

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Е.А. Коршунов

Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого», Беларусь

Научный руководитель А.В. Овсянник

За последнее время заметно изменился облик научного эксперимента, и в экспериментальных исследованиях все большее внимание уделяется компьютерной оснастке экспериментальных лабораторных стендов. С помощью компьютерной техники и специализированных компьютерных программ можно значительно облегчить процесс получения и обработки экспериментальных данных.

На базе кафедры «Промышленная теплоэнергетика и экология» Гомельского государственного технического университета имени П.О. Сухого разработана и действует экспериментальная установка для исследования процессов теплообмена при кипении на неизотермических поверхностях (рис. 1). Набор экспериментальных данных, получаемых в результате проведения эксперимента, представляет собой множественные мгновенные значения температурных напоров, возникающих между точками характерных сечений поверхности и исследуемой средой. Также одновременно регистрируются текущие температура насыщения (давление) и тепловая мощность, подводимая к первичной поверхности.

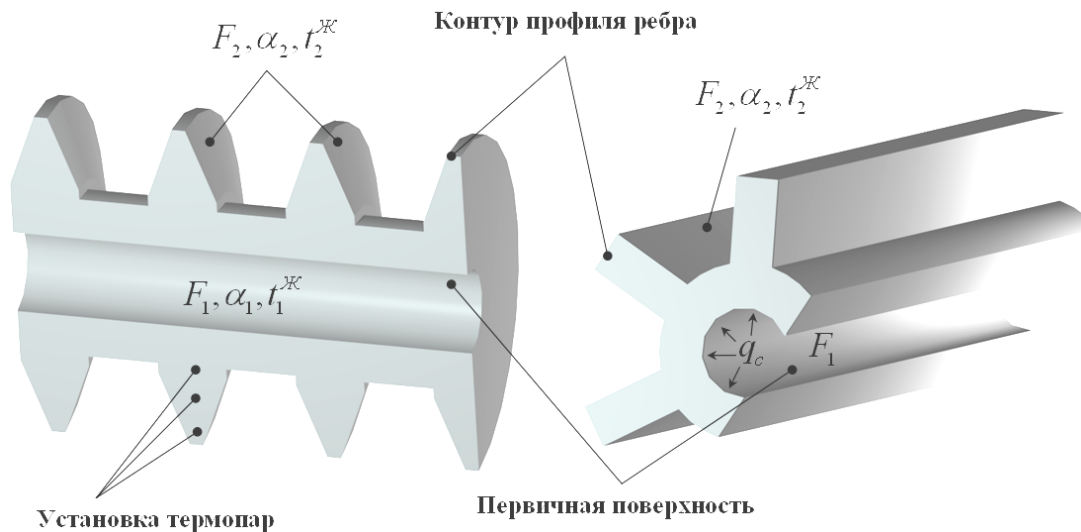


Рис. 1. Неизотермические поверхности с поперечным и продольным оребрением

По полученным экспериментальным данным выявляются зависимости, характеризующие интенсивность протекания процесса теплообмена при кипении в различных зонах неизотермической поверхности, которые впоследствии анализируются и обобщаются в соответствии с модельными представлениями.

Для регистрации экспериментальных данных, во время проведения эксперимента используется многоканальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) на базе ПНЧ (преобразователь напряжение – частота) с внешней защитой от перенапряжения до 40 В. Разрядность регистров устройства – 16, что позволяет получать оцифрованные значения с минимальной точностью 0,05 °С. Частота производимых замеров задается программным обеспечением, однако минимальное время опроса всех каналов платы составляет 400 мс. Задачей устройства является преобразование показаний термопар, устанавливаемых в характерных сечениях теплоотдающих поверхностей, а также в объеме жидкости и паровом пространстве рабочей камеры экспериментальной установки. Регистрация показаний ведется с помощью специально разработанного программного обеспечения, позволяющего производить также настройку и тарировку аппаратной платы. Основной задачей программного обеспечения является формирование из получаемых экспериментальных данных файлов линейной табличной структуры, удобных для последующей статистической обработки.

Программа написана на языке программирования Borland C++ для операционной системы DOS. Пользователям программы предоставляется возможность наблюдать за протекающими процессами по графическому представлению показаний термопар в режиме реального времени. Одновременно с графическим отображением данные сохраняются в текстовые файлы, которые соответствуют двум модулям подключения термопар, включающим по 8 недифференциальных аналоговых каналов. Преобразование получаемых от АЦП значений термо-ЭДС корректируются тарировочной функцией и далее интерполируются по данным таблицы для хромель-копелевых термопар. Показания термопар, включенных по недифференциальной схеме, корректируются значениями термо-ЭДС, получаемыми от термопары, погруженной в термостат с таящим льдом и двух термопар, измеряющих температуру окружающего воздуха.

Статистическая обработка файлов данных производится с помощью специально разработанных программ, призванных упростить специфический анализ данных (рис. 2).

Программа позволяет исследовать протекание эксперимента по содержимому файлов данных и создавать статистические сводки в формате Microsoft Excel, для использования в дальнейшем анализе. Также программа позволяет исключать из рассмотрения заведомо неверные показания термопар, например, в случае резких всплесков в нестационарном режиме или из-за влияния внешних факторов.

Дальнейшее развитие программного пакета автоматизации эксперимента предусматривает разработку моделирующего приложения частично воспроизводящего эксперимент в соответствии с существующими модельными представлениями процесса кипения жидкостей на развитых поверхностях.



Рис. 2. Просмотр протекания эксперимента в программе статистической обработки данных

Таким образом, автоматизация систем сбора и анализа экспериментальных данных позволяет:

- получать экспериментальные данные с необходимой частотой и удовлетворительной точностью;
- выявлять особенности исследуемых процессов после проведения эксперимента на основе получаемых файлов данных;
- автоматически исключать из анализируемых наборов данных заведомо ошибочные значения;
- заметно упростить схему проведения эксперимента и сконцентрировать внимание исследователя на чисто научной стороне исследуемых процессов и явлений.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕСТНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

В.Ю. Липлянский, Г.М. Раевская

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого», Беларусь*

Научные руководители: Т.В. Алферова, О.А. Полозова

Для Республики Беларусь роль энергетического фактора в обеспечении национальной и экономической безопасности является более значительной, чем для других государств, вследствие недостаточности собственных ТЭР. Одним из наиболее перспективных направлений в этой области является использование собственных

топливных ресурсов, в частности дров и древесных отходов. В качестве топлива практически для всех видов котлов, печей, каминов без дополнительной модернизации могут быть использованы древесные брикеты. Брикетирование – процесс, во время которого материал прессуется под высоким давлением, при этом температура материала повышается и происходит выделение смолистых связывающих веществ, за счет которых и осуществляется склейка материала и дальнейшее формирование брикета. Минимальная влажность прессуемого материала составляет 6 %, оптимальная влажность варьируется в зависимости от породы и фракции и лежит в диапазоне от 6-ти до 16 %. Древесные брикеты не включают в себя никаких вредных веществ, в том числе клея. В основе технологии производства древесных топливных брикетов лежит процесс прессования мелко измельченных отходов древесины (опилок) под высоким давлением при нагревании, связующим элементом является лигнин, который содержится в клетках растений. Специально прессованные под большим давлением и высокой температуре брикеты имеют форму цилиндра с центральным отверстием, что позволяет использовать для их сжигания менее производительные топки с малой тягой. Температура, возникшая при прессовании, способствует заплыванию поверхности брикетов, которая благодаря этому становится водонепроницаемой. Важным аспектом при использовании древесных брикетов в виде топлива является их минимальное влияние на окружающую среду при сгорании по сравнению с классическим твердым топливом при одинаковой теплотворной способности, но с меньшим содержанием пепла, который можно использовать в виде минерального удобрения. Вышеприведенные аспекты являются убедительным доводом для принятия решения о производстве топливных брикетов из древесных отходов, которое является экологически чистым видом топлива, позволяет решить ряд энергетических проблем, создать новые рабочие места, получить немалый экономический эффект от внедрения данной технологии. Для получения брикетов можно использовать комплекс ОДО «Вера».

Сырье для изготовления древесных топливных брикетов (хвойные и лиственные опилки) доставляется на завод автотракторным транспортом и складировается в приемный бункер для сырых опилок, который закрыт кровлей и стенами от попадания атмосферных осадков. Опилки из приемного бункера скребковым транспортом подаются в сушильный барабан. Сушильный агрегат установки по брикетированию опилок состоит из печи с теплообменником, который тепловоздуховодом соединен с сушильным барабаном. Печь топится дровами, некондиционными брикетами и сырьем. Горячий воздух из нагретого теплообменника через тепловоздуховод поступает в сушильный барабан, температура горячего воздуха на входе в который регулируется установленным тепловым реле и не должна превышать 150 °С. Температура на входе в сушильный барабан зависит от влажности сырья загружаемого в сушильный барабан, который снабжен шнеком с лопастями для перемешивания сырья в процессе сушки. Горячий воздух на выходе из сушильного барабана не должен превышать температуру 115 °С, которая также регулируется установленным термореле.

Влажность сырья на выходе из сушильного барабана не должна превышать 8-9 %. Шнековым транспортом сухое сырье (опилки) из сушильного барабана подается в бункер высушенного сырья (опила), из которого дозировано поступает на пресс-экструдер. Работа пресс-экструдера основана на воздействии на сырье высокого давления и температуры. С помощью пресс-экструдера изготавливаются топливные брикеты в виде четырехгранного бруса сечением 50 x 50 мм с отверстием в центре, диаметром 15–20 мм для устойчивого горения.

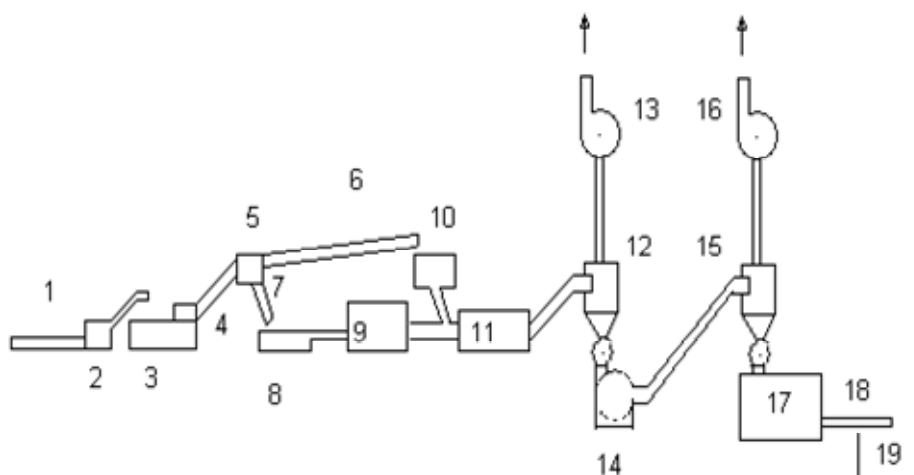


Рис. 1. Схема производства брикетов из древесных отходов:

- 1 – склад; 2 – рубильная машина; 3 – бункер сырья; 4 – шнековый транспортер;
 5 – делитель; 6 – ленточный транспортер; 7 – ленточный транспортер; 8 – бункер топки;
 9 – топка; 10 – бункер сушилки; 11 – сушильный барабан; 12 – циклон с затвором;
 13 – вентилятор-дымосос; 14 – мельница; 15 – циклон с затвором; 16 – вентилятор-пылевик;
 17 – пресс-гранулятор; 18 – ленточный транспортер; 19 – механизм упаковки

Из сопла пресс-экструдера выдавливается брус топливного брикета по направляющим через отрезной станок, который режет непрерывный брус на брикеты длиной 300 мм, поступает на упаковочный стол, где формируется в пакеты по 10–40 кг, обертывается термоусадочной пленкой и направляется в упаковочную машину.

Топливные брикеты, упакованные в термопленку, поступают на склад готовой продукции, откуда отгружаются потребителям.

Производительность сушилки по сухому продукту составляет 830 кг/час.

ИНВЕРТОРНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

И.П. Адарченко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Беларусь

Научные руководители: Т.В. Алферова, О.А. Полозова

В производстве сварных конструкций материальные затраты зависят от используемого сварочного оборудования. Прогресс в области сварочного оборудования в последнее время связан с использованием инверторных источников питания сварочной дуги [1].

Появление инверторных источников, в которых формирование выходной частоты обеспечивается собственным генератором на основе электронной схемы, дало возможность управлять формой выходного напряжения и тока, что позволило создать сварочные аппараты, взявшие на себя функции контроля хода сварочного процесса. Правильный выбор режимов сварки и их контроль на протяжении всего процесса являются одними из главных факторов, определяющих качество сварного соединения. Высокое качество процесса сварки достигается за счет возможности управления формой выходного напряжения и тока.

В связи с многообразием свариваемых деталей и сварочных материалов становится достаточно трудно точно подобрать сварочные режимы для качественного выполнения шва. Необходима система, способная выбрать оптимальный режим сварки и управлять им с учетом основных особенностей процесса. Источник питания должен обеспечивать функцию контроля над дугой и регулировать сварочный ток в зависимости от условий протекания сварочного процесса. Только инверторные преобразователи на основе мощных МОП-транзисторов с высокой скоростью переключения в сочетании с микропроцессорным управлением позволили реализовать данные требования.

Оптимальная рабочая точка по каждому типу и диаметру проволоки, виду газа задаются в компьютере и по её положению имеется возможность регулирования соотношения тока, напряжения и скорости подачи проволоки. В память машины могут быть введены до двухсот программ со сварочными режимами различных процессов сварки. Все процессы запрограммированы в виде оптимальной комбинации сварочных параметров диаметра и типа проволоки, типа и состава защитного газа. Важным преимуществом такой техники является её способность достигать хороших результатов при сварке нержавеющей стали, алюминия и цветных сплавов, представляющих определенную проблему для традиционных способов сварки.

Малая масса и габариты, обуславливают применение инверторных источников при сварке на монтаже, в бытовых условиях, а также при разнообразных ремонтных работах.

Использование источников питания нового поколения более экономично: уменьшается расход сварочных материалов, электроэнергии, увеличивается производительность сварочного процесса.

Блок-схема инверторного источника питания сварочного аппарата представлена на рис. 1.

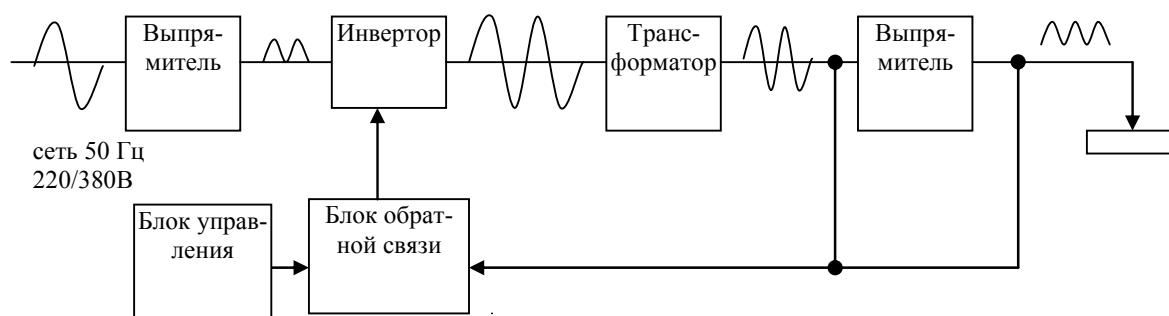


Рис. 1. Блок-схема инверторного источника питания сварочного аппарата

Напряжение сети промышленной частоты преобразуется входным выпрямителем в постоянное порядка 500 В, а затем с помощью инвертора в переменное повышенной частоты (20–100 кГц), которое затем поступает на понижающий высокочастотный трансформатор. К вторичной обмотке трансформатора подключен диодный выпрямитель, к которому через сглаживающий дроссель подсоединен электрод.

Питание трансформатора напряжением высокой частоты позволяет существенно снизить его размеры и вес. Так при частоте 10 кГц по сравнению с частотой 50 Гц масса трансформатора и его габариты уменьшаются в 3 раза, а при частоте 50 кГц уже в 15–17 раз.

Экономия электроэнергии достигается уменьшением потребляемого тока при работе источника питания на холостом ходу и частично уменьшением тока в сварочной дуге при той же эффективности процесса сварки [2].

В общем случае расход электроэнергии определяется по выражению:

$$A_{\text{эпм}} = \omega_{\text{д}} \cdot t_0 + \omega_{\text{хх}} \cdot t_{\text{хх}},$$

где $\omega_{\text{д}}$ – мощность сварочной дуги;

t_0 – основное время сварки;

$\omega_{\text{хх}}$ – мощность холостого хода;

$t_{\text{хх}}$ – время холостого хода источника питания.

Экономия электроэнергии в сварочной дуге возможна за счет уменьшения времени ее горения и увеличения КПД источника питания.

Уменьшение расхода сварочных материалов вызвано изменением процессов происходящих в сварочной дуге: уменьшением переноса электродного металла, повышением устойчивости горения дуги, снижением разбрызгивания. Экономия сварочной проволоки определяется по выражению:

$$\Delta G_{\text{пр}} = M_{\text{нм1}} \cdot (1 + \varphi_1) - M_{\text{нм2}} \cdot (1 + \varphi_2),$$

где $M_{\text{нм1}}$, $M_{\text{нм2}}$ – масса наплавленного металла при сварке на обычном выпрямителе и источнике нового поколения;

φ_1 , φ_2 – коэффициент потерь при сварке на обычном выпрямителе и источнике нового поколения.

Коэффициент потерь зависит от плотности тока. Для механизированной сварки в CO_2 на источнике питания типа ВДУ и ВД равен 15 и 20 % соответственно. При сварке на современных источниках питания коэффициент потерь не превышает 6–8 % как для ручной, так и для механизированной сварки. Общая экономия сварочной проволоки достигает 10–15 %.

Экономия расхода защитного газа хоть и меньше по сравнению с другими источниками экономии, но при больших объемах выполняемых работ становится существенной. Достигается она вследствие уменьшения основного времени при увеличении скорости сварки и определяется из выражения:

$$G_{\text{зг}} = q_{\text{зг}} \cdot t_0,$$

где $q_{\text{зг}}$ – удельный расход защитного газа зависит от диаметра проволоки и силы сварочного тока, в расчётах принимается равным 12 л/мин;

t_0 – основное время сварки.

Экономия средств на электроэнергию при применении инверторных источников питания составляет 37 % от общей экономии, что является существенным показателем, особенно с современных позиций энергосбережения.

С целью экономии электроэнергии в корпусе сварки и окраски РУП «Гомсельмаш» было предложено использование инверторных источников питания сварочной дуги для механизированной дуговой сварки LAX 380 вместо ВДУ-505. Экономия электроэнергии определялась на один комбайн КЗР-10 «Полесье-Ротор» (596 участков дуговой сварки).

Норма расхода электроэнергии (кВт·ч/кг) на сварку определяется по выражению:

$$H_{\text{св}} = \frac{V}{\alpha_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{св}} \cdot K_{\text{и}}},$$

где V – напряжение дуги, В (принимается из паспорта сварочного аппарата), 30 В;
 $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент наплавки, 12,6 г/А·ч;
 $\eta_{\text{св}}$ – коэффициент полезного действия сварочной установки, 0,55;
 $K_{\text{и}}$ – коэффициент использования сварочного аппарата (поста) во времени, 0,5.

$$H_{\text{св}} = 30/12,6 \cdot 0,55 \cdot 0,5 = 8,66 \text{ кВт} \cdot \text{ч/кг}.$$

Норма расхода электроэнергии на один комбайн КЗР-10 «Полесье–Ротор» определяется по выражению:

$$H_{\text{изд}} = \frac{G_{\text{п}} \cdot H_{\text{св}} \cdot K_{\text{э}}}{\gamma},$$

где $G_{\text{п}}$ – масса израсходованной проволоки, кг, 47,473 кг/изд;
 $H_{\text{св}}$ – норма расхода электроэнергии, 8,66 кВт·ч/кг;
 $K_{\text{э}}$ – коэффициент использования электродов (проволоки), учитывающий угар, разбрызгивание, огарки, для автоматической сварки 0,98;
 γ – доля участия металла электродов (проволоки) в массе шва. Определяется по технологическим картам или принимается для автоматической сварки равным 0,5.

$$H_{\text{изд}} = 47,443 \cdot 8,66 \cdot 0,98/0,5 = 805,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч/изд}.$$

При замене ВДУ-505 на LAX 380 экономия проволоки составляет 30 %, экономия электроэнергии – 20 %

$$\Delta G_{\text{п}} = G_{\text{п}} \cdot 0,7 = 47,443 \cdot 0,7 = 33,21 \text{ кг/изд}.$$

Тогда норма расхода электроэнергии на одно изделие составит

$$H_{\text{изд1}} = 33,21 \cdot 6,93 \cdot 0,98/0,5 = 451,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч/изд}.$$

Экономия электроэнергии на одно изделие составит

$$\Delta \mathcal{E} = 805,3 - 451,1 = 354,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч/изд}.$$

Производственной программой на 2005 г. планируется выпуск 1200 комбайнов КЗР-10 «Полесье–Ротор», следовательно, годовая экономия электроэнергии составит

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{год}} = 354,2 \cdot 1200 = 425,04 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}, \text{ или } 119 \text{ тунт}.$$

Литература

1. Болотов, С.В. Инверторные источники питания сварочной дуги /С.В. Болотов //Сварочная техника и оборудование. – 2003. – № 9. – С. 18-22.
2. Якубович, Д.И. Техничко-экономическое обоснование эффективности источников питания нового поколения /Д.И. Якубович, И.Н. Ивашнев //Сварочная техника и оборудование. – 2003. – № 9. – С. 26-29.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ БИОГАЗА ДЛЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Д.Р. Мороз

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель Н.В. Токочакова

В современных условиях перед Республикой Беларусь, как независимым государством, возникает вопрос обеспечения собственной энергетической безопасности и поиске альтернативных источников энергии. Одним из наиболее перспективных направлений в этой области является использование энергии биомассы.

Биомасса представляет собой древнейший источник энергии, однако её использование до недавнего времени сводилось к прямому сжиганию либо в открытых очагах, либо в печах и топках, но с весьма низким КПД – 10...14 %. Однако разработанные технологические установки (биогазовые), позволяют кроме значительного повышения КПД получения энергии от биомассы, не нарушать экологический баланс. За счет того, что при выращивании биомассы изымается из атмосферы столько же CO₂, сколько его вырабатывается при сжигании биогаза, что не ведет к увеличению парникового эффекта. Технология получения биогаза из биомассы основана на продуктах жизнедеятельности микроорганизмов (анаэробов), которые, перерабатывая биомассу, вырабатывают биогаз, содержащий 60–70 % метана. Теплосодержание одного кубического метра которого эквивалентно одному килограмму каменного угля, и в два с лишним раза больше, чем килограмм дров.

Следует отметить, что установки такого рода получили широкое применение в восточных странах (Китай, Индия). Уже в 70-х годах руководством КНР был подписан приказ о совершении «Большого биогазового скачка», и уже в 1999 г. в Китае насчитывалось 7 млн биогазовых установок, на данный момент страна является активным экспортером как биогаза, так и биогазовой техники. За последние 15 лет значительный прорыв в этой области совершили страны западной Европы. На территории СНГ активное изучение и внедрение биогазовой техники ведется в таких странах, как Украина, Казахстан, Россия и др.

Перед Республикой Беларусь поставлена задача о выходе на 25%-ный уровень самообеспечения энергоресурсами. В связи с этим повышено внимание к биоэнергетике в республике. Так как основной потенциал биоэнергетики для Республики Беларусь заключен в сельском хозяйстве, по предварительным подсчетам порядка 1 млн т.у.т/год, то Минсельхозпрод ставит своей задачей полное самообеспечение энергией отрасли. Одним из путей достижения поставленной цели является активное использование биогазовых установок.

Также ведутся разработки по внедрению биогазовой техники на гомельской птицефабрике и КСУП «Брилево».

На птицефабрике содержится 500 тыс. кур несушек, помимо основной продукции они ежедневно производят 90 т помета с содержанием сухого вещества 18–32 %. Производители биогазовых установок заявляют, что из одного кубометра такого помета можно получать около 120 м³ биогаза. Таким образом видим, что в сутки от такой птицефабрики можно получать порядка 13,5 тыс. м³ биогаза, которого достаточно для выработки 30,5 МВтч.

Для данной птицефабрики был рассмотрен вариант внедрения двух биогазовых установок фирмы Rhinmilch-Verbund agroprodukte GmbH. Каждая из таких установок имеет теплоэлектрогенератором, способным вырабатывать до 330 кВт электрической мощ-

ности и 478 кВт тепловой мощности. Стоимость такой установки составляет 1,3 млн евро. При том, что расход на собственные нужды такой установки составляет не более 30 % от вырабатываемой энергии, и при действующем законодательстве в области нетрадиционной энергетики срок окупаемости установки не превысит 7,5 лет.

На КСУП «Брилево» содержится 760 голов КРС, ежедневный выход навоза на ферме составляет около 50 т с содержанием сухого вещества 7–10 %, вдобавок к этому с 7 га теплиц ежедневно срезается 1,4 т зеленой массы, предназначенной для компостирования. Таким образом, потенциал получения биогаза для КСУП «Брилево» составляет 2080 м³ в сутки. Следует отметить, что среднесуточное потребление природного газа за 2004 г. составило 216 м³/сут.

Для животноводческого хозяйства такого уровня возможно применение биоэнергетической установки производства фирмы Bioenergy (Германия), которая поставляется с электрогенератором мощностью 150 кВт. Годовая выработка электроэнергии составит 842 400 кВтч, при ежегодной потребности в 200 000 кВтч, а тепловой энергии такая установка выработает 1 080 000 кВтч, из них отпустит на сторону 381 756 кВтч. При стоимости установки 600 тыс. евро срок окупаемости составит 5,5 лет.

В странах западной Европы разработаны и уже внедряются типовые проекты по оснащению животноводческих и сельскохозяйственных организаций биогазовыми установками. На данный момент есть только одна установка отечественной разработки, которая была сконструирована еще в СССР, однако опыт ее эксплуатации выявил ряд существенных недостатков в работе, что не позволяет использовать ее в современных проектах. Естественно, что приобретение иностранных установок для внедрения в сельское хозяйство сопряжено с крупными капиталовложениями, в связи с чем существует необходимость активизации научного потенциала республики в области разработки современных проектов биогазовых установок. Однако это не исключает возможности приобретения практических навыков эксплуатации и технического обслуживания на экспериментальных (пилотных) проектах по внедрению биогазовых установок иностранного производства.

Для обеспечения страны собственными возобновляемыми источниками энергии в будущем, необходимо уже сейчас вести активную работу по внедрению и практическому применению инновационных технологий в области нетрадиционной энергетики. Ввиду неотлаженности производства и отсутствия типовых решений по внедрению установок с использованием нетрадиционных источников энергии, такие работы оказываются весьма невыгодными для субъектов хозяйствования. Решение этой проблемы заключается в разработке новой законодательной базы в области энергетики, которая должна заинтересовывать предприятия, в том числе и сельскохозяйственные, в использовании нетрадиционных источников энергии. На вооружение необходимо принять зарубежный опыт стимулирования внедрения нетрадиционных источников энергии: потребители, использующие природный газ, облагаются экологическим налогом, в то же самое время энергия полученная с использованием тех же биогазовых установок, приобретается по повышенным тарифам. Например, согласно введенному в действие с 01.08.2004 г. обновленному федеральному закону Германии «О преимуществах возобновляемых видов энергии», установлены следующие обязательные цены продажи электроэнергии в электрические сети: при мощности БЭУ до 150 кВт 11,5 цента/кВтч, до 500 кВт – 9,9 цента/кВтч, до 5 000 кВт 8,9 цента/кВтч свыше 5 000 кВт 8,4 цента/кВтч. В то время как для электроэнергии, вырабатываемой на промышленных электростанциях, цены за кВтч не превышают 3,5 цента/кВтч. При этом себестоимость получения энергии

из биомассы в Германии составляет 3,1–5,5 цента/кВтч. Благодаря созданным экономическим и правовым условиям число биоэнергетических установок в Германии выросло со 139 штук в 1992 г. до 2500 в 2003 г.

Потенциал самообеспечения Республики Беларусь возобновляемыми источниками энергии за счет использования биогаза по самым скромным прогнозам составляет 15 % от нынешнего потребления традиционных источников энергии. Именно этот факт должен мобилизовать руководство республики и отечественную науку к активному изучению данного вопроса и применению на практике полученных знаний. Не менее важной является необходимость донесения информации об альтернативных источниках энергии, в том числе и биогазовых установках, до предприятий и простых обывателей, так как наибольший эффект от внедрения нетрадиционной энергетики будет достигнут при вовлечении в этот процесс каждого гражданина республики.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ РАСХОДА КОТЕЛЬНО-ПЕЧНОГО ТОПЛИВА ОБЪЕКТОВ СОЦКУЛЬТБЫТА РУП «ГОМЕЛЬТРАНСНЕФТЬ «ДРУЖБА»

П.М. Колесников

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель Н.В. Токочакова

К решению такой задачи, как определение плановой потребности расхода ТЭР можно подойти формально и рассчитать по известным формулам потребность ТЭР под плановые показатели режима работы субъекта хозяйствования, а можно разработать математические модели от факторов, определяющих режим потребления ТЭР. Именно за математическими моделями будущее, так как они позволяют алгоритмизировать процесс разработки норм расхода ТЭР и предельных уровней, что очень важно в условиях постоянно изменяющейся производственной программы. С другой стороны, математические модели позволяют проводить анализ существующих режимов, оценивать их энергоэффективность и выявлять потенциал энергосбережения.

Среди 68 объектов соцкультбыта в РУП «Гомельтранснефть «Дружба» имеются бани с водогрейными котлами, использующими в качестве топлива дрова.

Фактором, определяющим потребность топлива (дров) по баням, является режим работы объектов – количество сеансов в неделю, продолжительность сеанса, а также количество посетителей. Топливо расходуется на нагрев воды для помывки посетителей (зависит от числа посетителей) и на нагрев камней (зависит от количества сеансов и не зависит от числа посетителей) – условно-постоянная часть затрат топлива.

Квартальную потребность тепловой энергии можно представить в виде двух составляющих расхода тепловой энергии. Составляющая, зависящая от загрузки (3) бани и составляющая, зависящая от режима работы (количество сеансов n):

$$Q_{\text{год}}(3) = N \cdot \Delta t_1 \cdot 3 + C_k \cdot M \cdot \Delta t_2 \cdot n \cdot T, \text{ ккал/год}, \quad (1)$$

где N – норма расхода горячей воды на одну помывку, л/чел. · помывок;

Δt_1 – разность температур между холодной и нагретой водой, °С;

Z – загрузка бани-сауны, чел. · помывок/год;

C_k – теплоемкость камня в печке-каменке, ккал/кг °С;

M – масса камня, кг;

Δt_2 – разность температур между нагретыми и холодными камнями, °С;

n – суточное число циклов нагрева печки-каменки (количество сеансов в сутки), сеанс/сут.;

T – количество рабочих дней в год, сут/год.

Существующий режим объекта следующий: три сеанса два раза в неделю, максимальная загрузка 12–14 чел/сеанс. Вместе с тем реальная загрузка бани неравномерна по месяцам и кварталам года и составляет 47 % от плановой.

Топливный баланс бани можно представить в виде математической модели:

$$B(Z, n) = a \cdot Z + b(n). \quad (2)$$

Составляющая (a) топливного баланса характеризует расход тепловой энергии на помывку за исследуемый период, а составляющая (b) – затраты топлива на нагрев печки-каменки.

Математические модели расходов топлива (рис.1, 2) построены относительно переменных режимных факторов (Z, n) в соответствии с ограничениями (максимальная загрузка за сеанс).

Указанные модели позволяют наглядно увидеть структуру потребления топливных ресурсов, а построенные по ним зависимости удельного расхода топлива $B_{уд} = F(Z, n)/Z$ (рис. 2) позволяет рекомендовать режим работы бани с меньшим расходом топлива.

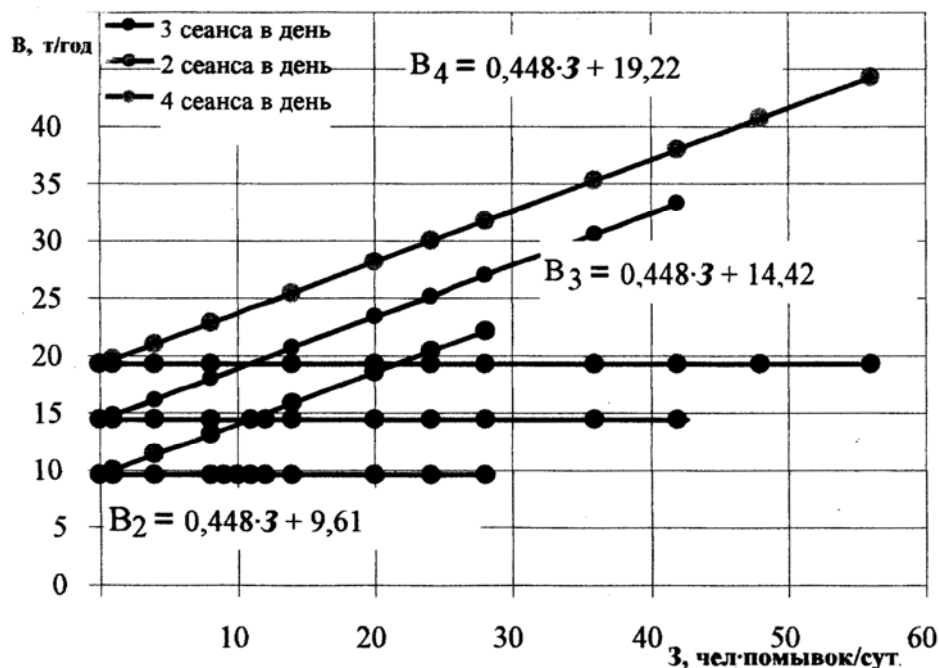


Рис. 1. Математические модели суточного расхода топлива $B = f(Z, n)$ в условиях изменяющегося режима работы бани

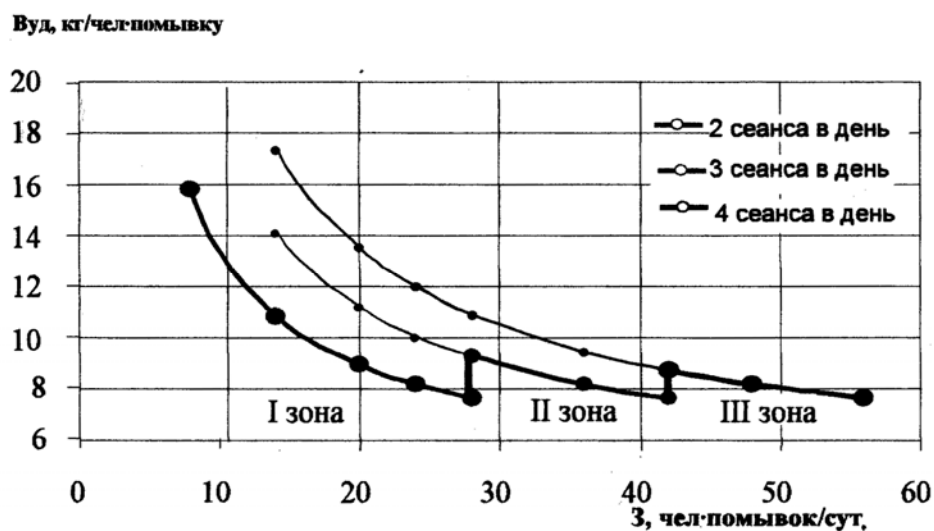


Рис. 2. Математические модели удельного расхода топлива в условиях изменяющегося режима работы бани

На диаграмме удельного расхода топлива от загрузки бани в условиях изменяющегося режима работы (рис. 2) можно выделить три зоны для обоснования (с точки зрения минимизации топливных затрат) сеансового режима работы и рассчитать потенциал энергосбережения при изменении режима работы.

Под потенциалом энергосбережения подразумевается снижение расхода топлива при варьировании режимом работы бани, выраженного в процентах относительно наиболее энергозатратного режима.

При переходе с 4-сеансового режима работы на 3-сеансовый при загрузке от 14 до 42 чел. · помывок/сут. потенциал энергосбережения варьируется от 20 до 12 %.

При переходе с 3-сеансового режима работы на 2-сеансовый при загрузке от 14 до 28 чел. · помывок/сут. потенциал энергосбережения варьируется от 25 до 15 %.

При переходе с 4-сеансового режима работы на 2-сеансовый при загрузке от 14 до 28 чел. · помывок/сут. потенциал энергосбережения варьируется от 40 до 30 %.

Выводы

С использованием математических моделей расходов топлива от влияющих факторов возможен расчет не только плановой потребности топлива в условиях изменяющейся производственной программы, но и анализ режимов работы объекта с целью выявления потенциала энергосбережения.

На основе математических моделей выявлены наиболее экономичные режимы работы по областям загрузки.

Выявлена величина потенциала энергосбережения, которая оценивается в 40 % от расхода топлива наиболее энергозатратного режима.

**МЕТОДИКА УЧЕТА ПОГРЕШНОСТИ РАБОТЫ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА
И НАПРЯЖЕНИЯ В ПРОГРАММИРУЕМЫХ СИСТЕМАХ
УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

В.Л. Рашкевич

Учреждение образования «Белорусский теплоэнергетический институт», г. Минск

Научный руководитель Е.П. Забелло

Измерительные трансформаторы тока (ТТ), согласно действующим ГОСТам, обеспечивают класс точности 0,5 только при первичных нагрузках, превышающих 20 % от номинальных [1]. Погрешность измерительных трансформаторов напряжения (ТН) существенно зависит от коэффициента мощности нагрузки, отношения напряжения первичной обмотки к номинальному напряжению трансформатора [2].

Сокращение выпуска промышленной продукции предприятиями привело к снижению электрических нагрузок и изменению коэффициента мощности и большинство измерительных ТТ, ТН стали функционировать с большими погрешностями, что в конечном итоге привело к снижению точности учета потребляемой электроэнергии.

Методика устанавливает требования к учету погрешности работы измерительных трансформаторов тока и напряжения в системах учета электроэнергии с использованием компьютерных программ. Методика распространяется на все системы учета электроэнергии, использующие программные средства обработки измерений электрической энергии. Результаты учета электроэнергии с внесением поправок на погрешности работы измерительных трансформаторов тока и напряжения в соответствии с данной методикой должны служить неотъемлемой частью компьютерных программ для коммерческих взаимоотношений (взаиморасчетов) между поставщиком и потребителем электрической энергии.

Фактическое значение активной и реактивной энергии с учетом погрешности измерительных трансформаторов вычисляется по формулам:

$$W_{a_{\text{ФАКТ}}} = W_{a_{\text{СЧ}}} \cdot K_I \cdot K_U, \quad (1)$$

$$W_{p_{\text{ФАКТ}}} = W_{p_{\text{СЧ}}} \cdot K_I \cdot K_U. \quad (2)$$

Коэффициенты в выражениях (1) и (2) определяются по следующим формулам:

$$K_I = \left(1 - \frac{\Delta\Phi_I}{100}\right), \quad (3)$$

$$K_U = \left(1 - \frac{\Delta\Phi_U}{100}\right). \quad (4)$$

Итоговые погрешности измерительных трансформаторов, учитывающие систематические погрешности, определяют по следующим формулам:

$$\Delta\Phi_I = -f_{\text{ТТ}} - 0,0291 \cdot Q_{\text{ТТ}} \cdot \text{tg}\varphi, \%, \quad (5)$$

$$\Delta\Phi_U = -f_{\text{ТН}} - 0,344 \cdot Q_{\text{ТН}} \cdot \text{tg}\varphi, \%. \quad (6)$$

Зависимости токовой и угловой погрешностей трансформатора тока в зависимости от кратности первичного тока определяются с помощью следующих аппроксимирующих выражений:

$$f_{\text{ТТ}} = -\frac{A_{\text{фТТ}}}{K_{\text{ТТ1}}} + B_{\text{фТТ}} \cdot K_{\text{ТТ1}} + C_{\text{фТТ}}, \quad (7)$$

$$Q_{\text{ТТ}} = \frac{A_{\text{оТТ}}}{K_{\text{ТТ1}}} + B_{\text{оТТ}} \cdot K_{\text{ТТ1}} + C_{\text{оТТ}}. \quad (8)$$

Зависимости угловой погрешности и погрешности трансформатора напряжения по напряжению от коэффициента загрузки трансформатора напряжения по мощности определяются с помощью следующих аппроксимирующих выражений:

$$f_{\text{ТН}} = B_{\text{фТН}} \cdot K_{\text{ТНС}} + C_{\text{фТН}}, \quad (9)$$

$$Q_{\text{ТН}} = B_{\text{оТН}} \cdot K_{\text{ТНС}} + C_{\text{оТН}}. \quad (10)$$

Исходными данными для учета погрешности измерительных трансформаторов в программируемых системах учета электроэнергии являются коэффициенты аппроксимирующих выражений, значения коэффициентов загрузки измерительных трансформаторов, коэффициент мощности и собственно показания электросчетчиков. Снятие зависимости погрешности трансформаторов тока производится согласно ГОСТ 8.217-2003 [3] для кратностей тока 0,05; 0,2 и 1 при подключении к каждой фазе ТТ реальной вторичной нагрузки.

Кривые токовых и угловых погрешностей трансформатора тока в зависимости от кратности первичного тока можно аппроксимировать математическими выражениями (7), (8). Для определения коэффициентов аппроксимации необходимо составить системы из трех уравнений для трех значений кратности первичного тока (0,05; 0,2 и 1):

$$\begin{cases} f_{\text{ТТ}} = -\frac{A_{\text{фТТ}}}{K_{\text{ТТ1}0,05}} + B_{\text{фТТ}} \cdot K_{\text{ТТ1}0,05} + C_{\text{фТТ}} \\ f_{\text{ТТ}0,2} = -\frac{A_{\text{фТТ}}}{K_{\text{ТТ1}0,2}} + B_{\text{фТТ}} \cdot K_{\text{ТТ1}0,2} + C_{\text{фТТ}} \\ f_{\text{ТТ1}} = -\frac{A_{\text{фТТ}}}{K_{\text{ТТ1}}} + B_{\text{фТТ}} \cdot K_{\text{ТТ1}} + C_{\text{фТТ}}, \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} Q_{\text{ТТ}0,05} = \frac{A_{\text{оТТ}}}{K_{\text{ТТ1}0,05}} + B_{\text{оТТ}} \cdot K_{\text{ТТ1}0,05} + C_{\text{оТТ}} \\ Q_{\text{ТТ}0,2} = \frac{A_{\text{оТТ}}}{K_{\text{ТТ1}0,2}} + B_{\text{оТТ}} \cdot K_{\text{ТТ1}0,2} + C_{\text{оТТ}} \\ Q_{\text{ТТ1}} = \frac{A_{\text{оТТ}}}{K_{\text{ТТ1}}} + B_{\text{оТТ}} \cdot K_{\text{ТТ1}} + C_{\text{оТТ}}. \end{cases} \quad (12)$$

Решение систем уравнений (11) и (12) позволяет найти коэффициенты аппроксимации погрешностей трансформатора тока.

Кривые угловых погрешностей и погрешностей напряжения трансформатора напряжения в зависимости от коэффициента загрузки можно аппроксимировать математическими выражениями (9), (10). Для определения коэффициентов аппроксимации необходимо составить системы из двух уравнений для двух значений коэффициента загрузки трансформатора напряжения (0,5 и 1):

$$\begin{cases} f_{ТН0,5} = B_{fТН} \cdot K_{ТН30,5} + C_{fТН} \\ f_{ТН1} = B_{fТН} \cdot K_{ТН31} + C_{fТН} \end{cases} \quad (13)$$

$$\begin{cases} Q_{ТН0,5} = B_{QТН} \cdot K_{ТН30,5} + C_{QТН} \\ Q_{ТН1} = B_{QТН} \cdot K_{ТН31} + C_{QТН} \end{cases} \quad (14)$$

Решение систем уравнений (13) и (14) позволяет найти коэффициенты аппроксимации погрешностей трансформатора напряжения.

В базу данных присоединений системы учета заносятся исходные данные. Для учета погрешностей, вносимых измерительными трансформаторами, необходимо вносить в базу данных также параметры электроэнергии (фазные токи присоединения, коэффициенты мощности). Поступающую информацию от счетчиков электрической энергии корректируют в соответствии с приведенными выше выражениями. Следует отметить, что для повышения точности использования данной методики число опросов параметров режима должно быть больше числа опросов показаний счетчиков.

Л и т е р а т у р а

1. ГОСТ 7746-2001. Межгосударственный стандарт. Трансформаторы тока. Общие технические условия.
2. Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций /Б.Н. Неклепаев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 640 с.
3. ГОСТ 8.217-2003. Государственная система обеспечения единства измерений. Трансформаторы тока. Методика поверки.

Принятые условные обозначения

$W_{a_{ФАКТ}}$ – значение активной энергии с учетом погрешностей измерительных трансформаторов, Вт·ч;

$W_{p_{ФАКТ}}$ – значение реактивной энергии с учетом погрешностей измерительных трансформаторов, вар·ч;

$W_{a_{СЧ}}$ – показание счетчика активной энергии, Вт·ч;

$W_{p_{СЧ}}$ – показание счетчика реактивной энергии, вар·ч;

K_I – коэффициент, учитывающий погрешность трансформатора тока;

K_U – коэффициент, учитывающий погрешность трансформатора напряжения;

$\Delta\Phi_I$ – погрешность трансформатора тока, %;

$\Delta\Phi_U$ – погрешность трансформатора напряжения, %;

f_{TT} – токовая погрешность трансформатора тока в зависимости от кратности первичного тока, %;

Q_{TT} – угловая погрешность трансформатора тока в зависимости от кратности первичного тока, мин;

f_{TH} – погрешность трансформатора напряжения по напряжению в зависимости от коэффициента загрузки по мощности, %;

Q_{TH} – угловая погрешность трансформатора напряжения в зависимости от коэффициента загрузки по мощности, мин;

$A_{JTT}, B_{JTT}, C_{JTT}$ – коэффициенты аппроксимации зависимости токовой погрешности трансформатора тока от кратности первичного тока;

$A_{\Theta TT}, B_{\Theta TT}, C_{\Theta TT}$ – коэффициенты аппроксимации зависимости угловой погрешности трансформатора тока от кратности первичного тока;

B_{JTH}, C_{JTH} – коэффициенты аппроксимации зависимости погрешности по напряжению трансформатора напряжения от коэффициента загрузки трансформатора напряжения по мощности;

$B_{\Theta TH}, C_{\Theta TH}$ – коэффициенты аппроксимации зависимости угловой погрешности трансформаторов напряжения от коэффициента загрузки трансформатора напряжения по мощности;

φ – коэффициент мощности нагрузки;

K_{THI} – кратность первичного тока трансформатора тока, отн. ед.;

K_{THS} – коэффициент загрузки трансформатора напряжения по мощности (отношение фактической вторичной нагрузки трансформатора напряжения к номинальной) отн. ед.

ПРИМЕНЕНИЕ НА ПРАКТИКЕ ОПЫТА СНЯТИЯ ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА МЕТОДОМ ЦИФРОВОГО ОСЦИЛЛОГРАФИРОВАНИЯ

А.И. Власов

Белорусский теплоэнергетический институт, г. Минск

Научный руководитель Е.П. Забелло

Межвитковые замыкания во вторичных цепях являются одним из наиболее распространенных видов повреждений трансформаторов тока. В [1], [2] описывается методика снятия вольтамперных характеристик (ВАХ) трансформаторов тока (ТТ) и выявления короткозамкнутых витков во вторичных обмотках. Описываемая схема подключения цифрового осциллографа (ЦО) и контролирующих измерительных приборов для снятия ВАХ ТТ (рис. 1а) применима в тех случаях, где для снятия характеристик в диапазоне вторичных токов от 0 до 120 % от номинального достаточно технических характеристик цифрового осциллографа и допустимо его непосредственное подключение к измеряемой цепи.

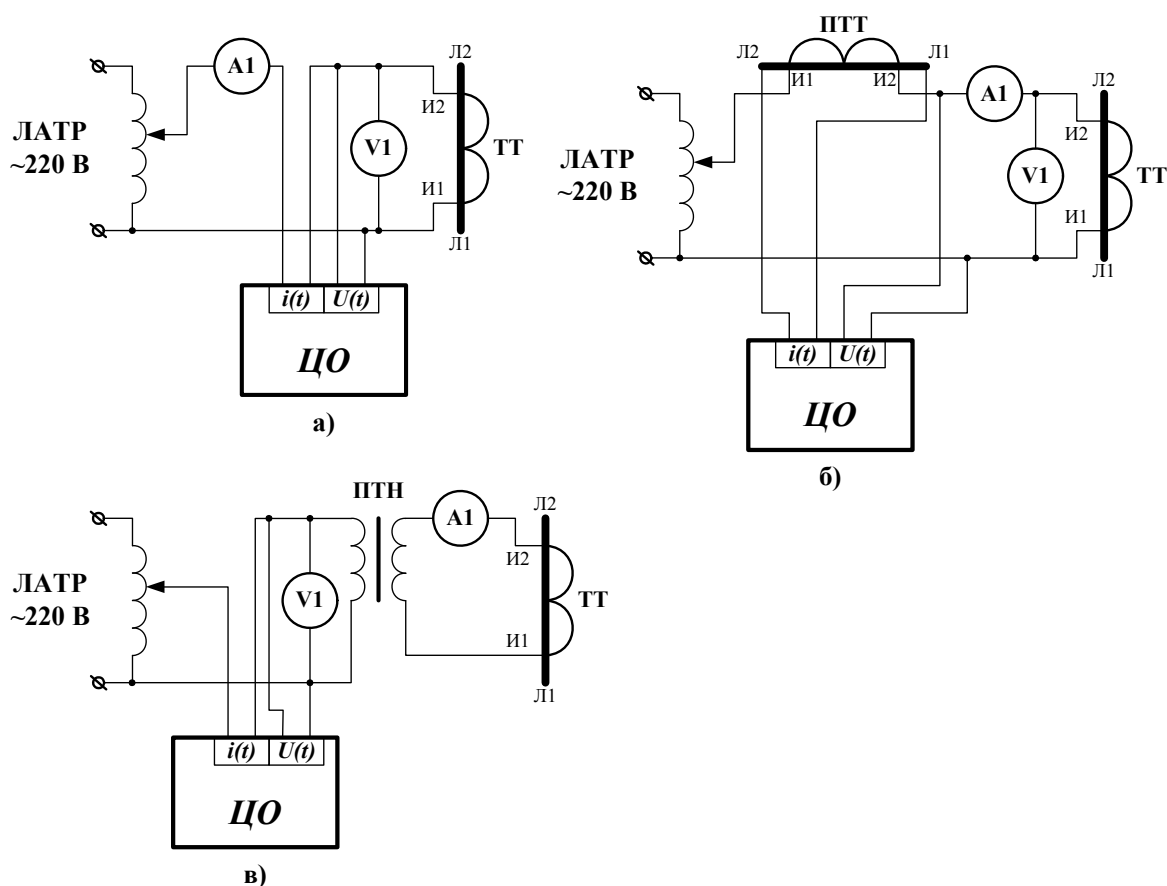


Рис. 1. Схемы подключения цифровых осциллографов и измерительных приборов для снятия вольтамперных характеристик трансформаторов тока:
 а – схема с непосредственным подключением к измеряемой цепи; б – схема для снятия характеристик при малых токах; в – схема для снятия характеристик при высоких напряжениях. ТТ – испытуемый трансформатор тока; А1 – амперметр; V1 – вольтметр, ПТТ – промежуточный трансформатор тока; ПТН – промежуточный трансформатор напряжения; ЦО – цифровой осциллограф

В 2004 г. была проведена серия опытов по снятию ВАХ ТТ, установленных на Минской ТЭЦ-5. Были получены ВАХ ТТ номинальным напряжением 20 кВ в цепях статора генератора и 110 кВ на стороне среднего напряжения блочного трансформатора. Схема подключения ЦО непосредственно к измеряемой цепи не могла быть использована для снятия ВАХ по следующим причинам:

- для того чтобы протекающий ток по вторичной обмотке составлял 5 А, напряжение на регулируемом источнике питания должно быть порядка 600 В, что намного выше изоляции входов применяемого цифрового осциллографа, имеющегося регулируемого источника питания и контрольных измерительных приборов;
- для ТТ номинальным напряжением 110 кВ в начальной части ВАХ при напряжении порядка 100 В ток, протекающий по вторичной обмотке, составляет несколько десятков миллиампер, что сопоставимо с погрешностью токовых входов ЦО.

Для устранения этих причин решено было провести опыты снятия ВАХ ТТ по двум следующим схемам. Представленная на рис. 1б схема позволяет снимать ВАХ ТТ на начальной кривой. В данном случае за счет применения промежуточного ТТ, ток во вторичной обмотке испытуемого увеличивается до величины, позволяющей

откалибровать ЦО и выполнить снятие ВАХ ТТ на начальном участке. За счет применения промежуточного ТТ класса точности 0,2 погрешность, вносимая им для вторичной обмотки класса 10Р испытуемого ТТ, незначительна.

На рис. 1в представлена схема для снятия ВАХ ТТ, требующих напряжения источника питания выше, чем изоляция приборов испытания. Здесь за счет применения промежуточного трансформатора напряжения повышается напряжение на зажимах испытуемого ТТ. Цепи напряжения и тока осциллографа подключаются к низкой стороне трансформатора напряжения. Полученные токи и напряжения умножаются на коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

Полученные в результате двух опытов значения токов и напряжений используются для построения ВАХ ТТ. На рис. 2 представлены кривые ВАХ ТТ (действующие значения) для трансформатора тока ТШ-20 12000/5.

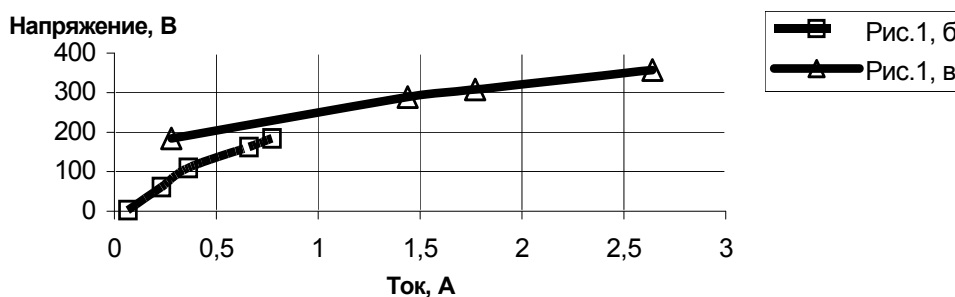


Рис. 2. Полученные вольтамперные характеристики трансформатора тока ТШ-20 12000/5 по результатам опытов по схемам, представленным на рис. 1б и 1в

Из рис. 2 видно, что в области, которой соответствуют кривые опытов, погрешность измерений по двум разным схемам составляет менее 20 %. По результатам двух опытов, обобщая данные для различных напряжений и токов, строится общая ВАХ. На рис. 3 представлена ВАХ ТТ, построенная по результатам обобщения кривых, представленных на рис. 2, и сопоставленная с заводской ВАХ ТТ.

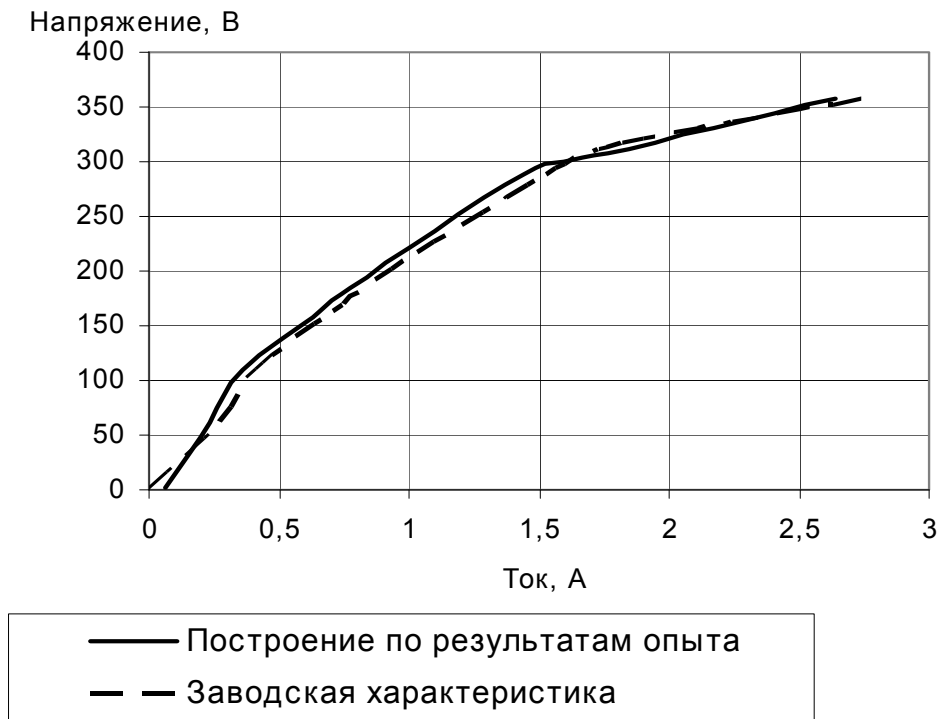


Рис. 3. Вольтамперные характеристики трансформатора тока ТШ-20 12000/5

Как видно из рис. 3, расхождение полученных ВАХ с заводскими не значительно и сопоставимо с точностью измерений.

Выводы

1. Схема снятия ВАХ ТТ, изложенная в [1], для практического применения должна быть уточнена.

2. Для снятия ВАХ ТТ на практике можно использовать схемы с промежуточными ТТ и ТН, имеющим более высокий класс точности по сравнению с испытуемыми.

3. Полученные ВАХ, снятые по указанным методам, совпадают с заводскими и могут быть использованы в качестве исходной информации для уточненных расчетов переходных процессов в ТТ.

Литература

1. Инструкция по проверке трансформаторов тока, используемых в схемах релейной защиты. – 2-е изд. – М.: Энергия, 1977. – 89 с.
2. Сопьяник, В.Х. Выявление короткозамкнутых витков в трансформаторах тока методом цифрового осциллографирования /В.Х. Сопьяник, А.И. Власов //Энергия и менеджмент. – 2004. – № 6. – С. 48-49.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОГРАНИЧЕНИЯ ПЛЯСКИ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

А.П. Андрукевич, Е.А. Дерюгина

*Учреждение образования «Белорусский национальный
технический университет», г. Минск*

Научные руководители: И.И. Сергей, П.И. Климкович

Пляска возникает при асимметричных отложениях гололеда толщиной от 0,1 до 1,0 диаметра провода и скоростях ветра в диапазоне 7–20 м/с [1]. При увеличении толщины гололеда больше диаметра провода пляска обычно прекращается. Возникновение пляски зависит от формы и ориентации гололедного отложения относительно скорости ветра. Во время пляски провода движутся по эллиптическим траекториям с большой осью эллипса преимущественно в вертикальной плоскости, образуя в полете одну, две или три полуволны [2]. Четырехполуволновые и более колебания проводов при пляске встречаются редко и составляют не более 2 % от общего их числа [1]. При пляске с одной полуволной двойная амплитуда колебаний может достигать 1,4 стрелы провеса.

В результате пляски происходят замыкания между проводами и между проводами и тросами, обрывы проводов, износ линейной арматуры и пр. [3]. Значительный ущерб от пляски проводов инициировал ее теоретические, экспериментальные и полевые исследования. Теоретическое изучение пляски существенно усложнено нелинейными зависимостями между аэродинамическими силами, движением и кручением проводов многопролетных участков воздушных ЛЭП [1]. Согласованные программы комплексных исследований пляски проводятся в Бельгии, Дании, Великобритании, Нидерландах, ФРГ, США, Канаде, России и др. Важным элементом исследований является проведение вычислительного эксперимента реальных пролетов воздушных ЛЭП.

При исследовании эффективности устройств ограничения и подавления пляски используются численные методы. Они позволяют количественно оценить эффект ограничения амплитуд колебаний и найти оптимальную схему расстановки гасителей пляски в полете. Однако по оценкам СИГРЭ, правильная интерпретация статистических данных наблюдений на действующих линиях представляется предпочтительным способом определения эффективности различных устройств гашения пляски. Поэтому производятся полевые наблюдения и сбор статистических данных об эффективности различных гасителей пляски.

Ведущую роль в изучении пляски и выборе способов борьбы с ней сыграли специалисты ВНИИЭ. Определение наибольших возможных амплитуд пляски имеет большое практическое значение для выбора расположения проводов на опоре и определения возможного приближения проводов во время пляски к земле и пересекаемым объектам. В СССР были случаи, когда в результате сильной пляски на линиях 330–500 кВ было остановлено движение транспорта на автомагистралях.

Яковлевым Л.В. подробно описан и обоснован метод эксцентричных грузов для гашения пляски проводов и приведены примеры его положительного применения в энергосистемах СССР. Однако анализ эффективности разработанного в ОРГРЭС крутильного гасителя показал, что установка указанных гасителей дала положительный эффект только на ВЛ 35–330 кВ Киевэнерго. Использование гасителей в семи других энергосистемах оказалось неуспешным. При эксплуатации этих гасителей происходит самопроизвольное раскручивание провода, предварительно закрученного при установке гасителей. Отмечены многочисленные случаи излома ножки гаси-

теля и повреждения наружных повивов провода в месте установки гасителя. Для устранения отмеченных недостатков было предложено комбинированное применение вертикальных и горизонтальных маятников, которое имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с методом эксцентричных грузов. Комбинированное применение вертикальных и горизонтальных маятниковых гасителей пляски повышает надежность их работы при любых эксплуатационных воздействиях на элементы ВЛ. Массивные вертикальные маятники под проводом обеспечивают отстройку частот вертикальных колебаний от крутильных на 10–20 %. Более легкие эксцентричные грузы устанавливаются в горизонтальной плоскости так, что каждые два соседних маятника находятся по разные стороны от вертикали, проходящей через центр кручения провода и обладают эффектом возбуждения разнонаправленных крутильных колебаний провода, меняющих направление действия аэродинамической подъемной силы. Вертикальные маятники являются ограничителями закручивания провода, что решает техническую проблему предотвращения опрокидывания горизонтальных маятников в пассивное положение, существенно отличающиеся от горизонтального. В отчете ВНИИЭ указывается, что разнообразные способы механического демпфирования пляски проводов пока не вышли из стадии опытов и не получили широкого практического применения.

По мнению исследователей ВНИИЭ, для защиты от пляски можно использовать разработанный А.Я. Либерманом аэродинамический способ подавления пляски проводов. Узкие длинные пластмассовые пластины изменяют аэродинамические характеристики провода, придавая ему более устойчивую форму и создают силы, противодействующие пляске. Предложены схемы их рациональной установки в пролете ВЛ. Общая длина участков пролета, оборудованных аэродинамическими стабилизаторами составляет 20–25 % длины пролета. Несмотря на ряд случаев их успешной эксплуатации под действием солнца и разности температур, пластмассовые стабилизаторы деформировались, усугубляя пляску. Самозакрепляющиеся пластмассовые гасители Азглавэнерго со временем утрачивают способность сцепления с проводом, соскальзывают по проводу, располагаются в пролете хаотически, при этом сами часто становятся причиной перекручивания расщепленной фазы. Таким образом, существующие способы крепления стабилизаторов к проводу, в том числе и металлических, несовершенны и нуждаются в доработке. Установка протяженных гасителей на труднодоступных пролетах линий неоправдана из-за резкого возрастания затрат на монтаж [4].

Для ВЛ 110–220 кВ эффективным средством борьбы с пляской проводов является установка междуфазных распорок, широко применяемых в США, Канаде и Японии.

Рассмотренные способы гашения пляски практикуются и за рубежом. В докладе СИГРЭ (1982 г.) изложены результаты испытаний устройств и систем ограничения пляски проводов. Рассмотрены расстраивающие маятники, аэродинамические гасители Richardson, а также междуфазные распорки. Для приближенной оценки ограничивающего действия для каждого устройства подсчитаны значения относительных амплитуд пляски при наличии ограничивающих устройств и без них. Это отношение для расстраивающих маятников составило 45 %, для аэродинамических гасителей 30 % и для междуфазных распорок 46 %. Экономические факторы являются основным критерием при выборе решений относительно применения устройств ограничивающих пляску, но следует учитывать эстетическое воздействие ВЛ на ландшафт, общественное мнение, на которое влияет частота перерывов в электроснабжении и другие факторы.

В докладе СИГРЭ (1981 г.) Rowbottom оценил эффективность гасителя с механическим демпфированием тех видов колебаний, которые вызывают проблемы при пляске. Значительной трудностью использования гасителей-демпферов является оптимизация жесткости пружины и демпфирования для различных величин отложений гололеда. Выбор демпферного гасителя для конкретной ВЛ является задачей строгого вычислительного эксперимента.

Метод эксцентричных грузов был успешно использован японскими специалистами. На основе математической модели были сформулированы расчетные критерии действия компенсаторов колебаний проводов при их пляске и разработана компенсационная система для подавления пляски с помощью эксцентричных грузов. Этот метод прошел проверку в полевых условиях и был реализован в энергосистеме.

Для линий с одиночными проводами в горизонтальном положении был вмонтирован эксцентриковый противовес. Ориентация его выбрана с учетом крутильной жесткости провода, и он направлен противоположно относительно направления разворота провода. Конструктивно эксцентриковый противовес решен таким образом, чтобы создавался достаточно большой компенсационный момент вращения.

Для расщепленных проводов используются распорки с вращающимися зажимами, рядом с которыми установлены эксцентричные грузы. Внутренний и внешний зажимы, допускающие свободное вращение в распорке выполнены из стали. Благодаря этому их вращательная способность становится такой, как и для одиночного провода, что приводит к уменьшению действия аэродинамической силы на провод. Результаты полевых испытаний на опытной линии и анализ эксплуатации работающих ЛЭП в течение 10 лет подтвердили эффективность предложенной системы подавления пляски проводов.

В докладе технической лаборатории Хокайдо изложен численный метод расчета пляски одиночных и расщепленных проводов при наличии гасителей-демпферов. Приводятся многочисленные примеры численных расчетов, подтверждающие эффективность демпферов в ограничении и гашении пляски проводов.

По пути комбинации различных способов подавления пляски проводов идут Бельгийские ученые. В разработанной ими конструкции нового демпфера пляски расщепленных проводов ТДД сочетаются принципы расстройки и демпфирования крутильных колебаний. Указанный новый гаситель прошел успешные испытания в полевых условиях. Для теоретического обоснования гасителя использована новая теория эквивалентной крутильной жесткости расщепленной фазы [1].

Сравнительный анализ методов защиты проводов ВЛ от воздействий пляски показывает, что наиболее точно этот вопрос решается при обосновании метода использованием строгих математических моделей и вычислительного эксперимента. Для ВЛ 35–220 кВ эффективными способами защиты являются междуфазные распорки, а также комбинации вертикальных и горизонтальных маятников. Проблемы борьбы с пляской проводов изложены в монографии Р.М. Бекметьева [2]. Несмотря на выполненный большой комплекс исследований и положительный опыт применения различных типов гасителей по сведениям СИГРЭ, отсутствует общее решение проблемы создания единого метода для предотвращения пляски проводов. Поэтому в этой области требуются как теоретические, так и практические работы по применению устройств подавления пляски для воздушных ЛЭП с различными параметрами.

Литература

1. Wang I., Lilien J. L. /Overhead electrical transmission line galloping. A full multi-Span – 3–DOF – Model, some Application and design recommendations //IEEE Transactions on Power Delivery. – Vol. 13, № 3. – 1998. – P. 909–916.
2. Бекметьев, Р.М. Пляска проводов воздушных линий электропередачи /Р.М. Бекметьев, А.Т. Жакаев, Н.В. Ширинских. – Алма-Ата: Наука, 1979. – 215 с.
3. Зеличенко, А.С. Разработки и исследования по ВЛ 1000 кВ и выше за рубежом: обзор. информ. /А.С. Зеличенко, Б.И. Смирнов //Центр науч.-техн. информ. по энерг. и электрификации. – М.: Информэнерго, 1986. – 48 с. (Энергетика и электрификация. Сер. 4. Электрические сети и системы. – Вып. 1).
4. Ловецкая, Е.М. Анализ эффективности средств ограничения и подавления пляски проводов /Е.М. Ловецкая, Д.С. Савваитов, В.А. Шкапцов //Электрические станции. – 1987. – № 4. – С. 48-51.

ДАТЧИК ПОТЕРИ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ С ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛОВ

А.Г. Баранов

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель В.В. Курганов

В настоящее время большое внимание уделяется разработке быстродействующего автоматического включения резервного питания (БАВР) высоковольтных электродвигателей как наиболее эффективного способа обеспечения устойчивости узла нагрузки. Одно из направлений в этих исследованиях – задача оперативного обнаружения потери питания (ПП).

Для эффективной работы датчика потери питания (ДПП) требуется выполнение ряда требований по быстродействию, селективности и точности устройства. Так, инерционность устройства в целом не должна превышать 40...60 мс. За это время необходимо отфильтровать исходный сигнал тока или напряжения, выделить его информационные параметры, произвести математическую обработку результата. Устройство должно эффективно работать в переходных режимах энергосистемы, при высоком уровне помех.

Для построения схемы датчика потери питания электродвигательной нагрузки можно использовать различные признаки аварийного режима: реле минимального напряжения, реле направления мощности, реле скорости снижения частоты и другие. Однако ни одно из этих устройств в отдельности не может оперативно и достоверно определить факт потери питания. Наиболее перспективной представляется схема ДПП, содержащая блок реле направления мощности (РНМ) и реле скорости снижения частоты (ССЧ), построенные на основе цифровых методов обработки сигналов. Необходимость применения цифровых методов обработки сигналов в ДПП вызвана невозможностью обеспечения селективности и быстродействия средствами аналоговой электроники. Прежде всего это связано с инерционностью аналоговых фильтров. Цифровые фильтры с конечной импульсной характеристикой имеют меньшую инерционность по сравнению с аналоговыми при схожих частотных свойствах. Особый интерес для ДПП представляет дискретное преобразование Фурье (ДПФ), вычисляемое по формуле (1).

$$X(s) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{\frac{i \cdot 2\pi \cdot n \cdot s}{N}}, \quad (1)$$

где $x(n)$ – значения текущего отсчета сигнала;

$X(s)$ – текущее значение s – той гармоники сигнала;

N – общее число отсчетов сигнала.

Главным преимуществом ДПФ для использования в датчике потери питания является возможность не только фильтрации исходного сигнала, но и выделение усредненных амплитуды и фазы всего за один период наблюдения. Был проведен анализ возможности применения дискретного преобразования Фурье для РНМ и реле ССЧ. Для РНМ на основе ДПФ с периодом 20 мс погрешность измерения не превысила 17° по фазе и 12 % по амплитуде при максимальном уровне помех в измерительных сигналах, что для реле направления мощности допустимо. Для реле ССЧ применение классического ДПФ, вычисляемого с периодом 20 мс, не представляется возможным из-за чрезмерно высокого уровня помех обусловленных гармоническими составляющими исходного сигнала. Улучшить избирательные свойства ДПФ можно, применив оконную функцию [1], [2]. Было проведено моделирование работы реле ССЧ на основе ДПФ со стандартными оконными функциями, вычисляемого по формуле (2).

$$X(s) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \omega(n) \cdot x(n) \cdot e^{\frac{i \cdot 2\pi \cdot n \cdot s}{N}}, \quad (2)$$

где $\omega(n)$ – отсчеты весовой (оконной) функции.

Оконная функция позволяет подавить паразитные пульсации частотной характеристики ДПФ вне полосы пропускания, но вместе с тем увеличивает ширину ее основного лепестка. В режиме моделирования работы реле ССЧ на основе ДПФ со стандартными оконными функциями были получены наилучшие результаты при использовании оконной функции Ханна и при периоде ДПФ 40 мс. Оконная функция Ханна изображена на рис. 1.

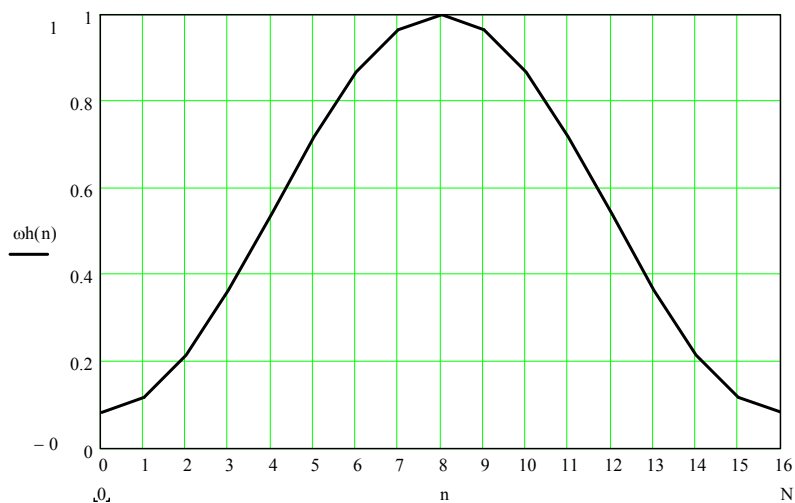


Рис. 1. Оконная функция Ханна для $N = 16$

В процессе моделирования вычислялось скользящее ДПФ с оконной функцией Ханна для случая потери питания. По рассчитанным текущим отсчетам фазового угла напряжения основной секции шин и вектора ЭДС синхронного двигателя вычислялись разность фаз, по формулам (3) и (4) вычислялись соответственно скорость изменения угла выбега δ и угловое ускорение вектора ЭДС синхронного двигателя соответственно.

$$\Delta\omega(k) = \delta(k + N/2) - \delta(k), \quad (3)$$

$$\varepsilon(k) = \Delta\omega(k + N/2) - \Delta\omega(k), \quad (4)$$

где $\delta(k)$ – k -й отсчет разности фаз основной и резервной секций шин;

$\Delta\omega(k)$ – k -й отсчет скорости изменения разности фаз;

$\varepsilon(k)$ – k -й отсчет углового ускорения изменения разности фаз.

Вычисление $\Delta\omega(k)$ и $\varepsilon(k)$ по смежным отсчетам исходных сигналов приводит к увеличению составляющей 100 Гц в выходном сигнале реле. Это связано с тем, что дифференцирование в форме разности по уравнениям (3), (4) усиливает высокочастотные составляющие фазоразностного сигнала. Уменьшить влияние эффекта увеличения уровня помех можно, увеличив временной интервал между вычитаемыми отсчетами и сделав его кратным периоду помехи. Сигнал углового ускорения $\varepsilon(k)$, полученный согласно алгоритму работы реле ССЧ, представлен на рис. 2. При моделировании были заданы уровни высокочастотных помех в сигналах напряжения основной и резервной секции шин, в 2 раза превышающие значения, определяемые по ГОСТ13109-97. Это соответствует реальным уровням высших гармоник при выбеге узла промышленной нагрузки с электродвигателями.

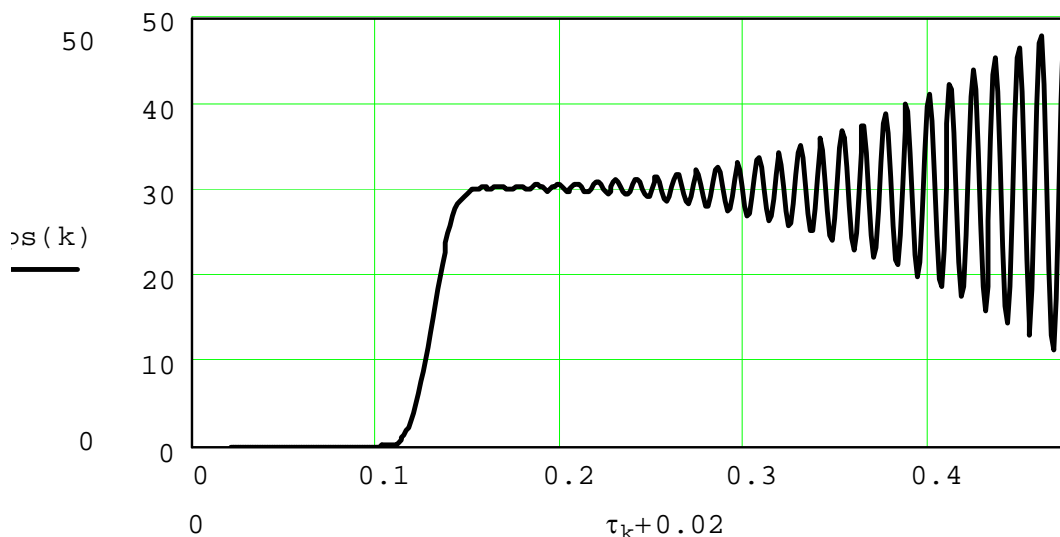


Рис. 2. Выходной сигнал реле ССЧ для $\varepsilon = 30 \text{ Гц/с}^2$

Моделирование показало, что при разнице частот на секциях шин 1–2 Гц наблюдается четкое выделение величины углового ускорения, при дальнейшем увели-

чении разности частот наблюдается появление и резкое увеличение амплитуды помехи частотой 100 Гц, что связано с несовпадением кратности периода ДПФ и частоты основной гармоники сигнала. Повысить точность измерения ССЧ при больших несовпадениях периодов ДПФ и измеряемого сигнала можно либо смещением частотной характеристики ДПФ в область нижних частот, либо с помощью дополнительного цифрового фильтра с конечной импульсной характеристикой. Последнее может оказаться более эффективным за счет сокращения периода осреднения по формулам (3) и (4). Общая инерционность реле ССЧ на основе ДПФ с оконными функциями составит порядка 60 мс. Благодаря наличию быстродействующего канала РНМ, имеющего точность порядка 17° и инерционного реле ССЧ, имеющего высокую точность, обеспечивается выполнение требований как по быстродействию, так и по селективности устройства.

Аппаратно ДПП может быть реализован на цифровом сигнальном процессоре. Это позволит в одном устройстве реализовать программными методами все описанные выше функции без пропорционального наращивания аппаратных средств.

Литература

1. Рабинер, Л.Р. Теория и применение цифровой обработки сигналов /Л.Р. Рабинер, Б. Голд; пер. с англ.; под ред. Ю.Н. Александрова. – М.: Мир, 1978.– 637 с.
2. Цифровая обработка сигналов: справ. /Л.М. Гольденберг [и др.]. – М.: Радио и связь, 1985.
3. Слодарж, М.И. Режимы работы, релейная защита и автоматика синхронных электродвигателей /М.И. Слодарж. – М. Энергия, 1977.
4. Информационные материалы по цифровым сигнальным процессорам Texas Instruments и Analog Devices.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВЫХ РЕЛЕ И ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА УСТАВОК ЗАЩИТ

Н.С. Шевцов

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель В.В. Курганов

В настоящее время в РЗА появились цифровые реле (ЦР). Это обусловлено рядом преимуществ ЦР перед электромагнитными. К ним можно отнести: компактность, многофункциональность и точность. Благодаря точности действия в расчетах токов срабатывания защит можно значительно снизить коэффициенты надежности, что позволит выставить оптимальные уставки и, как следствие, повысить надежность работы систем электроснабжения.

Говоря о преимуществах ЦР, стоит упомянуть о таком их свойстве, как выбор форм обратнoзависимых от тока (ОЗТ) характеристик срабатывания максимальной токовой защиты (МТЗ), которое позволяет лучше отстроиться от предыдущих защит и сохранять селективность действия при любых значениях тока.

В зависимости от степени крутизны ОЗТ характеристик, они имеют названия: «нормальная», «очень зависимая», «чрезвычайно зависимая» и «ультра зависимая». Тип зависимой характеристики выбирается пользователем программным способом. При этом в соответствии со стандартом МЭК ОЗТ характеристики описываются выражением:

$$t = \frac{k\beta}{I_*^\alpha - 1}, \quad (1)$$

где K – временной коэффициент;

I_* – кратность тока КЗ к току срабатывания защиты;

t – время срабатывания защиты, с;

α, β – постоянные коэффициенты, определяющие крутизну стандартных ОЗТ характеристик.

Для ЦР типа Seram 2000 в качестве уставки по времени принято значение времени срабатывания T при десятикратном токе ($I_* = 10$). Связь между T и K определяется по выражениям:

для «нормальной» ОЗТ	$T = 2,97 K$;
для «очень зависимой» ОЗТ	$T = 1,5 K$;
для «чрезвычайно зависимой» ОЗТ	$T = 0,808 K$;
для «ультразависимой» ОЗТ	$T = K$.

Для построения данных характеристик на карте селективности, необходимо знать координаты ($t, I_{c.3}$) одной точки, через которую должна проходить характеристика. Зная данные координаты, можно вычислить K по формуле:

$$K = \frac{t_{c.3} (I_*^\alpha - 1)}{\beta}. \quad (2)$$

Подставляя значение K в формулу (1), вычисляем значение времени срабатывания для произвольной величины тока.

Вышесказанное поясним на примере расчета времени срабатывания защит для распределительной сети 6 кВ.

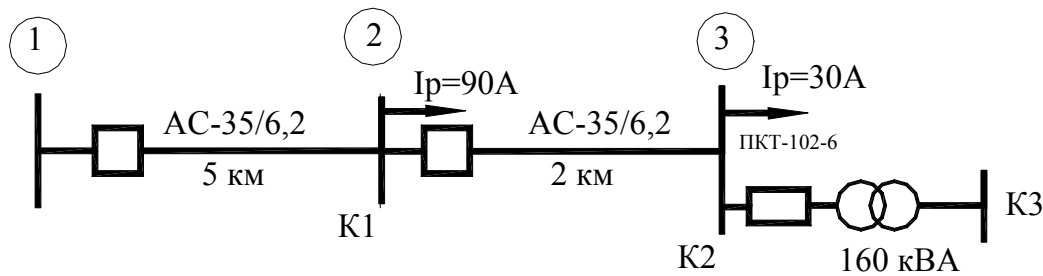


Рис. 1. Схема распределительной сети 6 кВ

Значения токов КЗ:

$$I_{K1}^{(3)} = 828 \text{ А} \quad I_{K1}^{(2)} = 717 \text{ А}$$

$$I_{K2}^{(3)} = 600 \text{ А} \quad I_{K2}^{(2)} = 520 \text{ А}$$

$$I_{K3}^{(3)} = 244 \text{ А} \quad I_{K3}^{(2)} = 211 \text{ А}$$

Параметры срабатывания защит:

$$\text{узел 3: } I_{пл.вс} = 31,5 \text{ А}$$

$$\text{узел 2: } I_{c.3} = 117 \text{ А}$$

$$\text{узел 1: } I_{c.3} = 286 \text{ А}$$

Построение карты селективности начинаем с построения время-токовой характеристики предохранителя ПКТ.

Защиту в узле 2 осуществим на основе реле РТВ с временем действия в независимой части характеристики равным 1 с. Как видно из построения характеристики реле РТВ, оно имеет меньшую степень крутизны, в результате чего время действия защиты 1, при отстройке ее от защиты 2, будет завышено. Поэтому в узле 2 целесообразно установить ЦР с «очень зависимой» ОЗТ характеристикой. Произведем ее расчет.

За расчетную точку возьмем КЗ в узле 3 (К2) $I_* = I/I_{с.з} = 520/170 = 3,06$,
 $t = t_{пл.вс} + \Delta t = 0,03 + 0,3 = 0,33$ с.

По формуле (2) определяем значение временного коэффициента:

$$K = \frac{0,33(3,06 - 1)}{13,5} = 0,046 .$$

По формуле (1) рассчитываем ОЗТ характеристику:

$$I = 180 \text{ A} \quad I_* = 1,059 \quad t = (0,046 * 13,5) / (1,059 - 1) = 10,52 \text{ с.}$$

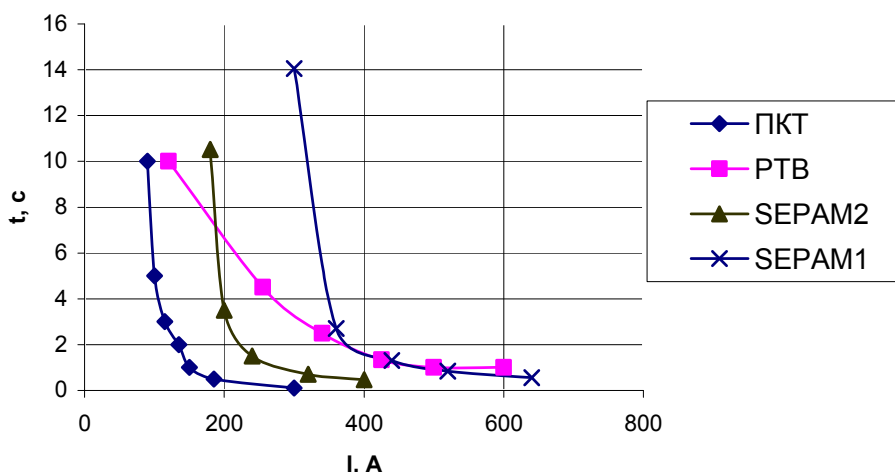
$$I = 240 \text{ A} \quad I_* = 1,412 \quad t = (0,046 * 13,5) / (1,412 - 1) = 1,5 \text{ с.}$$

$$I = 320 \text{ A} \quad I_* = 1,882 \quad t = (0,046 * 13,5) / (1,882 - 1) = 0,7 \text{ с.}$$

$$I = 400 \text{ A} \quad I_* = 2,353 \quad t = (0,046 * 13,5) / (2,353 - 1) = 0,46 \text{ с.}$$

Построение характеристики защиты узла 1 произведем аналогично. Результаты расчетов отобразим на карте селективности.

КАРТА СЕЛЕКТИВНОСТИ



Из построения карты селективности видно, что благодаря возможности изменения степени крутизны ОЗТ характеристик, появляется возможность лучше отстраиваться от предыдущей защиты даже в маломощных сетях, что очень важно для с/х потребителей и предприятий с малой установленной мощностью.

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА В КВАРТИРЕ

А.В. Иванейчик

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О.Сухого», Беларусь*

Научный руководитель Ю.Н. Колесник

В настоящее время на рынке республики стали появляться энергосберегающие (люминесцентные) лампы, которые являются альтернативными источниками света традиционным лампам накаливания в квартире. При этом энергосберегающие источники света обладают как достоинствами (позволяют снизить расход электроэнергии на освещение в 5–6 раз, срок службы в 6–8 раз больше, чем у ламп накаливания), так и недостатками (сравнительно низкая эксплуатационная надежность, высокая стоимость и др.). Учитывая, что в настоящее время освещение в коммунально-бытовом секторе экономики в основном осуществляется лампами накаливания, а также в связи с необходимостью энергосбережения в Республике Беларусь, задача снижения расхода электроэнергии на освещение представляется весьма актуальной. Поэтому экономическая оценка эффективности замены ламп накаливания на энергосберегающие люминесцентные лампы в квартире представляет практический интерес.

Известно, что потребление электрической энергии коммунально-бытовым сектором экономики республики составляет около 30 %, поэтому здесь имеются существенные возможности энергосбережения. Для оценки потенциала энергосбережения рассмотрим структуру осветительной нагрузки (в качестве источников света используются лампы накаливания) на примере двухкомнатной квартиры (табл. 1).

Таблица 1

Структура осветительной нагрузки двухкомнатной квартиры

Наименование прибора	Кол-во, шт.	$P_{н}$, Вт	$T_{раб.}$, ч/сутки	$T_{раб.}$, ч/месяц	W , кВт·ч/месяц
Лампа накаливания (ванная)	1	60	2	60	3,6
Лампа накаливания (туалет)	1	60	1	30	1,8
Лампа накаливания (кухня)	1	100	5	150	15
Лампа накаливания (прихожая)	1	100	1	30	3
Лампа накаливания (спальня)	3	60	4	120	21,6
Лампа накаливания (зал)	3	60	5	150	27
Лампа накаливания (зал)	1	100	5	150	15
<i>Итого</i>					87

Поскольку в коммунально-бытовом секторе около 40 % общего потребления электрической энергии приходится на освещение, очевидным энергосберегающим мероприятием является использование энергосберегающих источников света. Однако, учитывая их более высокую стоимость по сравнению с лампами накаливания, представляет интерес обоснование *экономически целесообразного* потенциала энергосбережения на основе современных показателей экономической оценки [1].

Одним из основных методов экономической оценки является приведение (дисконтирование) разновременных показателей к ценности в начальном периоде. Приведение потока реальных денег к одному временному интервалу технически производится с помощью коэффициента дисконтирования (дисконтного множителя):

$$d_t = (1 + E)^{-t} = \frac{1}{(1 + E)^t},$$

где t – номер шага расчета (год реализации проекта);

E – норма дисконтирования.

Оценку эффективности энергосберегающих мероприятий в соответствии с концепцией дисконтирования потоков реальных денег, производят с использованием различных показателей, к которым относятся:

1. Чистый дисконтированный доход (ЧДД) – прибыль, полученная за весь срок реализации проекта и дисконтированная к году вложения инвестиций, определяется как превышение результатов P_t над затратами Z_t :

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (P_t - Z_t) \cdot d_t,$$

где T – инвестиционный период или срок жизни проекта.

2. Индекс доходности (ИД) – отношение чистого приведенного дохода к дисконтированной стоимости инвестиций

$$\text{ИД} = \frac{\sum_{t=0}^T \mathcal{E}_t \cdot d_t}{\sum_{t=0}^T K_t \cdot d_t}.$$

3. Динамический срок окупаемости ($T_{\text{ок}}^{\text{дин}}$) – часть инвестиционного периода, в течение которого вложенный капитал окупается и вместе с тем инвестор получает доход в размере процентной ставки:

$$T_{\text{ок}}^{\text{дин}} = t - \frac{\text{ЧДД}_t}{\text{ЧДД}_{t+1} - \text{ЧДД}_t}$$

Используя изложенные показатели, выполним оценку экономической целесообразности замены ламп накаливания на энергосберегающие люминесцентные лампы.

За норму дисконтирования принята разница между банковской ставкой рефинансирования и инфляцией. Расчеты выполнены при цене электроэнергии в коммунально-бытовом секторе, равной 75 р/кВт·ч. Цены на люминесцентные лампы приняты из [2].

В результате получена математическая модель, позволяющая определять индекс доходности и динамический срок окупаемости с учетом срока службы и мощности, цены лампы и суточного времени ее работы, ставки рефинансирования, инфляции и стоимости электроэнергии. С помощью модели были получены зависимости срока окупаемости и индекса доходности от цены с учётом времени работы лам-

пы (ч/сут.), а также ряд других зависимостей, характеризующих экономическую целесообразность замены ламп (рис. 1).

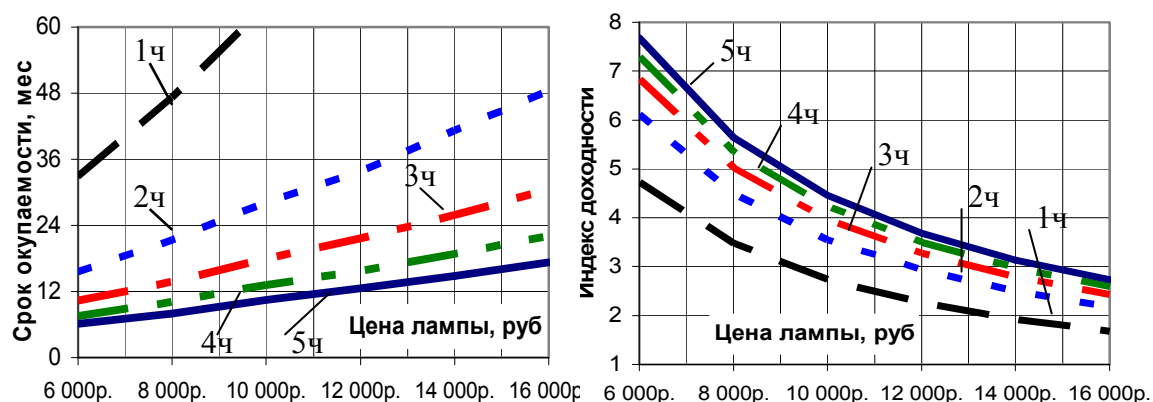


Рис. 1. Показатели эффективности замены ламп накаливания (100 Вт) на люминесцентные (20 Вт) при различном времени работы в сутки

При рассмотрении осветительных нагрузок на примере 2-комнатной квартиры на основе полученных зависимостей были сделаны выводы об экономической целесообразности замены ламп накаливания на люминесцентные лампы. Мероприятие требует дополнительных вложений в размере 54 560 рублей, в результате чего получаем месячную экономию электроэнергии в размере 68 кВт·ч/мес., что эквивалентно 5 110 р/мес. Следовательно, менее чем через год это мероприятие окупится.

Если данное энергосберегающее мероприятие распространить по всей республике, то экономически оправданная годовая экономия электроэнергии в целом по стране зависит от доли мощности замененных ламп и составит 3,3 млрд кВт·ч (при сроке окупаемости 1,5 года), т. е. 9,6 % всей потребляемой электроэнергии (рис. 2).

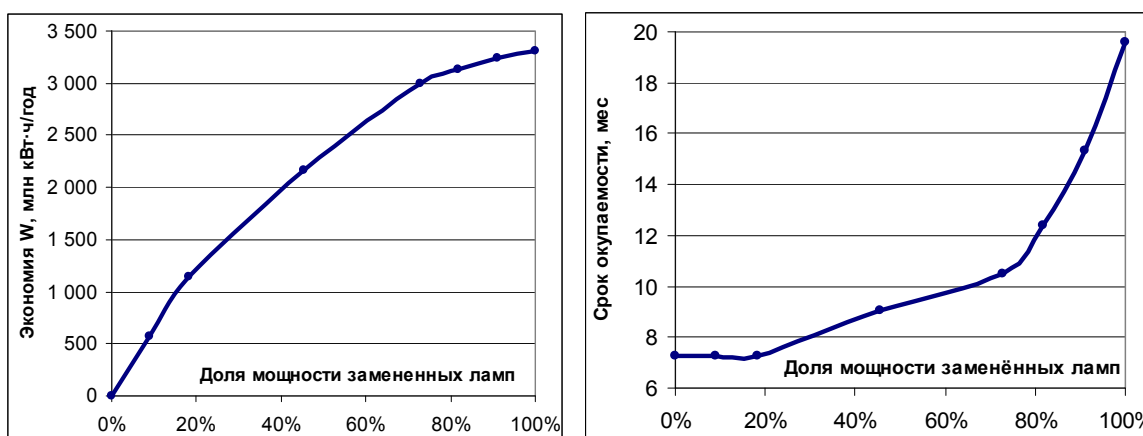


Рис. 2. Зависимости экономии электроэнергии по Республике от количества заменённых ламп накаливания на люминесцентные лампы

Таким образом, установлено, что замена ламп накаливания на энергосберегающие в большинстве случаев экономически целесообразна, позволяет существенно снизить расход электроэнергии республики, способствуя ее энергетической безопасности. Однако, к сожалению, существует ряд причин, препятствующих быстрому развитию данного мероприятия:

– потребляемая мощность ламп, их световой поток и срок службы не всегда соответствует данным производителя, что объясняется низким качеством самих ламп, а также неудовлетворительными параметрами режима системы электроснабжения;

– сравнительно высокая стоимость энергосберегающих ламп, обусловленная переходным периодом экономики.

Используя такие лампы, люди быстро разочаровываются и не хотят больше их покупать. Поэтому необходимо сформулировать ряд требований, которым должны отвечать как люминесцентные лампы, распространяемые на территории Республики Беларусь, так и системы электроснабжения коммунально-бытового сектора экономики.

Литература

1. Полозова, О.А. Методы экономического обоснования энергосберегающих мероприятий /О.А. Полозова //Материалы семинара «Организация и проведение энергетического обследования субъектов хозяйствования Республики Беларусь. – Гомель. – 2001. – С. 112-118.
2. Как экономить средства предприятия на энергосберегающих лампочках //«Электромаркет», 2005. – № 1(46). – С. 15.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НЕСТАБИЛЬНО РАБОТАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Д.С. Смягликов

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель Н.В. Токочакова

Условия современной экономики заставляют предприятия быстро реагировать на изменения рынка: постоянно изменять ассортимент продукции, объемы производства. При этом месячные объемы выпуска продукции отличаются от среднегодовых значений. В этих условиях актуальной является задача разработки норм удельных расходов ТЭР в зависимости от объемов выпуска продукции.

Основными методами разработки норм в настоящее время являются: опытный, отчетно-статистический, расчетно-статистический, расчетно-аналитический.

Опытный метод разработки норм заключается в определении норм по данным, полученным в результате испытаний (эксперимента).

Отчетно-статистический метод предусматривает определение норм на основе анализа статистических данных о фактических удельных расходах топлива, тепловой и электрической энергии и факторов, влияющих на их изменение, за ряд предшествующих лет.

Расчетно-статистический метод основан на разработке экономико-статистической модели в виде зависимости фактического расхода ТЭР от воздействующих на него факторов.

Расчетно-аналитический метод предусматривает определение норм расхода ТЭР расчетным путем по статьям расхода ТЭР при производстве продукции (работ, услуг) с учетом достигнутых показателей использования ТЭР и планируемых мероприятий по энергоэффективности.

На основе расчетно-статистического метода была разработана методика определения удельных норм расхода электроэнергии, которая позволяет достаточно точно определять нормы расхода электроэнергии, а также учитывает такие факторы, как сезонность и изменение объемов производства продукции. Расчетно-статистический

метод в настоящее время является наиболее перспективным, так как позволяет руководствуясь обобщенными статистическими данными по предприятию легко рассчитать нормы удельного расхода ТЭР. Одним из недостатков этого метода является его неточность, но достаточно высокой точности его можно добиться, применяя нетрадиционный подход в расчете удельных норм расхода ТЭР.

Для разработки норм по данной методике необходимо решить следующие задачи :

1. На первоначальном этапе необходимо в общем электропотреблении выделить составляющие, необходимые для производства только определенного вида продукции (частные).

2. Затем, на основании этого выделить составляющие, являющиеся общими для всех видов продукции, т. е. общезаводские (общие).

3. Рассчитать общезаводскую удельную норму расхода электроэнергии на выпуск единицы продукции.

4. На основании полученного общезаводского удельного расхода электроэнергии рассчитать удельный расход электроэнергии по отдельным видам продукции.

Методика расчета представляет собой систему уравнений, в которой учтены факторы электропотребления, которые относятся к производству только определенного вида продукции. В свою очередь они подразделяются на факторы, которые зависят от объема производства (электропотребление силовой нагрузкой) и не зависят (освещение, вентиляция).

Данная методика была опробована на РУП «Гомельский ликеро-водочный завод». Основными видами производимой продукции на Гомельском ЛВЗ являются: водка в таре 0,5 л, водка в таре 0,25 л и ликероводочные изделия, бренди и слабоалкогольные напитки и настойки (далее настойки).

На первоначальном этапе исследований был проведен анализ электропотребления предприятия. В нем были выделены составляющие, относящиеся только к выпуску определенного вида продукции. Для водки в таре 0,25 л – это мойка и разлив, для водки 0,5 л – мойка и разлив, для настоек – мойка, разлив, а также силовая, вентиляционная, и осветительная нагрузка ликерного, сувенирного и винного цехов. На основании этого была составлена следующая система уравнений:

$$\begin{cases} W_{03} = W_{\Sigma} - W_H^{\text{var}}(P_H) - W_H^{\text{const}} - W_{B0,25}^{\text{var}}(P_{B0,25}) - W_{HB0,5}^{\text{var}}(P_{HB0,5}) \\ W_H = W_H^{\text{var}} \cdot \frac{P_H}{P_{BA3}} + W_H^{\text{const}} \\ W_{\Sigma} = W_{B0,25} + W_H + W_{B0,5}, \end{cases} \quad (1)$$

где W_{Σ} – суммарное электропотребление завода за месяц;

W_{03} – доля электропотребления, необходимая для производства водки и ликероводочных изделий, бренди и слабоалкогольных напитков и настоек независимо от тары розлива;

W_H^{const} – доля электропотребления, необходимая для производства ликероводочных изделий, бренди и слабоалкогольных напитков и настоек;

W_H^{var} – зависящая от производительности ликероводочных изделий, бренди и слабоалкогольных напитков и настоек составляющая электропотребления (электропотребление закатывающих станков, насосов, мешалок и т. п. в ликерном, ликерном

сувенирном и в винном цехах завода за базисный период времени (учитываются ликерный, сувенирный и винный цеха);

W_H^{const} – независимая от производительности ликероводочные изделий, бренди и слабоалкогольных напитков и настоек составляющая электропотребления (электропотребление освещения и вентиляции);

P_H – производительность ликероводочных изделий, бренди и слабоалкогольных напитков и настоек за рассматриваемый временной интервал.

Решив систему уравнений (1), можно рассчитать общезаводской удельный расход электроэнергии на выпуск ЛВИ по формуле

$$C_{\text{удЛВИ}} = \frac{W_{\text{ОЗ}}}{P_{\text{ЛВИ}}} . \quad (2)$$

Далее, добавляя к общезаводскому удельному расходу электроэнергии на выпуск ЛВИ частные составляющие, можно рассчитать удельный расход электроэнергии для каждого вида продукции.

Удельный расход электроэнергии на выпуск водки емкостью 0,5 л определим по формуле

$$C_{\text{удВ0,5}} = C_{\text{удЛВИ}} + W_{\text{НВ0,5}}^{\text{var}} (P_{\text{НВ0,5}}) . \quad (3)$$

Удельный расход электроэнергии на выпуск водки емкостью 0,25 л определим по формуле

$$C_{\text{удВ0,25}} = C_{\text{удЛВИ}} + W_{\text{В0,25}}^{\text{var}} (P_{\text{В0,25}}) . \quad (4)$$

Удельный расход электроэнергии на выпуск настойки определим по формуле

$$C_{\text{удВ0,25}} = C_{\text{удЛВИ}} + W_H^{\text{var}} (P_H) + W_H^{\text{const}} . \quad (5)$$

На основании полученных формул была проведена проверка разработанных норм, приведенных в таблице.

Проверка разработанных норм расхода по данным кварталов 2004 г.

Продукция	1 кв.	2 кв.	3 кв.	4 кв.	Год
ЛВИ, тыс. дал	215,16	226	182,61	154,1	777,9
Водка 0,5 л, тыс. дал	187,99	193,45	159,7	125,32	666,5
Водка 0,25 л, тыс. дал	15,13	14,03	9,46	15,98	54,6
Ликероводочные изделия, бренди и слабоалкогольные напитки, тыс. дал	12,04	18,52	13,45	12,8	56,81
Норма					
Водка 0,5 л, кВтч/тыс. дал	522	409	440	648	493,2
Водка 0,25 л, кВтч/тыс. дал	546	437	450	672	538,2

Окончание

Продукция	1 кв.	2 кв.	3 кв.	4 кв.	Год
Ликероводочные изделия, бренди и слабоалкогольные напитки, кВтч/тыс. дал	1281	1040	1050	1281	1147,7
ЭЭ по норме, тыс. кВтч	121,82	104,51	88,65	108,34	423,32
ЭЭ по факту, тыс. кВтч	122	104,5	88,56	108,3	423,36
Небаланс, %	-0,2	0,0	0,1	0,0	0,0

Из таблицы видно, что вышеизложенный метод позволяет получать результаты с погрешностью, не превышающей 0,5 %. Помимо всего прочего, метод позволяет получать зависимости удельных норм расхода электрической энергии дифференцированные по видам продукции.

Подводя итог, можно сказать, что с использованием данного метода нормы дифференцируются в зависимости от вида выпускаемой продукции и сезонной специфики электропотребления. Также он позволяет получать зависимости, с помощью которых можно легко определить норму расхода по каждому виду продукции (при условии неизменного состава оборудования и агрегатов).

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОБЪЕКТОВ СОЦКУЛЬТБЫТА РУП «ГОМЕЛЬТРАНСНЕФТЬ «ДРУЖБА»

Е.Л. Шенец

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель Н.В. Токочакова

В следствии низкой обеспеченности собственными энергоносителями задача обеспечения удовлетворения нарастающих потребностей населения и промышленности в электрической и тепловой энергии приводит к необходимости более широкого использования возобновляемых источников энергии. В перспективе это будет способствовать решению фундаментальных проблем устойчивого развития республики, таких как: энергетическая безопасность, эффективное использование топливно-энергетических ресурсов, сохранение здоровья населения и защиты окружающей среды.

В качестве технологий и оборудования, относящихся к возобновляемым источникам энергии, с учетом природных, географических и метеорологических условий республики рассматриваются малые гидроэлектростанции, ветроэнергетические установки, биогазовые установки и в меньшей мере гелиоподогреватели, фотоэлектрические батареи, установки для брикетирования и использования отходов растениеводства и др.

В данной работе рассмотрены перспективы применения ветроэнергетических установок для объектов соцкультбыта РУП «Гомельтранснефть «Дружба».

В Беларуси исследован и картографически оформлен (рис. 1) ветроэнергетический потенциал регионов республики. По оценкам ряда специалистов, технически пригодный в условиях Беларуси потенциал оценивается в 1 600 МВт. Используя его,

с учетом технических характеристик ветроэнергетических установок, имеющих на рынке, можно вырабатывать порядка 3 млрд кВтч электроэнергии ежегодно.

Из рис. 1 видно, что одним из наиболее привлекательных, с точки зрения установки ветроэнергетических установок, районов республики является район Василевичей. Следует отметить также, что в этом районе располагается насосная подстанция «Защепье» РУП «Гомельтранснефть «Дружба», а также база отдыха «Милоград», находящаяся на балансе РУП «Гомельтранснефть «Дружба». После более точного выяснения среднегодовых скоростей ветра в указанных районах получили следующие данные: в районе базы отдыха «Милоград» среднегодовая скорость ветра на высоте 10–60 метров составила 5,4 м/с, а в районе подстанции «Защепье» на такой же высоте 5,3 м/с. Таких скоростей ветра достаточно для монтажа и эксплуатации среднескоростных ветроэнергетических установок.

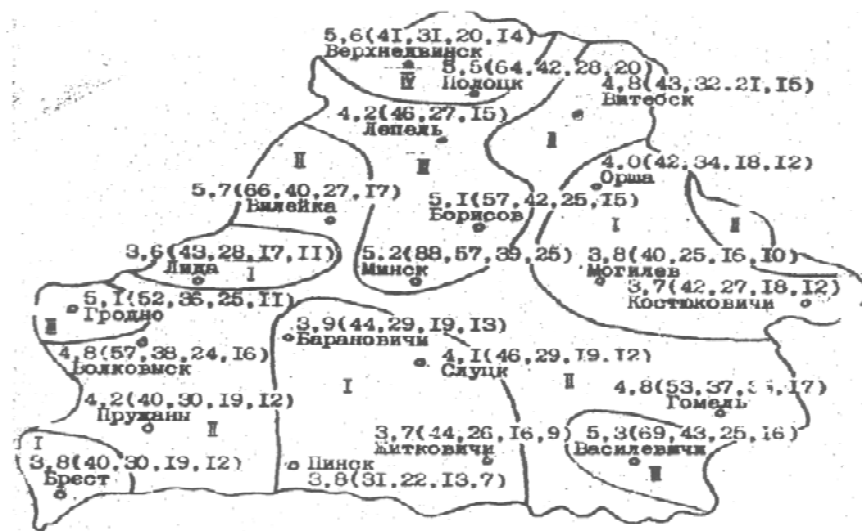


Рис. 1. Среднегодовое распределение скорости ветра на территории Республики Беларусь:
 I – среднегодовая скорость ветра до 4 м/с;
 II – среднегодовая скорость ветра до 4,5 м/с;
 III – среднегодовая скорость ветра до 5 м/с

Известно, что в Германии начала действовать новая законодательная база, которая стимулирует заменять ветроэнергетические установки малой и средней мощности (до 600 кВт) на более мощные установки. В связи с этим немецкие владельцы ветроустановок средней мощности готовы демонтировать и продавать в Беларусь такие установки за 20 % от их первоначальной стоимости. Не маловажным является тот факт, что у таких установок назначенный оставшийся ресурс работы составляет 15–20 лет.

Поэтому был рассмотрен вариант закупки в Германии ветроэнергетической установки Enercon 40, с номинальной мощностью 500 кВт и монтаж ее в районе подстанции «Защепье», с целью снижения потребления электрической энергии из сети. Производители этих установок утверждают, что при скорости ветра 5,4 м/с такая установка выработает 893 000 кВтч электрической энергии. Стоимость этой установки

77 000 евро. Экономический эффект от экономии при оплате за электрическую, позволит окупить такую установку за 2,5 года.

Однако помимо иностранных производителей на рынке ветроэнергетических установок есть еще и отечественный. Таким производителем является НПО «АЭРОЛЛА», которая в данный момент специализируется на выпуске ветроэнергетических установок малой мощности (до 250 кВт), однако именно эти установки являются наиболее приспособленными к метеорологическим условиям Беларуси.

В данной работе рассмотрен вариант внедрения ветротеплогенераторной установки производства НПО «АЭРОЛА», номинальной мощностью 50 кВт, на базе отдыха «Милоград» 300,11 т у. т. 802 Гкал 300 539,4 Гкал* 4,95 8,95.

Годовая потребность в тепловой энергии для базы отдыха составляет 94 тыс. кВтч, а ветротеплогенераторная установка такой мощности, при среднегодовой скорости ветра 5,3 м/с, способна вырабатывать около 100 тыс. кВтч тепловой энергии в год. Немаловажным фактом является то, что такая установка имеет возможность аккумуляции тепловой энергии. При стоимости установки вместе с монтажом 75 млн р. динамический срок окупаемости при действующем законодательстве в области нетрадиционной энергетики составляет 2,7 года.

К преимуществам современных ветроэнергетических установок следует отнести также полную автономность и крайне незначительную потребность в обслуживании (порядка 0,5 чел. ч./сут.).

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что ветроэнергетика является перспективным направлением как для Республики Беларусь в целом, так и для субъектов хозяйствования в частности, в смысле привлекательности инвестиционных проектов, связанных с внедрением ветроэнергетических установок.