

**11 лекция. Устройства управления энергоэффективностью и  
ресурсоэффективностью в инфокоммуникационных системах на базе  
системы концепции Smart Grid**

**ПОСТАНОВЛЕНИЕ ПРЕЗИДЕНТА РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
ОБ УСКОРЕННЫХ МЕРАХ ПО ПОВЫШЕНИЮ  
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОТРАСЛЕЙ ЭКОНОМИКИ И  
СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЫ, ВНЕДРЕНИЮ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ  
ТЕХНОЛОГИЙ И РАЗВИТИЮ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ  
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

В республике реализуются долгосрочные стратегии развития нефтегазовой, электроэнергетической, угольной, химической, строительной индустрии, направленные на обеспечение динамичного роста экономики и повышение уровня благосостояния населения, бесперебойное удовлетворение спроса на топливно-энергетические ресурсы.

На долю возобновляемых источников энергии, вырабатываемых в основном гидроэлектростанциями, в настоящее время приходится лишь 10 процентов от общего объема производимой электрической энергии в стране. Несмотря на имеющийся огромный потенциал, не в полной мере используются возможности таких возобновляемых источников энергии, как солнце и ветер.

В этой связи одним из актуальных направлений государственной политики на современном этапе должно стать повышение энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, широкое внедрение энергосберегающих технологий и возобновляемых источников энергии.

1. Принять к сведению, что:

а) Законом Республики Узбекистан «Об использовании возобновляемых источников энергии» предусмотрены льготы и

преференции в области использования возобновляемых источников энергии, в том числе освобождение от уплаты:

всех видов налогов сроком на пять лет с даты государственной регистрации производителей установок возобновляемых источников энергии;

налога на имущество за установки возобновляемых источников энергии и земельного налога по участкам, занятым этими установками (номинальной мощностью 0,1 МВт и более), сроком на десять лет с момента ввода их в эксплуатацию;

земельного налога лицами, использующими возобновляемые источники энергии в жилых помещениях с полным отключением от действующих сетей энергоресурсов, сроком на три года, начиная с месяца использования возобновляемых источников энергии;

б) постановлением Президента Республики Узбекистан от 8 ноября 2017 года № ПП-3379 «О мерах по обеспечению рационального использования энергоресурсов» установлен порядок, в соответствии с которым с 1 января 2018 года:

при проектировании, реконструкции, строительстве и сдаче в эксплуатацию зданий и сооружений государственных органов и учреждений, а также многоквартирного жилищного фонда проводится их проверка на соответствие градостроительным нормам и правилам в части применения энергоэффективных и энергосберегающих технологий;

при проектировании, реконструкции и строительстве всех зданий и сооружений, кроме индивидуального жилищного строительства, предусматривается обязательная установка сертифицированных солнечных водонагревательных установок для горячего водоснабжения, а также энергосберегающих ламп.

2. Признать неудовлетворительной работу министерств и ведомств, предприятий и организаций отраслей экономики и социальной сферы по

повышению энергоэффективности, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии.

3. Указать на персональную ответственность первых руководителей органов государственного и хозяйственного управления, председателя Совета Министров Республики Каракалпакстан, хокимов областей, г. Ташкента, районов и городов за принятие комплексных мер по повышению энергоэффективности, широкому внедрению энергосберегающих технологий и использованию возобновляемых источников энергии в административных зданиях, населенных пунктах и на производственных объектах.

4. Одобрить Комплексную программу дальнейшего повышения энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрения энергосберегающих технологий и развития возобновляемых источников энергии в Республике Узбекистан в 2019 — 2022 годах (далее — Комплексная программа), предусматривающую:

а) утверждение:

целевых параметров дальнейшего развития возобновляемых источников энергии согласно приложению № 1 с доведением их доли к 2030 году до более 25 процентов от общего объема генерации электрической энергии;

поэтапной установки современных солнечных фотоэлектрических станций и солнечных водонагревателей (за исключением объектов, подключенных к централизованным системам теплоснабжения) для обеспечения горячим водоснабжением и электрической энергией, а также энергоэффективных систем отопления, в том числе бивалентной, включая внедрение современных тепловых насосов и рекуператоров;

улучшения системы тепловой защиты зданий, установки двухкамерных и энергоэффективных оконных блоков, сенсорных

датчиков, совмещенных со светодиодными источниками, а также рекуператоров воздуха и других систем;

в) установку солнечных фотоэлектрических станций (в среднем 2 кВт) и солнечных водонагревателей (в среднем 200 литров) в частных домовладениях;

г) замену нестандартных газогорелочных устройств на современные и энергоэффективные газогорелочные устройства бытовым потребителям, а также юридическим лицам;

6. Ввести порядок, согласно которому с 1 января 2020 года следующие мероприятия финансируются за счет средств Государственного бюджета Республики Узбекистан в пределах ежегодно утверждаемых параметров:

а) предоставление физическим лицам компенсаций в размере 30 процентов расходов на приобретение солнечных фотоэлектрических станций, солнечных водонагревателей, а также энергоэффективных газогорелочных устройств.

б) предоставление физическим и юридическим лицам компенсаций на покрытие процентных расходов по кредитам коммерческих банков на приобретение установок возобновляемых источников энергии, энергоэффективных газогорелочных устройств и котлов, а также другого энергоэффективного оборудования:

физическим лицам — по кредитам, сумма которых не превышает 500 миллионов сумов — в части, превышающей ставку рефинансирования Центрального банка Республики Узбекистан, но не более чем на 8 процентных пунктов;

юридическим лицам — по кредитам, сумма которых не превышает 5 миллиардов сумов — в части, превышающей ставку рефинансирования Центрального банка Республики Узбекистан, но не более чем на 5 процентных пунктов;

7. Установить, что ежегодно:

до 15 сентября органы государственного и хозяйственного управления, вносят в Министерство энергетики предложения для включения в Перечень объектов, подлежащих в предстоящем году оснащению установками возобновляемых источников энергии, другим энергоэффективным и энергосберегающим оборудованием, а также проведению работ по улучшению тепловой защиты;

8. Определить, что с 1 января 2020 года:

а) при проектировании, реконструкции и строительстве всех зданий и сооружений, кроме индивидуального жилищного строительства, в обязательном порядке предусматриваются:

обеспечение энергоэффективности зданий в соответствии со строительными нормами и правилами;

предоставление раздела показателей энергоэффективности зданий и сооружений с учетом требований строительных норм и правил при проведении экспертизы проектной документации;

б) государственные органы и организации обязаны установить в зданиях и сооружениях, находящихся на их балансе, сенсорные датчики, совмещенные со светодиодными источниками для систем освещения, энергоэффективные газогорелочные устройства;

Министерству строительства совместно с Министерством энергетики и Агентством «Узстандарт» в срок до 1 ноября 2019 года:

пересмотреть градостроительные нормы и правила на предмет кардинального повышения требований к энергоэффективности вновь строящихся и реконструируемых зданий и сооружений;

разработать и утвердить нормативные документы по определению классов энергоэффективности зданий и сооружений (классы А, Б, В и другие).

9. Согласиться с предложением Агентства «Узстандарт», Министерства энергетики, Министерства экономики и промышленности, Министерства инновационного развития Республики Узбекистан о поэтапном внедрении с 1 декабря 2019 года до 1 января 2023 года системы энергетического менеджмента в соответствии с международным стандартом (ISO 50001) на отечественных предприятиях и организациях по перечню согласно приложению № 4, предусматривающей:

прозрачность и объективность оценки эффективности энергопотребления, снижение энергоемкости предприятий, а также уменьшение выбросов в атмосферу;

эффективность управления энергопотреблением при минимальных затратах ресурсов, в первую очередь финансовых, повышение капитализации активов предприятий;

11. Запретить с 1 сентября 2019 года ввоз на территорию Республики Узбекистан бывшего в употреблении генерирующего оборудования, силовых понижающих трансформаторов, электродвигателей, а также энергопотребляющего оборудования категории энергоэффективности D.

Установить, что закуп электротехнического оборудования и установок, а также комплектующих и материалов для предприятий территориальных электрических сетей осуществляется централизованно АО «Региональные электрические сети». 22 августа 2019 г., № ПП-4422.

**дальнейшего развития возобновляемых источников энергии**

№	Наименование показателей	Прогноз увеличения генерирующих мощностей, МВт					Доля генерации электрической энергии, %	
		2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 — 2030 гг.	2018 г.	2030 г.
	<b>Всего</b>	<b>1074,1</b>	<b>886,8</b>	<b>1 961,5</b>	<b>2 061,6</b>	<b>14 017,8</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
1.	Традиционная энергетика	1 050	1 807	1 777	2 259,4	10 910,2	90	75
	<i>в том числе вывод мощностей</i>	-	1 060	320	740	4 280	-	-

2.	Возобновляемые источники энергии	24,1	119,8	504,5	542,2	7 387,6	10	25
	из них:							
2.1.	Гидроэнергетика	24,1	119,8	204,5	42,2	1 487,6	10	11,2
2.2.	Солнечная энергетика	-	-	300	400	4 300	-	8,8
2.3.	Ветровая энергетика	-	-	-	100	1 600	-	5

#### Системы электроснабжения:

1. Проведение комплекса работ по техническому перевооружению и реконструкции электросетевых объектов энергосистемы, установка компенсаторов реактивной мощности, осуществление глубоких высоковольтных вводов.

2. Организация системы управления графиками нагрузки потребителей в целях выравнивания пиковой нагрузки на сети.

3. Реконструкция сетей с минимизацией удельных затрат на единицу их протяженности.

4. Компенсация реактивной мощности у потребителей (0,4 кВ).

5. Реконструкция подстанций, замена устаревших трансформаторов с максимальными потерями.

6. Организация технологического учета электроэнергии.

7. Совершенствование системы коммерческого и технического учета электроэнергии в электрических сетях и у потребителей.

8. Применение устройств для защиты осветительных приборов и указателей от атмосферных осадков.

9. Применение современных энергосберегающих ламп.

10. Использование светоотражающей окраски.

11. Использование светильников на солнечных батареях.

12. Замена указателей на светодиодные с питанием от солнечных батарей.

13. Создание естественной вентиляции для проветривания и безопасного функционирования подземных сооружений.

14. Использование светоотражающего покрытия в тоннелях.
15. Создание системы диагностики по выявлению источников затопления в тоннелях.
16. Применение электрохимической защиты и высокоэффективных катодных станций.
17. Использование светодиодных шнуров для обозначения габаритов строительных конструкций.

При правильном подходе, повысить эффективность выполнения работ, а также снизить энергопотребление не так уж сложно.



Вся суть мероприятий направлена на то, что потребление энергоресурсов должно быть снижено, при том что количество выпускаемой продукции остается неизменным. Или же производительность предприятия должна быть увеличена, а потребление электроэнергии должно остаться на прежнем уровне.

После внедрения мероприятий по улучшению энергоэффективности наблюдается рост экономического эффекта предприятия, конкурентоспособность продукции на мировом и отечественном рынке растет, так как расход электроэнергии на единицу товара уменьшается и поднимать цены больше нет необходимости.

Также при проведении таких мероприятий происходит модернизация оборудования, что не только способствует малому расходу электроэнергии, но и минимизирует риски, делая технологический процесс более безопасным.

Как повысить энергоэффективность и энергосбережение на предприятии

***Независимо от размера предприятия существует четыре шага к достижению этой цели:***

- Анализ ситуации расхода и производства электроэнергии.
- Выявление потенциала энергосбережения компании.
- Состав плана мероприятий по энергосбережению.
- Выполнение мероприятий по энергосбережению.

Любая работа по улучшению энергоэффективности начинается с анализа текущей ситуации.

Анализ включает в себя учет и аудит технического состояния предприятия, а также аудит условий энергопотребления. Этот анализ позволит владельцу понять, выгодно ли он приобретает у поставщика энергоресурсы, правильно ли потребляется электроэнергия, контролируют ли люди этот процесс, насколько выгодно будет внедрение новых

технологий, поможет ли экономить новое оборудование, что нужно сделать, чтобы достичь результатов и начать экономить.

Энергоэффективность и энергосбережение на предприятии будет зависеть от правильного выполнения мероприятий, план которых составляется после проведения тщательного анализа.

Мероприятия для лучшего энергоснабжения на предприятии

*Условно, для удобства все мероприятия можно разделить на 2 основные группы:*

- Обязательные мероприятия, проведение которых необходимо в соответствии с требованиями нормативно-правовых актов. Сюда относятся такие мероприятия, как оснащение приборами учета электроэнергии всех зданий и объектов, оптимизация рабочих мест и цехов.

- Мероприятия, которые проводить не обязательно, но они приносят экономическую выгоду. Например, замена оборудования.

Чтобы достаточно быстро и не слишком затратно добиться низкого энергопотребления на производстве, необходимо провести следующие мероприятия, срок окупаемости которых составит от двух до трех лет.

- **Установка устройств компенсирующих мощность.** Это позволит получить дополнительную мощность, что приведет к снижению тарифов на оплату электроэнергии.

- **Для управления двигателями необходимо установить частотно-регулируемые приводы.** Электродвигатели потребляют наибольшее количество энергии, а такие агрегаты снижают потребление за счет оптимизации управления машиной.

- **Установка энергоэффективной системы освещения.** Если, например, заменить все энергосберегающие лампы светодиодными,

можно снизить до 40% расхода электроэнергии на освещение. Замена выключателей на автоматические позволит увеличить экономию до 70%.

- **Установка систем контроля и мониторинга** потребления электроэнергии позволяет следить за ситуацией и расходами на предприятии. Это оптимизирует растраты электрической энергии.

Выполнение этих мероприятий приведет к улучшению энергоэффективности предприятия.



Мероприятие	Эффект
Установка устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ).	Данное мероприятие позволяет получить дополнительную мощность и экономить электроэнергию, так как при превышении предельных значений коэффициента мощности (свыше 150кВт) могут применяться повышающие коэффициенты к тарифам на услуги по передаче.
Установка частотно-регулируемых приводов для управления электродвигателями	Данное мероприятие также приводит к существенному сокращению потребления электрической энергии, так как большая доля потребления электрической энергии в промышленности приходится на электродвигатели переменного тока. Данный вид машин чрезмерно энергоемкий и установка ЧРП решает данную проблему, снижает энергопотребление за счет оптимизации управления системы и минимизации установленной мощности.
Установка систем	Установка систем мониторинга потребления

мониторинга потребления электроэнергии	электроэнергии позволит осуществлять контроль за расходами и при правильном планировании потребления позволит оптимизировать затраты на электрическую энергию
Замена существующей системы освещения на более энергоэффективную	Наиболее простое и эффективное мероприятие - замена существующей системы освещения на более энергоэффективную, а также применение в системах автоматических выключателей. Это мероприятие может принести до 70 % экономии на затраты на электроэнергию
Окраска помещения в светлые тона, уменьшение использования личных бытовых приборов и т.д.	Экономию могут принести и довольно простые мероприятия и не очень затратные мероприятия, такие как окраска помещения в светлые тона, уменьшение использования личных бытовых приборов и т.д.

**Поддержание оптимального значения косинуса  $\phi$  ( $\cos \phi$ ).** Параметр косинус  $\phi$  ( $\cos \phi$ ) оказывает значительное влияние на эффективность использования электроэнергии. Его часто называют коэффициентом мощности, потому что при правильной синусоидальности тока эти два значения оказываются идентичными. Этот параметр показывает какая часть из полной мощности активная, а какая реактивная. Если на предприятии нет проблемы с большим объемом конденсаторной нагрузки, реактивная мощность оказывается бесполезной, поэтому для большинства предприятий косинус  $\phi$  ( $\cos \phi$ ) важный параметр, на который необходимо обращать внимание при получении и оплате электрической энергии.

**Оптимальная нагрузка трансформаторов.** При неоптимальной нагрузке трансформаторов часть поступающей на предприятие электрической мощности расходуется на холостой ход. КПД недогруженных трансформаторов оказывается значительно ниже паспортных.

**Проверка соединений электрических цепей.** Для нормальной и экономичной эксплуатации электротехнического оборудования все

соединения электрических сетей должны проходить ежеквартальную, а при возможности и ежемесячную проверку. Плохое электрическое соединение является источником повышенного переходного сопротивления – электрических потерь, а также причиной быстрого выхода из строя электрических контактов и может вызывать возгорание.

**Обеспечение бесперебойности для чувствительного производства.** Обеспечение бесперебойности – способ снижения потерь из-за выпуска бракованного продукта. В зависимости от допустимости перебоев электроснабжения все промышленные предприятия и производственные участки делятся на категории. На предприятиях, в которых прерывание технологических процессов может нести многомиллионные потери, рекомендуется обеспечить электроснабжение предприятия как потребителя особой категории. В этом случае, повышение расходов на электроэнергию в будущем скомпенсируется за счет снижения выпуска бракованной продукции.

**Оптимальная загрузка существующего оборудования.** Электросиловые установки, уже установленные на промышленных предприятиях, должны загружаться согласно паспортных данных. Недогруз электродвигателей на 10% не дает снижение электропотребления на такую же долю. Поэтому, снижение загрузки электрического оборудования ниже паспортных данных, с большой долей вероятности, потребует большего времени работы данного оборудования и суммарный объем потребленной электроэнергии окажется выше, чем будет при использовании установок с нормальным уровнем загрузки.

**Оптимальный подбор электропотребляющего оборудования с оправданным запасом мощности.** При проектировании и строительстве новых производственных участков необходимо провести анализ и определить, какой режим работы будет иметь участок и какие технические параметры будут требоваться для электротехнического оборудования. В

зависимости от полученных данных оборудование должно подбираться так, чтобы, с одной стороны, обеспечить необходимые технологические параметры в любой период работы, с другой стороны, быть максимально экономичными. Для достижения этих целей необходимо правильно определить экономически оправданный запас электрической мощности проектируемых установок и установить агрегаты с паспортной мощностью, максимально близкой к расчетному.

**Использование частотно-регулируемых приводов.** Использование частотно-регулируемых приводов в зависимости от цели использования позволяет уйти от нескольких видов потерь:

- потери за счет большой мощности существующего электросилового оборудования (тогда, когда эффект от лишней мощности гасится на следующих этапах);
- потери из-за постоянного изменения параметров технологического процесса и невозможности существующего электрического оборудования реагировать на эти изменения (потери неравномерного потребления и пиковых расходов энергии);
- иные потери из-за неуправляемости электрического оборудования.

Применение электрических двигателей с частотным преобразователем позволяет, во многих случаях, напрямую подстраивать производительность и параметры электропотребляющего оборудования под разные технологические нужды. Эффект получается, как за счет снижения суточного электропотребления, так и за счет повышения качества, а значит и цены, товара.

**Контроль качества электроэнергии.** Для поддержания высоких КПД электроиспользующего оборудования промышленных предприятий рекомендуется постоянно отслеживать следующие показатели качества электрической энергии (ПКЭ):

- отклонение частоты  $\delta f$ ;
- установившееся отклонение напряжения  $\delta U_y$ ;
- размах изменения напряжения  $\delta U_1$ ;
- дозу фликера (мерцания или колебания)  $P_t$ ;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения  $K_U$ ;
- коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей напряжения  $K_U(n)$ ;
- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_2 U'$ ;
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_0 U$ ;
- глубину и длительность провала напряжения  $\delta U_n, \Delta t_n$ ;
- импульсное напряжение  $U_{\text{имп}}$ ;
- коэффициент временного перенапряжения  $K_{\text{пер}} U$ .
- Отклонение любого из этих параметров снижает КПД электропотребляющего оборудования и срок их службы, повышает искажения измерительных приборов и повышает вероятность возникновения нештатных остановов и простоя.

### **Инструменты энергосбережения в системах потребления тепловой энергии**

Тепловая энергия, наравне с электроэнергией, занимает ведущую роль в общем объеме энергопотребления промышленных предприятий. Она является двигателем и рычагом управления многими технологическими процессами, а также единственным способом создания комфортных рабочих условий для персонала.

В технологических целях тепловая энергия используется в теплообменниках, ректификационных, абсорбционных и других колоннах,

в реакторах с рубашкой и других аппаратах. Известно, что в каждом отдельном аппарате теплопередающая поверхность имеет свою уникальную конструкцию. Но вне зависимости от конструкции (если руководство предприятия нацелено на эффективное и долгосрочное использование оборудования) все теплопередающие поверхности должны быть максимально чистыми от солевых, углеродных, полимерных и других наслоений. Все теплопередающие поверхности изготавливаются из материалов, обеспечивающих максимальную скорость теплообмена. Появление на теплопередающих поверхностях ржавчины, накипи, закоксовавшегося углерода и пека многократно снижают скорость теплообмена в технологических аппаратах. Результатом несвоевременной очистки теплообменников становятся снижение производственной мощности предприятия либо неоправданное увеличение количества технологического оборудования. Оба случая приводят к снижению выручки и чистой прибыли предприятий.

Кроме чистых теплопередающих поверхностей, технологическое оборудование, потребляющее тепловую энергию, должно иметь:

хорошую теплоизоляцию, т.к. плохая изоляция – прямой источник тепловых потерь;

оптимальную материалоемкость, т.к. повышенные габариты – это всегда повышенные тепловые потери в атмосферу и потери на разогрев;

правильно рассчитанные или подобранные величины технологических потоков, участвующих в теплообменных процессах;

качественный теплоноситель (очищенная, обессоленная, деаэрированная вода или другая среда).

Все перечисленные выше пункты влияют не только на теплопотребление производственного предприятия, но и на объем и качество выпускаемой продукции.

ИТОГ:



Список типовых мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности. Нижеприведенный список типовых общедоступных мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности составлен на основании литературных источников и практического опыта.

### **Производство энергии**

1. Применение пиковых энергоустановок для выравнивания возникающих пиковых нагрузок в коммунальном хозяйстве, промышленности.

2. Использование детандер - генераторов на избыточном давлении газа для выработки электрической энергии, холода, тепловой энергии.

3. Использование незагруженных промышленных отборов турбин для выработки тепловой энергии для замещения котельных и т.п.

4. Использование низкопотенциального тепла энергоисточников для целей отопления, вентиляции и кондиционирования.

5. Утилизация физического тепла уходящих газов топливоиспользующих установок.

6. Реконструкция водоподготовительных установок теплоисточников.

7. Переход на рекуперативные и регенаривные горелки. Снижение коэффициента расхода воздуха на горение.

8. Переход на гранулированное топливо из древесных отходов, древесины, соломы и т.п.

9. Использование возобновляемых источников энергии в зависимости от климатических условий территории.

10. Применение тепловых насосов в системах теплоснабжения.

11. Замена устаревшего оборудования угольных ТЭС, замещение его новыми установками с использованием эффективных экологически чистых угольных технологий.

12. Замена выработавших ресурс ДЭС (дизельных электростанций).  
Строительство новых ДЭС с использованием современных технологий (когенерация и тригенерация энергии, мини-ТЭС, комбинированные энергоустановки).

13. Замена котельных, выработавших ресурс, или имеющих избыточные мощности на мини-ТЭС.

14. Сокращение расходов энергоносителей на собственные нужды источников.

15. Создание автоматизированных систем управления энергоблоками, объектами (АСКУЭ / АСКУ ТЭР и др.).

### **Системы теплоснабжения**

1. Внедрение систем контроля и диагностики текущего состояния трубопроводов.

2. Внедрение современных видов изоляций трубопроводов (ППУ, ППМ изоляции).

3. Строительство дренажных устройств для осушения каналов.

4. Замена центральных тепловых пунктов (ЦТП) на индивидуальные (ИТП).

5. Диспетчеризация тепловых сетей и систем контроля энергопотребления.

6. Организация системы защиты от коррозии трубопроводов.

7. Установка частотно-регулируемых электроприводов на системы отопления, ГВС, водоснабжения.

8. Внедрение системы стимулирования эксплуатационного персонала за снижение фактических потерь в тепловых сетях.

### **Системы электроснабжения**

1. Проведение комплекса работ по техническому перевооружению и реконструкции электросетевых объектов энергосистемы, установка

компенсаторов реактивной мощности, осуществление глубоких высоковольтных вводов.

2. Организация системы управления графиками нагрузки потребителей в целях выравнивания пиковой нагрузки на сети.

3. Реконструкция сетей с минимизацией удельных затрат на единицу их протяженности.

4. Компенсация реактивной мощности у потребителей (0,4 кВ).

5. Реконструкция подстанций, замена устаревших трансформаторов с максимальными потерями.

6. Организация технологического учета электроэнергии.

7. Совершенствование системы коммерческого и технического учета электроэнергии в электрических сетях и у потребителей.

8. Применение устройств для защиты осветительных приборов и указателей от атмосферных осадков.

9. Применение современных энергосберегающих ламп.

10. Использование светоотражающей окраски.

11. Использование светильников на солнечных батареях.

12. Замена указателей на светодиодные с питанием от солнечных батарей.

13. Создание естественной вентиляции для проветривания и безопасного функционирования подземных сооружений.

14. Использование светоотражающего покрытия в тоннелях.

15. Создание системы диагностики по выявлению источников затопления в тоннелях.

16. Применение электрохимической защиты и высокоэффективных катодных станций.

17. Использование светодиодных шнуров для обозначения габаритов строительных конструкций.

**Бюджетные и муниципальные учреждения**

1. Развитие лимитирования на потребление энергоресурсов.
2. Включение в статью затрат учета/биллинга стоимости обслуживания приборов учета энергоносителей.
3. Создание системы персональных стимулов для сотрудников организаций при проведении энергосберегающих мероприятий.
4. Выбор оборудования с учетом энергосберегающих характеристик.
5. Смещение начала рабочего дня в случае снижения потребления энергоресурсов.
6. Снижение температуры воздуха в помещениях в ночные часы и выходные дни.
7. Наладка режимов вентиляции. Установка рекуператоров для утилизации тепла воздуха.
8. Установка компенсаторов реактивной мощности у потребителей.
9. Использование индивидуальных тепловых пунктов (ИТП), с установкой частотно-регулируемого привода насосов.
10. Повышение эффективности систем освещения бюджетных зданий и зданий сферы услуг. Замена ламп накаливания.
11. Переход на системы учета тепловой энергии, природного газа и электроэнергии всех объектов бюджетной сферы и сферы услуг.

#### **Перечень технических энергосберегающих мероприятий**

1. Окраска поверхностей производственных помещений и оборудования в светлые тона для повышения коэффициента использования естественного и искусственного освещения;
2. Применение светодиодных светильников для уличного и дежурного освещения.
3. Применение аппаратуры для зонального отключения по уровням освещенности;
4. Применение автоматических выключателей для дежурного освещения;

5. Регулярная очистка прозрачных элементов светильников и датчиков автоматического отключения;
6. Замена вентильных кранов на рычажные и клавишные;
7. Рационализация расположения источников света в помещениях;
8. Закрытие неиспользуемых помещений с отключением отопления;
9. Применение регулируемого отпуска тепла (по времени суток, по погодным условиям, по температуре в помещениях);
10. Обеспечение выключения электроприборов из сети при их неиспользовании (вместо перевода в режим ожидания);
11. Установка дополнительных тамбуров при входных дверях;
12. Применение осветительных приборов с электронной пускорегулирующей аппаратурой;
13. Применение светорегулирующих систем (диммирование);
14. Максимальное использование естественного освещения в дневное время и автоматическое управление искусственным освещением в зависимости от уровня естественного освещения. Управление включением освещения может осуществляться от инфракрасных датчиков, присутствия людей или движения;
15. Применение автоматических выключателей для систем дежурного освещения в зонах временного пребывания персонала.

№ п.п	Наименование мероприятия	Пределы годовой экономии, %
1	2	3
<b>Системы освещения</b>		
1	Замена ламп накаливания и на энергосберегающие	до 55-70 % от потребляемой ими электроэнергии

2	Переход на другой тип источника света с более высокой светоотдачей	до 8 % от потребляемой ими электроэнергии
3	Замена люминесцентных ламп на лампы того же типоразмера меньшей мощности: 18 Вт вместо 20, 36 Вт вместо 40, 65 Вт вместо 80.	до 5 % от потребляемой ими электроэнергии
4	Применение энергоэффективной пускорегулирующей аппаратуры (ПРА) газоразрядных ламп	11 % от потребляемой ими электроэнергии
5	Оптимизация системы освещения за счет установки нескольких выключателей и деления площади освещения на зоны	10-15%
<b>Системы отопления</b>		
1	Установка прибора учета тепловой энергии	До 30% от потребления тепловой энергии
2	Составление руководств по эксплуатации, управлению и обслуживанию систем отопления и периодический контроль со стороны руководства учреждения за их выполнением	5-10 % от потребления тепловой энергии
3	Гидравлическая наладка внутренней системы отопления	До 15 %
4	Автоматизация систем теплоснабжения зданий посредством установки индивидуальных тепловых пунктов (ИТП)	20-30 % от потребления тепловой энергии
5	Ежегодная химическая очистка внутренних поверхностей нагрева системы отопления и теплообменных аппаратов	10-15%
6	Снижение тепловых потерь через оконные проемы установкой третьего стекла и утепление оконных рам	15-30 %
7	Улучшение тепловой изоляции стен, полов и чердаков	15-25 %
8	Снятие декоративных ограждений с радиаторов отопления и установка теплоотражателей за радиаторами	до 15 %
<b>Системы горячего водоснабжения (ГВС)</b>		
1	Составление руководств по эксплуатации, управлению и обслуживанию систем ГВС и периодический контроль со стороны руководства учреждения за их выполнением	5-10 % от потребления горячей воды
2	Автоматизация регулирования системы ГВС	15-30% от потребления тепловой энергии

3	Оснащение систем ГВС счетчиками расхода горячей воды	15-30 % от потребления горячей воды
4	Снижение потребления за счет оптимизации расходов и регулирования температуры	10-20 % от потребления горячей воды
5	Применение экономичной водоразборной арматуры	15-20 %
<b>Системы водоснабжения</b>		
1	Сокращение расходов и потерь воды	до 50 % от объема потребления воды
2	Установка счетчиков расхода воды	до 30 % от объема потребления воды
3	Применение частотного регулирования насосов систем водоснабжения	до 50 % потребляемой электроэнергии
4	Применение экономичной водоразборной арматуры	30-35 %
<b>Системы вентиляции</b>		
1	Замена устаревших вентиляторов с низким КПД на современные с более высоким КПД	20-30 % от потребления ими электроэнергии
2	Отключение вентиляционных установок во время обеденных перерывов и в нерабочее время	10 - 50 %
3	Применение блокировки вентилятора воздушных завес с механизмами открывания дверей	до 70% от потребляемой ими электроэнергии
4	Применение устройств автоматического регулирования и управления вентиляционными установками в зависимости от температуры наружного воздуха	10-15 %
<b>Системы кондиционирования</b>		
1	Включение кондиционера только тогда, когда это необходимо	20-60 % от потребляемой ими электроэнергии
2	Исключение перегрева и переохлаждения воздуха в помещении	до 5 %
3	Поддержание в рабочем состоянии регуляторов, поверхностей теплообменников и оборудования	2-5 %
<b>Котельные</b>		
1	Составление руководств и режимных карт эксплуатации, управления и обслуживания оборудования и периодический контроль со стороны руководства учреждения за их выполнением	5-10 % от потребляемого топлива

2	Поддержание оптимального коэффициента избытка воздуха и хорошего смешивания его с топливом	1-3 %
3	Установка водяного поверхностного экономайзера за котлом	до 5-6 %
4	Применение за котлоагрегатами установок глубокой утилизации тепла, установок использования скрытой теплоты парообразования уходящих дымовых газов (контактный теплообменник)	до 15 %
5	Повышение температуры питательной воды на входе в барабан котла	2 % на каждые 10 °С
6	Подогрев питательной воды в водяном экономайзере	1% на 6 °С
7	Содержание в чистоте наружных и внутренних поверхностей нагрева котла	до 10 %
8	Использование тепловыделений от котлов путем забора теплого воздуха из верхней зоны котельного зала и подачи его во всасывающую линию дутьевого вентилятора	1-2 %
9	Теплоизоляция наружных и внутренних поверхностей котлов и теплопроводов, уплотнение клапанов и тракта котлов (температура на поверхности обмуровки не должна превышать 55 °С)	до 10 %
10	Перевод котельных на газовое топливо	в 2-3 раза снижается стоимость 1 Гкал
11	Установка систем учета расходов топлива, электроэнергии, воды и отпуска тепла	до 20 %
12	Автоматизация управления работой котельной	до 30 %
13	Модернизация котлов типа ДКВР для работы в водогрейном режиме	КПД увеличивается до 94%
14	Установка или модернизация системы водоподготовки	до 3 % подпиточной воды
15	Применение частотного привода для регулирования скорости вращения насосов, вентиляторов и дымососов	до 30 % от потребляемой ими электроэнергии

Современное промышленное производство использует информационно - измерительные системы и управляемые компьютерами устройства практически во всех технологических процессах. Поэтому, появление информационно - измерительных систем и микроконтроллеров в системах противоаварийной автоматики энергетических объектов было вполне закономерным. Прогресс в данной области, на сегодняшний день,



невозможен без совершенствования информационно-измерительных систем (далее ИИС), развитие которых идет, в частности, по пути создания распределенных интеллектуальных ИИС.

Актуальность темы вызвана тем, что в настоящий момент при построении систем защиты энергетических объектов имеется ряд проблем, требующих распределенности обработки и хранения информации, модульности архитектуры построения аппаратных и программных средств системы и применения программируемых элементов искусственного интеллекта. Задача построения систем защиты усложняется при дополнительном требовании открытости, т. е. способности к развитию и наращиванию системы, унификации в смысле оптимизации структуры программных и аппаратных средств на базе рационального сокращения их номенклатуры, в том числе протоколов и интерфейсов.

Стратегическая задача реформирования технических возможностей электроэнергетической отрасли страны заключается в обеспечении ее устойчивого развития на основе прогрессивных технологий и рыночных принципов функционирования, а также надежного и эффективного удовлетворения спроса на электрическую энергию в краткосрочной и долгосрочной перспективах.

## **1. Интеллектуальные энергетические системы: технические возможности и эффективность**

Надежное и эффективное управление режимом электроснабжения на всех уровнях диспетчерского управления в новых, более сложных экономических и технических условиях работы энергосистем требует создания принципиально новой системы сбора и обработки огромного объема информации, разработки автоматизированных модулей для

решения конкретных задач сложного процесса оперативно-диспетчерского управления ЭС. Решить эту задачу возможно на основе использования концепции интеллектуальных систем управления, разрабатываемых в последние годы и применяемых в зарубежных энергетических компаниях.

Отдельные элементы подобной интеллектуальной управляющей инфраструктуры уже создаются отдельными компьютерными компаниями, например IBM, где разрабатываются динамические инфраструктуры, гибкие и модульные, отвечающие любым потребностям, в том числе и требованиям управления ИЭС.

Основными элементами этих динамических инфраструктур являются:

- виртуализация и сервис-ориентированная архитектура (SOA);
- программное обеспечение как сервис (Grid Computing and Software as a Service);
- интегрированный комплекс информационных ресурсов (Cloud Computing), который уже существует на рынке.

Однако эффективное применение подобных интеллектуальных управляющих систем возможна только в соответствующих технологических инфраструктурах, требованиям которых реальные инфраструктуры отечественной энергетики не полностью соответствуют.

Концепция создания ИЭС рассчитана на увеличение совокупности потребляемых энергетических ресурсов, имеющих непостоянный, но возобновляемый энергетический потенциал во времени, что характерно для нетрадиционных источников энергии — солнца, ветра, приливов и отливов и др. Эффективное их использование требует разработки новых, гибких стратегий управления режимами энергетических систем, удовлетворяющих не только требованиям получения минимальных затрат, но и технологической безопасности оборудования, статической и динамической их устойчивости.

Нетрадиционные источники энергии в энергетике используются в весьма малой степени (в пределах 1%) и, как правило, не имеют электрических связей с энергосистемами, являясь децентрализованными и маломощными. Присоединение их к существующим энергосистемам с весьма малой и удаленной непостоянной нагрузкой при устаревшей технической инфраструктуре существующих энергосистем экономически нецелесообразно и весьма рискованно, поскольку приводит к изменению режима работы основного оборудования энергосистем (увеличение его пусков и остановок, рост термодинамических нагрузок, вызывающих усталость оборудования), снижению надежности его работы и другим последствиям.

Малая доля применения нетрадиционных ВИЭ в нашей энергетике в настоящее время объясняется, в первую очередь, указанной выше экономической причиной: потенциальные экономические выгоды минимальны, а риски реальны и последствия их проявления в энергосистемах весьма высокие.

Поэтому создание интеллектуальных энергосистем позволило бы существенно повысить использование возобновляемых источников энергии в отечественной энергетике и в целом повысить энергетическую безопасность страны.

Управление интеллектуальными энергосистемами требует высочайшей квалификации управленческого персонала и строжайшего соблюдения технологической дисциплины, независимо от того, какие функции он будет исполнять: непосредственного участника процесса управления или контролера.

Существующая система превалирования личных экономических интересов собственников компаний над общественными интересами не позволяет использовать высокий экономический и технологический потенциал отечественной энергетике в интересах общества в целом, где

ради высокой прибыли собственников управленческий персонал часто пренебрегает безопасностью, не соблюдает технологические регламенты и требования по сервисному обслуживанию оборудования, нанося тем самым непоправимый ущерб технологическому имиджу страны.

В настоящее время в стране сложилась уникальная ситуация, когда одновременно и в кратчайшие сроки требуется технологическое перевооружение отечественной электроэнергетики, резкое снижение энергоемкости выпускаемой продукции и оказываемых услуг, а также увеличение доступа населения к электроснабжению в регионах, не охваченных централизованным энергоснабжением.

Отличительными особенностями национальной программы по сравнению с ЭСР — 2030 должна быть подробная разработка потребности в энергии по ее видам не только в масштабе страны, но и по каждому ее субъекту, а также конкретная привязка новых энергетических мощностей к определенным регионам с подробными их технико-экономическими характеристиками и указанием конкретных источников инвестиций, сроков их представления, ответственных лиц за реализацию инвестиционных проектов конкретных энергетических объектов и их конечные результаты.

## **2. Анализ условий развития интеллектуальных энергосистем**

Развитие современного общества в технологически развитых странах, а также центрах бурного экономического роста осложнено рядом проблем, обусловленных ограниченностью энергоресурсов и необходимостью эффективного использования энергии в производстве и жизнедеятельности в целом. Среди основных вызовов современности, серьезно влияющих на характер развития электроэнергетики, выделим следующие:

- постоянный рост энергопотребления, в том числе, электроэнергии;

- повышение требований к надежности энергоснабжения и качеству услуг для конечных потребителей;
- изменчивые цены на энергоносители;
- стремление к использованию экологически чистых источников энергии и минимизации негативного воздействия на природу;
- глобализация рыночных отношений в континентальном и межконтинентальном пространстве, в том числе внедрение рыночных отношений в электроэнергетику.

В ответ на вызовы современности изменяется направление развития электроэнергетики, которая приобретает при этом ряд особенностей:

- активное стимулирование энергосбережения и снижения потерь электроэнергии;
- стремительный рост «зеленой» генерации и распределенных источников энергии;
- высокие стандарты надежности и качества электроснабжения;
- либерализация рынка электроэнергии и рост энергообменов между энергосистемами;
- рост информационной обеспеченности субъектов электроэнергетики и др.

В результате к современной электроэнергетической системе (ЭЭС) выдвигается ряд качественно новых требований, переводящих ее на новую ступень развития. В первую очередь, они направлены на повышение эффективности использования энергии и надежности электроснабжения потребителей. Также их цель – значительно более гибкое участие субъектов рынка электроэнергии (в том числе потребителей электроэнергии) в режимном и противоаварийном управлении. В числе таких требований необходимо выделить следующие:

- выбор оптимального состава генерирующих источников, включая распределенную генерацию;

- интеграция в ЭЭС разнородных источников электроэнергии, в том числе на основе возобновляемых энергоносителей;
- автоматическое обнаружение, устранение или уменьшение последствий нарушений в работе ЭЭС как на локальном, так и на системном уровне;
- возможность развивать набор рыночных механизмов оказания системных услуг;
- стимулирующее управление спросом и принудительное ограничение электропотребления;
- устойчивость к воздействию угроз безопасности – физической, информационной и ресурсной;
- оптимальное использование и обслуживание производственных фондов электроэнергетики.

Следствием возрастания роли информационной коммуникации между участниками технологической цепочки от производителя до потребления электроэнергии является соединение инфраструктуры силовой электрической и информационно-коммуникационной частей ЭЭС. Образование такого рода энергоинформационной системы – стратегическая цель развития ЭЭС в ведущих странах Северной Америки и Западной Европы. Это новый этап развития электроэнергетики в соответствии с требованиями времени.

### **3. Технологические достижения и импульсы к созданию интеллектуальных энергосистем.**

Все больший перенос функции принятия решений на автоматические системы управления, повышение их адаптивности, возможность комплексной оптимизации в ЭЭС позволяют говорить о существенном развитии интеллекта автоматических систем управления ЭЭС. Отличительной особенностью интеллектуальной ЭЭС (ИЭС) является способность самостоятельного принятия решений,

самодиагностика и самовосстановление. Идея интеллектуализации ЭЭС, родственная принципам кибернетического управления, в настоящее время получила возможность воплощения на более глубоком уровне. Во многом это обусловлено достижениями в технике и технологиях. С одной стороны, они позволяют отслеживать состояние больших энергосистем и гибко управлять потокораспределением мощности в электрической сети. С другой стороны, это залог развития распределенной генерации и микро-энергосистем у потребителей электроэнергии, интегрированных с ЭЭС.

В таблице 1 приведены некоторые примеры новшеств в области силового оборудования и информационных технологий, появление которых стимулирует переход к ИЭС. Применение новых материалов для силового энергетического и электротехнического оборудования позволило увеличить плотность энергии, преобразуемой на объектах электроэнергетики, а также расширить ресурс и продолжительность межсервисного (межремонтного) интервала. Развитые информационные системы диагностики и контроля состояния оборудования, в том числе встроенные системы диагностики, позволяют более точно определять допустимую нагрузку и необходимость проведения технического обслуживания.

*Особенно интенсивно в настоящее время технологии развиваются в области сверхмощных дальних электропередач, необходимых для связи крупных источников электроэнергии и центров потребления. Также наблюдается существенный технологический прогресс в распределительном секторе ЭЭС, что отражает общую тенденцию к возрастанию роли потребителей и распределенной генерации. В соответствии с этими двумя трендами происходит развитие высоковольтной преобразовательной техники и высокоамперной техники на низком напряжении.*

**Таблица 1. Примеры технологических новшеств в ЭЭС.**

<b>Силовое энергетическое и электротехническое оборудование</b>	
Производство электроэнергии	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Парогазовые и пылеугольные энергоблоки высокой эффективности (КПД порядка 60% и 48% соответственно)</li> <li>• Ветроустановки и ветропарки большой установленной мощности (установки по 2–5 МВт и более, станции по несколько сотен МВт)</li> <li>• Солнечные электростанции (десятки и сотни МВт)</li> <li>• Установки распределенной генерации на стороне потребителя</li> </ul>
Преобразование электроэнергии	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Мощные транзисторы и тиристоры (IGBT, IGTC)</li> <li>• Тиристорные установки HVDC (мощностью до 9 ГВт на два полюса и напряжение до <math>\pm 800</math> кВ)</li> <li>• Транзисторные установки HVDC-Light (мощностью до 500 МВт и напряжение <math>\pm 200</math> кВ)</li> </ul>
Передача электроэнергии	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Кабельные передачи постоянного тока с изоляцией из сшитого полиэтилена (мощностью более 1 ГВт)</li> <li>• ВЛ с высокотемпературными проводами повышенной нагрузочной способности (ACAR, AAAC)</li> <li>• Силовые коммутационные аппараты с высоким коммутационным ресурсом и номинальными параметрами (напряжение до 1200 кВ, токи к.з. – 80 кА на высоком напряжении и 200 кА на генераторном)</li> <li>• Управляемые электропередачи (FACTS, VSC, UPFC)</li> <li>• Газоизолированные линии и трансформаторы</li> <li>• Кабели и токоограничивающие устройства на базе ВТСП</li> <li>• Аккумуляторные батареи большой емкости</li> </ul>
Потребление электроэнергии	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Энергосберегающие бытовые приборы</li> <li>• Электромобили</li> <li>• Накопители энергии</li> </ul>
<b>Информационно-коммуникационные технологии и технологии управления</b>	
Режимное и противоаварийное управление	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Автоматические переключения и реконфигурация сети</li> <li>• Оценка надежности ЭЭС в оперативном режиме</li> <li>• Динамическая оценка состояния ЭЭС по данным синхронных векторных измерений (WAMS)</li> <li>• Глобальная система защиты и противоаварийного управления (WAMPAC)</li> </ul>



Управление потреблением электроэнергии	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Развитые системы измерений (Advanced Metering Infrastructure - AMI)</li> <li>• Микро-энергосистема (microgrid)</li> <li>• Технологии «умный дом/офис»</li> </ul>
Мониторинг состояния оборудования	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Интеллектуальные устройства контроля и управления (Intelligent Electronic Device - IED)</li> <li>• Геоинформационные системы управления производственными фондами</li> </ul>
Обработка и передача информации	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Мультиагентные технологии для создания многоуровневой, распределенной системы управления</li> <li>• Нейронные сети, методы и технологии распределенных вычислений, технология информационного облака</li> <li>• Мощные вычислительные машины, быстрые каналы связи, развитая сеть интернет</li> </ul>

Следует отметить, что технологическое развитие связано не только с ростом технических параметров силового высоковольтного оборудования. Например, развитие электротехнической промышленности позволило повысить надежность выключателей, кабельных линий, преобразователей вида тока, что положительно сказывается на надежности функционирования ЭЭС и предоставляет новые возможности для современных схемных решений в развитии электрической сети, коммутационных узлов ЭЭС, схем электроснабжения потребителей.

На рисунке приведены основные технологии, характерные для определенного сектора ИЭС (как, например, инфраструктура для электромобилей (EV)) или охватывающие ИЭС в целом (как информационно-коммуникационные технологии (ICT), которые играют существенную роль в интеллектуализации ЭЭС и повышении степени информационной интеграции субъектов электроэнергетики).

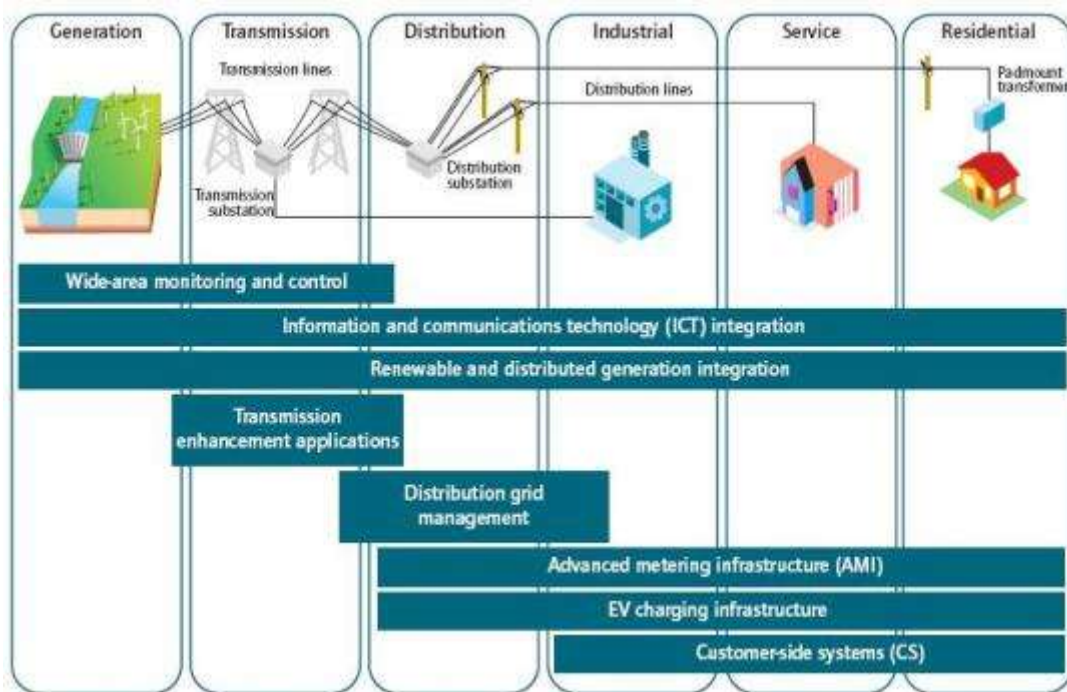


Рисунок 1. Области применения технологий Smart Grid.

Ряд подобных технологий, основанных на цифровой обработке информации, открыл новые возможности в управлении ЭЭС. Например, векторные измерения электрических параметров ЭЭС (WAMS) позволяют точнее оценивать состояние ЭЭС и анализировать запасы устойчивости синхронных электрических машин. Развитая информационная сеть предоставила возможность контроля состояния распределенных источников энергии в диспетчерских центрах. Цифровые устройства релейной защиты и автоматики помогают реализовывать более совершенные алгоритмы обнаружения и локализации нарушений в работе ЭЭС. Использование информационной шины на цифровой подстанции расширяет возможности контроля и управления, в том числе дистанционного. Интеллектуальные средства измерений (AMI) у потребителей позволяют контролировать электропотребление и реализовывать стимулирующие механизмы управления спросом.

*В связи с изменением роли потребителей существенную трансформацию в ЭЭС претерпевает распределительная сеть, которая*

становится активным элементом ИЭС – наблюдаемым и телеуправляемым. Конечные потребители в ИЭС получают возможность адаптироваться к режимным и рыночным условиям функционирования ИЭС с целью повышения экономической эффективности энергопотребления.

Совокупность технологий на стороне потребления (Demand side integration), включающих распределенную генерацию, накопители энергии, отключаемую нагрузку и другие технологии, позволяет получить ряд новых эффектов (рисунок 2):

- снижение или смещение пика нагрузки и выравнивание графика нагрузки;
- возможность двустороннего обмена энергией с энергосистемой;
- автоматическая синхронизация с ЭЭС;
- ограничение токов короткого замыкания и обеспечение качества электроэнергии;
- возможность бесперебойного электроснабжения, в том числе при аварийном отделении от ЭЭС, с обеспечением требуемого качества по частоте и напряжению электрического тока на шинах потребителя.

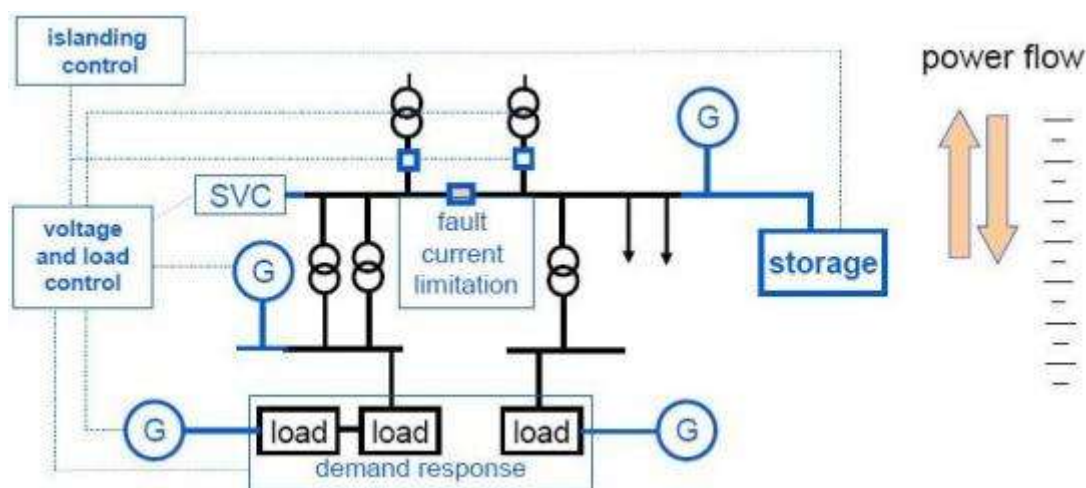


Рисунок 2. Развитие распределительной сети в ИЭС.

В целом, создание ИЭС сопровождается внедрением множества новых технологий во всех секторах ЭЭС – от производства, передачи и распределения электроэнергии, до конечных потребителей – и нарастанием соответствующих информационно-коммуникационных связей. На рисунке 3 схематично показан переход от традиционной ЭЭС к ИЭС по мере повышения функциональных возможностей и качества ЭЭС как сложной системы. Разделились центры управления передачей электроэнергии и центры управления распределительной сетью. Развитие внутренних сетей у потребителей способствует появлению сервисных организаций по комплексному управлению энергопотреблением предприятий и зданий. Одностороннюю связь с распределенными источниками энергии сменяет система обратной связи для гибкого управления распределенной генерацией.

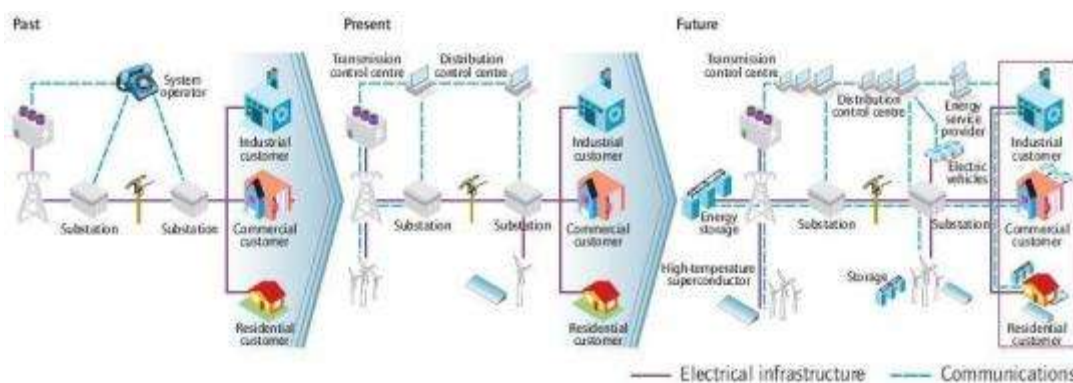


Рисунок 3. Интеллектуализация ЭЭС: вчера – сегодня – завтра —  
электрическая инфраструктура - коммуникационная инфраструктура

#### **4. Развитие идеологии и концептуальных моделей интеллектуальной ЭЭС**

Первоначально концепция построения ИЭС в зарубежных странах – Smart Grid – была направлена на развитие систем электроснабжения конечных потребителей с установкой средств контроля и управления электропотреблением (Smart Metering) и на обеспечение возможности подключения к ЭЭС источников распределенной генерации, в первую очередь, автономных ветроустановок и фотоэлектрических панелей.

Сегодня идеология развития Smart Grid включает практически все основные области деятельности в электроэнергетике и соответствующие технологические и информационно-коммуникационные связи между ними.

Термин «Smart Grid» не получил единого определения. Для характеристики разнообразия вкладываемого в это понятие смысла приведем ряд определений ведущих организаций США (EPRI, IEEE) и Западной Европы в области разработки идеологии Smart Grid.

Smart Grid относится к модернизации системы электроснабжения, направленной на возможность мониторинга, защиты, оптимизации функционирования всех элементов ЭЭС – централизованной и распределенной генерации, высоковольтной передающей и распределительной сети, промышленных потребителей и систем управления зданиями, накопителей энергии, конечных потребителей, электрического транспорта, бытовых приборов

Smart Grid – совокупность энергетических, коммуникационных и информационных технологий для усовершенствованной инфраструктуры электроснабжения, обеспечивающая непрерывную эволюцию устройств конечного применения

Smart Grid – электрическая сеть, которая может экономически эффективно объединять режимы и действия всех присоединенных пользователей: генераторов, потребителей и их объединения – для обеспечения экономически эффективной и устойчивой энергосистемы с малыми потерями, высоким качеством и надежностью электроснабжения и безопасностью

Общая черта Smart Grid в приведенных определениях – усиление интеграции всех субъектов электроэнергетики и потребителей на базе двустороннего коммуникационного обмена и использования

инновационных технических решений в силовой части энергосистемы для обеспечения экономичного и надежного функционирования ИЭС.

Реализация стратегических целей формирования качественно новой энергосистемы начинается с построения модели ИЭС. Она необходима для формирования планов, разработки требований и технической документации, унификации стандартов и подходов для объединения множества сетей и оборудования в единую систему Smart Grid.

Функциональная модель Smart Grid, представленная Национальным институтом стандартов и технологий США (NIST) в 2009 году, выделяет основные области деятельности в электроэнергетике, представленные семью областями-доменами, объединенными технологическими и коммуникационными связями (рисунок 4):

- оптовая генерация (Bulk Generation);
- передача электроэнергии (Transmission);
- распределение электроэнергии (Distribution);
- оперативное управление (Operations);
- потребитель (Customer);
- рынки (Markets);
- сервисная организация (Service provider).

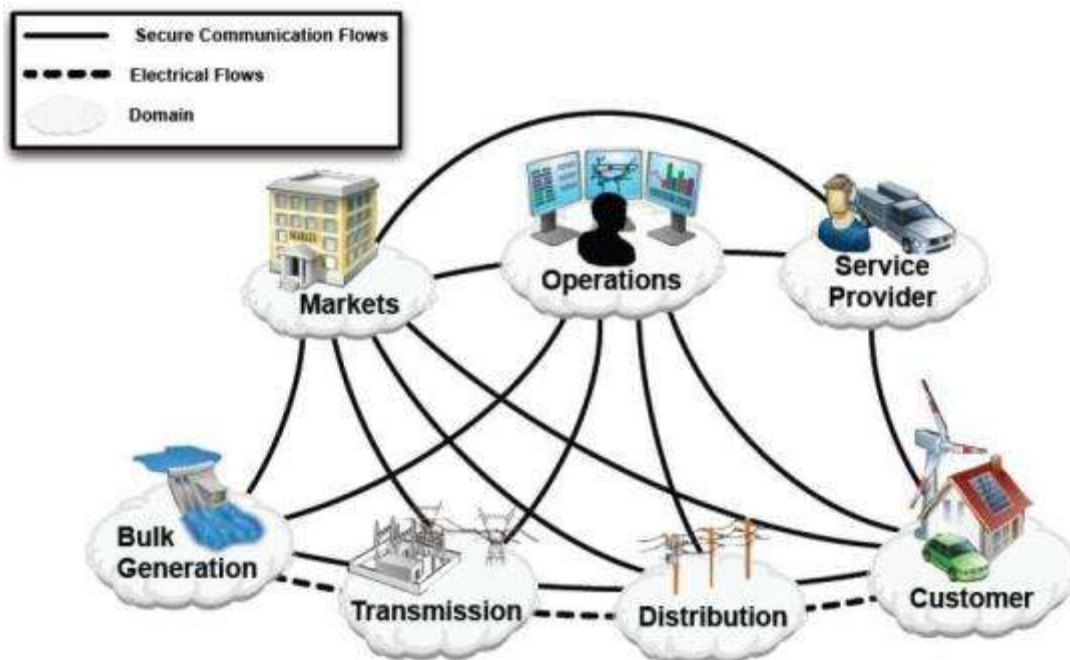


Рисунок 4. Концептуальная модель Smart Grid.— безопасные коммуникационные потоки - электрические потоки

В концептуальной модели NIST оперирует двумя ключевыми понятиями – действующие субъекты (actors) и прикладные задачи (applications). Действующие субъекты включают устройства, системы, программы и заинтересованных лиц, обладающих необходимыми полномочиями и обменивающимися информацией для решения прикладных задач.

Эти задачи выполняются внутри доменов одним или несколькими субъектами. Например, домен оперативного управления включает следующие: мониторинг состояния сети, автоматическое или ручное управление на подстанциях, устранение отказов, оптимизация графиков ремонта, формирование отчетности, расчеты для оценки надежности, тренировка диспетчерского персонала, управление основными активами, оперативное планирование, обслуживание оборудования и проведение строительных работ, планирование долгосрочного развития, поддержка потребителей.



*Функциональная дифференциация в модели Smart Grid необходима для определения зон ответственности субъектов ИЭС, унификации интерфейсов взаимодействия и определения круга вопросов, требующих дополнительного исследования при перероде к ИЭС.*

Информационно-коммуникационное взаимодействие (рисунок 5) различных доменов осуществляется по информационным сетям локального уровня – сетям подстанций (Substation LAN) и зданий (Premises Networks), а также системного уровня – корпоративной сети оператора передачи и распределения электроэнергии (Enterprise Bus), глобальным информационным сетям (Field Area Network, Wide Area Network), сетям общего доступа (Internet).

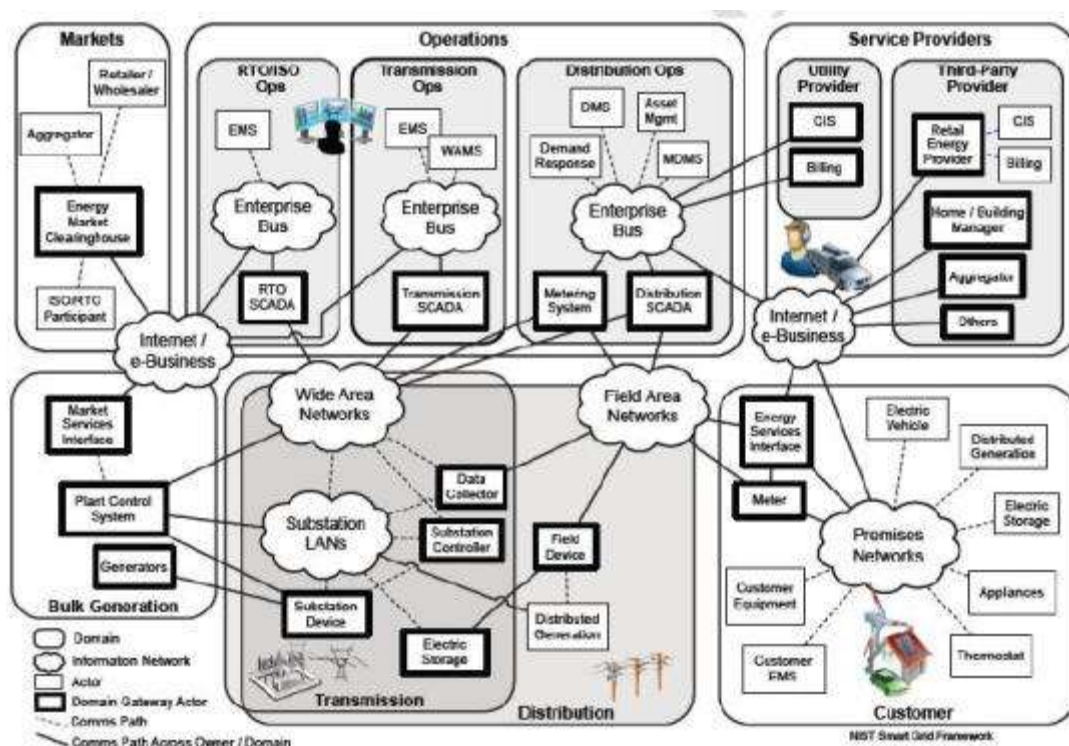


Рисунок 5. Модель информационного взаимодействия в Smart Grid.

## 5. Особенности обеспечения надежности и безопасности ИЭС

В Smart Grid используются различные сети связи, в том числе ресурсы публичных сетей – Интернет. Такое расширение границ ЭЭС с вовлечением коммуникационных сетей усложняет систему и снижает надежность и безопасность функционирования ИЭС.



Надежность гетерогенной системы в равной степени зависит от надежности ее информационной и энергетической частей. Вместе с тем, подходы и требования по обеспечению надежности этих двух частей различны. Например, существующие стандарты надежности функционирования ЭЭС характеризуются готовностью обеспечить спрос на электроэнергию от 99,9% до 99,97% (простой в среднем от 9 до 3 ч в год), а готовность современных информационных центров составляет порядка 99,9999% (простой порядка 30 с в год).

В энергоинформационной системе необходимо решать вопрос о сбалансированности требований к надежности составляющих систему частей. При этом безусловный приоритет по-прежнему должен остаться за обеспечением надежного электроснабжения потребителей.

Обеспечение надежности ИЭС включает решение следующих основных задач:

- уменьшить восприимчивость к физическим и информационным атакам;
- минимизировать длительность и последствия аварийных отключений;
- оптимизировать средства обеспечения надежности, коммуникации, самонастройки и принятия решений.

Ключевой характеристикой ИЭС является способность автоматического предотвращения или уменьшения перерывов электроснабжения (вопросы превентивного режимного и противоаварийного управления); решения задачи управления качеством электроснабжения и контроля протекания аварий, в том числе каскадного типа, а также процесса восстановления электроснабжения. Достижение этих эффектов возможно при насыщении ЭЭС техническими средствами, повышающими информативность процессов и интеллектуальность

управления в каждом критическом узле, а также обеспечивающими мгновенную обратную связь.

В первую очередь, в ИЭС повышается качество обратной связи с конечными потребителями электрической энергии. Это дает новые возможности обеспечения надежности распределительной сети за счет следующих мер:

- использование средств автоматического обнаружения нарушений;
- автоматизация подстанций и уменьшение времени оперативных переключений;
- повышение адаптивности средств релейной защиты к меняющимся режимным ситуациям;
- управление конечным спросом за счет автоматизации электроприемников для непосредственного управления и экономического стимулирования следования желаемому графику нагрузки;
- оптимизация использования мощностей «большой» генерации, распределенной генерации и накопителей энергии для взаимного резервирования;
- динамическое изменение пределов нагрузочной способности оборудования электрической сети в соответствии с физическими условиями работы.

В части обеспечения системной надежности ИЭС располагает новыми средствами повышения наблюдаемости электрического режима и управляемости основной электрической сети:

- система контроля запасов устойчивости ЭЭС и электрической нагрузки основного оборудования;
- автоматизированные подстанции и управляемые электропередачи на базе FACTS и HVDC;

- адаптивные системы управления ЭЭС в аварийных ситуациях, автоматические регистраторы переходных процессов и нарушений;
- мониторинг технического состояния силового оборудования и прогнозирование его ресурса;
- средства моделирования ЭЭС, в том числе прогнозирования мощности генерации на базе возобновляемых источников энергии, системы информационной поддержки принятия решений.

Сложная архитектура информационно-коммуникационных сетей ИЭС позволяет более глубоко воздействовать на функционирование энергосистемы на любом уровне. Однако обратной стороной медали является уязвимость ИЭС к кибератакам. В настоящее время при разработке концептуальных моделей и проектов Smart Grid вопросу обеспечения кибербезопасности уделяется значительное внимание. Применительно к Smart Grid она включает конфиденциальность, целостность и готовность всех информационных систем. Основное требование к обеспечению безопасности – предотвращение риска каскадных отказов.

### **Заключение.**

1. К современной электроэнергетической системе выдвигается ряд качественно новых требований, направленных на повышение эффективности использования энергии и надежности электроснабжения потребителей.

2. Технологические достижения в силовой части энергосистемы и рост информационной коммуникации между участниками единого технологического процесса производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии формируют условия для перехода к интеллектуальной ЭЭС, обладающей новыми качествами энергоинформационной системы, способной к самодиагностике и самовосстановлению.

3. Концепция Smart Grid первоначально была направлена на развитие систем электроснабжения конечных потребителей для обеспечения интеллектуального учета электроэнергии и подключения к ЭЭС источников распределенной генерации разного типа. Современные концептуальные модели, рассмотренные в статье, включают практически все основные области деятельности в электроэнергетике и соответствующие технологические и информационно-коммуникационные связи между ними.

4. Повышение сложности ЭЭС за счет интеграции силовой и информационно-коммуникационной составляющих в интеллектуальной ЭЭС меняет парадигму обеспечения надежности и безопасности энергосистемы, выдвигая на первое место кибербезопасность