

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.В. ЛЫКИН

УЧЕТ И КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК
2019

УДК 621.317.785(075.8)
Л 883

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент *Б.О. Григоркин*
канд. техн. наук, доцент *Д.А. Павлюченко*

Работа подготовлена кафедрой автоматизированных
электроэнергетических систем для студентов, обучающихся
по направлению 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Лыкин А.В.

Л 883 Учет и контроль электроэнергии. Конспект лекций: учебное
пособие / А.В. Лыкин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – 171 с.

ISBN 978-5-7782-3797-1

Конспект лекций содержит теоретические материалы двух тем по эксплуатации и проектированию электрических сетей энергосистем и систем электроснабжения предприятий по дисциплине «Учет и контроль электроэнергии». Рассматриваются общие принципы и правила учета электроэнергии в энергосистемах и у потребителей на оптовом и розничном рынке электроэнергии, а также вопросы контроля и анализа качества и управления качеством электроэнергии. Приводятся определения мощности в электрических сетях, необходимые для анализа и управления качеством электрической энергии.

УДК 621.317.785(075.8)

ISBN 978-5-7782-3797-1

© Лыкин А.В., 2019
© Новосибирский государственный
технический университет, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Перечень используемых сокращений	3
1. Учет электроэнергии	5
1.1. Правила учета электрической энергии.....	5
1.2. Основные положения по учету электроэнергии при ее производстве, передаче, распределении и потреблении	12
1.3. Контроль баланса электрической энергии на электростанциях	17
1.4. Контроль баланса электрической энергии на подстанциях и сетевых предприятиях	19
1.5. Особенности учета межсистемных перетоков электроэнергии.....	23
1.6. Учет реактивной электроэнергии в электроустановках	25
1.7. Точность измерения электрической энергии и мощности	27
1.8. Методики измерений	44
1.9. Коммерческий учет электроэнергии на оптовом и розничном рынке электроэнергии	46
1.10. Организация системы измерений и сбора информации на ОРЭ	49
1.11. Назначение и функции АИИС КУЭ	50
1.12. Замещение информации при учете электрической энергии на ОРЭМ	57
1.13. Определение учетных показателей в случаях несовпадения точек поставки и учета	58
1.14. Организация системы измерений и сбора информации на РРЭМ.....	61
1.15. Расчетные способы учета электрической энергии (мощности) на РР электроэнергии.....	65
1.16. Интеллектуальный учет электроэнергии	67

2. Качество электроэнергии	73
2.1. Показатели качества электрической энергии	73
2.2. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения	91
2.3. Измерение ПКЭ.....	107
2.4. Управление качеством электрической энергии	125
3. Материал для самостоятельного изучения	144
3.1. Определения мощности в однофазных системах.....	144
3.2. Определения мощности в трехфазных системах	152
Приложение.....	166
Библиографический список	168

1. УЧЕТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

1.1. ПРАВИЛА УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

ЦЕЛЬ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Основной целью учета электроэнергии является получение достоверной информации о производстве, передаче, распределении и потреблении электрической энергии на оптовом и розничном рынке электроэнергии для решения основных технико-экономических задач:

- финансовые расчеты за электроэнергию и мощность между субъектами рынка (энергоснабжающими организациями, потребителями электроэнергии) с учетом ее качества;
- определение и прогнозирование технико-экономических показателей производства, передачи и распределения электроэнергии в энергетических системах;
- определение и прогнозирование технико-экономических показателей потребления электроэнергии на предприятиях промышленности, транспорте, в сельском хозяйстве, коммунально-бытовом секторе и др.;
- обеспечение энергосбережения и управление электропотреблением – энергоменеджмент¹.

Расчетный (коммерческий) учет электроэнергии производится для денежных расчетов за нее. Технический (контрольный) учет необходим для контроля расхода электроэнергии внутри электростанций, подстанций и предприятий с целью повышения эффективности использования электроэнергии и снижения потерь электроэнергии.

Качество передаваемой энергоснабжающей организацией энергии должно соответствовать требованиям, установленным государственными стандартами и иными обязательными правилами или предусмотрен-

¹ Энергоменеджмент – совокупность принципов, знаний, форм и средств управления энергосбережением с целью снижения затрат на энергетические ресурсы.

ным условиями заключаемых договоров² владельцев объектов электроэнергетики между собой и с потребителями.

Далее будут использоваться понятия:

потребитель (абонент) электрической энергии – юридическое лицо, использующее электрическую энергию (мощность);

энергоснабжающая организация – коммерческая организация; независимо от организационно-правовой формы осуществляющая продажу потребителям произведенной или купленной электрической и(или) тепловой энергии;

пользователь электрической сети – сторона, получающая электрическую энергию от электрической сети либо передающая электрическую энергию в электрическую сеть. К пользователям электрических сетей относят сетевые организации и иных владельцев электрических сетей, потребителей электрической энергии, а также генерирующие организации.

УЧЕТ АКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Учету подлежит электроэнергия (рис. 1.1):

- выработанная генераторами электростанций;
- потребленная на собственные и хозяйственные нужды (раздельно) электростанций и подстанций, а также на производственные нужды энергосистемы;
- отпущенная потребителям по линиям, отходящим от шин электростанций непосредственно к потребителям;
- переданная в сети других собственников или полученная от них;
- отпущенная потребителям из электрической сети;
- переданная на экспорт и полученная по импорту.

УЧЕТ РЕАКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Учет реактивной электроэнергии должен обеспечивать возможность определять количество реактивной электроэнергии, полученной потребителем от электроснабжающей организации или переданной ей, если по этим данным производятся денежные расчеты или контроль соблюдения заданного режима работы компенсирующих устройств.

² Договора об оказании услуг по передаче электрической энергии, энергоснабжения и (или) договоров купли-продажи (поставки) электрической энергии (мощности).

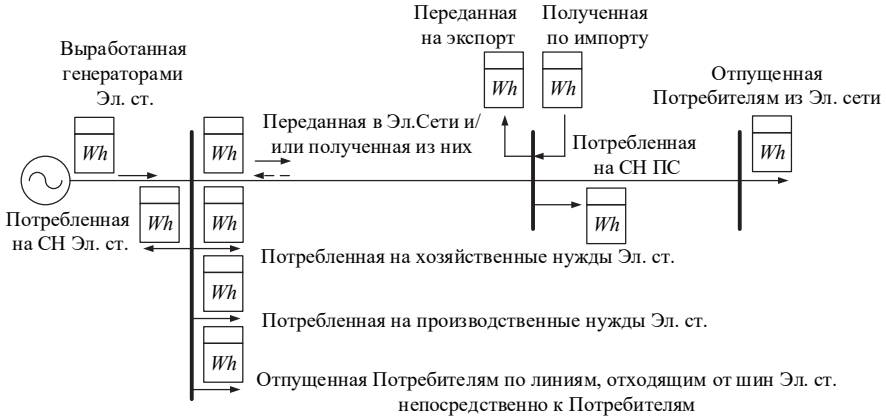


Рис. 1.1. Электроэнергия, подлежащая учету

СПОСОБ И СРЕДСТВА УЧЕТА

Учет электроэнергии производится на основе измерений с помощью счетчиков электрической энергии и информационно-измерительных систем (ИИС).

Для учета электроэнергии должны использоваться средства учета, типы которых утверждены Госстандартом России и внесены в Государственный реестр средств измерений. В соответствии с Правилами учета электроэнергии³ средства учета – это «совокупность устройств, обеспечивающих измерение и учет электроэнергии (измерительные трансформаторы тока и напряжения, счетчики электрической энергии, телеметрические датчики, информационно-измерительные системы и их линии связи) и соединенных между собой по установленной схеме».

Непосредственно измерение электроэнергии непрерывным нарастающим итогом выполняют счетчики электроэнергии (рис. 1.2). Счетчики электроэнергии подразделяют на электромеханические (индукционные) и статические (цифровые). Новым поколением счетчиков электроэнергии являются микропроцессорные счетчики, называемые также интеллектуальными, которые обладают целым рядом дополнительных возможностей и функций.

³ Правила учета электрической энергии. Утв. Минтопэнерго 19.06.96.



Рис. 1.2. Счетчики электроэнергии

ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Организация учета электроэнергии включает выбор:

- мест установки и объемов средств учета электроэнергии на электростанциях, подстанциях и у потребителей;
- классов точности счетчиков и измерительных трансформаторов;
- размещения счетчиков и выполнения электропроводки к ним.

Учет активной и реактивной энергии и мощности, а также контроль качества электроэнергии для расчетов между энергоснабжающей организацией и потребителем производится, как правило, на границе балансовой принадлежности (ГБП) электрической сети (1.3).

Существует два типа границ электрических сетей сетевых организаций:

- граница балансовой принадлежности – линия раздела объектов электроэнергетики между владельцами по признаку собственности или владения на ином предусмотренном федеральными законами основании;

- граница эксплуатационной ответственности – линия раздела электрической сети по признаку обязанностей по эксплуатации тех или иных ее участков или элементов, устанавливаемая соглашением (договором) сторон. При отсутствии такого соглашения (договора) граница эксплуатационной ответственности совпадает с границей балансовой принадлежности.

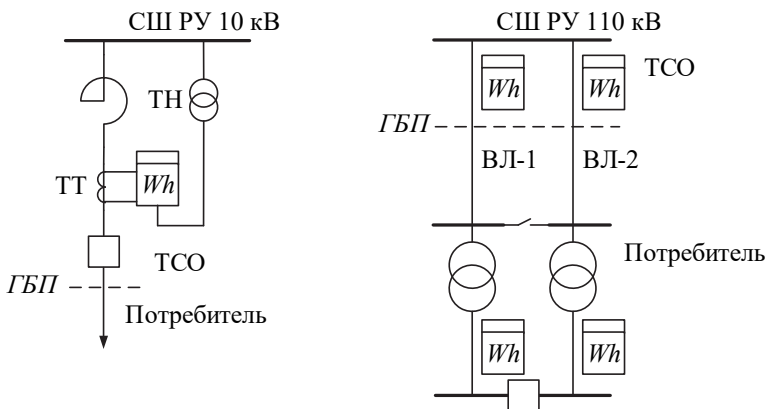


Рис. 1.3. Примеры установки счетчиков электроэнергии в электрической сети

ТОЧКА ПОСТАВКИ И ТОЧКА УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Точка поставки электроэнергии – физическая точка на элементе сети, в которой происходит поставка электроэнергии и мощности субъектом рынка и которая зафиксирована в системе действующих договоров на оптовом рынке. Точка поставки, как правило, совпадает с точкой раздела (границей) балансовой (эксплуатационной) принадлежности электрических сетей субъектов оптового рынка, но может приниматься и иной по согласованию заинтересованных сторон.

Точка учета электрической энергии – физическая точка на элементе сети, в которой измеряется электрическая энергия, проходящая по данному элементу. Точка учета совпадает с точкой подключения трансформатора тока соответствующего присоединения и счетчика.

Используются также понятия: точка измерения электрической энергии, точка передачи электрической энергии, точка приема или отдачи электрической энергии.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Установка, эксплуатация и техническое обслуживание расчетных счетчиков, а также счетчиков технического учета, показания которых используются при составлении баланса электроэнергии на энергообъектах, должны осуществляться персоналом энергоснабжающей организации; прочих счетчиков технического учета – персоналом электростанций и предприятий электрических сетей. Эксплуатация средств учета электроэнергии должна вестись в соответствии с требованиями действующих нормативно-технических документов и инструкций заводов-изготовителей.

Эксплуатационное обслуживание средств учета электроэнергии должно выполняться специально обученным персоналом.

При обслуживании средств учета электроэнергии должны проводиться организационные и технические мероприятия по обеспечению безопасности работ в соответствии с действующими правилами безопасности при эксплуатации электроустановок.

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УЧЕТА

Для повышения эффективности учета электроэнергии в электроустановках применяются автоматизированные системы учета и контроля электроэнергии, создаваемые на базе электросчетчиков и ИИС. Автоматизация учета электроэнергии стала необходимым условием работы субъектов электроэнергетики и потребителей на оптовом рынке электроэнергии и мощности (ОРЭМ). На розничных рынках электроэнергии (РРЭ) сетевые и сбытовые компании практически полностью автоматизировали съем и передачу данных на верхний уровень систем учета электроэнергии для участников рынков. Идет работа по автоматизации учета для граждан-потребителей.

Автоматизация производится не только для коммерческого, но и для технического учета. На рис. 1.4 показаны основные автоматизированные системы учета электроэнергии.

На рис. 1.4 использованы обозначения: АИИС КУЭ – автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии; АСКУЭ – автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии; АСТУЭ – автоматизированная система технического учета электроэнергии. Термин АСКУЭ имеет и другие

толкования: автоматизированная система контроля и учета электроэнергии и автоматизированная система контроля и учета энергоресурсов.

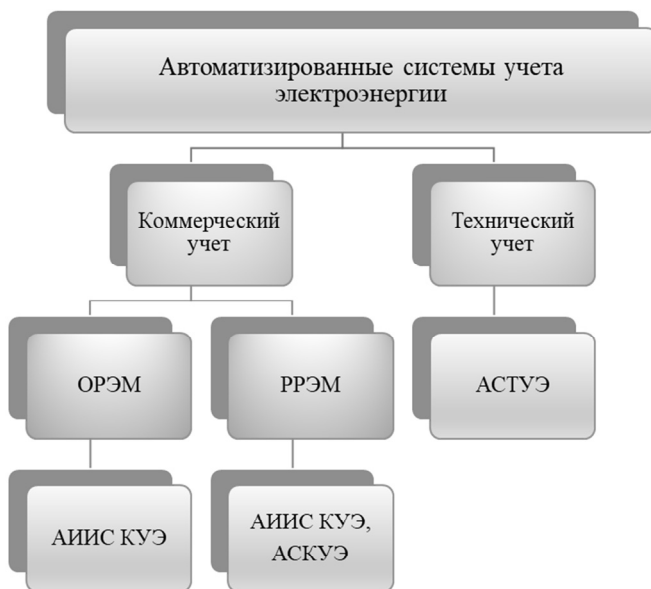


Рис. 1.4. Виды автоматизированных систем учета электроэнергии

В отличие от АСКУЭ АИИС КУЭ должна быть занесена в Госреестр как средство измерения.

УЧЕТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА СОБСТВЕННЫЕ, ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ НУЖДЫ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

Расход электроэнергии на собственные нужды электростанций и подстанций – потребление электроэнергии приемниками, обеспечивающими необходимые условия функционирования электростанций и подстанций *в технологическом процессе* выработки, преобразования и распределения электрической энергии. Расходы электроэнергии на собственные нужды электростанций и подстанций входят в баланс электроэнергии по разным статьям.

Расход электроэнергии на хозяйственные нужды электростанций и электрических сетей – потребление электроэнергии *вспомогательными и непромышленными подразделениями*, находящимися на балансе

электрических станций и предприятий электрических сетей. Хозяйственные нужды *не связаны с технологическими процессами* производства тепловой и электрической энергии на электростанциях, а также передачи и распределения электрической энергии.

Расход электроэнергии на производственные нужды – это:

- потребление электроэнергии районными котельными и электробойлерными установками, состоящими как на самостоятельном балансе, так и на балансе электростанций;
- потребление на перекачку воды гидроаккумулирующими электростанциями и перекачивающими установками.

1.2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО УЧЕТУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВЕ, ПЕРЕДАЧЕ, РАСПРЕДЕЛЕНИИ И ПОТРЕБЛЕНИИ

УЧЕТ АКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Расчетные счетчики электроэнергии на электростанциях должны устанавливаться для учета электроэнергии:

- выработанной генераторами;
- потребленной (раздельно) на собственные, производственные и хозяйственные нужды;
- отпущенной потребителям, непосредственно присоединенным к шинам станций;
- отпущенной в сети (принятой из сети) других собственников, а также для учета средних значений мощности (нагрузки), отпускаемой электростанциями в сети за установленный интервал текущего времени по соответствующим присоединениям электростанций.

На электростанциях расчетные счетчики должны обеспечивать учет выработанной и переданной электроэнергии через станционную электросеть за границу балансовой принадлежности и устанавливаться:

- на генераторах;
- на трансформаторах собственных нужд;
- на линиях, присоединенных к шинам основного напряжения собственных нужд;
- у потребителей электроэнергии на хозяйственные нужды;
- на межсистемных линиях электропередачи;

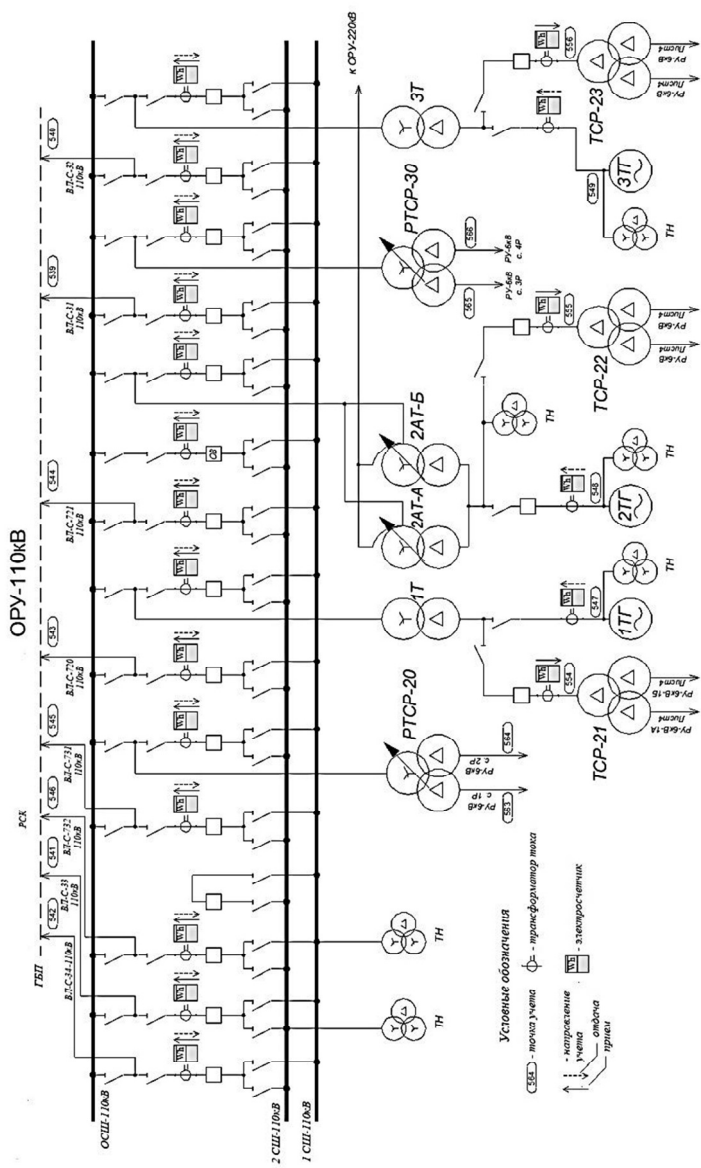


Рис. 1.5. Схема учета ГРЭС (фрагмент)

- на линиях, принадлежащих потребителям и присоединенных непосредственно к шинам электростанций;
- на резервных возбуждателях⁴.

На рис. 1.5 показана схема учета электростанции (ГРЭС) с указанием точек и направлением учета активной энергии.

ТРЕБОВАНИЯ К ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Допустимые классы точности расчетных счетчиков активной электроэнергии и измерительных трансформаторов приведены в следующих документах:

- Правилах устройства электроустановок (ПУЭ);
- Приложении к договору о присоединении к торговой системе оптового рынка электроэнергии и мощности № 11.1 (Регламент ОР-ЭМ). АИИС КУЭиМ. Технические требования;
- Основных положениях функционирования розничных рынков электрической энергии.

Технические требования к элементам ИК – счетчикам электрической энергии и измерительным трансформаторам для технического учета электроэнергии – приведены в ПУЭ и отраслевых стандартах.

Места установки счетчиков технического учета электроэнергии, а также измерительных трансформаторов должны соответствовать требованиям, изложенным в ПУЭ (гл. 1.5), например, таким:

- счетчики должны размещаться в легко доступных для обслуживания сухих помещениях, в достаточно свободном и не стесненном для работы месте с температурой в зимнее время не ниже 0 °С;
- счетчики должны устанавливаться в шкафах, камерах комплектных распределительных устройств (КРУ), на панелях, щитах, в нишах, на стенах, имеющих жесткую конструкцию, и др.

Потери электроэнергии в станционной электросети электростанции, являющейся филиалом АО-энерго, включаются в технологический расход электроэнергии на ее транспорт по сетям АО-энерго, а находящейся на самостоятельном балансе (электростанции федерального подчинения) – учитываются отдельной статьей.

⁴ Расход электроэнергии на резервное возбуждение исключается одновременно из выработки данного генератора и расхода электроэнергии на собственные нужды электростанции.

Оборудование и внутривыделенные линии, потери электроэнергии в которых относятся к потерям в выделенной электросети, включают:

- главные (повышающие) трансформаторы и автотрансформаторы связи;
- распределительные устройства;
- линии электропередачи и шинопроводы;
- отдельно стоящие подстанции (находящиеся на балансе электростанции).

УЧЕТ АКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Учет активной электроэнергии в электрических сетях должен организовываться применительно к подстанциям, а также к структурным подразделениям:

- районам электрических сетей (РЭС);
- предприятиям электрических сетей (ПЭС);
- АО-энерго в целом;
- ПАО «ФСК ЕЭС России».

На подстанциях ПАО «ФСК ЕЭС России» расчетные счетчики устанавливаются для учета электроэнергии, поступившей на шины каждой из подстанций от АО-энерго и отпущенной в сети АО-энерго и других собственников по линиям, не принадлежащим ПАО «ФСК ЕЭС России», а также для учета расхода электроэнергии на хозяйственные нужды подстанции.

На подстанциях АО-энерго расчетные счетчики должны устанавливаться для учета электроэнергии, поступившей на шины каждой из подстанций по сетям ПАО «ФСК ЕЭС России», от других АО-энерго, а также для учета электроэнергии, отпущенной в сети других собственников, и для учета расхода электроэнергии на хозяйственные нужды подстанции.

Пример установки средств учета приведен на подстанции рис. 1.6.

Счетчики технического учета на подстанциях АО-энерго и ПАО «ФСК ЕЭС России» должны устанавливаться для измерения электроэнергии, поступившей (отпущенной) на их шины (с шин) из сети (в сеть) собственника подстанции (АО-энерго или ПАО «ФСК ЕЭС России»), а также для измерения расхода электроэнергии на производственные и собственные нужды подстанций.

УЧЕТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

В электроустановках потребителей должны быть установлены приборы учета для денежных (коммерческих) расчетов за электроэнергию с энергоснабжающей организацией.

Расчетные счетчики активной и реактивной электроэнергии устанавливаются в соответствии с требованиями ПУЭ и должны иметь сертификат об утверждении типа средства измерений.

1.3. КОНТРОЛЬ БАЛАНСА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Для контроля достоверности учета электроэнергии на электростанции ежемесячно составляется баланс и оформляется акт выработки и отпуска электроэнергии по показаниям счетчиков на 24:00 ч местного времени последних суток отчетного месяца, снятым персоналом электростанции.

В баланс должны включаться следующие составляющие (учетные показатели):

- выработка электроэнергии генераторами $W_{Г}$;
- поступление (прием) электроэнергии от АО-энерго или других собственников $W_{э.с}$;
- расход электроэнергии на собственные нужды $W_{с.н}$;
- расход электроэнергии на хозяйственные нужды $W_{х.н}$;
- расход электроэнергии на производственные нужды $W_{п.н}$;
- отпуск (отдача) электроэнергии с шин электростанции потребителям по классам напряжений $W_{о.п}$;
- отпуск (отдача) электроэнергии с шин электростанции в сети АО-энерго или других собственников $W_{о.с}$;
- потери электроэнергии в станционной электросети $\Delta W_{с.с}$.

Все составляющие баланса электроэнергии, за исключением потерь электроэнергии в станционной электросети, определяются на основании измерений с помощью как расчетных счетчиков, так и счетчиков технического учета.