Возможности энергетического обследования

для повышения энергоэффективности и безопасности объектов

Александр Журавлёв, советник директора Ассоциации СРО «БалтЭнергоЭффект», доктор технических наук, профессор, Почетный энергетик;
Борис Коссов, технический директор ООО «ЭнЭф Лайт»

В современных условиях непрерывно повышается потребительская энергонасыщенность зданий и сооружений, что является объективной тенденцией. К сожалению, при этом не всегда и не везде обеспечиваются: должный режим эксплуатации энергоустановок, реализация программ по энергосбережению и снижению энергетических потерь (что напрямую влияет и на финансовые затраты), обеспечение нормативных характеристик потребляемых энергетических ресурсов. В статье будет показано, что во многом качественное ресурсное обеспечение и надежная эксплуатация влияют на безопасность объектов различных видов экономики (в первую очередь, промышленных предприятий).

В ногу ли со временем?

Сегодня промышленно развитые страны идут по пути создания новых возобновляемых источников энергии (ВИЭ), энергосбережения и сокращения промышленных выбросов. Понимаем, что это делается не в ущерб комфортности жизнеобеспечения населения. В так называемую «альтернативную» энергетику вкладываются огромные средства как от государств, так и от частных компаний. Так, власти Великобритании сообщили, что половину всего объема потребленной в стране электроэнергии в первые три месяца 2020 года они произвели «зеленым» способом, в чем помогла продолжительная ветреная погода. В Германии в результате обновленного индекса цен малые солнечные электростанции будут нерентабельны (снижение доходности в 1,7–2,5 раза).

По мнению специалистов банка Goldman Sachs уже в 2021 году произойдет историческое событие, когда возобновляемая энергетика победит ископаемую по уровню вложений (инвестиции составят 24–25 % вместо 15 % в 2014 году) (1). Первая оффшорная ветроэлектростанция в ближайшее время будет построена на Черном море. И какой страной? (Угадайте с трех раз.) Румынией (2)!

В России «зеленая» энергетика занимает не самое почетное место: доля ВИЭ без учета больших ГЭС в общей выработке составляет меньше 0,2 % (3). Однако речь в данном случае пойдет не о ВИЭ, а об энергосбережении и повышении энергоэффективности объектов, поскольку данный тренд также положительно влияет на экономию энергоресурсов, на охрану окружающей природной среды, снижение вредных выбросов, а в конечном счете — на улучшение экономических показателей предприятий, регионов, государства.

Два федеральных закона «Об энергосбережении» (1994 и 2009 гг.) сыграли свою определенно положительную роль, но не обеспечили действенность механизма, который позволил бы к 2020 году повысить энергоэффективность экономики на 40 % (Указ Президента РФ от 04.06.2008 г. № 889). Одним из инструментов этого механизма была определена процедура энергетического обследования (энергоаудита), которая предусматривала определение расходов энергетических ресурсов на обследуемом объекте, оценку потенциала экономии энергоресурсов, составление программы по энергосбережению и повышению энергоэффективности объекта. К сожалению, в настоящее время после внесенных поправок (более 30 в 261-ФЗ), энергетическое обследование носит характер добровольного, и закон ни к чему не обязывает руководителей организаций, что, на наш взгляд, является крупным просчетом. Далее будут приведены некоторые итоги энергообследования объектов.

Проблемы эксплуатации электроустановок и варианты решения проблем

За 10 лет деятельности энергоаудиторами были обследованы несколько десятков организаций и промышленных предприятий различных направлений экономической деятельности (в сфере производства строительных материалов, конструкций строительной техники, производства резинотехнических изделий, оборонно-технического производства и т.п.). В ходе энергетических обследований (особенно крупных потребителей электроэнергии — промышленных предприятий) выявлялись серьезные проблемы в эксплуатации электрооборудования и сетей, которые

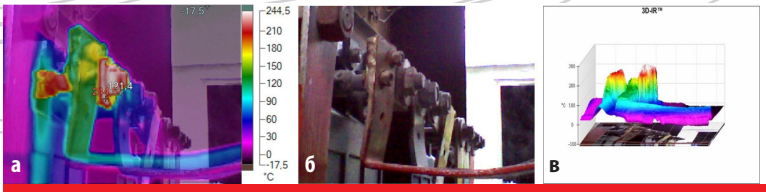

Рис. 1. Данные по измерениям температуры (перегрев 245 °С) на болтовом контактном соединении на левой шпильке (фаза С) в трансформаторе № 2: а — термограмма; б — фотография узла; в — графическое изображение

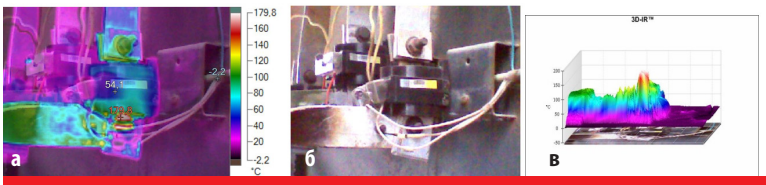

Рис. 2. Данные по измерениям температуры (перегрев 180 °С) на болтовом контактном соединении и на переходе первичной цепи: а — термограмма; б — фотография узла; в — графическое изображение

не замечались эксплуатационным персоналом. Надежность, безопасность и качество работы электроустановок, в том числе и стоимость расходов на электроэнергию, зависят от выполненной схемы электропотребления, конструкций электроустановок, а также от строгого выполнения Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей. Ответственность по контролю за соблюдением Правил возложена на Ростехнадзор.

К сожалению, в вопросах соблюдения Правил на сегодняшний день существует много разночтений и недоговоренностей, оставшихся от времен действия прежних, не соответствующих современным требованиям безопасности, нормативов. Например, различные требования Правил устройства электроустановок изложены в двух действующих изданиях: 6-м и 7-м. В одном издании требования согласованы с международными стандартами Международной энергетической комиссии, а в другом это не учитывается, что делает эти правила не соответствующими современным требованиям. Так, действующая норма для электроустановок, построенных до ввода в действие ПУЭ 7-го издания по условиям отключения потребителя по характеристике «короткого замыкания» в сети (повреждение изоляции проводников сети) не обеспечивает требований безопасности людей при их прикосновении к конструкциям электроустановки.

Выдвигаются и некоторые неадекватные требования по выполнению избыточных действий электроперсонала (например, необходимость измерения изоляции силовых кабельных линий 0,4 кВ мегаомметром напряжением 2500 В или, например, высоковольтные испытания диэлектрических перчаток при том, что весь мир это делает прибором проверки утечки воздуха через повреждения перчатки).

По вполне понятным причинам, оговоренным в договорных обязательствах, в статье не будут указываться конкретные предприятия, на которых производилось энергетическое обследование и решались выявленные проблемы, касающиеся в основном электроэнергетического хозяйства. Следует сразу оговориться, что энергоаудиторы никогда не подвергали сомнению квалификацию персонала по обслуживанию электрохозяйства и электроустановок. Здесь следует понимать, что в организациях и на промышленных предприятиях возникает множество производственных задач, которые необходимо решать сиюминутно, иначе будет срыв задания, невыполнение плана, недофинансирование и т.д. Поэтому волей-неволей энергетики решают глобальную задачу: обеспечение производственной деятельности.

Вторым отрицательным фактором для многих производств является отсутствие современной измерительной и тестирующей аппаратуры, так как существующие приборы не отображают всю картину системы электроснабжения и все «узкие» места. Начнем с того, что на ряде предприятий были выявлены повышенные значения температуры на контактах в трансформаторных подстанциях и в распределительных устройствах (рис. 1–2).

Таких примеров можно привести множество, но эксплуатационные службы начинают обращать внимание на эти проблемы после энергоаудиторской проверки или после аварийных ситуаций. Электроэнергетики знают, что перегрев электрических соединений — проблема совсем не безобидная, в ряде случаев она может закончиться возгоранием кабеля или оборудования и пожаром на производстве.

Следует добавить, что отдельная кабельная продукция, поставляемая на стройки России, является контрафактной: имеет меньшее сечение жил, ненадежную изоляцию, уменьшение процентного состава меди в жилах кабеля. Этому было посвящено отдельное заседание Научно-экспертного совета по Северо-Западу с участием представителей промпредприятий в 2017 году. От 20 до 30 % кабельной продукции, имеющей бренды ведущих производителей (например, маркировку «Севкабель»), не соответствуют заявленным характеристикам и являются контрафактной продукцией (4). Если все эти проблемы сложить вместе, то по принципу суперпозиции на предприятиях получают «мину замедленного действия». Еще один момент: в ряде случаев энергоаудиторы видели запыленные элементы оборудования в трансформаторных подстанциях, что говорило о том, что в подстанциях никто давно не был и не выполнял требования нормативно-методических документов (5).

Анализ результатов расчетов потерь электроэнергии в сетях 6/0,4 кВ показал, что большую долю потерь электроэнергии составляли потери нагрузочные — 60 % (табл. 1).

Таблица 1. Структура технических потерь электроэнергии

Параметры ВТСП КЛ	Год			Всего		
	тыс. кВт·ч	% от отпуска	% от потерь	тыс. кВт·ч	% от отпуска	% от потерь
Отпуск электроэнергии в сеть	**1976,044**	—	—	**1976,044**	—	—
Условно-постоянные потери электроэнергии	**2,34**	0,1 %	2,9 %	**2,34**	0,1 %	2,9 %
Изоляция в КЛ	0,04	—	—	0,04	0,00 %	0,03 %
ТТ	2,3	0,11 %	1,06 %	2,3	0,11 %	1,06 %
Переменные потери электроэнергии	**28,97**	**1,52 %**	**36,2 %**	**28,97**	**1,52 %**	**36,2 %**
Линии	28,97	**1,52 %**	**36,2 %**	**28,97**	**1,52 %**	**36,2 %**
Суммарные технические потери электроэнергии	31,31	**1,58 %**	**39,1 %**	31,31	**1,58 %**	**39,1 %**
Метрологическая составляющая потерь	7,69	0,389 %	19,7 %	7,69	0,389	19,7 %
Суммарные технологические потери электроэнергии	**39**	**1,97 %**	**100 %**	**39**	**1,97 %**	**100 %**

В частности, на одном из обследуемых предприятий для анализа параметров нагрузки сетей были выполнены измерения на отходящих фидерах 0,4 кВ в трансформаторных подстанциях. Целью измерений было определение уровня компенсации реактивной мощности в сетях предприятия и степени загрузки сетей, а также трансформаторов 6/0,4 кВ. Отдельные результаты измерений параметров электрической нагрузки сетей 0,4 кВ представлены на рис. 3. На графиках зафиксированы полная, активная нагрузка и коэффициент мощности этой нагрузки. Здесь следует обратить внимание на недопустимо низкий коэффициент мощности.

КТПН-366
Ввод РУ-0,4 от трансформатора № 1

Рис. 3. Параметры полной, активной мощности и коэффициента загрузки трансформаторов

Потери электроэнергии холостого хода в силовых трансформаторах определялись на основе приведенных в паспортных данных оборудования потерь мощности холостого хода ΔP_x, по формуле:

$$\Delta W_x = \Delta P_x \sum_{i=1}^{m} T_{pi} \left(\frac{U_i}{U_{ном}} \right)^2,$$ где

T_{pi} — число часов работы трансформатора (автотрансформатора) в *i*-м режиме, ч;
U_i — напряжение на высшей стороне трансформатора (автотрансформатора) в *i*-м режиме, кВ;
$U_{ном}$ — номинальное напряжение высшей обмотки трансформатора (автотрансформатора), кВ.

Потери «холостого хода» не зависят от нагрузки трансформатора, но при коэффициенте загрузки трансформатора 0,4, эти потери практически занимают 50 % всех потерь трансформатора (рис. 4).

За счет перевода нагрузок с незагруженных трансформаторов на другие, а в дальнейшем и их отключения вследствие уменьшения потерь электроэнергии в самих трансформаторах, можно получать экономию денежных средств в размере несколько сотен тысяч рублей. Неравномерность распределения нагрузки по фазам приводит к дополнительным потерям электроэнергии и напряжения из-за появления повышенных токов в нулевых проводниках, что вызывает увеличение расхода электроэнергии до 1,5 раз по сравнению с симметричной нагрузкой. Самое главное, при отсутствии в нулевых проводниках измерительных приборов и защитных аппаратов, эти токи часто приводят к пожарам и угрозе безопасности для жизни и здоровья человека.

При анализе режимов нагрузки фаз различают вероятностную асимметрию, имеющую перемежающийся характер с большей загрузки то одной, то другой фазы, и систематическую асимметрию, при которой неодинаковы средние значения нагрузок. Первый вид асимметрии может быть устранен лишь специальными устройствами с тиристорным управлением, автоматически переключающими часть нагрузок с перегруженной фазы на недогруженную. Систематическая несимметрия может быть снижена путем периодического (2 раза в год) перераспределения нагрузок между фазами тогда, когда среднее значение тока на головном участке нулевого провода составляет более 15 %. При минимальной асимметрии тока достигается максимальный к.п.д. электродвигателя и наиболее длительный срок его службы. Анализ результатов проведенных инструментальных измерений в сетях 0,4 кВ показал, что в сетях присутствовала асимметрия тока, составлявшая в разбросе от 10 до 27 % среднего значения тока. Однако даже небольшая асимметрия напряжения приводит к большой асимметрии тока, что в свою очередь вызывает неравномерный нагрев обмоток статора и приводит к возникновению горячих зон и точечного нагрева (рис. 5).

Выравнивание нагрузок по фазам в сетях 0,4 кВ позволяет снизить нагрузочные потери электроэнергии только по одной линии от одного до нескольких тысяч кВт·ч, что позволяет обеспечить экономию для предприятия в размере нескольких десятков, а может и сотен тысяч рублей в год. При отсутствии компенсации реактивной мощности и возрастании полной мощности нагрузки возникают дополнительные потери активной мощности и напряжения в сети 6/0,4 кВ; снижается пропускная способность элементов сети, увеличиваются затраты на распределение электроэнергии, может встать вопрос достаточности мощности питающего трансформатора. Наличие реактивной мощности снижает возможность передачи активной мощности и приводит к увеличению потерь мощности и электроэнергии (при коэффициенте реактивной мощности равном 0,5 порядка 20 % суммарных потерь). В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 27 декабря 2004 г. № 861, потребители электрической энергии должны соблюдать соотношение потребления активной и реактивной мощности, определяемые в договоре. В соответствии с приказом Федеральной службы по тарифам от 31.08.2010 г. № 219-э/6, утверждены «Методические указания по расчету повышающих (понижающих) коэффициентов…», позволяющие увеличивать плату за электроэнергию. Обобщая все выше сказанное, можно сделать вывод, что компенсация реактивной мощности — это мероприятие, позволяющее существенно экономить потребление электроэнергии, а также финансовые затраты.

В электроустановках предприятий, как правило, установлены статические компенсаторы для снижения потерь электрической мощности в распределительных сетях. В ряде случаев они имеют значительный срок эксплуатации, морально и физически устаревшую конструкцию. В быстроизменяющихся режимах нагрузки, а также с высокой нагрузкой реактивной мощности, даже с автоматическим управлением, они не способны реально успевать за изменением реактивной мощности в нагрузке и, соответственно, ее компенсировать. В связи с этим возникает необходимость замены существующих статических комплектных конденсаторных установок на компенсаторы с активными фильтрами или другие современные установки, реально решающие вопрос компенсации реактивной мощности в заданных параметрах и режимах.

Проведенные инструментальные измерения характеристик качества потребляемой электрической энергии постоянно выявляют большое количество гармонических составляющих токов нагрузки, искажающих синусоидальность формы тока нагрузки. Гармоники тока нагрузки, номера которых кратны трем, складываются в нулевых проводниках, что при отсутствии в них приборов измерения и защиты, может привести к аварийным режимам в электроустановке. Замена существующих ККУ на компенсаторы с активными фильтрами или динамические компенсаторы, позволяет выполнить условия компенсации быстроизменяющихся значений реактивной мощности, а также и компенсировать возникшие гармонические составляющие токов нагрузки, что облегчит работу современного технологического оборудования с продлением его срока эксплуатации, предотвратит возможные аварии и значительно снизит потери на трансформаторах и в питающих сетях.

В данной статье авторы умышленно не упоминали мероприятия по тривиальным решениям (типа замены люминесцентных ламп или ДРЛ на энергосберегающие). Здесь приводились примеры технических и технологических проблем на предприятиях, которые можно успешно решать, проводя грамотное и эффективное энергетическое обследование.

Рис. 4. Соотношение потерь в трансформаторе

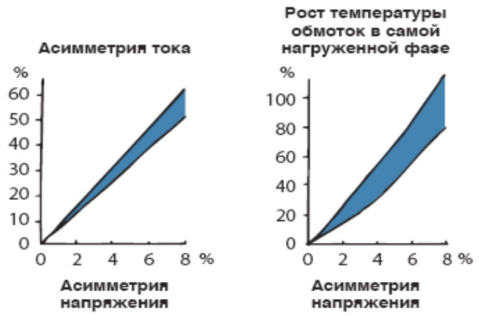

Рис. 5. Зависимость между асимметрией тока, напряжения и температурой

Выводы

1. Добровольное энергетическое обследование не может быть инструментарием по снижению энергоемкости единицы ВВП в условиях энергозатратной экономики.

2. Выполнение требований ФЗ-261 должно проводиться под действенным контролем Ростехнадзора наряду с выполнением всех функций такого контроля.

3. Наиболее энергопотребляющими объектами в сфере экономики являются промышленные предприятия, в результате деятельности которых выявляются существенные проблемы технологического, экономического и экологического характера. Проводимые энергетические обследования позволяют выявлять «узкие» места, совместно с энергетической службой предприятия устранять явно выраженные недостатки и формировать корректную программу энергосбережения и повышения энергетической эффективности. **ЭS**

Библиографические источники:

1. https://eenergy.media/2020/06/28/investitsii-v-vie-v-2021-godu-prevysyat-vlozheniya-v-uglevodorody/
2. https://eenergy.media/2020/07/02/pervaya-ofshornaya-vetroelektrostantsiya-budet-postroena-v-chernom-more/?utm_source=sendpulse&utm_medium=email&utm_campaign=digest-15-296-3720
3. Вавина Е. Доля зеленой энергии в России не превысит 4 % / [Электронный ресурс] — https://www.vedomosti.ru/business/articles/2019/11/07/815623-dolya-zelenoi-energii (дата обращения: 05.04.2020).
4. Материалы Панельной дискуссии: «Повышение энергоэффективности в сотрудничестве с отечественными производителями. Реализация энергосервисных контрактов в России» // VII Международный конгресс «Энергосбережение и энергоэффективность — динамика развития». СПб, 3–6.10.2017 г.
5. Правила устройства электроустановок. Издание 7. (Утверждены приказом Министерства энергетики РФ от 08.07.2002 г. № 204).