

УДК 621.316

Я. С. БЕДЕРАК, инженер, ОАО «Азот» г. Черкассы

А. В. ДЕГТЯРЕВ, инженер, ИЭЭ НТУУ «КПИ», г. Киев

ПРИМЕНЕНИЕ АСУЭ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

В статье показана экономическая эффективность внедрения и эксплуатации автоматизированных систем учета электроэнергии (АСУЭ) на промышленных предприятиях.

У статті показано економічна ефективність впровадження і експлуатації автоматизованих систем обліку електроенергії (АСУЕ) на промислових підприємствах

Введение

Система электроснабжения промышленного предприятия является динамической структурой, подвергающейся внешним воздействиям. Работа всей системы строго регламентируется суточными, недельными, месячными и другими нормами потребления электроэнергии, составленными на соответствующий период [1].

Упорядочение учета электроэнергии и, как следствие этого, обеспечение нормального производственного режима, выравнивания графика нагрузки, предоставление эксплуатационному персоналу достоверной информации о состоянии энергохозяйства способствуют повышению общего уровня технологической культуры производства и возможности управления им на современном уровне.

Основная часть

Опыт разработки, внедрения и эксплуатации автоматизированных систем учета электроэнергии (АСУЭ) промышленных предприятий показал их экономическую эффективность, а также положительное влияние на производственную деятельность предприятий.

Основными задачами контроля текущих параметров режимов электропотребления (ТПРЭ) на промышленных предприятиях являются [2]:

- информирование эксплуатационного персонала о ТПРЭ;
- информационное обеспечение задач управления режимами электропотребления на промышленном предприятии;
- анализ режимов электропотребления и разработка мероприятий, направленных на повышение эффективности энергоиспользования.

Как известно, АСУЭ подразделяются на АСКУЭ и АСТУЭ (автоматизированные системы коммерческого и технического учета соответственно).

Коммерческим или расчетным учетом называют учет поставки и потребления энергии предприятием для денежного расчета за нее (соответственно приборы для коммерческого учета называют коммерческими, или расчетными). Техническим, или контрольным учетом называют учет для контроля процесса поставки/потребления энергии внутри предприятия по его подразделениям и объектам (соответственно используются приборы технического учета). С развитием рыночных отношений, реструктуризацией предприятий, хозяйственным обособлением отдельных подразделений предприятий и появлением коммерчески самостоятельных, но связанных общей схемой энергоснабжения производств – субабонентов функции технического и расчетного учета могут совмещаться в рамках одной системы. Соответственно, АСКУЭ и АСТУЭ реализуются как отдельные системы или как единая система [3].

Суточные графики нагрузок, полученные АСКУЭ и АСТУЭ, позволяют проводить анализ режимов работы электрооборудования предприятия за истекший и последующий периоды и

разрабатывать мероприятия по оптимизации режимов электропотребления на ближайшую перспективу [4].

В том случае, когда на вводах низшего или высшего напряжения и на всех отходящих присоединениях подстанции глубокого ввода промышленного предприятия (рис. 1) установлены электронные счетчики, то имеется возможность в АСУЭ внедрить несколько шаблонных форм, которые помогут службе главного энергетика в решении задач контроля состояния электрических машин, контроля правильности учета и потребления электроэнергии. Возможно определить расчетным путем за любой период времени действительный процент потерь в элементах электрических сетей (кабельных или воздушных линиях, реакторах,

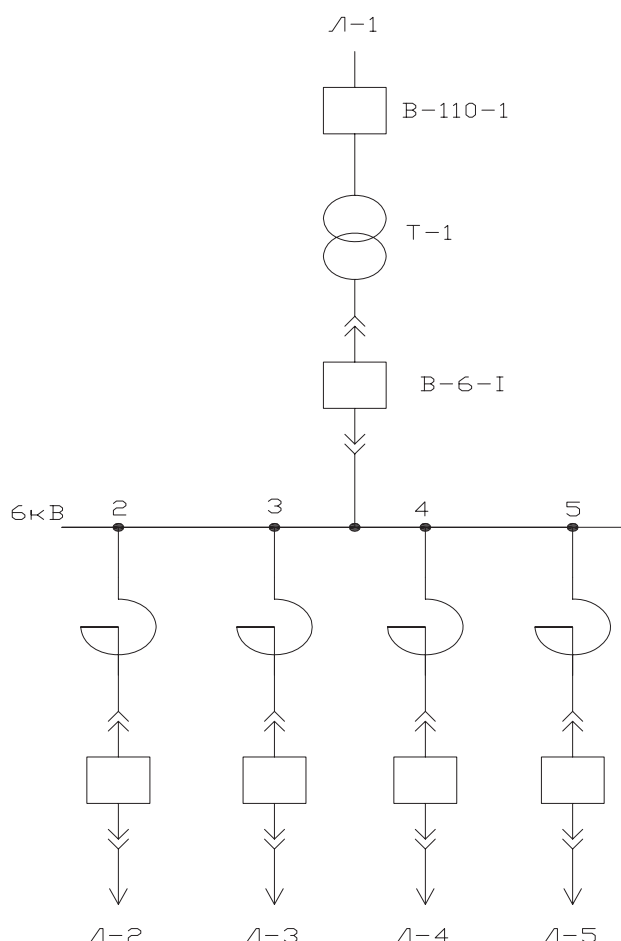


Рис. 1. Упрощенная однолинейная схема подстанции глубокого ввода (ПГВ) промышленного предприятия (не изображены трансформаторы напряжения 110 и 6 кВ).

Небаланс расчетного и технического учета электроэнергии на подстанции рассчитывается согласно [5]. Знание величины допустимого небаланса за декаду, месяц обеспечивает правильную работу приборов учета электроэнергии на подстанциях, предупреждает хищение электроэнергии, обеспечивает верификацию данных АСКУЭ и АСТУЭ.

При составлении баланса по подстанции, представленной на схеме рис. 1 между приемом энергии через счетчик на линии 1, подключенный через ТТ и ТН 110 кВ, и отдачей электроэнергии по линиям 2, 3, 4, 5 необходимо учитывать потери в силовых трансформаторах 110/6 кВ и потери в реакторах 6 кВ.

Если значение фактического небаланса больше значения допустимого небаланса необходимо выявить причины этого явления и принять меры по устранению. Среди

возможных причин небалансов могут быть: несанкционированное потребление электроэнергии на отдельных шинах (воровство электроэнергии); рассинхронизация измерений электронных счетчиков; ухудшение качества учитываемой электроэнергии; обрыв фаз в ТН; несоответствие параметров измерительных трансформаторов и их вторичных цепей требованиям нормативных документов; отключение счетчиков электроэнергии на присоединении; другие факторы [6].

Это может быть вызвано работой какого-то счетчика электроэнергии не в классе точности, неправильной схемой подключения счетчика или неправильной работой ТТ и ТН, участвующих в учете электроэнергии, хищением электроэнергии. Как очевидно, на основании информации, накапливающейся в базы данных АСКУЭ и АСТУЭ возможно производить расчет небаланса по секциям шин подстанций, полностью по подстанции.

Достаточно часто составляются балансы электрической энергии шин (секций шин), все счетчики которых подключены к одному трансформатору напряжения. В этом случае погрешность трансформатора напряжения не оказывает влияния на небаланс электрической энергии шин (секции шин), и определение суммарной относительной погрешности i -го измерительного комплекса следует производить по формуле:

$$\delta i = \pm 1,1 * \sqrt{\delta_{ТТ}^2 + \delta_{сч}^2}, \%$$

Если составляется баланс по подстанции, представленной на схеме рис. 1 между приемом энергии через счетчик на линии 1, подключенный через ТТ и ТН 110 кВ, и отдачей электроэнергии по линиям 2, 3, 4, 5 необходимо учитывать также потери в силовых трансформаторах 110/6 кВ и потери в реакторах 6 кВ. Вышеуказанные потери рассчитываются согласно [7] и [8].

В цепях, где имеются значительных перетоков электрической энергии желательно применение дублирующих счетчиков, которые подключаются непосредственно к цепям расчетного счетчика (дублируют расчетный счетчик). В этом случае допуск для разности показаний расчетного и дублирующего счетчиков (допустимый небаланс показаний счетчиков) рассчитывается согласно [9] по формуле:

$$(W_{расч} - W_{дублир}) / W_{расч} * 100 = \sqrt{\delta^2_{сч.расч.} + \delta^2_{сч.дублир.}}, \%$$

где $\delta_{сч.расч.}$ – относительная погрешность счетчика расчетного;

$\delta_{сч.дублир.}$ – относительная погрешность счетчика дублирующего.

Считаем, что АСУЭ в состоянии рассчитать и расход электроэнергии на собственные нужды подстанций. Рассчитываются они согласно [10]. Из БД АСУЭ выводится значение потребления электроэнергии по ТСН подстанции и с помощью таблицы EXCEL вычисляется значение нормативных общеподстанционных электроэнергии на собственные нужды подстанций. Согласно [10] также определяются нормативные потери на охлаждение трансформаторов, на обогрев оборудования, на устройства и системы управления подстанцией, на расчетные потери в трансформаторах собственных нужд и пр. Естественно, сумма этих значений должны совпасть с определенной точностью с фактическими общеподстанционными потерями на собственные нужды подстанций, рассчитанными на основании показаний по приборам учета электроэнергии.

Наличие системы автоматизированного учета электроэнергии позволяет автоматически и оперативно составлять электробаланс предприятия, сопоставляя количество электроэнергии, которая получена на предприятие, с электроэнергией, отданной электроприемникам. При этом основной целью анализа электробаланса предприятия является определение основных направлений экономии и рационального использования электроэнергии, выбора оптимальной стратегии управления планированием электропотребления.

Баланс электропотребления является основой базой для совершенствования нормирования энергопотребления.

В [11] указано, что энергетические балансы агрегатов установок представляют собой один из основных инструментов решения задач энергосбережения. В частности, составление и анализ энергобалансов позволяет:

- выявить излишние потери энергии и разработать мероприятия по их установлению;
- определить направления реконструкции морально и физически устаревшего оборудования;
- обосновать выбор наиболее экономических видов и параметров энергоносителей, используемых в производственных процессах;
- обосновать величину и режимы энергопотребления;
- выбрать рациональные схемы энергосбережения установок и др.

Благодаря системе технического учета операторы АРМ АСТУЭ получают информацию, сгруппированную по агрегатам и цехам, контролируют коэффициенты мощности синхронных двигателей, выдают рекомендации по изменению режимов работы синхронных двигателей, увеличению или снижению загрузки асинхронных электродвигателей и силовых трансформаторов, дают команды на включение или отключение БСК, получают данные измерений параметров сети с электронных счетчиков.

Эта измерительная информация включает: фазные (I_A, I_B, I_C) или линейные (I_{AB}, I_{AC}, I_{BC}) токи; фазные (U_A, U_B, U_C) или линейные (U_{AB}, U_{CA}, U_{BC}) напряжения; пофазные (P_A, P_B, P_C) активные мощности; пофазные (Q_A, Q_B, Q_C) реактивные мощности; пофазные (S_A, S_B, S_C) полные мощности; углы сдвига фаз ($\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$); частоту (f); установившиеся отклонение напряжения (ΔU_y), коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_U , коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$, коэффициенты несимметрии напряжений по обратной K_{2U} и нулевой K_{0U} последовательностям и др.

Применение приложений АСТУЭ может быть эффективно для присоединений с двигательной нагрузкой. Возможно вычислить полезную мощность и мощность потерь автоматически, используя базу данных (БД) АСТУЭ и формулы, приведенные в [12] и [13].

У асинхронных и синхронных электродвигателей 6 кВ, на присоединениях которых установлены электронные счетчики, возможно рассчитать полезную мощность в режиме реального времени.

Для разработки графиков полезной мощности используется программное обеспечение автоматизированной системы учета электроэнергии, работающее в режиме реального времени и, непрерывно считывающее информацию о потреблении электроэнергии. Разработан шаблон отчета в среде ПО АСТУЭ, интегрированной с программой Microsoft Excel. С помощью ПО АСТУЭ, позволяющего загружать данные в рабочие книги Microsoft Excel для последующей обработки и визуализации формируется диаграмма профилей нагрузки в Microsoft Excel, выполняется расчет мощностей для присоединений согласно [12]; данные мощности вносятся в шаблон ПО АСТУЭ, считывая их из БД АСТУЭ. Анализ диаграммы (рис. 2) дает возможность контролировать значения полезной мощности за выбранный период времени по нескольким электродвигателям (рис. 1) и сравнивать их друг с другом.

В диаграмме использованы следующие обозначения:

- $R_{полн}$ (ф.1) и $R_{полн}$ (ф.2) – полная мощность первого и второго присоединения СД;
- $\Delta R_{пост}$ (ф.1) и $\Delta R_{пост}$ (ф.2) – постоянные потери первого и второго присоединения СД;
- $\Delta R_{пер}$ (ф.1) и $\Delta R_{пер}$ (ф.2) – переменные потери первого и второго присоединения СД.

Заметим, что для выполнения таких расчетов при помощи ПО АСУЭ электрослужба предприятий должна иметь базу данных по параметрам и каталожным данным электрических аппаратов, линий электропередачи, электродвигателей.

На основании данных АСТУЭ можно также рассчитывать ток холостого хода асинхронных электродвигателей, сравнивать их у однотипных электродвигателей в режиме реального времени.

Для того чтобы измерить ток холостого хода $I_{хх}$, необходимо отсоединить двигатель от механизма и, следовательно, вывести агрегат из рабочего состояния. В условиях периодических или непрерывных технологических процессов, характерных для энергоемких производств, это вызывает значительные трудности, особенно при проведении массовых обследований асинхронных электродвигателей.

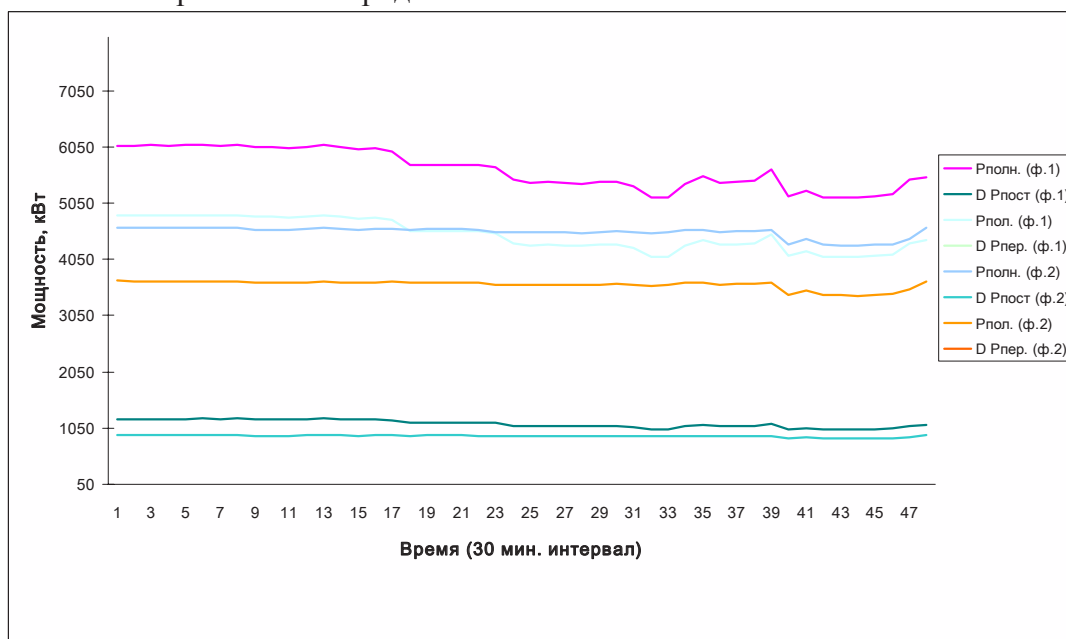


Рис. 2. Типовой сводный график полезной мощности за выбранные сутки по двум синхронным электродвигателям мощностью 7000 МВт

Избежать отсоединения двигателя можно, используя для определения $I_{хх}$ метод двух нагрузок (МДН). В [15] выведено следующее соотношение для номинальной загрузки двигателя:

$$I_{хх} = I_{сн} \left(\sin \varphi_n - \frac{\cos \varphi_n}{b_n + \sqrt{b_n^2 - 1}} \right)$$

где $I_{хх}$ – ток холостого хода при номинальном напряжении и частоте сети;

$\cos \varphi_n$ – номинальный коэффициент мощности;

b_n – кратность максимального вращающего момента, т. е. отношение

максимального вращающего момента к номинальному моменту на валу двигателя;

$I_{сн}$ – номинальный ток статора.

Для режима нагрузки, отличного от номинального, для определения тока холостого хода по данным измерений активной и реактивной мощности применяют формулу [16] :

$$I_{\delta\delta} = \frac{P_{(1)}^2 Q_{(2)} - P_{(2)}^2 Q_{(1)}}{\sqrt{3}U (P_{(1)}^2 - P_{(2)}^2)}$$

При помощи АСУЭ возможно контролировать значение фактической удельной нормы расхода электроэнергии, сравнивая значения фактической выработки продукции с плановой.

Для исследования режимов электропотребления следует использовать принципы системного подхода, аппарат теории вероятности и математической статистики, модели и методы дискретного линейного программирования, элементы теории информации и потенциальной помехоустойчивости.

Применение предложенных методов и средств позволяют существенно снизить трудоемкость экспериментальных работ по изучению режимов электропотребления,

повысить достоверность и точность исходной информации при решении оптимизационных задач за счет автоматизации процессов информационной подготовки.

В рамках энергетического обследования, как правило, предприятие разбивается на контролируемые зоны и для каждой зоны заполняется паспорт. В паспорте контролируемой зоны указываются все входящие в нее источники питания, потребители электроэнергии и их характеристики, информация об измерительных комплексах электроэнергии для расчета допустимого значения небаланса приема и распределения электроэнергии в контролируемой зоне.

Исходя из графика выпуска продукции, перечня установленного электрооборудования предприятия, расчетного распределения расхода электроэнергии по группам оборудования и контролируемым зонам при разработке энергосберегающих мероприятий осуществляется оптимизация режима работы для уменьшения непроизводительных затрат, а также изменение суточного профиля потребления электроэнергии, оптимизация его под используемый тариф.

Установка АСТУЭ – это наиболее простая, но эффективная и малозатратная система энергосбережения, позволяющая сократить расходы на потребление электроэнергии до 30% [117]. АСТУЭ гармонично вливается в технологический процесс производства предприятия и становится одним из его основных главных составляющих.

АСТУЭ – это инструмент энергосбережения, но она приносит прибыль, если постоянно заниматься контролем электропотребления, проводя анализ полученной информации в рабочих группах, включающих инженеров-электриков и инженеров-технологов.

Заметим, что единой методики составления и анализа фактических энергобалансов агрегатов и установок, а также методики оценки и нормализации потерь энергии в агрегатах до настоящего времени практически не существует. Это, безусловно, сильно затрудняет практическое решение вопросов энергосбережения в производстве.

Для проведения укрупненных расчетов электропотребления цеха или предприятия в целом (без определения всех составляющих удельного расхода электроэнергии) рекомендуется метод, основанный на использовании моделей электропотребления, найденных по результатам многофакторного регрессионного анализа [18]. С целью повышения точности расчета по истечении каждого года уточняются параметры моделей электропотребления. Таким образом, модели должны ежегодно корректироваться с учетом развития предприятия с целью адекватного отражения реально существующих связей между электропотреблением и основными показателями производства.

На основе данных, полученных в результате математической обработки статистической отчетности информации, выводятся аналитические зависимости удельного расхода электроэнергии w_i от объема производства нормируемых видов продукции Π_i :

$$w_i = a_i \exp(b_i \Pi_i)$$

где a_i и b_i – коэффициенты, определяющие конкретную зависимость для некоторого i -го вида продукции.

Использование таких зависимостей для всех нормируемых видов продукции позволяет обоснованно, с довольно высокой достоверностью определить удельную норму расхода электроэнергии на плановый объем производства для цехов, проводить анализ эффективности их работы по итогам месяца в части рациональности использования электроэнергии, объективно оценивать результаты мероприятий, внедряемых в цехах для снижения электропотребления [19].

Нормирование электропотребления по такой схеме позволяет также обосновать потребление электроэнергии для цехов и производств и предъявить их в качестве лимитов. Лимит электропотребления связан с плановым объемом производства на месяц следующим соотношением:

$$\mathcal{E}_{\text{lim } i} = w_i \Pi_i.$$

Лимитирование электропотребления для цехов в сочетании с оперативным учетом является одной из предпосылок для контроля и управления потреблением электроэнергии подразделениями и предприятием в целом. Электропотребление цехов должно контролироваться ежедневно и ведется нарастающим итогом от начала месяца при одновременном сопоставлении с объемами производства и среднемесячными лимитами. Такой подход позволяет решать, в частности, и задачи текущего контроля рациональности использования электроэнергии в цехах.

Выводы

Ежемесячный мониторинг делает возможным прогнозирование объем потребления электроэнергии предприятием в целом на будущий месяц. В сочетании с планированием загрузки собственных станций это позволяет обоснованно планировать потребляемую предприятием из энергосистемы мощность.

Вместе с тем точность прогнозирования электропотребления на уровне цеха на основе только одного параметра, даже самого значимого – объема производимой продукции, зачастую недостаточна. Необходимо выявить набор производственных параметров, определяющих электропотребление. Из-за большого количества производств и видов продукции и, соответственно, влияющих на электропотребление факторов нужно определить степень значимости последних для построения зависимости; выделить параметры, определяющие характер электропотребления отдельных цехов и производств. На этой основе формируются дискретно-непрерывные модели электропотребления в зависимости от нескольких параметров, позволяющие значительно повысить обоснованность и точность прогнозирования на уровне цеха, что открывает дополнительные возможности для управления электропотребления.

АСУЭ должна превратиться в Автоматизированную Систему Учета и Контроля Электроэнергии (АСКУЭ) [20], которая должна способствовать оптимальному управлению режимами электропотребления на промышленных предприятиях. Следующим этапом, вероятно, должно быть создание единой Системы Учета и Контроля Энергоресурсов, которая бы учитывала все энергоресурсы, потребляемые предприятием.

Список литературы

1. А. Н. Карелин. Методология нормирования электропотребления предприятий с автоматизированными системами учета// Промышленные АСУ и контроллеры. – 2005. – № 7 – С. 11–15.
2. О. В. Коцарь. Применение АСКУЭ для контроля текущих параметров режимов электропотребления на промышленных предприятиях//Энергетика и Электрификация. – 2004. – № 6 – С. – 24-25.
3. <http://www.eu.sama.ru/askue.html>
4. А. Гуртовцев. Комплексная автоматизация энергоучета на промышленных предприятиях и хозяйственных объектах//СТА. – 1999. –№ 3. – С. 44–45.
5. Інструкція про порядок комерційного обліку електричної енергії. Затверджена загальними зборами членів Оптового ринку електроенергії 28.01 2003 р.
6. Гинайло В. А. Гинайло А. В. Надуда П. Р., Танкевич Е. Н. Зачем нужны автоматизированные системы учета электроэнергии?//Промэлектро. – 2008 – № 5 – С. 47–52.
7. Ю. С. Железко. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях. М., Энергоатомиздат. 1989.
8. ГНД 34.09.104-2003. Методика складання структури балансу електроенергії в електричних мережах 0,38–150 кВ, аналізу його складових і нормування технологічних витрат електроенергії.
9. Пирогов В. Н., Старцев А. П., Парцахашвили И. П.//Методика составления баланса и расчета нормативного допустимого небаланса электроэнергии. – С. 1–4. Нормирование, анализ и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях-2002//18-22.11 2002. – Москва.
10. ГНД 34.09.203-2004. Нормування витрат електроенергії на власні потреби підстанцій

35-750 кВ і розподільчих пунктів 6-10 кВ.

11. Находов В. Ф. Экономико-организационные основы энергосбережения (часть 1). Экономический менеджмент и энергосбережение. Книга 1, Киев, 1995.
12. С. Д. Волобринский. Электрические нагрузки и балансы промышленных предприятий. Л., Энергия, 1976.
13. О. М. Закладный, А. В. Праховник, О. І. Соловей. Энергосбережения засобами промислового електропривода.
14. Шорин В. П. Приближенное определение коэффициента полезного действия электродвигателей в зависимости от загрузки и угловой скорости// Промышленная энергетика. – 1989. – №9 – С. – 27–29.
15. Сыромятников И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / Под ред. Л. Г. Мамиконянца. М.: Энергоатомиздат, 1984.
16. Волянский В. М. Рациональное использование электроэнергии в механизмах химических производств (Экономия топлива и электроэнергии). – М.: Химия, 1985. – 80 с.
17. Петухов В. Г. АСКУЭ как инструмент энергосбережения.
<http://www.eu.sama.ru/publications>
18. Никифоров Г. В. Совершенствование нормирования и планирования электропотребления в промышленном производстве//Промышленная энергетика. – 1999 – № 3 – С. – 28–29.
19. Гунин В. М., Копцев Л. А., Никифоров Г. В. Опыт нормирования и прогнозирования электропотребления предприятия на основе математической обработки статистической отчетности// Промышленная энергетика. – 2000 – № 2. – С. – 2–5.
20. Гуртовцев А. Л. О происхождении и значениях термина «АСКУЭ»// Промышленная энергетика.– 2003. – № 8. – С.5-6.

APPLICATION OF ASUE ON INDUSTRIAL ENTERPRISES FOR DECISION OF TASKS OF ENERGY-SAVINGS

Ja. S. BEDERAK, engineer, A. S. DEGTJAREV, engineer

In the article economic efficiency of introduction and exploitation of CASS of account of electric power (ASUE) is rotined on industrial enterprises

Поступила в редакцию 03.03 2010 г.