велико, так как оно логарифмически зависит от тока короткого замыкания. Однако, так как ток, текущий через два элемента, должен быть одним и тем же, суммарный ток не может превышать ток от плохого элемента. Поэтому ток от двух элементов не может быть больше, чем ток короткого замыкания плохого элемента.

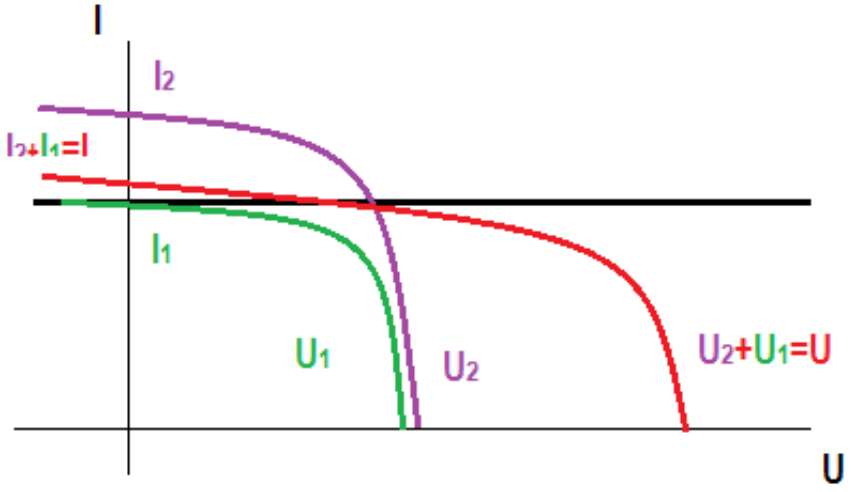


Рисунок 4 - Несоответствие тока короткого замыкания (*I*кз)

В общем и целом, несоответствие тока и напряжения при последовательном соединении может вызвать значительное падение вырабатываемой мощности из-за высокого рассеяния энергии в плохом элементе, что, в свою очередь, приводит к необратимым разрушениям в модуле.

Литература

1. Luque, St. Hegedus, “Handbook of Photovoltaic Science and Engineering”. Applied Energy 86, стр. 1179, 2003.
2. Karatepe E, Boztepe M, Çolak M. Development of a suitable model for characterizing photovoltaic arrays with shaded cells. Solar Energy 2007;81: 977–92.
3. Silvestre S, Chouder A. Effects of shadowing on photovoltaic module performance. Programme Photovoltaics: Res Appl 2008;16:141–9.

УДК 621.311.6.03

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Лавринович А.А.
Научный руководитель – старший преподаватель Колосова И.В.

Главная задача любой системы учета – доставить информацию об энергопотреблении от объекта учета через прибор учета (счетчик) в центр сбора и обработки данных энергосистемы (либо другого заказчика). Автоматизированные системы контроля и управления энергопотреблением (АСКУЭ) − это комплекс технических и программных средств, предназначенных для организации автоматического учета электроэнергии и автоматизированного управления процессом энергопотребления. Особенность последних разработок в этой области состоит в том, что предлагается полностью отказаться от устаревших систем, использующих импульсные последовательности и любые устройства сбора и передачи данных (УСПД) или другие интеллектуальные дорогостоящие контроллеры.

Цифровой счетчик является интеллектуальным прибором, обеспечивающим сбор, накопление и хранение информации об энергопотреблении. Фактически, это специализированный микрокомпьютер со своей операционной системой, системой ввода/вывода и энергонезависимой памятью.

Цифровые АСКУЭ (рис. 1) очень удобны для использования на объектах энергосистем (подстанции, электростанции), а также для использования на промышленных предприятиях, в коммунальной сфере. Они очень просты для установки и настройки, по своим ценовым характеристикам цифровые системы в настоящее время стоят дешевле устаревших импульсных (даже с учетом замены старых устаревших индукционных счетчиков на цифровые микропроцессорные). Цифровые системы легко масштабируются при необходимости до требуемых размеров. В настоящее время инвестиции в цифровые технологии учета гораздо более предпочтительнее инвестиций в аналоговые или дискретные на базе УСПД и импульсных приборов.

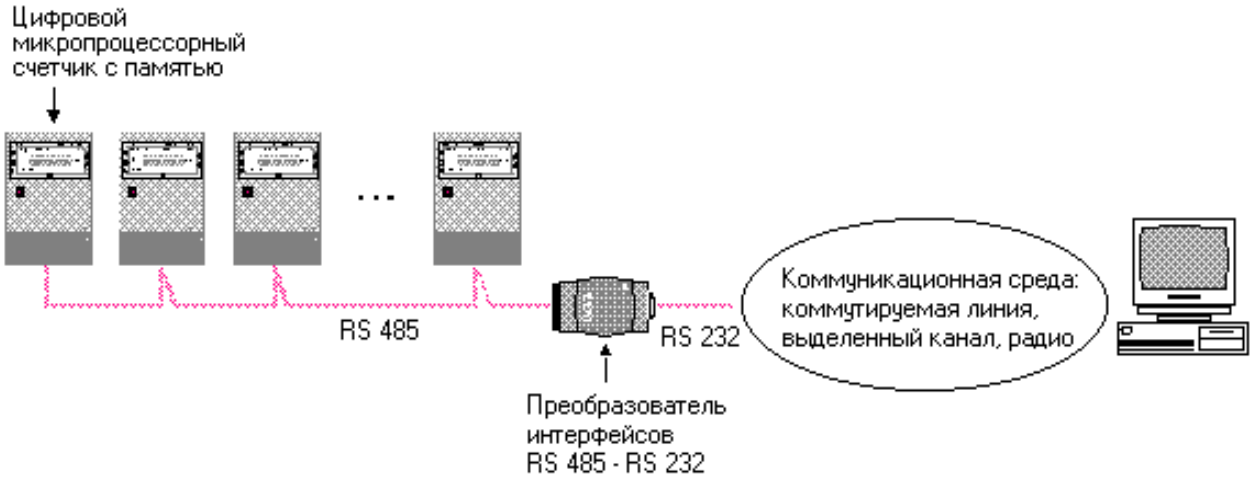


Рисунок 1. Обобщенная схема цифровой АСКУЭ

Сбор данных от счетчиков осуществляется следующим образом:

1) PLC (Power Line Communication) – это система, которая для передачи данных использует распределительную электросеть напряжением 0,4;

2) интерфейс RS-485. В качестве канала связи используется выделенный кабель (типа витая пара), которым объединяются все счетчики, входящие в АСКУЭ и этим же кабелем подключаются к диспетчерскому компьютеру;

3) радиосвязь (используется радиомодем для построения двухсторонних каналов связи между счетчиками электроэнергии и компьютером).

АСКУЭ решает следующие задачи:

1) комплексный автоматизированный коммерческий и технический учет электроэнергии и энергоносителей по действующим тарифным системам, по всем параметрам энергоучета (для электроэнергии - по расходу и мощности, для энергоносителей - по количеству и расходу среды, по количеству и расходу тепла со средой, по давлению и температуре среды энергоносителя) с целью производства внешних и внутренних расчетов по энергоресурсам и обеспечения их рационального расхода;

2) контроль энергопотребления по всем энергоносителям, точкам и структурам учета в заданных временных интервалах (3;30 минут, зоны, смены, сутки, декады, месяцы, кварталы и годы) относительно заданных лимитов, режимных и технологических ограничений мощности, расхода, давления и температуры с целью экономии энергоресурсов и обеспечения безопасности энергоснабжения;

3) фиксация отклонений контролируемых величин энергоучета и их оценка в абсолютных и относительных единицах с целью облегчения анализа энергопотребления;

4) сигнализация (цветом, звуком, распечаткой) отклонений контролируемых величин сверх допустимого диапазона значений с целью принятия оперативных решений;

5) предоставить возможность создания технологических мнемосхем, с отображением на них информации реального времени;

6) проведение анализа энергопотребления с целью разработки и эффективного внедрения организационных и технических мероприятий, направленных на рациональное использование энергоресурсов.

По назначению АСКУЭ предприятия подразделяют на системы коммерческого и технического учета. Коммерческим, или расчетным учетом называют учет выработанной и отпущенной потребителю (предприятию) энергии для денежного расчета за нее (соответственно приборы для коммерческого учета называют коммерческими, или расчетными). Исходя из структуры предприятия, существует ряд требований по применимости коммерческого и технического учетов в общей картине энергоучета.

Ресурсы, поступающие извне, должны быть подвергнуты коммерческому учету, так как за них производится расчет. Трансформаторная подстанция ТП 110/10 кВ, РП, ГПП являются центральным звеном в системе электроснабжения завода: сюда, извне, поступает электроэнергия и именно к этой подстанции подключены все абоненты. Именно поэтому, это звено должно быть подвергнуто строгому коммерческому учету. Часть электроэнергии отдается независимым субабонентам, которые не являются внутренними объектами предприятия. В связи с этим, для точных расчетов на этом участке, нужна система коммерческого учета. Расход газа, пара, горячей воды также должен быть строго проконтролирован с помощью коммерческой системы учета.

Коммерческий учет консервативен, имеет устоявшуюся схему энергоснабжения, для него характерно наличие небольшого количества точек учета, по которым требуется установка приборов повышенной точности, а сами средства учета нижнего и среднего уровня АСКУЭ должны выбираться из государственного реестра измерительных средств. Кроме того, системы коммерческого учета в обязательном порядке пломбируются, что ограничивает возможности внесения в них каких либо оперативных изменений со стороны персонала предприятия.

Техническим, или контрольным учетом называют учет для контроля процесса энергопотребления внутри предприятия по его подразделениям и объектам (соответственно используются приборы технического учета). Нужна четкая картина затрат энергии вплоть до самого мелкого звена. Именно поэтому система учета должна охватывать все цеха и рабочие места заводских корпусов.

Требования, предъявляемые к АСКУЭ:

1. количество точек технического учета – около 300;

2. количество точек коммерческого учета – около 100;
3. дальность связи 1 – 2 км;
4. совместимость с приборами: счетчик количества тепла SKU–02, счетчик пара Endress+Hauser, электросчетчик “Гран–Электро СС 301”, счетчик газа RVG – ЕК/88К.

Использование АСКУЭ приводит к экономии энергоресурсов и финансов предприятия при минимальных начальных денежных затратах. Величина экономического эффекта от использования АСКУЭ достигает по предприятиям в среднем 10-15 процентов от годового потребления энергоресурсов, а окупаемость затрат на создание АСКУЭ происходит за 2;3 квартала.

Для технического учета можно устанавливать в целях экономии средств, приборы пониженной точности, причем выбор этих приборов не обязательно должен делаться из госреестра. Отсутствие пломбирования приборов “Энергосбыт“ позволяет службе главного энергетика предприятия оперативно вносить изменения в исходные данные установленных приборов в соответствии с текущими изменениями в схеме энергоснабжения предприятия.

В настоящее время практически на всех крупных предприятиях страны наблюдаются значительные административные, структурные и технические изменения, связанные с прогрессом в области информационно-сетевых и энергоресурсосберегающих технологий с вложением значительных средств в техническое перевооружение предприятий.

В частности, АСКУЭ “ПолиГран”, созданная компанией «АГАТ», разработана с учетом принципа независимой конфигурации, таким образом, ее установка возможна на любом предприятии. Благодаря принципу модульности, система может работать с любым прибором учета и любым энергоресурсом при подключении соответствующих модулей. Кроме функций энергоучета, в АСКУЭ “ПолиГран” встроен редактор технологических мнемосхем, что позволяет значительно увеличить наглядность и удобство работы для персонала.

Программный модуль учета электрической энергии обеспечивает:

1. учет активной и реактивной энергии по тарифным зонам суток;
2. учет потребляемой мощности (получасовой и трехминутный);
3. контроль нормируемых параметров электрической сети;
4. контроль нештатных ситуаций в электрической сети и в электрических счетчиках;
5. контроль параметров качества электроэнергии;
6. автоматическое ведение журналов расчета баланса энергоиспользования за сутки, декаду, месяц, квартал, год;
7. учет графиков ограничения и аварийного отключения потребителей электрической энергии и мощности;
8. возможность построения мнемосхем энергоснабжения предприятия;
9. возможность подключения счетчиков по интерфейсам RS-485, RS-232, оптическому порту и модемным линиям.

На сегодняшний день АСКУЭ предприятия является тем необходимым механизмом, без которого невозможно решать проблемы цивилизованных расчетов за энергоресурсы с их поставщиками, непрерывной экономии энергоносителей и снижения доли энергозатрат в себестоимости продукции предприятия, переход предприятий на многотарифное обслуживание.

НАДЕЖНОСТЬ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА

Кузьма А.Ю., Михайлова Я.В.
Научный руководитель – старший преподаватель Сацукевич В.Н.

Современные производители светодиодных светильников утверждают, что срок службы таких приоров составляет порядка 50000 часов, что при малом энергопотреблении и прочих достоинствах делает их весьма выгодными. Однако со временем интенсивность свечения светодиодов снижается, поэтому при расчете надежности необходимо учитывать температурные условия работы светильника.

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). Из [1,2,3] принимаем значения λо для элементов схемы (Рисунок 1) и сводим их в таблицу 1.

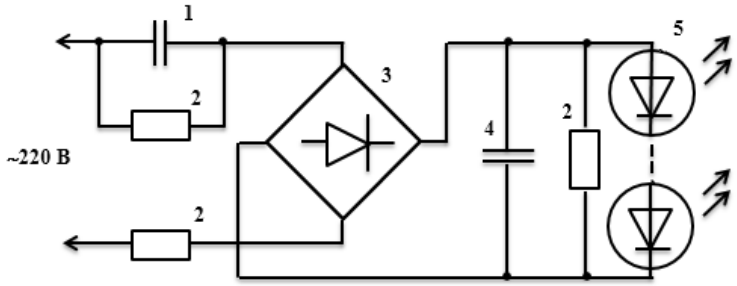


Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства простейшего светодиодного светильника, где 1 – балластный конденсатор *C*1; 2 -резисторы *R*1- 3; 3 – выпрямитель, собранный на диодах VD1-VD4; 4 – электролитический конденсатор *C*2; 5 - светодиоды *HL*1-*HL*27.

Таблица 1 – Справочные значения интенсивности отказов элементов:

Элемент:	*R*1-3	*C*1	*C*2	*VD*1-4	*HL*1-27
λо·10^{-6}, $ч^{-1}$	0,044	0,022	0,173	0,21	0,034

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 [1]:

$$\lambda_э = \lambda_0 \prod_{i=1}^{m} K_i .$$

m – количество факторов, принятых во внимание из числа влияющих на безотказность элементов; K_i – поправочный коэффициент, учитывающий влияние *i*-го фактора (*Kp*- учитывает значение мощности рассеивания в рабочем режиме; K_t - учитывает значение температуры элемента; *К*ф- учитывает функциональное назначение ИМС; *К*д- учитывает максимально допустимую нагрузку по мощности (току); *Ku* - учитывает отношение рабочего напряжения к максимально допустимому; *Кс* - учитывает значение номинальной емкости; K_R - учитывает значение номинального сопротивления).

Для элементов схемы модель для расчета эксплуатационной интенсивности отказов будет иметь вид:

$$R1\text{-}R3:\ \lambda_э = \lambda_0 K_р K_R K_M K_Д K_Э K_П;$$
$$C1 - C2:\ \lambda_э = \lambda_0 K_р K_C K_Э K_П;$$
$$VD1\text{-}VD4:\ \lambda_э = \lambda_0 K_р K_Ф K_t K_Д K_U K_Э K_П;$$

HL1-HL27: $\lambda_э = \lambda_0 K_р K_Ф K_t K_Д K_U K_Э K_П$;

В таблице 2 сведены значения поправочных коэффициентов *K*

Таблица 2 – Значение поправочных коэффициентов, учитывающих влияние *i*-го фактора

	Кр	*Kt*	*Кф*	*Кд*	*Ки*	*Кс*	K_R	*Км*	$K_Δ$	*Кэ*	*Кп*
R1-3	1,03	-	-	-	-	-	2	1,7	1	3	5
C1	0,12	-	-	-	-	0,389	-	-	-	3	5
C2	0,12	-	-	-	-	0,2	-	-	-	3	5
VD1-4	0,26	1	1,5	0,6	0,7	-	-	-	-	3	8
HL1-27	0,26	1	1	0,6	0,7	-		-	-	3	8

В таблице 3 представлены результаты расчетов эксплуатационной интенсивности отказов элементов схемы при заданных поправочных коэффициентах K_i

Таблица 3 – Результаты расчетов эксплуатационной интенсивности отказов элементов срасчетной схемы

Элементы схемы	*n*	ПK_i	$\lambda_{эj}$	$\lambda_{эj} n_j \cdot 10^{-6}$
R1-3	3	52,53	2,31132	6,93396
C1	1	0,700976	0,015421	0,015421
C2	1	0,36	0,06228	0,06228
VD1-4	4	3,9312	0,825552	3,302208
HL1-27	27	2,6208	0,089107	2,405894

Суммарная интенсивность отказов устройства: $\Lambda_э = \sum_{i=1}^{N} \lambda_{эi} n_i$

Наработка на отказ: $T_0 = \frac{1}{\Lambda_э}$;

С точки зрения надежности элементы электрической схемы соединены последовательно, следовательно, отказ всей схемы происходит при отказе хотя бы одного элемента.

Вероятность безотказной работы при экспоненциальном законе надежности элементов за время $t_p = 50000$ ч рассчитывается по формуле: $P(t_p) = e^{\frac{-t_p}{T_0}}$.

Результаты расчетов показателей безотказной работы представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчетные значения показателей безотказной работы

$\Lambda_э$, ч$^{-1}$	12,71976
T_0, ч	78617,81
P	0,529412

Полученные значения верны при температуре *p-n* перехода равной 25°*C*, что на практике недостижимо. В условиях эксплуатации эта температура значительно выше, что приведет к снижению излучательной способности. Для светодиодов при повышении температуры от 25 до 125°*C* интенсивность свечения снижается примерно до уровня 70% от номинала. Обычно светодиодные светильники проектируют так, чтобы температура перехода в рабочем режиме не превышала 80°*C* [4].

Для учета влияния температуры *p-n* перехода на надежность вводится коэффициент K_t, значение которого определяется по формуле:

$$K_t = e^{-B_a \left(\frac{1}{T_П + 273} - \frac{1}{298}\right)};$$

где *Т*п –температура *p-n* перехода; *Ba* – коэффициент; *Ba =3091*.

Пересчет значений показателей безотказной работы будет произведен для четырех значений рабочих температур *p-n* перехода, результаты расчета сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты расчета показателей безотказной работы для различных значений температур *p-n* перехода.

Тп, °С	25	50	80	100
K_t	1,0000	2,3100	5,0335	8,0496
$\Lambda_э$, $ч^{-1}$	12,7198	19,7512	35,7432	52,9595
T_0, ч	78617,81	50629,84	27977,34	18882,36
P	0,529412	0,372484	0,167435	0,070794

На основании расчетов можно сделать вывод о том, что увеличение температуры в области *p-n* перехода полупроводниковых элементов существенно снижает надежность светодиодного светильника, поэтому при проектировании и выборе оборудования нужно уделаять особое внимание разработке грамотной системы теплоотвода, чтобы обеспечить максимальный срок службы светильника.

Литература

1. Боровиков С.М. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств/ С.М. Боровиков, И.Н. Цырельчук, Ф.Д, Троян – Минск: БГУИР, 2010. -68 с.: ил.

2. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники/ Б.Р. Левин – М.: Радио и связь,1989 – 656с.: ил.

3. Козлов Б.А. Справочник по расчету надежности апаратуры радиоэлектроники и автоматики/ Б.А, Козлов, И. А. Ушаков – М. “Советское радио”, 1975 – 472с.

4. Обзор светодиодной продукции [Электронный ресурс] URL: http://www.svet-diod.com (дата обращения 10.04.2015)

УДК 621. 311

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ МГ12

Никитин С.С.
Научный руководитель – Прокопенко Л.В.

В основе разработанной специалистами Минского электротехнического завода им. В.И. Козлова новой серии трансформаторов ТМГ12 сохранены лучшие качества трансформаторов серий ТМГ и ТМГ11, а также ряд инноваций: передовые инженерные решения, усовершенствованная методика расчета, использование технологического оборудования и комплектующих ведущих мировых производителей. Все вместе позволило обеспечить высокие потребительские свойства нового трансформатора ТМГ12 .

Трехфазные масляные трансформаторы ТМГ12 предназначены для преобразования электроэнергии в сетях энергосистем и потребителей электроэнергии в условиях наружной или внутренней установки умеренного (от плюс 40 до минус 45 °*С*) или холодного (от плюс 40 до минус 60 °*С*) климата. Номинальная частота 50 Гц, регулирование напряжения осуществляется в диапазоне до ± 5% на полностью отключенном трансформаторе (ПБВ) переключением ответвлений обмотки ВН ступенями по 2,5 %.

Для измерения температуры верхних слоев масла и управления внешними электрическими цепями трансформаторы по заказу потребителя комплектуются манометрическим сигнализирующим термометром.

Для контроля внутреннего давления в баке и сигнализации, в случае превышения им допустимых величин, в трансформаторах, размещаемых в помещении, предусматривается по заказу потребителя установка электроконтактного мановакуумметра.

Для измерения температуры верхних слоев масла на крышке трансформаторов предусмотрена гильза для установки жидкостного стеклянного термометра.

Для измерения температуры верхних слоев масла и управления внешними электрическими цепями трансформаторы мощностью 1000 и 1250 кВА по заказу потребителя комплектуются манометрическим сигнализирующим термометром.

К преимуществам трансформаторов ТМГ-12 относятся:

1. Энергоэффективность

Трансформаторы серии ТМГ12 имеют самый низкий уровень потерь холостого хода и короткого замыкания из всех серийно выпускаемых в СНГ трансформаторов аналогичного назначения. Эта особенность становится важным аргументом в пользу использования ТМГ12 для снижения потерь электроэнергии, что в свою очередь позволяет существенно уменьшить затраты в процессе эксплуатации оборудования.

2. Улучшенные шумовые характеристики трансформаторов позволяют расширить область их применения

3. Ввод нейтрали обмотки НН рассчитан на продолжительную работу с номинальным током, что соответствует последним требованиям МЭК и значительно повышает надежность трансформаторов при несимметричных нагрузках.

4. Герметичное исполнение в сочетании с глубокой предварительной дегазацией трансформаторного масла и его заливкой под глубоким вакуумом обеспечивает высокую электрическую прочность главной и продольной изоляции.

5. Не требуются испытания масла и, следовательно, отбор его проб, как при хранении, так и при вводе в эксплуатацию.

6. Не требуют обслуживания в процессе хранения и эксплуатации на протяжении всего срока службы.

7. Срок службы — не менее 25 лет. Гарантия - 5 лет с даты выпуска на трансформатор.

На основе каталожных данных, предоставляемых заводом, проведем сравнение потерь активной мощности ΔP_{xx} и $\Delta P_{кз}$ для различных типов трансформаторов мощностью 1000 кВ·А

Таблица 1. Сравнение потерь активной мощности ΔPхх и ΔPкз для различных типов трансформаторов мощностью 1000 кВ·А

Тип	ТМГ12-1000/10	ТМГ11-1000/10	ТМГ-1000/10	ТМГ21-1000/10	ТМ-1000/10	ТМЗ-1000/10
ΔPхх, кВт	1,1	1,4	1,6	1,2	2,1	1,9
ΔPкз, кВт	10,5	10,8	10,8	11,6	12,2	10,8

Как видно из таблицы, трансформатор ТМГ12 по данным показателям существенно лучше других моделей. В частности по ΔPхх сокращение потерь доходит до 47%, а по ΔPкз до 14% в сравнении с ТМ-1000/10.

На современных предприятиях часто устанавливают ТП с двумя трансформаторами. Рассмотрим использование трансформаторов ТМГ12 в данной ситуации. Для сравнения с другими видами трансформаторов будем использовать параметр Sг – граничной мощности, при которой целесообразно отключать один трансформатор с целью снижения потерь.

Расчет проведем для трансформаторов мощностью 1000 кВ·А.

Воспользуемся формулой для расчета граничной мощности:

$$S_Г = S_Н \sqrt{\frac{2\Delta P_{хх}}{\Delta P_{кз}}} \qquad (1)$$

Для примера приведем расчет граничной мощности для трансформатора ТМГ12:

$$S_Г = S_н \sqrt{\frac{2\Delta P_{хх}}{\Delta P_{кз}}} = 1000 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}1}{10{,}5}} = 457{,}74 кВ \cdot А$$

Результаты расчетов для остальных типов трансформаторов сведем в таблицу:

Таблица 2. Расчет граничной мощности для трансформаторов различных типов

Тип	ТМГ12-1000/10	ТМГ11-1000/10	ТМГ-1000/10	ТМГ21-1000/10	ТМ-1000/10	ТМЗ-1000/10
Sг, кВ*А	457,74	509,18	544,33	454,86	586,74	593,17

Как видно из результатов расчетов, трансформатор ТМГ12 1000/10 имеет практически одинаковое значение граничной мощности с более новым ТМГ21 1000/10.

Подводя итог, можно сказать, что трансформатор ТМГ12 является экономичным в плане потерь, что позволяет существенно уменьшить затраты в процессе эксплуатации.

УДК 621.06

АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

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

В настоящее время автоматизация глубоко внедрилась в промышленность, транспорт, сельское хозяйство, оборонную технику, быт. Широко распространенными элементами автоматики и телемеханики являются электрические машины малой мощности (от долей до 600 ватт), которые принято называть электрическими микромашинами (ЭМ).

По мере развития вычислительных техники и других компактных средств обработки и представления информации электрические микромашины требуют совершенствования, поскольку в они уже часто сдерживают повышение качественных показателей приборов, а в следствие технологического процесса. Особенно необходимо повышать ресурс микромашин, снижать потребление энергии и тепловыделение, уменьшать массу и габариты, снижать уровень акустических шумов, массу и габариты, увеличивать быстродействие и т.д.

Асинхронные микромашины (АММ), как наиболее распространённый тип микромашины, удовлетворяют требованиям большинства электроприборов и аппаратов, отличаясь низкой стоимостью и уровнем шума, высокой надежностью, не требуют ухода и не содержат подвижных контактов.

Асинхронные микродвигатели с короткозамкнутым ротором, как трехфазные, так и однофазные (с пусковым и рабочим фазосдвигающим элементом; с экранированными полюсами), являются самыми распространенными типами.

Асинхронные микродвигатели применяются в качестве измерительный устройств (датчики момента, резольверы, тахогенераторы), в качестве исполнительных электродвигателей систем автоматики, миктрогенераторов.

Асинхронные микродвигатели имеют ряд преимуществ по сравнению с другими типами машин, в частности с коллекторными:

1) простота конструкции и низкая стоимость производства;
2) отсутствие источника радиопомех;
3) работа двигателя с малым шумом;
4) простота и надежность в эксплуатации.

К недостаткам асинхронных двигателей следует отнести относительно плохие регулировочные характеристики, что компенсируют при помощи частотного управления.

В трехфазном асинхронном двигателе трехфазная статорная обмотка подключена к источнику переменного тока. Статорные обмотки микродвигателя при этом могут быть соединены в треугольник или звезду. Роторная обмотка асинхронных двигателей выполняется в виде беличьей клетки, применяется на напряжения в диапазоне 36...380 В.

Для микродвигателей в большинстве случаев применяют прямой пуск, то есть непосредственное включение двигателя в сеть под номинальное напряжение. При таком способе пуска двигатель потребляет большой пусковой ток и развивает небольшой пусковой момент. Двигатели малой мощности обычно проектируют так, чтобы при непосредственном подключении обмоток статора к сети, возникающие пусковые токи не создавали чрезмерных электродинамических усилий и превышения температуры, опасных с точки зрения механической и термической прочности основных элементов двигателя.

Особенностью АММ является то, что: с увеличением нагрузки cosϕ возрастает и при номинальной нагрузке находится в пределах 0,6…0,8; коэффициент полезного действия обычно составляет 0,4…0,65.

Очень важным фактором является обеспечение устойчивой работы микромашины. Устойчивость зависит от конкретных условий эксплуатации, в частности от формы механической характеристики двигателя и приводимого им во вращение механизма. При этом под устойчивостью будем понимать способность двигателя восстанавливать

установившуюся скорость вращения при кратковременных возмущениях (напряжения питания, изменениях нагрузки и т.п.).

Рассмотрим условие равновесия моментов, приложенных к ротору двигателя

$$M = M_{CT} + J \cdot d\omega_2 / dt \ ,$$

где M – электромагнитный момент двигателя;

M_{CT} – статический момент нагрузки;

$J \cdot d\omega_2/dt$ – динамический момент, зависящий от момента инерции вращающихся масс J и ускорения ротора $d\omega_2/dt$.

При $M = M_{CT}$ $d\omega_2/dt = (M - M_{CT})/J = 0,$ (1)

то есть, ротор вращается с установившейся скоростью. Если $M > M_{CT}$, ротор будет ускоряться, а при $M < M_{CT}$ – замедляться.

На рисунке 1 для примера приведено несколько типичных механических характеристик механизмов. (1 – нагрузка с постоянным моментом, 2 – вентиляторная характеристика, 3 – нагрузка с постоянной мощностью.)

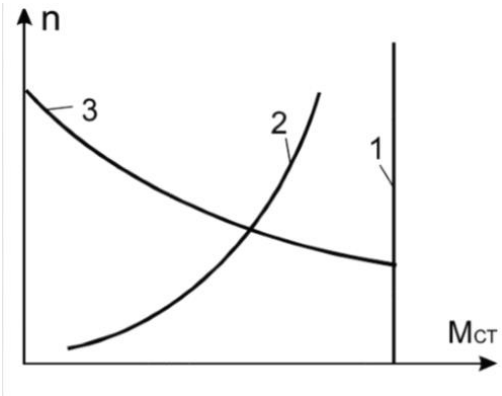


Рисунок 1. Механическая характеристика некоторых механизмов

Рассмотрим работу асинхронного двигателя на рисунке 2, приводящего во вращение механизм с падающей механической характеристикой (кривая 3 на рис 1).

В этом случае условие $M = M_{CT}$ выполняется в точках А и В при значениях скорости вращения n_A и n_B. В точке В при малейшем изменении момента нагрузки и возникающем в результате этого отклонения скорости вращения от установившегося значения появляется избыточный замедляющий или ускоряющий момент ± (M – M $_{CT}$), увеличивающий это отклонение. Например, при случайном увеличении момента, в соответствии с выражением (1), ротор двигателя начинает замедляться.

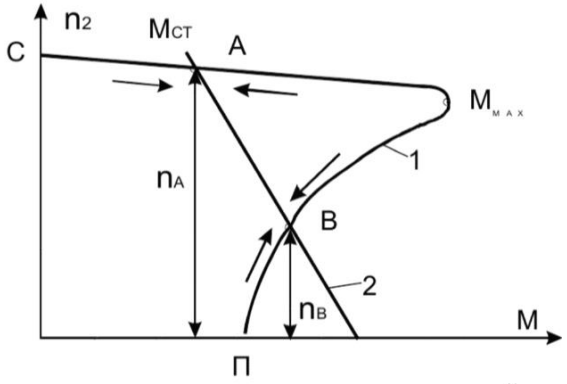


Рисунок 2. К определению статической устойчивости

В точке А режим работы двигателя будет устойчивым, так как при случайном увеличении момента M_{CT} и замедлении ротора электромагнитный момент двигателя M будет возрастать. Когда момент M станет равен новому значению M_{CT}, двигатель снова будет работать с установившейся, но несколько меньшей скоростью вращения.

Таким образом, асинхронный двигатель при работе на части С – M_{MAX} механической характеристики обладает свойством внутреннего саморегулирования, благодаря которому его вращающий момент автоматически регулируется по закону $M = M_{СТ}$. Регулирование осуществляется за счет увеличения или уменьшения скорости вращения ротора.

При работе двигателя с механизмом, имеющим так называемую вентиляторную характеристику (кривая 2 на рис. 1), устойчивая работа возможна и на части M_{MAX} – П механической характеристики, то есть при $S > S_{кр}$. Однако при этом в обмотках статора резко возрастают потери и резко снижается коэффициент полезного действия двигателя.

Большое значение для обеспечения устойчивой работы асинхронных двигателей имеет качество энергоснабжения. Вращающий момент асинхронного двигателя зависит от квадрата амплитуды питающего напряжения. Поэтому даже незначительное уменьшение напряжения сказывается на величине максимального момента, приводит к отклонению заданных параметров производства, а может вызвать и остановку двигателя.

Отклонение напряжения на 2% от номинального значения, приводит к увеличению погрешности на 4% бесконтактных датчиков построенных на асинхронных микромашинах.

На практике часто для работы от однофазной сети используют трехфазные двигатели. В этом случае для образования вращающегося магнитного поля (чаще эллиптического) используются обмотки всех трех фаз, в которых с помощью фазосдвигающих элементов создается обычно несимметричная трехфазная система токов.

С точки зрения надежности ЭММ, при их проектировании следует обратить внимание на:

а) правильный выбор коэффициента заполнения паза;

б) применение высококачественных смазок;

в) обеспечение достаточно жестких конструкций;

г) правильный выбор величины воздушного зазора, так как при малых воздушных зазорах даже при небольшой выработке подшипников появляется неравномерность воздушного зазора, что приводит к увеличению нагрузки на подшипники, усилению вибраций;

д) выбор качественных материалов и комплектующих изделий;

е) назначение обоснованных допусков и запасов для ограничения технологического разброса.

ж) правильный выбор обоснованных запасов по температуре нагревания обмоток, учитывающих возможность перегрузки и неточность тепловых расчётов.

Литература

1. Ю.В. Степановский «Преобразующие устройства приборов»
2. В.А. Лифанов «Электрические машины систем автоматики и бытовой техники»
3. Н.П. Ермолин «Электрические машины малой мощности»

УДК 621.311.16

КОНТРОЛЬ НАГРУЗКИ СИЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Самиев Ф.Х.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

В системах электроснабжения (СЭС) промышленных предприятий для питания электроприемников напряжением до 1 кВ применяются распределительные трехфазные трансформаторы, имеющие высшее напряжение равным напряжению распределительной сети (как правило, 6 - 10 кВ). Они имеют номинальную мощность $S_{ном} \leq 2500$ кВ·А, масляное или воздушное охлаждение и устройство переключения регулировочных ответвлений обмоток без возбуждения.

Будучи основными элементами трансформаторных подстанций (ТП) СЭС, трансформаторы играют важную роль в обеспечении электроэнергией промышленных объектов. От их надежной и экономичной работы зависит эффективность функционирования потребителей электроэнергии.

В то же время каждый силовой трансформатор имеет свой ресурс, т.е. срок эксплуатации, при превышении которого не гарантируется надежная и безопасная работа и требуется замена или капитальный ремонт трансформатора. В условиях эксплуатации на остаточный ресурс трансформатора в значительной степени влияет его режим нагрузки.

Для силового трансформатора установлены номинальный и допустимый режимы работы. В номинальном режиме в обмотках трансформатора протекает номинальный ток при номинальных значениях подведенного напряжения $U_{ном}$ и частоты $f_{ном}$. Допустимым режимом нагрузки трансформатора считается режим продолжительной нагрузки, при которой расчетный тепловой износ изоляции обмоток, не превосходит износ, соответствующий номинальному режиму работы [1].

В процессе эксплуатации силовых трансформаторов в СЭС могут возникать перегрузки. Под перегрузкой трансформатора понимается его такая нагрузка, при которой расчетный тепловой износ обмоток, соответствующий установившимся превышениям температуры, превосходит износ при номинальном режиме. В соответствии с ГОСТ 16110-82 различают допустимые систематические и аварийные перегрузки, величины и длительности которых установлены нормативными документами.

Допустимые систематические перегрузки не влекут за собой сокращения нормируемого срока службы трансформатора. Это ограниченная по длительности перегрузка, при которой расчетный износ изоляции за установленное время не превосходит износа за такое же время при номинальном режиме работы. При этом установленное время (обычно сутки) включает в себя длительности перегрузки, а также предшествующих и последующих нагрузок, которые меньше номинальной. Таким образом, тепловой износ в режиме систематической перегрузке компенсируется пониженным износом в нормальном режиме, при котором нагрузка меньше номинальной.

Допустимые систематические перегрузки трансформаторов определяются в соответствии с [2] или по эксплуатационным документам изготовителей. Для этого необходимо знать начальную нагрузку трансформатора в относительных единицах (коэффициент загрузки трансформатора), определяемую по формуле

$$K_1 = \frac{S_1}{S_{ном}} \quad \text{или} \quad K_1 = \frac{I_1}{I_{ном}} \quad , \tag{1}$$

где S_1 и I_1- соответственно полная мощность или ток начальной нагрузки (предшествующей перегрузке) трансформатора;

$S_{ном}$ и $I_{ном}$ – номинальная мощность или номинальный ток нагрузки трансформатора.

Перегрузка трансформатора, следующая за начальной нагрузкой, в долях номинальной мощности или номинального тока вычисляется по аналогичному выражению

$$K_2 = \frac{S_2}{S_{ном}} \quad \text{или} \quad K_2 = \frac{I_2}{I_{ном}} \ , \tag{2}$$

где S_2 и I_2- соответственно полная мощность или ток перегрузки трансформатора.
При этом номинальный ток трансформатора определяется по формуле

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном}}, \tag{3}$$

где $U_{ном}$- номинальное напряжение трансформатора.

Значения K_1 и K_2, как правило, определяются по упрощенному двухступенчатому суточному графику нагрузки трансформатора. Зная K_1, продолжительность перегрузки h (в часах) и температуру охлаждающей среды (воздуха) $\Theta_{охл}$, по таблице норм допустимых систематических нагрузок находят значение K_2 для силового масляного трансформатора.

Аналогично определяется допустимые аварийные перегрузки трансформаторов.

В соответствии с [3] для силовых трансформаторов устанавливается допустимая кратковременная аварийная перегрузка по току $\Delta I_{ка}$.и ее длительность $h_к$. Она не зависит от длительности и значения предшествующей нагрузки трансформатора и температуры окружающей среды (таблица 1) и вызывает повышенный тепловой износ витковой изоляции, что может привести к сокращению нормированного срока службы трансформатора.

Таблица 1-Зависимость допустимой длительности перегрузки от кратности перегрузки для трансформаторов

Масляные трансформаторы					
Перегрузка по току $\Delta Iка.$, %	30	45	60	75	100
Длительность перегрузки $hк$,мин	120	80	45	20	10
Сухие трансформаторы					
Перегрузка по току $\Delta Iка$, %	20	30	40	50	60
Длительность перегрузки, $hк$, мин	60	45	32	18	5

Численные зависимости $h_к$ от $\Delta I_{ка}$ установлены с большими интервалами. При промежуточных данных необходимо прибегать к линейной интерполяции, что не не всегда удобн на практике. Приближенную оценку $h_к$ при любых значениях $\Delta I_{ка}$ в диапазоне 30 – 100% для масляных трансформаторов и 20 – 60% - для сухих можно выполнять с помощью аппроксимирующих функций, рассчитанных по данным таблицы 1.

Для получения аппроксимирующих выражений использовалась компьютерная программа сглаживания экспериментальных зависимостей функции с двумя неизвестными параметрами, разработанная на кафедре «Электроснабжение» БНТУ. Программа позволяет выявлять связь между зависимой ($h_к$) и независимой ($\Delta I_{ка}$.) переменными для разного вида

функций (линейная, степенная, полином второй степени и др.). Наилучший вид зависимость выбирается по критерию минимума среднего квадрата ошибки σ^2. Результаты расчетов показали, что наиболее точное приближение дает аппроксимация квадратичным полиномом. Для маслонаполненных трансформаторов при значении ошибки σ = 1,67 мин аппроксимирующая функция имеет вид

$$h_к = 241{,}41 - 4{,}72\Delta I_{ка} + 0{,}023\Delta I_{ка}^2 . \quad (4)$$

Полином второй степени является лучшей сглаживающей функцией и для трансформаторов с сухой изоляцией (σ = 0,3 мин):

$$h_к = 89{,}8 - 1{,}54\Delta I_{ка} + 0{,}002\Delta I_{ка}^2 . \quad (5)$$

Перегрузки и несимметричные нагрузки вызывают перегрев и дополнительный тепловой износ, повреждение изоляции, витковые замыкания, увеличение потерь мощности и электроэнергии в трансформаторах, повышенные шумовые нагрузки. Перегрузки трансформаторов могут быть вызваны следующими причинами:

1) резко неравномерным графиком нагрузки трансформаторов по полной мощности;

2) отключением одного или нескольких трансформаторов, установленных на многотрансформаторных цеховых подстанциях, при их параллельной работе на общую нагрузку;

3) срабатыванием устройства автоматического включения резерва (АВР) на вторичном напряжении ТП, установленном на секционном автоматическом выключателе при раздельной работе трансформаторов;

4) автоматическим или ручным резервированием питания по сети напряжением до 1 кВ потребителей, получающих электроэнергию от однотрансформаторных подстанций;

5) выбором трансформаторов и других элементов СЭС по нагрузкам, найденным для устанавливаемого производственного оборудования по средним коэффициентам использования, без учета перспективных нагрузок;

6) ошибками, допущенными при определении расчетных нагрузок на шинах вторичного напряжения подстанций, числа и мощности трансформаторов, устанавливаемых на производственном объекте;

7) отказом конденсаторных установок или отключением их из-за перегрузок токами высших гармоник, что приводит к увеличению реактивной нагрузки и, следовательно, к перегрузке трансформаторов;

8) несимметричными режимами работы трансформаторов, вызванными присоединением мощных однофазных электроприемников и их неравномерным распределением по фазам;

9) высшими гармоническими составляющими тока при работе мощных электроприемников с нелинейными вольтамперными характеристиками;

10) затяжным пуском мощных электродвигателей, подключенных к сетям вторичного напряжения трансформатора и т.д.

Для эффективного электроснабжения промышленных предприятий в процессе эксплуатации электроустановок необходимо контролировать режимы силовых трансформаторов ТП напряжением 6-10/0,4 кВ с целью обеспечения их надежной и экономичной работы. Контроль технического состояния трансформатора способствует его безаварийной работе в течение всего срока службы.

Контроль режима работы трансформаторов осуществляется устройствами и аппаратами защиты, а также контрольно-измерительными приборами, установленными на ТП. Такими приборами являются амперметры, а также счетчики активной и реактивной энергии. У трансформаторов с постоянной нагрузкой перегрузку можно установить по амперметрам, у

трансформаторов с неравномерным графиком нагрузки – путем снятия суточного графика по току, что вызывает определенные трудности на практике.

В общем случае режим работы трансформатора оценивается по значениям тока, активной и реактивной мощности каждой из обмоток, а также по уровню напряжения на выводах трансформатора или на связанных с этими выводами шинах.

В анормальных режимах, представляющих опасность для трансформаторов, они должны автоматически отключаться. При повреждениях в самих трансформаторах и коротких замыканиях (КЗ) на линиях напряжением 6 - 10 кВ, к которым они присоединены, отключение производится выключателями, установленными на источниках питания. Отключение трансформатора может быть также при перегорании предохранителей выключателей нагрузки, установленных в цепи трансформатора на высшем напряжении.

При сверхтоках в сетях напряжением до 1 кВ отключаются автоматические выключатели, установленные на отходящих линиях или в цепи трансформатора. Перегрузка нейтрали трансформатора может возникнуть при несимметричной нагрузке и однофазном КЗ в электрических сетях с глухозаземленной нейтралью. Если происходит перегрузка нейтрали, то отключающий импульс при наличии выключателя нагрузки (ВН), установленного в шкафу высокого напряжения, передается на него, а при отсутствии ВН - на автоматический выключатель в цепи трансформатора.

Согласно правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей [3] в распределительных сетях напряжением до 20 кВ измерение нагрузок и напряжения трансформаторов в 1-й год эксплуатации производится не менее 2-х раз – в период максимальных и минимальных нагрузок, в дальнейшем – по необходимости. Таким образом, нормативными документами не предусмотрен систематический строгий контроль нагрузок распределительных трансформаторов. Поэтому в условиях эксплуатации невозможно определить допустимую систематическую перегрузку силовых трансформаторов в соответствии с требованиями [2] из-за отсутствия необходимой информации о нагрузке, предшествующей перегрузке, и о фактической температуре охлаждающей среды. В связи с этим при приближенной оценке допустимой перегрузки масляных трансформаторов исходят из того, что они могут быть перегружены на 40% при длительности послеаварийного режима 6 ч (минимальное время, необходимое для замены отказавшего трансформатора).

Для возможности реализации методики определения допустимой систематической перегрузки и допустимых аварийных перегрузок силовых трансформаторов с учетом конкретных исходных данных необходимо разработать алгоритм и компьютерную программу. Ее эффективное использование возможно лишь в составе математического обеспечения автоматизированной системы управления трансформаторной подстанции (АСУТП).

Выводы

1. Полученные в работе аппроксимирующие функции позволяют приближенно оценивать длительность допустимых перегрузок силовых масляных и сухих трансформаторов в зависимости от значений их перегрузок по току.

2. Объективная оценка перегрузочной способности силовых трансформаторов с учетом конкретных исходных данных может быть произведена на основе автоматизированного контроля режимов работы трансформаторов и расчетов, выполненных с использованием компьютерных технологий в рамках АСУТП.

Литература

1. ГОСТ 16110-82 - Трансформаторы силовые. Термины и определения

2. ГОСТ 14209-97 (МЭК 354-91). Руководство по эксплуатации силовых масляных трансформаторов.

3. ТКП 181-2009 (02230). Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.- Минск: Минэнерго,2009.-325с.

РАСЧЕТ СРОКА ОКУПАЕМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА БИОГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Павлович Е.М.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

С учетом растущего мирового дефицита и постоянного удорожания традиционных энергоносителей возникла острая необходимость их замещения местными и возобновляемыми видами топливно-энергетических ресурсов (далее – ТЭР).

Для Беларуси, импортирующей около 80 - 85 процентов всех ТЭР, первостепенной задачей является максимальное вовлечение в топливно-энергетический баланс местных видов топливно-энергетических ресурсов и возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ).

Рост доли местных и возобновляемых видов ТЭР в балансе котельно-печного топлива позволит уменьшить объемы импорта энергоносителей, а также придать дополнительный импульс развитию перспективных направлений в области энергетики. В результате не только сократится энергозависимость, но и за счет сохранения финансовых ресурсов внутри страны будет достигнут дополнительный экономический эффект (увеличение рабочих мест, создание новых высокотехнологичных производств, рост налогооблагаемой базы и другое).

Значимыми средствами в достижении поставленной цели являются:

1. строительство локальных биогазовых комплексов (далее – БГК) в сельхозорганизациях, занимающихся производством крупного рогатого скота (далее – КРС), свиней и птицы;
2. утилизация отходов водоочистных сооружений за счет создания биогазовых установок;
3. внедрение технологии утилизации барды с получением биогаза для использования в качестве топлива в котельных;
4. строительство станций очистки сточных вод с внедрением новых технологий для получения биогаза.

Экономическая эффективность строительства биогазовых комплексов обусловлена в первую очередь тремя основными составляющими: энергетической, экологической и агротехнической [3].

Как показывает мировая практика, достаточно дешевым и простым видом являются БГК, перерабатывающие отходы животноводства и растениеводства.

Беларусь является страной с хорошо развитым сельским хозяйством. Большое количество отходов растениеводства и животноводства несет значительный энергетический потенциал для развития БГК.

На конец 2014 г. численность КРС в сельскохозяйственных организациях республики составила 4321,1 тыс. голов, свиней – 3 266,9 тыс. голов, птицы – 40,0 млн. голов. [2]

Внедрение когенерационных установок электрической мощностью свыше 150 кВт технически возможно на фермах по выращиванию крупного рогатого скота с поголовьем не менее 720 голов, свинокомплексах и птицефабриках с поголовьем 6 тыс. голов и 90 тыс. голов соответственно.

Согласно «Национальной программе развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011-2015 годы» указанным условиям для внедрения когенерационных установок удовлетворяют 91 действующий комплекс по выращиванию КРС с общим поголовьем 348 тыс. голов, 284 планируемые к строительству в 2011 - 2015 годах молочнотоварные фермы на 241 тыс. голов, 106 свинокомплексов и 35 птицефабрик с общим поголовьем 2327 тыс. голов и 20065 тыс. голов соответственно.

Общий потенциальный объем замещения импортируемых энергоресурсов по объектам сельскохозяйственных организаций, в том числе предусмотренных к строительству, за счет внедрения биогазовых комплексов составляет 635,5 тыс. т.у.т. при установленной

электрической мощности когенерационных установок 269 МВт, что позволит вырабатывать порядка 6,5 % электроэнергии от общего потребления республики. [1]

Для обоснования внедрения биогазовых комплексов на территории Беларуси с целью повышения доли возобновляемых источников энергии в выработке тепловой и электрической энергии были произведены расчеты для определения срока окупаемости строительства БГК.

Простой срок окупаемости $Т_п$, лет:

$$Т_п = \frac{\sum_{i=1}^{n} k^i \times P_{уст}^i}{П_э + П_{пг} + П_{зв} + П_{уд} + П_{ур} + П_х + П_о - Z_р - Z_с - А_м - Н_с - Н_р},$$

где $к^i$- удельные капиталовложения в БГК с *i*-тым энергетическим оборудованием, долл./кВт установленной мощности;

$P^i_{уст}$ - установленная мощность биогазового комплекса с *i*-тым энергетическим оборудованием, кВт;

$П_э$ - приток денежных средств от продажи тепловой и (или) электрической энергии, долл./год;

$П_{пг}$ - приток денежных средств от продажи добровольных сокращений выбросов парниковых газов, долл./год;

$П_{зв}$ - снижение выплат экологического налога в связи с сокращением выбросов загрязняющих веществ, долл./год;

$П_{уд}$ - приток денежных средств от продаж разделенной твердой фракции в качестве удобрений, плодородных слоев почв и компостов, в случае наличия разрешения санитарно-эпидемиологических служб и наличия гарантированных покупателей удобрений, плодородных почв и компостов, долл./год;

$П_{ур}$ - прибыль от увеличения урожайности, долл./год;

$П_х$ - приток денежных средств за счет сокращения объемов вносимых в почву химических веществ, долл./год;

$П_о$ - приток денежных средств за счет сокращения объемов сбрасываемых стоков, снижения нагрузки на очистные сооружения, долл./год;

$Z_р$ - ежегодные отчисления на обслуживание и ремонт биогазового комплекса, энергетического оборудования, долл./год;

$Z_с$ - ежегодные затраты на закупку сырья для производства биогаза, долл./год;

$А_м$ - годовые амортизационные отчисления, долл./год;

$Н_с$ - налоги, относящиеся на себестоимость производимой продукции, долл./год;

$Н_р$ - налог на прибыль, долл./год.

В качестве примера рассмотрим срок окупаемости БГК, установленного на свиноводческом комплексе. Исходные данные для расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Исходные данные для расчета срока окупаемости БГК

Удельные капвложения в 1кВт установленной мощности БГК, долл	Вид отходов	Количество голов	Установленная электрическая мощность, кВт	Температурный режим метанового брожения биомассы
4000	Свиной навоз	10000	200	Термофильный

Расчеты показывают, что значение срока окупаемости БГК колеблется в широких пределах. Динамика изменения срока окупаемости зависит от различных составляющих дохода используемой продукции БГК и представлена в таблице 2.

Таблица 2 - Динамика изменения срока окупаемости БГК в зависимости от составляющих положительного денежного потока биогазового комплекса

Составляющие положительного денежного потока биогазового комплекса	Срок окупаемости БГК, лет*
Приток денежных средств от отпуска электрической энергии в государственные энергетические сети (75% от годового отпуска) без учета повышающих коэффициентов	18,30
Приток денежных средств от отпуска электрической энергии в государственные энергетические сети (75% от годового отпуска) с применением повышающих коэффициентов	9,74
Приток денежных средств от продажи добровольных сокращений выбросов парниковых газов	7,07
Снижение выплат экологического налога в связи с сокращением выбросов загрязняющих веществ	7,06
Приток денежных средств за счет продаж разделенной твердой фракции в качестве удобрений, плодородных слоев почв и компостов	6,02
Прибыль от увеличения урожайности	5,79
Приток денежных средств за счет сокращения объемов вносимых пестицидов и гербицидов	5,78
Приток денежных средств за счет сокращения объемов сбрасываемых стоков, снижения нагрузки на очистные сооружения	4,88
*При постоянной величине отчислений: $Z_p+Z_c+A_M+H_c+H_p=const$	

Большое значение для строительства БГК оказывает система государственной поддержи. Она включает гарантированное подключение к контролируемой государственной сети и приобретение государственными энергоснабжающими организациями всей предлагаемой энергии производимой ВИЭ, а также ее оплата по стимулирующим тарифам, что позволяет сократить в два раза срок окупаемости БГК. Расчеты показывают, что с ростом количества голов животных и как следствие мощности БГК, срок окупаемости уменьшается. С увеличением числа голов на свиноферме с 10000 до 100000, срок окупаемости уменьшается на 10 %.

В ходе комплексного использования продукции биогазовой станции, срок окупаемости составляет порядка 5-7 лет. В сфере строительства БГК за счёт большого числа факторов и условий каждый проект индивидуален, его повторное применение маловероятно.

Вывод

Строительство БГК на территории Беларуси является целесообразным и перспективным направления развития возобновляемых источников энергии. Об этом свидетельствует наличие больших запасов энергии биомассы, заключенной в высоком потенциале сельского хозяйства, а также экономическая эффективность ее использования, подтверждённая расчетами срока окупаемости.

Положительный эффект от строительства БГК на животноводческих комплексах позволит:

1. Увеличить прибыль за счет снижения затрат на покупку тепловой и электрической энергии;
2. Получить более экологичный энергоноситель, снизив антропогенную нагрузку на экосистемы;
3. Получить экологичное и высококачественное органическое удобрение, не содержащее семян сорняков;
4. Утилизировать и перерабатывать органические отходы;

5. На вновь строящихся фермах исключить огромные затраты на оплату технологического подключения к централизованным сетям;
6. Обеспечить бесперебойность электро- и теплоснабжения собственного производства;
7. Снизить ущерб от некачественной энергии, аварийного выхода из строя оборудования и недоотпуска продукции.

Литература

1. Постановление Совета Министров РБ 10 мая 2011г. № 586 «Об утверждении Национальной программы развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011-2015 годы»;
2. Статистический сборник национального статистического комитета РБ «Сельское хозяйство Республики Беларусь», 2014г.;
3. ТКП 17.02-05-2011 «Порядок расчета экономической эффективности БГК».