

СЕКЦИЯ Д. ВИБРОДИАГНОСТИКА, ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

УДК 543.42:621.373

ТЕХНОЛОГИЯ ЛАЗЕРНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ

В. Г. Сорокин, Е. И. Эйсымонт, А. В. Кучинская

*Учебно-методический центр «Промагромаши» ОАО «Белкард»,
г. Гродно, Беларусь*

К числу эффективных технологий модифицирования компонентов металлополимерных систем с целью придания им заданных функциональных параметров относится воздействие энергетических потоков – тепловых, ионизирующих, электромагнитных и т. п. Благодаря этому формируется определенная морфология, образуются активные центры, способные к взаимодействию с компонентами различного состава и молекулярной массы, изменяется энергетическое состояние и структура поверхностного слоя. В номенклатуре методов высокоэнергетического воздействия особое место принадлежит лазерным технологиям, которые обладают широким диапазоном варьирования параметров и имеют развитую аппаратно-технологическую базу.

С применением современных методов физико-химического и структурного анализа (ИК-спектроскопии, ДТА, атомной силовой и растровой электронной микроскопии, спектроскопии термостимулированных токов) осуществлен анализ особенностей морфологии и энергетического состояния полимерных пленочных полуфабрикатов (ПЭНД, ПП, ПА6, ПЭТФ), подвергнутых расфокусированному лазерному излучению. Для обработки использовали лазер на стекле, активированным неодимом (длина волны $\lambda = 1,06$ мкм с длительностью импульса $\tau = 1$ мс, энергией импульса $E \sim 30$ Дж), и рубиновый лазер (длина волны $\lambda = 0,69$ мкм, длительность импульса $\tau = 400$ мкс, энергией импульса $E \sim 2$ Дж).

Установлен эффект комплексного модифицирующего действия потока расфокусированного лазерного излучения на поверхностный слой полимерного полуфабриката различной молекулярной массы и состава.

Поверхностный слой подложки в результате лазерного модифицирования приобретает характерную развитую морфологию с выраженным рельефом, образованным микронеровностями с параметром Ra от 14 до 20 мкм для ПЭВД и 4,7–25 мкм для ПЭТФ. При этом существенно изменяются параметры деформационно-прочностных характеристик, что, вероятно, обусловлено изменением надмолекулярной структуры поверхностного слоя пленочных образцов.

Методом спектроскопии термостимулированных токов исследовано энергетическое состояние поверхностного слоя полимерных пленок, подвергнутых лазерному облучению с различной энергией потока.

Установлено, что независимо от условий модифицирования существенно изменяются температурные диапазоны протекания термостимулированных токов и их интенсивность. При этом при любом виде воздействия лазерного пучка в поверхностном слое появляются носители заряда, которые отсутствуют в исходном образце.

Вероятным механизмом образования носителей заряда различной природы являются процессы деструкции приповерхностного слоя, сопровождающиеся десорбцией низкомолекулярных фракций и сублимацией компонентов, входящих в состав полимерного материала. Модифицированные лазерным воздействием полимерные полуфабрикаты характеризуются повышенной энергией поверхностного слоя, что благоприятно сказывается на параметрах смачивания полярными и неполярными средами.

Разработана технология функциональной обработки компонентов наполненных композитов и пленочных полуфабрикатов, используемых при изготовлении триботехнических и конструкционных изделий.

УДК 621.311

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Д. Р. Мороз, Е. Л. Шенец

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Значение потерь электрической мощности в распределительной сети предприятия является одной из важнейших характеристик, поскольку характеризует эффективность ее работы. Определение уровня потерь электрической мощности в распределительной сети предприятия является необходимым при составлении электрического баланса предприятия, например при проведении энергетического обследования или при разработке норм расхода электрической энергии на выпуск продукции.

Целью работы является разработка способа оценки потерь электрической мощности в распределительной сети предприятия в условиях неполноты информации о энергетических потоках по отдельным линиям электропередач.

Поскольку при передаче электрической энергии с третьего на первый уровень электроснабжения на крупных промышленных предприятиях насчитываются тысячи линий электропередач, то систему электроснабжения на этих уровнях можно рассматривать как большую систему, обладающую свойством эмерджентности. Тогда, несмотря на отдельные отклонения, сила тока для каждой линии электропередач должна колебаться около некоторого среднего, наиболее вероятного, значения. Для определения наиболее вероятного значения силы тока для каждой линии электропередач предложено распределить ток, протекающий на более высоком уровне системы электроснабжения, пропорционально установленной мощности подключенных электроприемников.

Для верификации предложенного способа определения потерь электрической мощности при ее передаче с третьего на первый уровень системы электроснабжения необходимо сравнение фактических потерь и потерь электрической мощности, определенных предложенным способом. Верификация предложенного способа определения потерь электрической мощности производилась на модели системы электроснабжения абстрактного предприятия с заданными электрическими нагрузками. Адекватность предложенного способа определения потерь электрической мощности оценивалась на основе метода статистических испытаний Монте-Карло.

Выводы

1. Предложен способ определения потерь электрической мощности в распределительной сети предприятия на основе распределения суммарной потребляемой

мощности предприятия между электроприемниками пропорционально их установленной мощности.

2. Установлено, что предложенный способ определения потерь электрической мощности в распределительной сети предприятия адекватен при количестве линий электропередач с третьего на первый уровень более 1000 и обеспечивает погрешность менее 2 % при уровне значимости 0,95.

Литература

1. Соболев, И. М. Метод Монте-Карло / И. М. Соболев. – Москва : Наука, 1968. – 64 с.
2. Тейлор, Дж. Введение в теорию ошибок / Дж. Тейлор ; пер. Л. Г. Деденко. – Москва : Мир, 1985. – 272 с.
3. Прогноз электропотребления промышленного предприятия в условиях нестабильной экономики / Б. Н. Головкин [и др.] // Промышл. энергетика. – 1996. – № 2. – С. 8–12.

УДК 621.314

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ КОНТАКТОРА УСТРОЙСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПОД НАГРУЗКОЙ

О. Г. Широков, М. А. Прохорчик

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Для поддержания напряжения на заданном уровне используется устройство регулирования напряжения под нагрузкой (РПН) силового трансформатора (СТ). Контакты РПН СТ питающих сталеплавильные печи подвержены наиболее интенсивному износу, что обусловлено большим числом коммутаций, несимметрией и несинусоидальностью токов нагрузки, при этом отдельные параметры нагрузки превышают требования нормативно-технической документации и государственных стандартов.

Факторы износа контактов РПН трудно диагностируемы, скрыты, не контролируемы. При этом повреждения в обмотках, вводах и других элементах конструкции трансформатора могут быть следствием развивающегося дефекта в РПН.

Целью работы является разработка методов оценки технического состояния контактов РПН без вывода СТ из работы.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения разработанных методик заключается в снижении издержек в результате:

- снижения вероятности отказа РПН, тем самым ущербов, обусловленных перерывами питания потребителей и ликвидации последствий аварий на СТ;
- снижения эксплуатационных затрат за счет перехода на обслуживание по состоянию;
- снижения трудоемкости наладки РПН.

Для апробации полученных моделей [1] был выбран действующий трансформатор Тр1 подстанции «Тереховка 110» ТДТНГ-15000/110.

Подключение измерительного комплекса производилось в существующие вторичные цепи измерительных трансформаторов тока и напряжения.

В процессе измерения были получены осциллограммы мгновенных значений токов и напряжений в обмотках СТ.

Результаты по методикам [1] дают четкую информацию о моментах переключения ответвлений трансформатора. Полученные данные можно также использовать для более тонкой настройки дифференциальной защиты силового трансформатора.

Полученные результаты доказывают возможность применения разработанных методик [1], [2] для осуществления непрерывной диагностики устройства РПН силовых трансформаторов. С помощью опробованных средств уже возможно в настоящий момент осуществлять непрерывную проверку синхронизации контактов РПН по фазам, а также выявление наличия разрывов тока в процессе коммутации.

Л и т е р а т у р а

1. Прохорчик, М. Непрерывный мониторинг состояния устройства РПН силовых трансформаторов / М. Прохорчик // Литва без науки – Литва без будущего. Транспорт : сб. тр. 10 конф. молодых ученых Литвы. – Вильнюс : Техника, 2007.
2. Широков, О. Г. Метод идентификации фаз переключения контактора РПН без вывода силового трансформатора работы / О. Г. Широков, М. А. Прохорчик // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : тез. докл. IX Междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 22–30 апр. 2009 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2009.

УДК 621.783.2:681.518

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А. В. Сычев

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

В условиях постоянного роста стоимости электроэнергии для промышленных потребителей необходимо разрабатывать и внедрять как организационные, так и технические мероприятия по повышению эффективности электропотребления на объектах промышленности. В последние годы в промышленности имеет место тенденция вытеснения технологических процессов обработки материалов с топливным нагревом технологическими процессами на электротермическом оборудовании. Переход на электротермические процессы позволяет повысить качество продукции, во многих случаях выполнять такие операции и получать такие материалы, которые иным путем осуществить невозможно, улучшить санитарные условия труда и снизить вредное воздействие на окружающую среду. В то же время электротермические процессы являются весьма энергоемкими, а электротермическое оборудование – существенным потребителем электроэнергии. Поэтому вопрос повышения энергоэффективности электротермического оборудования, снижение затрат на потребленную этим оборудованием электроэнергию является важной и актуальной задачей.

Объектом исследования является электропотребление электротермического оборудования Жлобинского ремонтно-механического завода.

Целью исследования является разработка предложений по снижению стоимости электропотребления термического оборудования в условиях дифференцированной по зонам суток цены на электроэнергию.

В работе на основании технологических режимов работы печей и записей в журналах термиста исследовано электропотребление электротермического оборудования Жлобинского ремонтно-механического завода, в состав которого входят пять

печей сопротивления установленной мощностью 343 кВт и две электрические индукционные плавильные печи типа ИСТ-0,25/0,32Н1 мощностью по 320 кВт.

Анализ графиков электрической нагрузки и времени работы электротермического оборудования показал, что технологический процесс термообработки и плавки осуществляется при равномерном электропотреблении в течение 6–8 часов в дневное время, включая часы пиковой зоны стоимости электроэнергии.

Так как в электрической нагрузке предприятия значительна нагрузка электротермического оборудования и суточный график достаточно равномерный, то для снижения стоимости электроэнергии предложено перейти с двухставочного тарифа на двухставочно-дифференцированный по зонам суток. Расчеты показали, что смена тарифа позволит снизить стоимость потребляемой электротермическим оборудованием электроэнергии на 4,7 %.

Кроме того, рассмотрена возможность получения дополнительной экономии на оплате за электроэнергию за счет переноса времени включения в работу электротермических установок из пиковой тарифной зоны (8^{00} – 11^{00}) в полупиковую (11^{00} – 23^{00}), когда цена на 1 кВт · ч снижается более чем в 2 раза. Это позволит дополнительно снизить стоимость электроэнергии на 7,9 %.

Для перехода на двухставочно-дифференцированный тариф предприятие должно установить систему автоматизированного учета электроэнергии. При установке технических средств автоматизации «Альфа» их срок окупаемости при реализации предложенных мер по снижению оплаты за электроэнергию составляет 3,4 года.

УДК 621.311

ЭПИЛАМИРОВАНИЕ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ

Н. В. Грунтович, А. А. Алферов

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Эпиламирование является высокоэффективной технологией повышения износостойкости узлов и снижения коэффициента трения за счет нанесения тонких защитных пленок на поверхности трения [1].

Эпиламированные поверхности препятствуют растеканию смазки и, благодаря этому, способствуют улучшению условий трения; упрочают поверхностные слои, повышая износостойкость материала.

Процесс эпиламирования заключается в нанесении на поверхность твердого тела фторсодержащих поверхностно-активных веществ (ФТОР-ПАВ) из растворов эпиламов, в результате которого на поверхности образуется тонкопленочное защитное покрытие, понижающее поверхностную энергию твердых тел. Обработка эпиламом узлов трения предотвращает растекание практически любых смазочных масел из зоны трения, а при его отсутствии обеспечивает снижение коэффициента трения, предохраняет металлические поверхности от коррозии, водородного изнашивания, в результате чего повышается срок службы, точность и надежность работы механизмов.

Технология нанесения тонкопленочного покрытия является простой и доступной и может быть применена непосредственно в производственных условиях. Разработаны несколько технологических процессов эпиламирования – это нанесение ки-

стью, ватным тампоном, пульверизатором, погружением, кипячением в растворе. Выбор метода определяется свойствами обрабатываемого материала, размерами деталей и условиями их работы. Заводами-изготовителями эпиламов рекомендуются три основных метода их нанесения:

- окунание с последующей сушкой на воздухе (холодное эпиламирование);
- окунание с последующим термостатированием при температурах 100–150 °С в течение 1,0–1,5 ч;
- кипячение в течение 0,5–1,0 ч с последующей сушкой на воздухе (горячее эпиламирование).

Расход эпилама в первых двух случаях около 100 г/м², в третьем – 30 г/м². Перед эпиламиранием поверхности должны обезжириваться.

Выбор вида эпилама обусловлен технологическими рекомендациями и ценовыми характеристиками.

С целью энергосбережения и повышения износостойкости оборудования в цехе пароводоснабжения завода массовых шин ОАО «Белшина» трущиеся поверхности (подшипники качения) двигателя 4AM160S6Y3 мощностью 11 кВт, $\cos\varphi = 0,82$ были обработаны модификатором УМ-2 ТУ 2229-002-27991970–94 ООО «Автостанкопром», который является противоизносной добавкой к смазочным маслам на основе эпиламов и применяется для станков, компрессоров, редукторов, подшипников, трансмиссий и двигателей внутреннего сгорания.

Ожидаемая годовая экономия электроэнергии от применения модификатора составляет 3,01 тыс. кВт · ч/год, или 0,84 т у. т./год.

Литература

1. Потеха, В. Л. Теоретико-экспериментальная оценка оптимальных условий эксплуатации эпиламированных трибосопряжений машин / В. Л. Потеха, А. В. Рогачев, И. С. Напреев // Трение и износ. – 1996. – Т. 17, № 6. – С. 764–768.

УДК 621.311

ПОТЕНЦИАЛ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СВАРОЧНЫХ РАБОТ

Т. В. Алферова, С. Г. Жуковец, О. А. Полозова

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

В производстве сварных конструкций материальные затраты напрямую зависят от используемого сварочного оборудования, прогресс в области которого в последнее время связан с использованием прогрессивных источников питания сварочной дуги.

В настоящее время наиболее распространенным оборудованием для производства сварочных работ являются устаревшие энергоемкие аппараты ВДУ-305, 505.

Для реализации задач по энергосбережению, снижению материалоемкости и трудоемкости в корпусе сварки и окраски РУП ПО «Гомсельмаш» применены сателлитные сварочные полуавтоматы НГМIG-500.

НГМIG-500 являются аппаратами дуговой сварки постоянного тока с силиконовым выпрямителем и предназначены для полуавтоматической сварки в среде защитных газов. Серия аппаратов НГМIG использует CO₂ в качестве защитного газа и проволоку в качестве электрода, является автоматическими аппаратами сварки в

среде защитных газов. Они подходят для сварки низкоуглеродистой и низколегированной стали. Их характеристиками являются экономия энергии, экономия материала, высокая продуктивность, низкая стоимость и т. д. Они могут сваривать нержавеющую сталь в защитной смеси (CO_2 и аргон), которая выступает как защитный газ при использовании подходящей проволоки. Характеристики полуавтоматических аппаратов для сварки в среде защитного газа CO_2 :

- низкая стоимость CO_2 , стоимость эквивалента примерно 40 % стоимости сварки под флюсом и ручной сварки;

- высокая эффективность: высококонцентрированный нагрев дуги CO_2 , глубокое проникновение дуги, большая глубина плавки, малое количество слоев сварки, высокая производительность плавления электрода, возможность осуществлять высокоскоростную сварку и отсутствие шлака; отсутствие необходимости удалять шлак при многослойной сварке;

- возможность выполнять сварку в любом положении;

- применение для сварки тонкой проволоки, что может уменьшить деформацию рабочей поверхности;

- сварочный шов обладает антикоррозийными и антиударными характеристиками из-за низкого содержания водорода.

Сварочные аппараты данной серии регулируют напряжение разомкнутой цепи и сварочное напряжение с помощью комбинированного выключателя, а скорость подачи проволоки и сварочный ток – с помощью потенциометра оборотов. Основной трансформатор обеспечивает низкое напряжение переменного тока, изолированное от сети питания. Реактор фильтрует постоянный ток и контролирует характеристики его движения, делая ток на входе стабильным и непрерывным, что соответствует требованиям сварки. Процесс сварки происходит по следующей схеме: пуск – предварительный пуск газа (0,3–0,6 с); включение источника питания – подача проволоки (вспомогательная дуга) – начало сварки – прекращение подачи проволоки – отключение питания – прекращение подачи газа (задержка 2–3 с).

На РУП ПО «Гомсельмаш» в эксплуатации с 1970 г. находятся 20 единиц сварочного оборудования ВДУ-305 мощностью 40 кВ · А, замена которых на энергоэкономичные HGMIG-500 мощностью 30,9 кВ · А обеспечит годовую экономию электроэнергии в размере 32,49 тыс. кВт · ч/год, или 9,1 т у. т./год.

УДК 536.24

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ ОЗОНОБЕЗОПАСНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ

А. В. Овсянник, А. В. Шаповалов, Т. С. Юфанова, Е. Н. Волкова

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Исследование закономерностей теплообмена при кипении озонобезопасных хладагентов помимо решения экономических проблем позволяет значительно улучшить экологические характеристики теплообменных аппаратов, применяемых в холодильной и других отраслях промышленности за счет отказа от использования озоноразрушающих теплоносителей.

Целью работы является теоретическое и экспериментальное исследование процесса теплообмена при кипении озонобезопасных хладагентов на гладких теплообменных поверхностях в аппаратах холодильных и теплонасосных установок.

Для обоснования возможности замены хладагентов (R12, R22, R502) на озонобезопасные (R134a, R407c, R404a) произведено сравнение циклов холодильных машин для указанных хладагентов на одинаковых температурных уровнях. Для построения циклов процессов, характеризующих работу холодильных установок, в качестве рабочих температур были приняты: температура кипения $T_0 = -20$ °С, температура конденсации $T_k = 40$ °С, которые соответствуют условиям наиболее длительной эксплуатации бытовой холодильной техники в течение года. Основные расчетные характеристики работы холодильных установок сведены в таблицу.

Параметры	R12	R134a	R22	R407c	R502	R404a
Удельная массовая холодопроизводительность, кДж/кг	105	130	147	141	88	92
Удельная объемная холодопроизводительность, кДж/м ³ (%)	963,8 (100 %)	877,5 (91 %)	1583,3 (100 %)	1284,2 (81 %)	1479,4 (100 %)	1380 (93 %)
Удельная работа сжатия, кДж/кг	33	43	46	48	33	36
Холодильный коэффициент	3,18	3,02	3,2	2,94	2,67	2,56
Отношение давлений конденсации и кипения	6,25	7,3	6,52	6,8	6,07	6,06

Как следует из таблицы, предлагаемые озонобезопасные хладагенты практически не уступают заменяемым хладагентам по основным показателям эффективности работы холодильной машины: удельной массовой холодопроизводительности и холодильного коэффициента. Сравнение величин говорит о том, что переход на хладагенты R134a и R404a может осуществляться без изменения объема цилиндра компрессора, а при использовании R407c потребуются компрессоры с измененным объемом цилиндра, но с прежним электродвигателем. Отношение давлений конденсации и кипения позволяет оценить ожидаемые характеристики компрессора (рабочие коэффициенты) при работе на новых рабочих веществах.

Полученные данные могут быть использованы при разработке испарительного теплообменного оборудования для электроники, холодильной техники, химической и газовой промышленности, энергетических машин и аппаратов.

УДК 621.311

ОБОСНОВАНИЕ НОРМ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С КУСОЧНО-НЕПРЕРЫВНЫМИ РАСХОДНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Ю. Н. Колесник, А. В. Иванейчик

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

В соответствии с действующим законодательством каждое промышленное предприятие вынуждено ежегодно разрабатывать нормы по удельному и общему расходу электроэнергии и ежеквартально отчитываться по результатам их выполне-

ния [1]. Норма расхода топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) – это плановый расход этих ресурсов на единицу продукции (работы) установленного качества в планируемых условиях производства. Основной задачей нормирования ТЭР является применение технически и экономически обоснованных норм расхода (предельных уровней потребления) тепловой и электрической энергии для рационального распределения энергоресурсов и наиболее эффективного их использования.

В настоящее время при разработке норм расхода электроэнергии для потребителей с кусочно-непрерывными расходными характеристиками не учитывается возможность работы технологического оборудования в экономически эффективном режиме работы. Дело в том, что такие потребители могут работать как в энергетически-эффективном режиме, когда достигается минимум расхода электроэнергии, так и в экономически-эффективном режиме, когда к минимуму приводятся затраты на покупку электроэнергии при многоставочных тарифах [2]. При этом в некоторых случаях экономически-эффективный режим работы технологического оборудования может привести к повышенному расходу электроэнергии (см. таблицу), поэтому при разработке норм необходимо учитывать экономические интересы предприятия, а это в свою очередь приводит к увеличению норм расхода электроэнергии.

Оптимальные режимы работы оборудования

Режим работы технологического оборудования	Расход электроэнергии, тыс. кВт · ч	Затраты, тыс. р.	Удельный расход электроэнергии, кВт · ч/т
Экономически-эффективный	60,7	11988,9	46,7
Энергетически-эффективный	60,6	12179,0	46,6

Из таблицы видно, что при одинаковой производственной программе удельный расход электроэнергии может отличаться. При этом снижение расхода электроэнергии в данном случае приводит к увеличению затрат на ее покупку на 190 тыс. р. в день. Это связано с тем, что предприятие расплачивается за электроэнергию по двухставочным тарифам, а технологическое оборудование может работать с разной энергоэффективностью в зависимости от производительности. Поэтому при разработке удельных норм расхода электроэнергии необходимо учитывать возможность работы предприятия в различных оптимальных режимах.

Литература

1. Положение о нормировании расхода топлива, тепловой и электрической энергии в народном хозяйстве республики // Ком. по энергоэффективности при Совете Министров Респ. Беларусь. – Минск, 2002.
2. Иванейчик, А. В. Управление режимами технологического оборудования с кусочно-непрерывными расходными характеристиками электропотребления / А. В. Иванейчик, Ю. Н. Колесник // Наукоем. технологии. – 2008. – № 9. – С. 53–58.

УДК 621.311

**ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СУТОЧНОЙ НАГРУЗКИ
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С КУСОЧНО-НЕПРЕРЫВНЫМИ РАСХОДНЫМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ
С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ «ОПТИМА+»**

Ю. Н. Колесник, А. В. Иванейчик, А. М. Кузеро, А. С. Харкевич

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

В настоящее время при многоставочных тарифах на электроэнергию предприятия стремятся не только обеспечить выполнение заданной производственной программы, но и оптимизировать свои режимы работы так, чтобы потребление электроэнергии было минимальным. Однако это может привести, как к уменьшению затрат на покупку электроэнергии, так и наоборот.

Так как процесс моделирования и оптимизации электрических нагрузок потребителей с кусочно-непрерывными расходными характеристиками [1] многовариантный и трудоемкий, для решения поставленной задачи было разработано специализированное программное обеспечение «Оптимa+» (рис. 1).

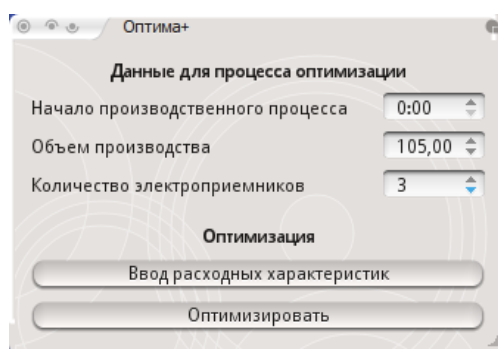


Рис. 1. Главное окно программы

При помощи программы было выполнено оптимальное распределение суточной нагрузки технологического оборудования РУП ГЛЗ «Центролит» при заданной производственной программе. Установлено, что при оптимизации по минимуму расхода электроэнергии снизился как расход электроэнергии (на 0,6 %), так и затраты на ее покупку (на 3,3 %). При оптимизации по минимуму затрат на покупку электроэнергии расход электроэнергии увеличился (на 0,56 %), но при этом затраты на ее покупку снизились (на 3,39 %) в сравнении с исходным графиком (см. таблицу).

**Результаты оптимизации режимов электропотребления
при заданной производственной программе**

Оптимизация	Расход ЭЭ, кВт · ч	Расход ЭЭ, %	Стоимость ЭЭ, млн р.	Стоимость ЭЭ, %
Исходный график	72674	100	18,592	100
По минимуму расхода ЭЭ	72240	99,4	17,979	96,7
По минимуму затрат на покупку ЭЭ	73080	100,56	17,962	96,61

Программа «Оптима+» позволяет определять оптимальные режимы работы технологического оборудования, что приводит к снижению расхода электроэнергии, а так же затрат на ее покупку.

Литература

1. Иванейчик, А. В. Моделирование и оптимизация электрической нагрузки потребителей с кусочно-непрерывными расходными характеристиками при различных тарифах на электроэнергию / А. В. Иванейчик, Ю. Н. Колесник, К. А. Веньгин // Энергетика – Изв. вузов и энергет. об-ний СНГ. – 2008. – № 3. – С. 26–32.

УДК 628.931

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО СЕКТОРА

Е. В. Соболев, Е. Н. Подденежный

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

В настоящее время актуальным становится создание и использование осветительных технологий, которые обеспечивают высокое качество освещения и в то же время являются энергоэкономичными. Традиционные источники света не полностью удовлетворяют этим требованиям. До недавнего времени традиционным лампам не было альтернативы, но в настоящее время развивается очень высокими темпами новый класс источников света – светоизлучающие диоды (СД). Прогресс на рынке СД за последние два года сравним с прогрессом в компьютерной сфере. Они становятся главным конкурентом традиционных источников света, выигрывая у них по ряду факторов.

Широкое использование СД уже получили в индикаторных устройствах, оптоволоконных системах передачи данных; в качестве составных частей дисплеев, в наружной рекламе, в дорожных светофорах. Массовый же переход на освещение с помощью СД – вопрос, который решается уже сегодня. У современных СД световая отдача достигает 130 лм/Вт. Можно ожидать повышения мощности новых СД и снижения их стоимости.

Из объектов жилищно-коммунального сектора перспективными с точки зрения использования светодиодных источников света в настоящее время могут быть те, в которых действующими нормативными документами установлены сравнительно низкие уровни освещенности при отсутствии требований к качеству цветопередачи или невысоком уровне этих требований. К таким объектам можно отнести: лифтовые холлы, лестничные площадки, поэтажные коридоры. Исходя из вышесказанного, возникает важная задача анализа экономической эффективности применения светодиодных источников света в осветительных установках жилищно-коммунального сектора.

Для решения поставленных задач была разработана программа для ПЭВМ в приложении Microsoft Excel. Программа позволяет производить светотехнические расчеты с применением светодиодных источников света и получать результаты в виде таблиц, характеризующих целесообразность использования данных светодиодных источников света для создания рассматриваемой системы освещения.

В рамках решения поставленных задач также был предложен «блочный» способ организации системы освещения жилищно-коммунального сектора, согласно которому для каждого из рассматриваемых объектов были разработаны модели све-

тильников, используемые для создания системы освещения только исследуемых объектов.

В результате проведенной работы предложен проект электрического освещения жилищно-коммунального сектора с применением разработанной программы, использование которой уже на стадии проектирования позволило получить экономию в размере 219 900 р. При этом экономия платы за электроэнергию при реконструкции одного жилого дома составит 2536137,82 р. при сроке окупаемости 2,08 года.

Однако необходимо отметить, что для успешного внедрения СД необходимо государственное регулирование, например, введение технических нормативов разрешенного энергопотребления для обеспечения требуемой освещенности одного квадратного метра. Многие развитые страны приняли законодательные акты, призванные стимулировать внедрение СД. Хочется надеяться, что и Республика Беларусь сделает решительный шаг в этом направлении.

УДК 621.315

РЕКОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ 220 КВ БЕЛОРУССКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

О. М. Головач

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

На территории стран СНГ функционируют электрические сети со шкалой номинальных междуфазных напряжений, кВ: 3; 6; 10; 20; 35; 110; 150; 220; 330; 500; 750; 1150 (ГОСТ 721–77).

Исследования Международной электротехнической комиссии показали, что при напряжении выше 110 кВ в одном географическом районе использовать всю шкалу номинальных напряжений нецелесообразно.

Система напряжения электрических сетей Объединенной энергосистемы Беларуси (ОЭС) сформировалась в процессе развития в виде шкалы напряжений 0,38–10(6)–35–110–220–330–750 кВ. Электрическая сеть напряжением 0,38–110 кВ осуществляет передачу и распределение электроэнергии. Роль системообразующей сети в ОЭС Республики Беларусь выполняет электрическая сеть напряжением 220 и 330 кВ. Межсистемные связи с соседними энергосистемами России, Литвы и Украины организованы на напряжении 330 и 750 кВ.

В настоящее время «Стратегия развития энергетического потенциала Республики Беларусь» и «Концепция развития электрических сетей Белорусской энергосистемы на 2001–2010 годы» ставят задачу уточнения системы напряжений электрических сетей Республики Беларусь. В частности, предусматривается полный перевод сети 220 кВ на напряжение 330 и 110 кВ с переходом к более эффективной системе напряжений 0,4/10/110/330/750 кВ.

Ликвидация напряжения 220 кВ из шкалы напряжений Белорусской энергосистемы обусловлена несколькими факторами, в том числе необходимостью повышения надежности электроснабжения отдельных крупных промышленных районов, увеличения пропускной способности сетей, а также неудовлетворительным техническим состоянием большинства воздушных линий 220 кВ, которое ухудшается с каждым годом по причине физического старения элементов энергосистемы.

В качестве возможных путей реконструкции сети напряжением 220 кВ следует рассматривать:

– демонтаж линий и оборудования подстанций 220 кВ;
 – перевод данных участков сети на напряжение 330 кВ;
 – реконструкцию объектов с переводом и использованием их на напряжении 110 кВ.

Решение подобной задачи рассмотрено на примере фрагмента сети 220 кВ, относящегося к Гомельской энергосистеме транзита «Гомель – Центролит – Светлогорск – Светлогорская ТЭЦ – Мирадино». Предложено два варианта реконструкции. Один из них предусматривает перевод всего транзита на напряжение 330 кВ. В другом все существующие ВЛ-220 кВ сохраняются в эксплуатации и переводятся на напряжение 110 кВ. При этом претерпевает изменение конфигурация сети.

Выполнена серия расчетов установившихся режимов токов короткого замыкания, произведено технико-экономическое сравнение. Результаты позволяют сделать вывод о том, что оба варианта являются работоспособными как в нормальных, так и в ремонтных и послеаварийных режимах. Однако для Гомельской энергосистемы более предпочтительным является вариант с переводом сети на напряжение 110 кВ. Вариант с сооружением новых ЛЭП-330 кВ и ПС-330 кВ может быть обоснован только на основе стратегии развития системообразующей сети Белорусской ОЭС.

УДК 621.314.222

МЕТОДИКА УЧЕТА ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ КОНТРОЛЕ И АНАЛИЗЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

О. Г. Широков, О. В. Лымарь

*Гомельский государственный технический университет
 имени П. О. Сухого, Беларусь*

Целью исследований является разработка методики учета частотных характеристик трансформаторов напряжения (ТН) при контроле и анализе качества электроэнергии (КЭ) в электрических сетях выше 1 кВ.

В первую очередь учитываются гармонические искажения, возникающие на выходе ТН при подаче на его вход синусоидального испытательного напряжения частотой 50 Гц по выражению

$$K'_{U(n)i} = \sqrt{\left(K_{U(n)i}^{\text{изм}}\right)^2 + \Delta K_{U(n)}^2 - 2 \cdot K_{U(n)i}^{\text{изм}} \cdot \Delta K_{U(n)} \cdot \cos(\varphi_{(n)i}^{\text{изм}} - \varphi_{(n)\text{ГИ}})}, \quad (1)$$

где $K_{U(n)i}^{\text{изм}}$, $\varphi_{(n)i}^{\text{изм}}$ – результат i -го измерения коэффициента, %, и фазы, эл. град., n -й гармонической составляющей напряжения (по прибору контроля и анализа КЭ); $\Delta K_{U(n)}$, $\varphi_{(n)\text{ГИ}}$ – коэффициент, %, и фаза, эл. град, n -й гармонической составляющей напряжения, возникающей на выходе ТН при подаче на его вход синусоидального испытательного напряжения частотой 50 Гц [1].

На следующем этапе определяются действительные значения коэффициентов n -й гармонической составляющей напряжения по выражению

$$K_{U(n)i}^{\text{д}} = \frac{K'_{U(n)i}}{1 + \frac{\delta K_{U(n)}}{100}}, \quad (2)$$

где $\delta K_{U(n)}$ – неравномерность амплитудно-частотной характеристики ТН [1], %.

Фазочастотная характеристика ТН при анализе КЭ учитывается по выражению

$$\varphi_n^d = \varphi_n^{\text{изм}} - \Delta\varphi_n, \quad (3)$$

где $\varphi_n^{\text{изм}}$ – результат измерения фазы n -й гармонической составляющей напряжения (по прибору анализа КЭ), эл. град.; $\Delta\varphi_n$ – угловая погрешность ТН на n -й гармонической составляющей напряжения [1], эл. град.

Предлагаемую методику целесообразно внедрить в алгоритм работы приборов контроля и анализа КЭ, что позволит непосредственно с них получать протоколы измерений, в которых уже учтены частотные характеристики применяемых ТН.

Л и т е р а т у р а

1. Широков, О. Г. Проблемы контроля и анализа качества электроэнергии в электрических сетях выше 1 кВ и пути их решения / О. Г. Широков, О. В. Лымарь // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энергет. об-ний СНГ. – 2009. – № 6. – С. 16–22.

УДК 621.311

ДОСТОИНСТВА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В. Д. Елкин, А. Г. Ус

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Люминесцентные лампы производят 70 % светового потока, вырабатываемого во всем мире искусственными источниками света. Они применяются во многих областях, в первую очередь благодаря экономичности и экологической безопасности.

Люминесцентные лампы отличаются высокой световой отдачей и малым энергопотреблением.

Трубчатые люминесцентные лампы:

T12 – диаметр 38 мм – 20, 40, 80 Вт;

T8 – диаметр 26 мм – 18, 36, 58 Вт;

T5 – диаметр 16 мм – 14, 24, 28, 35, 49, 54, 80 Вт.

Важной характеристикой источников света является цвет излучаемого света и качество передачи цветов освещаемых предметов.

Цветность излучения источника света определяется цветовой температурой (T_c), измеряемой в кельвинах (К).

Значение цветовой температуры T_c представляет собой температуру, при которой излучение абсолютно черного тела («идеального» тела, которое поглощает весь падающий на него свет и отражение которого равно нулю) имеет цветность, совпадающую с данной.

При повышении температуры нагрева абсолютно черное тело изменяет характер излучения, которое из красного становится желтым, белым и синеватым.

Величина цветовой температуры $T_c = 4850$ К соответствует люминесцентным лампам, $T_c = 11000$ К – синему небосводу.

Качество цветопередачи выражается общим индексом (коэффициентом) цветопередачи (Ra), который показывает соответствие зрительного восприятия цветного

объекта, освещенного исследуемым и эталонным источниками света при определенных условиях наблюдения. Максимальное значение цветопередачи составляет 100.

Источники света, имеющие значение $Ra = 90-100$, обладают высокой цветопередачей, а уровень 50 и менее соответствует слабой цветопередаче.

Если в спектре ламп мало красного света, то красные цвета освещаемого предмета будут переданы не в полной мере. Лампы с индексом цветопередачи 90 и более передают все цвета натурально, при низком уровне цвета воспринимаются искаженно, красные воспринимаются как оранжевые, а зеленые как желтые.

Достоинства ламп нового поколения T5:

- колба имеет диаметр 16 мм, что делает светильник более компактным и изящным;
- высокий световой поток и яркость свечения;
- уменьшено содержание ртути до 2,5 мг (3 мг у ламп T8) при международных нормах 5 мг;
- экологичны, так как имеют большой срок службы, малое содержание вредных веществ;
- светильники с электрическим пускорегулирующим аппаратом идеально подходят для систем светорегулирования;
- более 90 % массы люминесцентных ламп после переработки может быть повторно использовано в производстве новых ламп.

УДК 621

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОДА С НАПРЯЖЕНИЯ 6 КВ НА НАПРЯЖЕНИЕ 10 КВ УЧАСТКА ГОМЕЛЬСКОЙ ГОРОДСКОЙ КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМОВ ЕЕ НЕЙТРАЛИ

Г. И. Селиверстов

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Известно, что потери активной энергии зависят от величины напряжения. С его увеличением потери снижаются пропорционально квадрату напряжения.

Это особенно актуально для Гомельской городской кабельной электрической сети, часть участков которой еще работает на напряжении 6 кВ с режимом изолированной нейтрали. Перевод электрической сети на напряжение 10 кВ с изменением режима ее нейтрали путем заземления нейтрали всех или определенной части трансформаторов позволяет решить и другие задачи:

- обеспечение резервирования потребителей путем отключения средствами релейной защиты поврежденных участков;
- отсутствие перенапряжений в сетях и отказ от средств компенсации емкостных токов;
- повышение степени электробезопасности электрической сети и т. д.

Нами рассмотрен участок электрической сети напряжением 6 кВ, содержащий 6 трансформаторных подстанций (ТП), 2 распределительных пункта (РП) и 11 кабельных линий общей протяженностью 9,43 км, получающих питание от электрических подстанций напряжением 110 кВ «Западная» и «Центролит».

Установлено, что силовое электрическое оборудование рассматриваемых ТП и РП и их силовые трансформаторы физически изношены, а срок службы кабельных линий завершился или находится на пределе и в итоге требует замены.

Выполнен анализ и дана оценка аварийности повреждений оборудования городской кабельной электрической сети и установлены закономерности повреждений, характерные для кабельных линий, ТП и РП рассматриваемого участка кабельной электрической сети.

Для реконструируемого участка электрической сети выбрана система распределенного заземления нейтрали с установкой дополнительных трансформаторов марки ТМ-400 на электрических подстанциях «Западная» и «Фестивальная».

Определены токи короткого замыкания на напряжении 10 кВ, которые составили: трехфазные – в максимальном режиме не превышают 18,15 кА, в минимальном – 4,78 кА; однофазные – в минимальном режиме составляют не менее 1,42 кА.

Выполнен выбор и расчет кабельных линий, электрооборудования, силовых трансформаторов реконструируемого участка электрической сети, предложены средства защиты его элементов.

Выполнены расчеты режимов реконструируемого участка кабельной электрической сети. Установлено, что потери активной мощности (энергии) при его переводе на 10 кВ снижаются в нормальном и послеаварийном режимах более чем в 2,2 раза.

Определены затраты на реконструкцию участка кабельной электрической сети.

УДК 004:620.9

ПРИОРИТЕТЫ ДЛЯ ВЫБОРА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Н. В. Голубцов, О. В. Федоров

*Нижегородский военный институт инженерных войск,
г. Кстово, Россия*

Современный энергетический рынок в России насыщен большим разнообразием отечественного и импортного оборудования, потребляющего, преобразующего и производящего энергию. Это оборудование различается по множеству критериев выбора: энергоэффективности, надежности, сроку службы, массогабаритным показателям, экологичности, простоте обслуживания, величине единовременных и текущих затрат и т. д. Задача выбора оборудования становится многопараметрической и достаточно сложной, характеризуется наличием большого числа возможных вариантов показателей, из которых нужно выбрать оптимальный вариант. Во многих случаях очевидного решения, когда то или иное оборудование имеет явные преимущества по всем или большинству сравниваемых показателей, не существует. Более того, для принятия решения не всегда достаточно информации по отдельным характеристикам. Задача выбора усугубляется и тем, что часто технико-экономические показатели новых образцов, представленных на энергетическом рынке, носят рекламный характер. При этом нередко отсутствует возможность получения сведений о результатах практического применения того оборудования, которое в силу своей новизны еще не эксплуатировалось достаточно для достоверных выводов время или данные о такой эксплуатации не опубликованы.

Таким образом, решение о выборе предпочтительного вида оборудования приходится принимать в условиях неполноты информации. Поэтому выбор конкретного

типа энергетического оборудования (установок, аппаратов, приборов и т. п.) для любого конкретного производителя, поставщика или потребителя энергии представляет сложную многопараметрическую оптимизационную задачу. Выбор лучшего варианта при решении этой задачи традиционными методами, применяемыми в проектировании, не всегда приводит к оптимальному результату.

Подобные задачи в основном относятся к слабоструктурированным и неструктурированным, что при ограниченных временных сроках затрудняет принятие решения и требует от лица, принимающего решение, например проектировщика, определенных компетенций.

Традиционно применяемые в таких случаях методы решений, например, метод экспертных оценок, достаточно громоздки, их результаты не всегда достоверны. Весьма перспективным для решения инженерно-технических задач подобного рода выглядит метод расстановки приоритетов, который известен достаточно давно, но находил ограниченное применение в силу громоздкости вычислительных процедур. На кафедре электроснабжения Нижегородского военного института инженерных войск разработана удобная в использовании компьютерная программа для расчета приоритетов, позволяющая легко на практике реализовать этот метод. Программа применялась для выбора оборудования системы лучистого отопления при проектировании учебно-тренировочного комплекса, для выбора типа когенерационной установки при разработке проекта реконструкции котельной с целью достройки ее до мини-ТЭЦ.

Метод принятия решений с использованием приоритетов удобен для того, чтобы сначала хотя бы слабо структуризовать смутно определенную проблему, а затем собрать новую дополнительную информацию о ней и перевести проблему в ряд структуризованных, к решению которых уже можно приложить математический аппарат выбора оптимальных решений.

УДК 662.6.004.183

ПРИЧИНЫ НЕРАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Н. В. Грунгович

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Проблема экономии топлива и тепловой энергии (ТЭ) в Республике Беларусь весьма актуальна. Способы повышения эффективного использования топлива решаются на сегодняшний день весьма успешно за счет когенерации и тригенерации. Несколько сложнее обстоит дело с экономией тепловой энергии. Это объясняется тем, что, во-первых, не всегда очевидны причины потерь, а во-вторых, не всегда можно измерить параметры, определяющие эффективное использование тепловой энергии. Опыт проведения энергетических обследований на предприятиях республики позволил выявить наиболее существенные факторы, определяющие низкую эффективность использования тепловой энергии и топлива: не отрегулирована подача воздуха в паровых котлах (3 %); низкая скрытая теплота парообразования из-за нарушения соотношения параметров: давления пара, температуры пара и температурного напора; неполное использование ТЭ в котельных, использующих природный газ (когенерация, тригенерация); потери тепла при паропроизводстве из-за неустойчивой работы дренажного узла котла и понижения сухости пара; завышенные расходы тепла на

собственные нужды, особенно на подогрев мазута в баках; повышенные потери через оконные стекла (применение энергосберегающих стекол ОАО «Гомельстекло»); повышенные теплопотери в обмуровке котлов, теплопровода, запорной арматуре из-за недостаточной эффективности используемой теплоизоляции; не внедрены технически обоснованные режимные карты по экономической эксплуатации оборудования при большой доле ручного труда; отсутствие достоверного учета отпускаемого котельного тепла и фактических значений удельного расхода топлива; значительные потери тепла при транспортировке, наличие утечек пара и горячей воды из-за нарушения герметичности в сетях и арматуре; неудовлетворительная работа конденсатоотводчиков (определенная часть конденсатоотводчиков демонтирована); использование пара, а не сетевой воды для обеспечения отопительных нагрузок; отсутствие систем автоматического регулирования температурных параметров, в том числе факела горелки; низкая эффективность использования тепла ВЭРов; значительные потери тепла в зданиях; редуцирование высоких параметров пара до уровня технологических; низкоэффективное технологическое оборудование.

Значительные потери тепловой энергии в настоящее время происходят из-за редуцирования пара 1,9 и 1,2 кПа. Проведенные расчеты показали, что если вместо редуцирования поставить паровую турбину, то возможно получение электрической энергии до 3 млн кВт · ч в год в зависимости от расхода пара. Энергосберегающие турбины малой мощности уже выпускают отдельные российские заводы.

На предприятиях мало уделяется внимания типу и качеству применяемой тепловой изоляции. Самая распространенная тепловая изоляция – минеральная вата, которая за три года становится самой низкоэффективной. Появились новые типы тепловой изоляции, такие как K-Flex, влажный войлок, пеностекло и др.

Таким образом, для успешного решения задачи экономии тепловой энергии на предприятиях необходимо современное метрологическое и диагностическое обеспечение и применение современных технологий в ремонте оборудования.

УДК 621.311.1.003.13

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Е. Л. Шенец

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

По мнению российских ученых, пришло время разработки нормативных документов по управлению потерями электрической энергии в распределительных сетях [1]. Аналогичные задачи существуют с потерями электрической энергии в элементах системы электроснабжения промышленных предприятий. Но для этого нужно знать основные факторы, влияющие на потери электрической энергии, методы измерений потерь, способы их устранения.

Анализ энергетических аудитов промышленных предприятий различной отраслевой принадлежности позволил выявить наиболее значимые факторы, к которым относятся: снижение объемов производства продукции и, как следствие, значительный недогруз электрических двигателей, трансформаторов, электрических сетей; большая реактивная нагрузка в отдельных участках внутривародской и внутривародской сети и отсутствие современных индивидуальных компенсирующих устройств реактивной мощности; низкий КПД (0,76–0,85) насосного оборудования,

компрессоров; низкоэффективная система освещения (отсутствие современных систем управления освещением, неиспользование динамических светильников, энергосберегающих ламп); большие магнитные потери в электрических двигателях из-за конструктивных недостатков, высших гармоник после проведения некачественного ремонта; неэффективное построение системы сжатого воздуха, вентиляции; регулирование расхода воды и воздуха заслонками; частые полные и аварийные остановки технологического оборудования вследствие износа оборудования и отсутствия мониторинга по техническому диагностированию.

Своевременное определение причин электрических потерь на промышленных предприятиях – это определяющая часть успеха в решении задач повышения энергетической эффективности. Однако задача достоверной оценки самих потерь является не менее значимой. Кроме того, необходимо грамотно подобрать энергоэффективное технологическое оборудование. Например, на предприятии довольно часто встречается ситуация, когда электродвигатели основного технологического оборудования работают с низким значением $\cos \varphi = 0,6-0,75$. Устранение этого фактора возможно с использованием индивидуальных компенсаторов реактивности (резонаторов) с установкой современного регулируемого электропривода. На принимаемое техническое решение влияют как особенности технологического процесса, так и финансовые возможности предприятия.

Таким образом, для успешного решения задачи снижения потерь электрической энергии на предприятиях должны быть установлены современные системы технического учета энергоресурсов и переносные диагностические приборы. На предприятиях должен быть сформирован банк данных по энергоэффективному оборудованию.

Литература

1. Савина, Н. В. Системный анализ потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях в условиях неопределенности : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Н. В. Савина ; Ин-т систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН. – Иркутск, 2010. – 50 с.

УДК 621.88.084

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКТРОВ ВИБРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН НА КПУП «ГОМЕЛЬВОДОКАНАЛ»

Н. В. Грунтович, Ю. Ю. Денисюк

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

В спектре вибрации присутствуют характерные признаки дефектов, которые сильно зависят от вида дефекта. Одним из таких признаков является присутствие в спектре несинхронных пиков, т. е. пиков, которые не являются целочисленными гармониками частоты вращения. Более того, при развитых дефектах можно наблюдать гармоники этих несинхронных пиков. Спектр может содержать как дискретные (узкополосные) пики, так и размытые «холмы» (белый шум), в которых сосредоточена вибрационная энергия. Различные дефекты вызывают колебания с амплитудами разных порядков, поэтому целесообразно сравнивать полученные данные с имеющимися эталонными значениями для различных дефектов вместо того, чтобы пользоваться единым общим уровнем, принятым за уровень предупреждения о возможных дефектах.

Рассмотрим наиболее характерные случаи:

1. Уровни вибрации промывного агрегата № 1, установленного на насосной станции второго подъема, представим в виде табл. 1.

Таблица 1

Мощность ЭМ, кВт	Номер подшип- ника	Направление измерения	Информативные частоты, Гц							
			$f_{нк}$	$f_{вк1}$	$f_{вк2}$	$f_{ш}$	$f_{ошв}$	$f_{оп}$	$f_{пвк}$	$f_{пнк}$
			154	246	492	83	263	351	493	307
$P = 250$	320	Горизонтальное, мм/с	0,36	0,41	0,11	0,59	0,24	0,19	0,11	0,32
		Вертикальное, мм/с	3,2	2,89	0,64	1,57	2,22	0,97	0,64	2,7

Так как для данной электрической машины (ЭМ) предельно допустимым уровнем вибрации является 7,1 мм/с, то можно говорить о том, что при данных уровнях вибрации возможна дальнейшая эксплуатация данной электрической машины, но следует обратить внимание на развитие подшипниковых дефектов наружного кольца, внутреннего кольца, дефект поверхности шара и перекос наружного кольца.

2. Уровни вибрации насосного агрегата № 4, установленного на насосной станции второго подъема, представим в виде табл. 2.

Таблица 2

Мощность ЭМ, кВт	Номер подшип- ника	Направление измерения	Информативные частоты, Гц							
			$f_{нк}$	$f_{вк1}$	$f_{вк2}$	$f_{ш}$	$f_{ошв}$	$f_{оп}$	$f_{пвк}$	$f_{пнк}$
			154	246	492	83	263	351	493	307
$P = 800$	320	Горизонтальное, мм/с	0,3	0,1	0,09	0,25	0,13	0,06	0,09	0,088
		Вертикальное, мм/с	0,9	1,2	0,96	1,17	2,18	1,06	0,96	0,79

Так как для данной электрической машины нормально допустимым уровнем вибрации является 4,5 мм/с, то можно говорить о том, что при данных уровнях вибрации возможна дальнейшая длительная эксплуатация данной электрической машины, но следует обратить внимание на развитие подшипниковых дефектов поверхности шара.

УДК 621.577

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОНАСОСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А. В. Овсянник, И. И. Мацко, А. В. Шаповалов

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Введение

Для Республики Беларусь перспективными теплоисточниками являются крупные комбинированные теплонасосные станции, состоящие из парокompрессионных водоводяных теплонасосных установок, водогрейных котлов и баков-аккумуляторов.

Это связано с высокой степенью централизации теплоснабжения и наличия концентрированных потоков отходящей теплоты.

Постановка задачи

Для исследования энергетической эффективности комбинированной теплонасосной станции в качестве теплоисточника централизованного теплоснабжения необходимо выбрать оптимальные параметры функционирования и разработать тепловую схему.

Результаты

Определение оптимальных параметров комбинированной теплонасосной станции можно производить на основе интегрального графика тепловой нагрузки в безразмерных координатах. С его помощью устанавливается необходимая подача теплоты потребителям за отопительный сезон от входящих в состав комбинированной теплонасосной станции отдельных теплоисточников. Полученные данные показывают, что тепловые насосы мощностью значительно меньше расчетной тепловой нагрузки, работающие в базовом режиме эксплуатации, способны покрыть значительную часть годовой отопительной нагрузки.

Работа тепловых насосов в составе комбинированной теплонасосной станции предполагает в первую очередь максимально полное на протяжении отопительного периода использование их установленной мощности, соразмерной с возможностями утилизации низкопотенциальной теплоты местных возобновляемых и вторичных источников. Таким образом, благодаря эффективной загрузке установленной мощности тепловых насосов в процессе эксплуатации удастся в полной мере реализовать преимущества теплонасосных технологий. Данное решение повышает энергетические, экономические и экологические показатели комбинированного теплоисточника и позволяет минимизировать первоначальные капиталовложения. Одним из определяющих факторов для внедрения парокомпрессионных тепловых насосов является удешевление производства электрической энергии.

Выводы

Разработана методика расчета энергетической эффективности внедрения комбинированных теплонасосных станций с учетом особенностей сезонного теплопотребления в зависимости от температурного графика системы теплоснабжения, температуры источника низкопотенциальной теплоты и климатологических параметров региона.

На долю расчетной отопительной тепловой нагрузки, покрываемую работой тепловых насосов $Q_{\text{год.тн}}$, существенно влияет температурный график системы теплоснабжения. Снижение расчетных температур теплоносителя в сети увеличивает $Q_{\text{год.тн}}$.

Для реализуемых на практике диапазонов изменения показателей энергоэффективности теплоисточников создание комбинированных теплонасосных станций с применением работающих в базовом режиме эксплуатации тепловых насосов с электроприводом позволяет снизить общее потребление ископаемых видов топлива за счет использования низкопотенциальной теплоты местных возобновляемых и вторичных источников. Это способствует сокращению выбросов, загрязняющих окружающую среду, и повышает инвестиционную привлекательность теплонасосных технологий.

УДК 621.311

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ
НА БАЗЕ СУШИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА, ИСПОЛЬЗУЮЩЕГО
ВТОРИЧНЫЕ ЭНЕРГОРЕСУРСЫ****Т. В. Алферова, В. В. Бахмутская, О. С. Шведова***Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

При производстве пиломатериалов и погонажных деревянных изделий необходимым промежуточным звеном является сушка древесины до строго установленной влажности (6–8 %). Сушка древесины на предприятиях ОАО «Гомельпромстрой» осуществляется в аэродинамических камерах, в которых для обеспечения циркуляции воздуха в печной атмосфере установлены вентиляторы мощностью 75 кВт.

В целях экономии электроэнергии и рационального использования ВЭР предлагается заменить существующие аэродинамические камеры на двухкамерные энергосберегающие сушильные комплексы СКВК-50 производства ООО «КАМИ Станкоагрегат». При этом, для сохранения неизменного объема сушки древесины на предприятии предлагается установить сушильные комплексы СКВК-50 мощностью 23,6 кВт с объемом загружаемых пиломатериалов 50 м³. СКВК-50 предусматривают в качестве энергетической установки водогрейный котел, использующий в качестве топлива древесные отходы (опилки, стружки, щепу грануляцией до 30 мм, обрезки, кусковые отходы длиной до 0,7 м).

Комплексы состоят из одной или двух сушильных камер и комплектуются одной или двумя энергетическими установками. Корпуса сушильных камер состоят из панелей типа «сэндвич», облицованных стальным листом и заполненных минеральной ватой. На внутренние поверхности панелей нанесено антикоррозийное, термовлагостойкое покрытие.

Штабель пиломатериала загружается на тележку и перемещается в камеру по рельсовому пути. В верхней части камеры расположены водяные калориферы, система увлажнения воздуха и вентиляторы, обеспечивающие поперечную циркуляцию горячего увлажненного воздуха через штабель и, как следствие, равномерное высыхание древесины по всему объему штабеля. Регулирование температуры воздуха в камере осуществляется в автоматическом режиме системой управления подачи топлива, что позволяет поддерживать температуру воды в калориферах с точностью ± 2 °С. Влажность воздуха в камере измеряется психрометром и регулируется изменением проходных сечений воздухообменных патрубков или с помощью системы увлажнения.

Достоинствами энергетической установки сушильного комплекса СКВК по сравнению с тепловыми установками, реализующими слоевой или шахтный способ сжигания древесных отходов, являются: превращение опилок (стружки) в горючий газ – газификация топлива обеспечивает практически полное сгорание топлива, в результате чего достигается высокий КПД установки (80–85 %); автоматическая шнековая подача опилок (стружки) обеспечивает их равномерное горение и поддерживает высокую точность температуры воды (± 2 °С) в калориферах сушильной камеры и, как следствие этого, высокое качество высушиваемого пиломатериала, что недостижимо в энергетических установках слоевого и шахтного типа; бездымное сжигание отходов; автоматический режим дозированной подачи топлива не требует присутствия обслуживающего персонала.

Ожидаемая годовая экономия электроэнергии от внедрения энергосберегающих технологических сушильных комплексов СКВК-50 на ОАО «Гомельпромстрой» составит 72,3 тыс. кВт · ч/год, или 20,2 т у. т./год.

УДК 621.311.21.002.56

ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ОБМОТОК И МАГНИТОПРОВОДОВ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

П. М. Колесников

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

На предприятиях и в энергосистемах используются различные методы технического диагностирования маслонеполненных трансформаторов. Каждый диагностический параметр позволяет выявить определенный тип дефекта или группы дефектов. Например, хронометрический анализ газов, растворенных в масле, определяет наличие частичных разрядов и локальных перегревов изоляции в магнитопроводе и местах болтовых соединений. В свою очередь, эти дефекты (их параметры) появляются под воздействием вибрации, импульсных нагрузок или высших гармоник. Комплексное воздействие этих факторов ускоряет процесс старения изоляции. Кроме того, импульсные нагрузки приводят к ослаблению динамической стойкости обмоток и магнитопроводов.

На предприятиях республики для выявления указанного дефекта применяют два метода [1]: измерение потерь холостого хода; измерение сопротивления короткого замыкания трансформатора. Основным недостатком этих методов является необходимость снятия нагрузки и отключение от сети трансформатора. В России проводятся исследования по решению этой проблемы на основе измерения вибрации бака трансформатора [2]. Как показали проведенные эксперименты на предприятии РУП «Гомельтранснефть Дружба», для определения динамической стойкости обмоток и магнитопроводов необходимо: правильно выбрать частотный диапазон измерения вибрации, определить минимальное количество реперных точек; определить предельное значение вибрации для дефектации.

Как показали исследования, наиболее эффективным частотным диапазоном для выявления дефектов является диапазон 50–5000 Гц. На частоте 100 Гц на вибрацию оказывают влияние магнитострикционные процессы, которые зависят от состояния магнитопровода. Ослабление опрессовки обмоток и магнитопровода проявляется в диапазоне 1000–5000 Гц. Количество реперных точек влияет на глубину диагностирования. Целесообразно, чтобы их было не менее 20. Предельное значение уровня вибрации в настоящее время в нормативных документах не определено. Измерение вибрации целесообразно проводить при различных нагрузках. Как показывает опыт, у трансформаторов с хорошей динамической стойкостью обмоток и магнитопровода уровень вибрации от величины нагрузки изменяется незначительно.

Выводы

1. Проведенные исследования на РУП «Гомельтранснефть Дружба» показали эффективность метода виброконтроля бака трансформатора для контроля потерь динамической стойкости обмоток и магнитопроводов.

2. Для расширения спектров вибрации необходимо создавать банк данных спектров и банк соответствующих им дефектов.

Литература

1. Нормы и объем испытаний электрооборудования Белорусской энергосистемы. – Минск : Ред. журн. «Тыдзень», 2000.
2. Алексеев, Б. А. Контроль состояния (диагностики) крупных силовых трансформаторов / Б. А. Алексеев. – Москва : Изд-во НЦЭНАС, 2002.

УДК 538.7.08

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ
ТОЧНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ****Л. Н. Климович***Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, Беларусь*

Повышение эффективности автоматизированных измерительных систем и комплексов для научных исследований посвящено много разработок и технических решений. С помощью измерительных комплексов решаются многие специфические задачи информационного и метрологического обеспечения автоматизации производства. Повышение точности приводит к существенному техническому и экономическому результату: повышается информационная эффективность, уменьшается количество субъективных ошибок, вносимых исследователем, расширяется диапазон измерения, возрастает быстрдействие, снижается трудоемкость выполнения измерений.

Существующие методики определения экономической эффективности измерительных систем не охватывают всего многообразия полезного эффекта, вносимого повышением точности. Конкретные технические, эксплуатационные, надежность характеристики экономической эффективности автоматизированных измерительных комплексов порой оказываются скрытыми за такими параметрами, как коэффициент учета роста производительности и срока службы, доли отчислений от балансной стоимости на полное восстановление (реновацию).

Известны примеры оценки экономической эффективности за счет уменьшения погрешности, согласно которой в качестве исходных данных берется годовой объем продукции и стоимость этой продукции.

Совершенно очевидно, что уменьшение погрешности приводит к увеличению точности. В свою очередь повышение точности приводит к уменьшению времени работы по совершенствованию техники.

Предположим, совершенствуется заданный объект техники, производится отработка устройств объекта, обеспечивающих изменение определенного фактора (например, выходного напряжения пропорционально крутящему моменту). При этом задается погрешность отклонения от заданного закона. Если измерение производится с помощью неточного прибора, то для установления закона изменения фактора с заданной точностью потребуется n измерений. Если же производить более точной измерительной системой, то таких измерений требуется меньше.

Согласно предельной теоретической теории вероятности при достаточно большом числе измерений параметра погрешность измерения базовым измерительным прибором равна $\Delta_{\delta} = \delta_{\delta} / \sqrt{n_{\delta}}$, а новой системы – $\Delta_{\eta} = \delta_{\eta} / \sqrt{n_{\eta}}$, где δ_{δ} и δ_{η} – погрешность базового и нового прибора соответственно; n_{δ} и n_{η} – число измерений

с помощью базового и нового прибора на отработку одного изделия; $\Delta_6 = \Delta_n$ (согласно принципу равно точности измерений), то

$$\delta_6 / \sqrt{n_6} = \delta_n / \sqrt{n_n}, \text{ откуда } \Delta_n = \Delta_6 (\delta_n / \delta_6)^2. \quad (1)$$

Формулу (1) можно использовать для оценки экономической эффективности.

На отработку нового изделия с помощью базового измерительного прибора требуются $T_6 = \tau \cdot n_6$ времени, а $T_n = \tau \cdot n_n$, где τ – время первого измерения, тогда $T_n = T_6 (\delta_n / \delta_6)^2$.

Результаты расчета: экономическая эффективность за счет уменьшения погрешности измерения крутящего момента вращающегося вала с использованием автоматизированного измерительного комплекса повысилась в 1,5 раза.

УДК 621.51:621.31.004.18

МИНИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Н. В. Грунтович, Н. В. Грунтович

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

На многих промышленных предприятиях систему сжатого воздуха можно отнести не к вспомогательным подразделениям, а к технологической системе. Перебои в работе системы сжатого воздуха могут привести к снижению качества продукции или к полному останову производства. Поэтому энергетики предприятий стремятся к повышению надежности функционирования данной системы. Вместе с тем мероприятия по повышению надежности системы сжатого воздуха вступают в противоречие с их энергетической эффективностью. На обследуемых предприятиях установлено превышение удельного расхода электрической энергии на мощном компрессорном оборудовании в два раза от паспортных значений. Основные факторы, влияющие на повышенный расход электрической энергии в системе сжатого воздуха:

1. Нарушение температурного режима компрессоров (на всасе):
 - несвоевременная чистка промежуточных холодильников;
 - несвоевременна замена промежуточного холодильника;
 - неудовлетворительное состояние градирни;
 - работа насосов холодильников при остановленных компрессорах;
 - неиспользование тепла компрессоров.
2. Выработка и потребление сжатого воздуха с давлением выше или ниже необходимого по технологии.
3. Утечки воздуха в пневмосистемах.
4. Использование пневмоэнергии при возможном использовании электроэнергии.
5. Непрерывная работа компрессоров.
6. Использование сжатого воздуха не по назначению.
7. Низкий КПД компрессоров (<0,9 от номинального).
8. Использование кольцевых клапанов в поршневых компрессорах.
9. Заниженное сечение воздухопроводов.
10. Недостаточная емкость ресиверов компрессорных станций.

11. Эксплуатация трубопроводов с потерями пневмометрического напора выше оптимальных экономических значений (0,14–0,17 МПа/км).

12. Неиспользование возможностей подогрева сжатого воздуха за счет тепла ВЭР перед пневмоприемниками.

13. Неудовлетворительное состояние фильтров.

14. Неправильный выбор места забора воздуха, всасываемого компрессором.

15. Применение в пескоструйных аппаратах сопел нерациональной конструкции и недостаточной износостойкости.

16. Отсутствие или неисправное состояние расходомеров на компрессорах и пневмопотребителях.

17. Отсутствие или отключение систем автоматического регулирования компрессоров.

18. Сверхнормативный расход сжатого воздуха.

19. Износ уплотнений между ступенями.

Причины повышенного расхода электрической энергии можно установить:

– на основе стационарной системы технического учета;

– переносных приборов контроля расхода электрической энергии и сжатого воздуха на всасе или в трубопроводе системы сжатого воздуха;

– во время ремонта компрессоров.

Таким образом, для снижения потребления электрической энергии компрессорными установками на практике целесообразно применять следующие методы: децентрализация (дробление) мощностей компрессоров с установкой автоматических клапанов на перемычках трубопроводов; применение современных энергоэффективных компрессорных установок; уменьшение сопротивления в трубопроводах и исключение установки теплообменников в системе; современный ремонт компрессорных установок и применение энергоэффективного электропривода.