

Международный союз электросвязи

# МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ  
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ  
МСЭ

# Y.3021

(01/2012)

СЕРИЯ Y: ГЛОБАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ  
ИНФРАСТРУКТУРА, АСПЕКТЫ ПРОТОКОЛА  
ИНТЕРНЕТ И СЕТИ ПОСЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ

Сети последующих поколений – Будущие сети

---

**Основы энергосбережения для будущих сетей**

Рекомендация МСЭ-Т Y.3021

ITU-T

РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т СЕРИИ Y  
**ГЛОБАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА, АСПЕКТЫ  
ПРОТОКОЛА ИНТЕРНЕТ И СЕТИ ПОСЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ**

<b>ГЛОБАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА</b>	
Общие положения	Y.100–Y.199
Услуги, приложения и промежуточные программные средства	Y.200–Y.299
Сетевые аспекты	Y.300–Y.399
Интерфейсы и протоколы	Y.400–Y.499
Нумерация, адресация и присваивание имен	Y.500–Y.599
Эксплуатация, управление и техническое обслуживание	Y.600–Y.699
Безопасность	Y.700–Y.799
Рабочие характеристики	Y.800–Y.899
<b>АСПЕКТЫ ПРОТОКОЛА ИНТЕРНЕТ</b>	
Общие положения	Y.1000–Y.1099
Услуги и приложения	Y.1100–Y.1199
Архитектура, доступ, возможности сетей и административное управление ресурсами	Y.1200–Y.1299
Транспортирование	Y.1300–Y.1399
Взаимодействие	Y.1400–Y.1499
Качество обслуживания и сетевые показатели качества	Y.1500–Y.1599
Сигнализация	Y.1600–Y.1699
Эксплуатация, управление и техническое обслуживание	Y.1700–Y.1799
Начисление платы	Y.1800–Y.1899
IPTV по СПП	Y.1900–Y.1999
<b>СЕТИ ПОСЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ</b>	
Структура и функциональные модели архитектуры	Y.2000–Y.2099
Качество обслуживания и рабочие характеристики	Y.2100–Y.2199
Аспекты обслуживания: возможности услуг и архитектура услуг	Y.2200–Y.2249
Аспекты обслуживания: взаимодействие услуг и СПП	Y.2250–Y.2299
Нумерация, присваивание имен и адресация	Y.2300–Y.2399
Управление сетью	Y.2400–Y.2499
Архитектура и протоколы сетевого управления	Y.2500–Y.2599
Пакетные сети	Y.2600–Y.2699
Безопасность	Y.2700–Y.2799
Обобщенная мобильность	Y.2800–Y.2899
Открытая среда операторского класса	Y.2900–Y.2999
<b>БУДУЩИЕ СЕТИ</b>	<b>Y.3000–Y.3499</b>
<b>ОБЛАЧНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ</b>	<b>Y.3500–Y.3999</b>

*Для получения более подробной информации просьба обращаться к перечню Рекомендаций МСЭ-Т.*

# Рекомендация МСЭ-Т Y.3021

## Основы энергосбережения для будущих сетей

### Резюме

В Рекомендации МСЭ-Т Y.3021 описывается структура энергосбережения для будущих сетей (FN). В первую очередь описывается необходимость энергосбережения в рамках самих сетей и делается обзор потенциальных энергосберегающих технологий. Далее в Рекомендации определяются основные функции и их циклические взаимодействия, проводится анализ возможных результатов внедрения определенных энергосберегающих технологий и распределяются по пунктам требования высокого уровня для применения такого рода технологий.

### Хронологическая справка

Издание	Рекомендация	Утверждение	Исследовательская комиссия	Уникальный идентификатор*
1.0	МСЭ-Т Y.3021	13.01.2012 г.	13-я	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/11446">11.1002/1000/11446</a>

---

\* Для получения доступа к Рекомендации наберите в адресном поле вашего браузера URL: <http://handle.itu.int/>, после которого следует уникальный идентификатор Рекомендации. Например, <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи и информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Сектор стандартизации электросвязи МСЭ (МСЭ-Т) – постоянный орган МСЭ. МСЭ-Т отвечает за изучение технических, эксплуатационных и тарифных вопросов и за выпуск Рекомендаций по ним с целью стандартизации электросвязи на всемирной основе.

На Всемирной ассамблее по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяются темы для изучения исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, вырабатывают Рекомендации по этим темам.

Утверждение Рекомендаций МСЭ-Т осуществляется в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 ВАСЭ.

В некоторых областях информационных технологий, которые входят в компетенцию МСЭ-Т, необходимые стандарты разрабатываются на основе сотрудничества с ИСО и МЭК.

## ПРИМЕЧАНИЕ

В настоящей Рекомендации термин "администрация" используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную эксплуатационную организацию.

Соблюдение положений данной Рекомендации осуществляется на добровольной основе. Однако данная Рекомендация может содержать некоторые обязательные положения (например, для обеспечения функциональной совместимости или возможности применения), и в таком случае соблюдение Рекомендации достигается при выполнении всех указанных положений. Для выражения требований используются слова "следует", "должен" ("shall") или некоторые другие обязывающие выражения, такие как "обязан" ("must"), а также их отрицательные формы. Употребление таких слов не означает, что от какой-либо стороны требуется соблюдение положений данной Рекомендации.

## ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на вероятность того, что практическое применение или выполнение настоящей Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, действительности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, доказываются ли такие права членами МСЭ или другими сторонами, не относящимися к процессу разработки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ не получил извещения об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для выполнения настоящей Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что вышесказанное может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ по адресу: <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© ITU 2014

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Сфера применения .....	1
2 Справочные документы .....	1
3 Определения .....	1
3.1 Термины, определенные в других документах .....	1
3.2 Термины, определенные в настоящей Рекомендации .....	1
4 Сокращения и акронимы .....	2
5 Условные обозначения .....	3
6 Введение.....	3
6.1 Исходные данные и обоснование .....	3
6.2 Этапы и уровни на протяжении срока службы, которые необходимо учитывать .....	4
7 Обзор энергосберегающих технологий.....	5
7.1 Перечень технологий и их уровней .....	5
7.2 Технологии на уровне устройств .....	5
7.3 Технологии на уровне оборудования.....	6
7.4 Технологии на уровне сетей .....	9
8 Рассмотрение вопросов энергосбережения .....	12
8.1 Целевая область настоящей Рекомендации.....	12
8.2 Принципы энергосбережения .....	12
8.3 Управление работой устройств и/или оборудования в соответствии с динамикой трафика.....	14
8.4 Пересылка трафика с меньшим потреблением мощности.....	14
8.5 Классификация отдельных технологий .....	15
9 Возможные функции и их взаимодействие .....	16
9.1 Возможные функции .....	16
9.2 Модели комбинаций функций.....	18
10 Анализ влияния энергосберегающих технологий.....	19
10.1 Влияние на рабочие характеристики сети.....	19
10.2 Влияние на предоставление услуг .....	20
11 Требования высокого уровня .....	20
12 Вопросы охраны окружающей среды .....	21
13 Вопросы безопасности.....	21
Библиография .....	23



# Рекомендация МСЭ-Т Y.3021

## Основы энергосбережения для будущих сетей

### 1 Сфера применения

В настоящей Рекомендации:

- описывается необходимость энергосбережения;
- рассматриваются потенциальные технологии;
- определяются различные точки зрения, которые необходимо учитывать;
- определяются основные функции и их циклические взаимодействия;
- анализируются все возможные результаты внедрения новых технологий; и
- распределяются по позициям требования высокого уровня

в целях обеспечения энергосбережения в рамках и с помощью будущих сетей (FN).

Структура и принципы, описанные в настоящей Рекомендации, могут также применяться и быть полезными для сетей, которые не классифицируются как будущие сети, хотя их описание представлено как результат полного признания целей и задач проектирования будущих сетей [ITU-T Y.3001].

### 2 Справочные документы

В перечисленных ниже Рекомендациях МСЭ-Т и других справочных документах содержатся Указанные ниже Рекомендации МСЭ-Т и другие справочные документы содержат положения, которые путем ссылок на них в данном тексте составляют положения настоящей Рекомендации. На момент публикации указанные издания были действующими. Все Рекомендации и другие справочные документы могут подвергаться пересмотру; поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается изучить возможность применения последнего издания Рекомендаций и других справочных документов, перечисленных ниже. Перечень действующих на настоящий момент Рекомендаций МСЭ-Т регулярно публикуется. Ссылка на документ, приведенный в настоящей Рекомендации, не придает ему как отдельному документу статус Рекомендации.

[ITU-T L.1400] Recommendation ITU-T L.1400 (2011), *Overview and general principles of methodologies for assessing the environmental impact of information and communication technologies.*

[ITU-T Y.3001] Рекомендация МСЭ-Т Y.3001 (2011 г.), *Будущие сети: Целевые установки и цели проектирования.*

### 3 Определения

#### 3.1 Термины, определенные в других документах

В настоящей Рекомендации используется следующий термин, определенный в другом документе.

**3.1.1 будущая сеть (future network) (FN)** [ITU-T Y.3001]: Сеть, способная предоставлять услуги, функциональные возможности и средства, предоставление которых при помощи существующих сетевых технологий вызывает затруднения.

#### 3.2 Термины, определенные в настоящей Рекомендации

В настоящей Рекомендации определяются следующие термины.

**3.2.1 устройство (device):** Материальный элемент или совокупность таких элементов, предназначенные для выполнения требуемой функции.

**3.2.2 энергосбережение в пределах сетей (energy saving within networks):** Этот термин относится к ситуации, когда функциональные возможности сетей и их режимов работы настроены надлежащим образом, позволяя систематически и эффективно использовать суммарную энергию, предназначенную для питания сетевого оборудования, что приводит к пониженному энергопотреблению по сравнению с сетями, в которых данные функциональные возможности и режимы работы отсутствуют.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Сетевое оборудование включает маршрутизаторы, коммутаторы, оборудование в конечном пункте, например оптические сетевые блоки (ONU), шлюзы домашних сетей и сетевые серверы, в частности устройства балансировки нагрузки и брандмауэры. Сетевое оборудование, как правило, состоит из различных компонентов, таких как коммутирующие матрицы, линейные карты, блоки питания и устройства охлаждения.

**3.2.3 оборудование (equipment):** Набор устройств, связанных воедино и формирующих физический объект для выполнения той или иной конкретной задачи.

**3.2.4 энергоэффективность сети (network energy efficiency):** Пропускная способность сети, деленная на энергопотребление.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Этот термин, как правило, определяется в бит/с/Вт.

#### 4 Сокращения и акронимы

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения и акронимы.

ALR	Adaptive Link Rate		Адаптивная скорость передачи данных по каналу связи
BTS	Base Transceiver Station		Базовая приемопередающая станция
CAM	Content Addressable Memory		Ассоциативное запоминающее устройство
CAPWAP	Control and Provisioning of Wireless Access Points		Управление и инициализация точек беспроводного доступа
CDN	Content Delivery Network		Сеть доставки контента
CPU	Central Processing Unit		Центральный процессор
DDoS	Distributed Denial-of-Service		Атака типа "распределенный отказ в обслуживании"
DPD	Digital Pre-Distortion		Цифровое предискажение
DVS	Dynamic Voltage Scaling		Динамическое масштабирование напряжения
FN	Future Network		Будущая сеть
GHG	Greenhouse Gas		Парниковый газ
HVHBT	High Voltage Heterojunction Bipolar Transistor		Высоковольтный биполярный транзистор с гетеропереходом
ICT	Information and Communication Technology	ИКТ	Информационно-коммуникационные технологии
LSI	Large Scale Integration		Большая интегральная схема
MIMO	Multiple Input Multiple Output		Многоканальный вход – многоканальный выход
MPLS	Multi-Protocol Label Switching		Многопротокольная коммутация с использованием меток
NIC	Network Interface Card		Сетевая интерфейсная карта
ONU	Optical Network Unit		Блок оптической сети



PA	Power Amplifier	Усилитель мощности
PC	Personal Computer	Персональный компьютер
SINR	Signal to Interference and Noise Ratio	Отношение сигнала к помехе и шуму
SISO	Single-Input Single-Output	Устройство с одним входом и одним выходом
SLA	Service Level Agreement	Соглашение об уровне обслуживания
SRAM	Static Random Access Memory	Статическое ЗУ с произвольным доступом
UE	User Equipment	Пользовательское оборудование
WLAN	Wireless Local Area Network	Беспроводная локальная сеть

## 5 Условные обозначения

Нет.

## 6 Введение

### 6.1 Исходные данные и обоснование

Энергосбережение является важной проблемой в сфере информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), как было отмечено при проектировании будущих сетей [ITU-T Y.3001]. Одной из основных задач при разработке будущих сетей является осознание важности экологических вопросов, что может быть реализовано через энергосберегающие технологии. Исторически сложилось так, что исследования в области энергосбережения проводились в целях увеличения выгоды для пользователя или дохода компании, в частности снижения энергетических затрат и управления температурой для более стабильной работы оборудования.

Важность данных вопросов возрастает в связи с более широким внедрением сетевого оборудования и, как следствие, ростом потребления энергии. Кроме того, все более важным социальным аспектом становится поддержка мер по сокращению выброса парниковых газов (GHG). В дальнейшем эти вопросы будут приобретать все большее значение. Таким образом, в настоящей Рекомендации изучаются потенциальные технологии и связанные с ними операции, призванные внести вклад в энергосбережение и способствовать решению ряда других задач.

Вклад ИКТ в снижение негативного воздействия на окружающую среду часто классифицируется как "ИКТ в помощь экологии" и "экологически чистые ИКТ". Понятие "ИКТ в помощь экологии" означает снижение при помощи ИКТ вредного воздействия на окружающую среду, создаваемого отраслями экономики, не связанными с ИКТ. Понятие "экологически чистые ИКТ" относится к снижению негативного воздействия самих ИКТ на окружающую среду, в частности речь идет об уменьшении энергопотребления персональных компьютеров (ПК), серверов и маршрутизаторов. Таким образом, вклад будущих сетей в уменьшение негативного воздействия на окружающую среду может классифицироваться исходя из следующих соображений.

– Будущие сети в помощь экологии

Задачей является снижение вредного воздействия на окружающую среду в областях экономики, не связанных с ИКТ, посредством использования будущих сетей.

Будущие сети должны стать полезным инструментом снижения негативного воздействия других областей экономики на окружающую среду. Архитектура "умных" сетей, предназначенная для распределения электрической мощности, или повсеместно распространенные сети датчиков, которые контролируют изменения экосферы Земли, являются примерами того, как может быть интерпретировано понятие "будущие сети в помощь экологии".

- Экологические чистые будущие сети

Задачей является снижение негативного воздействия будущих сетей на окружающую среду.

Основополагающим принципом будущих сетей является то, что они должны оказывать минимальное влияние на окружающую среду. Как указано выше, использование сетей может обеспечить механизмы снижения воздействия других отраслей экономики на окружающую среду. Однако при этом увеличивается объем сетевого трафика и соответственно возрастает потребление энергии сетями, что в свою очередь приводит к увеличению негативного воздействия на окружающую среду. Снижение потребления энергии сетевыми объектами, в частности маршрутизаторами, коммутаторами и серверами, является непосредственным примером вклада экологически чистых будущих сетей.

Каждый из указанных вопросов имеет большое значение, однако в настоящей Рекомендации рассматриваются в основном экологически чистые будущие сети, а это означает энергосбережение внутри самих сетей, поскольку энергопотребление сетей возрастает пропорционально увеличению количества сетевых приложений.

## **6.2 Этапы и уровни на протяжении срока службы, которые необходимо учитывать**

Для снижения энергопотребления важно провести анализ энергопотребления на каждом этапе срока службы. В процессе управления на протяжении срока службы для проведения анализа используются, как правило, следующие этапы (например, в [ITU-T L.1400]):

- производственные средства (подготовка исходных материалов и компонентов для целевого объекта);
- изготовление;
- использование;
- ликвидация/переработка.

Применительно к сетям первый этап – производственные средства – это подготовка исходных компонентов для небольших электронных устройств и комплектование оборудования, которое входит в состав сети. Второй этап – изготовление – включает построение сети при помощи соответствующего оборудования. При построении сети необходимые единицы оборудования перевозятся со склада производителя к месту установки. Третий этап – использование – относится к эксплуатации оборудования. В конце срока службы сети все оборудование, входящее в ее состав, ликвидируется или подвергается переработке в ходе четвертого этапа – ликвидация/переработка. Управление на протяжении срока службы учитывает все эти этапы. Однако применительно к сетям третий этап – использование – учитывается в первую очередь, поскольку энергопотребление на этапе использования является ключевым вопросом для постоянного работающего сетевого оборудования. На этом этапе энергопотреблением можно управлять при помощи сетевой архитектуры, потенциальных возможностей и режимов работы.

Энергосбережение внутри сетей включает разнообразные технологии. Применение только одной технологии является нереалистичным подходом. На этапе использования можно рассмотреть три уровня, каждому из которых соответствует своя технология, т. е. уровень устройств, уровень оборудования и уровень сети.

- Уровень устройств – технологии, которые применяются для электронных устройств, таких как большие интегральные схемы (LSI) и запоминающие устройства.
- Уровень оборудования – технологии, которые применяются к одной единице оборудования (набору устройств), например маршрутизатору или коммутатору.
- Уровень сети – технологии, которые применяются к оборудованию в рамках всей сети (например, протокол маршрутизации, применяемый к нескольким маршрутизаторам).

Классификация технологий по каждому уровню и их сочетание могут претерпевать изменения и совершенствоваться. Будущие сети должны задействовать эти технологии и обладать гибкостью при внедрении результатов их развития и эволюции в целях повышения эффективности энергосбережения.

## 7 Обзор энергосберегающих технологий

### 7.1 Перечень технологий и их уровней

На базе трех уровней, описанных в разделе 6, существуют разнообразные потенциальные технологии, которые могут классифицироваться следующим образом:

- Технология на уровне устройств –  
микротехнология LSI, многоядерный центральный процессор (CPU), управление подачей тактовых сигналов, виртуальная память с учетом мощности, усовершенствованный усилитель мощности (PA).
- Технология на уровне оборудования –  
оптический сетевой узел, управление спящим режимом, ALR/DVS, тепловой расчет, кэш-сервер, фильтрация, сервер "извинений", ограничение скорости (shaping), компактные базовые приемопередающие станции (BTS), технологии "умных" антенн, ретрансляционные станции.
- Технология на уровне сетей –  
коммутация каналов/пачек данных, технические аспекты маршрутизации/трафика на основе потребления энергии, облегченный протокол, составление графика передач, сеть доставки контента (CDN), смещение пиков трафика, проектирование малых ячеек, планирование сетей с учетом потребления энергии.

В разделах 7.2–7.4 описываются основные принципы каждой из технологий на уровнях устройств, оборудования и сетей. В будущем данная классификация может быть изменена в связи с совершенствованием технологий реализации.

### 7.2 Технологии на уровне устройств

#### 7.2.1 Микротехнологии LSI

При заданной функции и/или рабочих характеристиках чем совершеннее процесс интеграции LSI, тем меньше размер большой интегральной схемы (LSI). Поскольку микротехнологии LSI обеспечивают пониженное возбуждающее напряжение, они позволяют снизить энергопотребление, пропорциональное квадрату напряжения возбуждения. К настоящему времени показатель совершенствования достиг 30% в год, но недавно эта величина снизилась вследствие увеличения тока утечки. Некоторые из производителей LSI различными способами пытаются разрешить проблему этого снижения в целях увеличения процентных показателей улучшения качества.

#### 7.2.2 Многоядерный процессор

Данная технология заключается в применении нескольких процессорных вычислительных ядер в одном корпусе процессора (CPU). Для выполнения этой задачи при использовании нескольких маломощных процессоров можно, как правило, сэкономить больше энергии, чем при использовании одного мощного CPU. Данный факт обусловлен характеристиками аппаратного обеспечения электронных устройств. Это означает, что потребление энергии, как правило, пропорционально кубу тактовой частоты и что несколько CPU в общем случае обладают преимуществами с точки зрения энергопотребления. Кроме того, если требования к рабочим характеристикам слишком высоки и не могут быть достигнуты при помощи одного CPU, то не остается другого варианта, кроме использования нескольких CPU.

Кроме того, многоядерные процессоры могут работать совместно при использовании динамических технологий управления, в частности управления подачей тактовых сигналов (см. раздел 7.2.3) и управления спящим режимом (см. раздел 7.3.2). Эти технологии осуществляют распределение питания и тактовой частоты по многоядерным CPU, и таким образом минимально необходимое количество CPU может работать на минимальной тактовой частоте. Если эти два параметра CPU, т. е. число активных CPU и их тактовая частота управляются надлежащим образом в соответствии с нагрузкой, то это способствует энергосбережению.

### **7.2.3 Управление подачей тактовых сигналов**

Данная технология предотвращает подачу тактовых импульсов на большие интегральные схемы (LSI) и цепи, которые не задействованы в данный момент. Чем больше продолжительность работы без непосредственной подачи тактовых импульсов, тем больше энергии может быть сохранено. Проблема здесь заключается в том, что если переключение между состояниями ON "включено" и OFF "выключено" тактовой частоты происходит часто, то сохраняется меньше энергии, поскольку дополнительная энергия необходима для переключений.

### **7.2.4 Виртуальная память с учетом мощности**

Данная технология позволяет оптимизировать энергопотребление памяти посредством управления активной схемой памяти в зависимости от фактических требований и режима работы [b-Huang]. С точки зрения энергосбережения данная технология внедряется для буферизации и кэширования памяти в сетевом узле.

### **7.2.5 Усовершенствованный усилитель мощности (РА)**

Этот усилитель мощности применяется на базовых станциях беспроводных сетей и позволяет реализовать высокую эффективность, которой трудно добиться при использовании существующих коммерческих технологий. Поскольку на сам усилитель мощности приходится значительная часть общей потребляемой электроэнергии базовых станций в беспроводных сетях, использование высокоэффективных усилителей мощности может способствовать снижению потребления энергии [b-ATIS]. Усовершенствованный усилитель мощности должен учитывать применение схемы, выбор компонентов и инновации, используемые в технологическом процессе. В качестве примеров подобной технологии можно привести цифровое предсказание (DPD) и высоковольтный биполярный транзистор с гетеропереходом (HVNBT). При наличии искажений в усилителе мощности схема DPD создает искажение в противоположном направлении по отношению к искажению усилителя мощности, тем самым нейтрализуя искажение РА. Устройство HVNBT является усовершенствованным бескорпусным компонентом, предназначенным для улучшения эффективности.

## **7.3 Технологии на уровне оборудования**

### **7.3.1 Оптический сетевой узел**

Целью данной технологии является внедрение энергосберегающих оптических технологий для связанных интерфейсов и/или коммутирующих матриц, подключаемых к сетевому узлу. Оптический сетевой узел имеет очень большую емкость по сравнению с электронным сетевым узлом, причем скорость передачи данных составляет 1 Тбит/с и более. Таким образом, энергоэффективность сети может быть существенно увеличена [b-Klein]. Это увеличение основано на большом объеме агрегирования трафика в узле или за пределами узла. Проблема заключается в том, что если поток трафика рассеянный, то невозможно достичь достаточной энергоэффективности.

Полностью оптическая коммутация пакетов может повысить энергоэффективность сети, поскольку при этом нет необходимости в оптоэлектрическом или электрооптическом преобразовании в сетевом узле, которое обычно потребляет большое количество энергии. Однако широкомасштабная практическая реализация данной технологии пока связана с определенными трудностями. Основная проблема заключается в том, чтобы передать в запоминающее устройство оптический сигнал в том виде, как он есть.

### **7.3.2 Управление спящим режимом**

Данная технология переводит оборудование и функции в спящий, т. е. неактивный, режим в то время, когда они не используются, позволяя сохранить энергию. На уровне оборудования, например, для маршрутизаторов и коммутаторов в проводных сетях, а также базовых радиостанций и мобильных устройств в беспроводных сетях управление спящим режимом обычно осуществляется на оборудовании и сетевых интерфейсах. Энергосберегающий эффект зависит от динамических характеристик трафика. Чем больше различие между максимальным и минимальным трафиком, тем большего энергосберегающего эффекта можно добиться. Причина заключается в следующем: энергопотребление оборудования без управления спящим режимом является почти постоянным и зависит от максимального размещаемого объема трафика. Если при управлении спящим режимом

трафик по параллельным трактам в определенный период времени ниже максимума, то некоторые потоки могут быть динамически объединены в один тракт, и оборудование, не имеющее отношения к этому тракту, можно перевести в спящий режим. Энергопотребление может быть снижено в зависимости от минимального трафика.

В проводных сетях препятствием для использования данной технологии является передача небольшого планового и в то же время важного трафика управляющей информации, в частности сведений о маршрутизации. Подобная информация передается даже при отсутствии трафика передачи данных. Таким образом, метод обработки управляющего трафика является вопросом, требующим решения. Одним из решений является наличие прокси-сервера, который поддерживает присутствие сети во время работы в спящем режиме для любого узла в сети и отвечает на запросы обычного сетевого трафика вместо самого сетевого узла. Подробно данная технология описывается в компьютерной спецификации ENERGY STAR версии 5.0 [b-ESTAR1]. Одним из примеров управления спящим режимом является энергоэффективный протокол Ethernet, разработанный Целевой группой по энергоэффективному стандарту Ethernet [b-IEEE P802.3az]. Другой пример – это режим энергосбережения L2 (например, режим малой мощности) в сочетании с существующими технологиями ADSL2 и ADSL2plus.

С другой стороны, в беспроводных сетях программное обеспечение управления режимом и работа в спящем режиме применяются соответственно на энергосберегающих базовых радиостанциях и мобильных устройствах. В системах базовых радиостанций программное обеспечение, управляющее спящим режимом, закрывает (отключает) полосу частот, в которой наблюдается малая нагрузка трафика в данной ячейке или по всей зоне покрытия базовой станции. Во время работы в спящем режиме мобильные устройства переходят из спящего состояния в состояние ожидания (прослушивания) сигнала и обратно. В спящем состоянии мобильные устройства не связываются со своими базовыми станциями, применяя режим пониженного потребления батарей. В режиме ожидания мобильные устройства проверяют наличие сообщения о выходе из спящего режима от обслуживающей их базовой станции.

### **7.3.3 Адаптивная скорость передачи данных по каналу связи (ALR) и динамическое масштабирование напряжения (DVS)**

Это энергосберегающий режим работы сетевого оборудования. ALR управляет скоростью передачи данных по каналу связи (т. е. скоростью потока битов) через конкретный интерфейс в зависимости от объема трафика, подлежащего обработке. DVS управляет напряжением возбуждения центрального процессора, жесткого диска, сетевой интерфейсной карты (NIC) и так далее в зависимости от объема трафика, подлежащего обработке. Проблема данной технологии заключается в способах обработки трафика пачек данных (например, насколько быстро с точки зрения времени отклика и насколько эффективно при изменении частоты).

### **7.3.4 Тепловой расчет**

Система охлаждения сетевого узла потребляет значительное количество энергии, а это означает, что энергосбережения можно добиться при помощи более точного теплового расчета узла. Это справедливо также для случаев, когда несколько узлов находятся на одном этаже информационного центра.

### **7.3.5 Кэш-сервер**

Данная технология предполагает кэширование контента для уменьшения объема дублированного и несущественного трафика с учетом того, что несколько клиентов используют один и тот же контент или что один клиент использует один контент несколько раз. Преимущество данной технологии связано с уменьшением полосы пропускания. Эта технология эффективна в том случае, если копия контента с высокой вероятностью имеется на кэш-сервере. Проблема данной технологии заключается в том, что если такая вероятность низкая, то сервер должен выполнить задание по проверке доступности контента, а затем производить частые обращения к серверу-источнику. В связи с необходимостью выполнения дополнительных задач и задействования дополнительных серверов может потребоваться большее количество энергии. Следовательно, необходимо управлять работой сервера с учетом его коэффициента эффективности поиска в базах данных для снижения энергопотребления.

### **7.3.6 Фильтрация**

Суть этой технологии заключается в блокировке несущественных или непригодных данных, подлежащих передаче, в частности избыточных сообщений, подтверждающих активность, или дубликатов сообщений пользователей. Еще одним примером данной технологии могут служить системы предотвращения вторжений, известные также как системы обнаружения и предотвращения вторжений. Эта технология способна активно предотвращать/блокировать обнаруженные вторжения, в числе которых распределенные атаки типа "отказ в обслуживании" (DDoS), посредством мониторинга сетевого трафика и/или вредоносных действий. Системы предотвращения вторжений снижают объем трафика и, соответственно, энергопотребление по сравнению с изначально необходимым уровнем.

### **7.3.7 Сервер "извинений"**

Так называется сервер, который возвращает альтернативный ответ или "извинение", сообщая о том, что запрашиваемая услуга недоступна по причине, например, временной перегрузки трафика. В соответствии с полученным ответом некоторые пользователи могут сместить пиковый трафик по времени или отказаться от своих запросов, что приводит к снижению максимального объема трафика и экономии энергии.

Для полноты картины следует также указать меры, предпринимаемые объектом – получателем сообщения. Например, объект может не отправлять повторно запрос в течение определенного времени.

### **7.3.8 Ограничение скорости**

Данная технология управляет скоростью передачи выходных пакетов, обеспечивая ее снижение по сравнению с потенциальной скоростью линии связи. Поскольку данная технология управляет максимальной скоростью передачи данных в сторону понижения, она позволяет экономить энергию в последующих узлах, которые эксплуатируются в соответствии с максимальной скоростью передачи данных. Основной проблемой данной технологии является возможное увеличение задержки, связанной с очередью ожидания.

### **7.3.9 Компактные базовые приемопередающие станции (BTS)**

Эта система базовых станций предназначена для снижения энергопотребления и финансовых затрат. В отличие от существующих наземных и распределенных BTS, компактные BTS не нуждаются в наземных защитных контейнерах и системах охлаждения, поэтому они потребляют меньше энергии, стоят дешевле, а также требуют меньших затрат по установке. Кроме того, они могут обладать высокопроизводительными функциями, в частности использовать несколько антенн на сектор с многоканальным входом, многоканальным выходом (MIMO) и формированием диаграммы направленности [b-Fili].

### **7.3.10 Технологии "умных" антенн**

Интеллектуальные антенные технологии "умных" антенн, в частности MIMO, представляют собой умные алгоритмы обработки сигнала, использующие антенные решетки с несколькими антеннами как в передатчике, так и в приемнике, что позволяет улучшать характеристики беспроводной связи. Поскольку данные технологии способны управлять направленностью приема или передачи сигнала и снижать помехи от других сигналов, то они могут поддерживать более высокие скорости передачи данных при одном и том же энергетическом балансе мощности передачи и эксплуатационных требованиях к коэффициенту ошибок по битам по сравнению с системой с одним входом и одним выходом (SISO). Например, технологии совместной передачи сигнала, в которых несколько базовых станций объединяются друг с другом и передают один или несколько потоков MIMO окончательному устройству, используя одну и ту же полосу частот, в перспективе готовы обеспечить потенциальное усиление или лучшие спектральные характеристики за счет увеличения отношения сигнала к помехе и шуму (SINR). В частности, распределенные антенные системы могут увеличить имеющуюся зону покрытия сети вблизи или в пределах перекрывающихся зон покрытия ячеек сотовой связи. Технологии на базе умных антенн позволяют обеспечить энергосбережение в беспроводных сетях [b-ATIS][b-Cui].

### **7.3.11 Ретрансляционная станция**

Ретрансляционная станция представляет собой передатчик, ретранслирующий или повторяющий сигнал другой базовой станции в зону, не охватываемую сигналом исходной станции. Ретрансляционная станция улучшает функциональные характеристики в беспроводных сетях, а также обладает энергосберегающим потенциалом, так как позволяет установить большее количество соединений между узлом-источником и узлом назначения. Кроме того, благодаря наличию ретрансляционных узлов данные могут передаваться по нескольким беспроводным линиям связи. Это означает, что каждая линия имеет каналы с независимыми замираниями, что позволяет улучшить усиление при разнесенном приеме и эффективность использования спектра. Следовательно, время, необходимое для передачи фиксированного количества данных, уменьшается, что приводит к снижению энергопотребления.

## **7.4 Технологии на уровне сетей**

### **7.4.1 Коммутация каналов и коммутация пачек данных**

В общем случае коммутация каналов потребляет меньше энергии, чем коммутация пакетов, поскольку механизм ее действия прост и не нуждается в запоминающих устройствах, потребляющих энергию, таких как SRAM и CAM, которые используются в основном для маршрутизации пакетов. Уже сейчас был отмечен случай, в котором на долю маршрутизации пакетов приходится 37% от общего потребления мощности маршрутизаторами [b-Baliga]. Это означает, что коммутация каналов может обеспечивать энергосбережение, так как не нуждается в функциях маршрутизации пакетов. Коммутация каналов особенно эффективна при передаче непрерывного трафика, в частности потокового видео, резкое увеличение объема которого ожидается в будущем. Проблема данной технологии заключается в том, что она не может реализовать статистическое мультиплексирование на уровне пакетов, в связи с чем эффективность использования линии и, как следствие, энергоэффективность сети могут быть снижены. Хорошо известно, что при коммутации каналов каждое соединение занимает всю линию. Даже при неплотных потоках трафика в том или ином соединении другие соединения не могут использовать оставшуюся часть ресурса.

Экономия потребляемой энергии в основных маршрутизаторах может также достигаться при помощи коммутации пачек данных. Отличительной особенностью данной технологии является то, что пакеты объединяются в пачки данных на граничных маршрутизаторах. Следовательно, используя пачки данных, механизм этой технологии уменьшает интенсивность операций в основных маршрутизаторах по вычислению заголовка каждого пакета [b-Kim]. Вариант коммутации пачек, используемый в оптических сетях, называется оптической коммутацией пачек. Ее целью является повышение эффективности использования сети при помощи статистического мультиплексирования. Отличительной особенностью данной технологии является то, что с помощью управляющего пакета зарезервированная полоса пропускания используется для пачек данных до начала передачи. Эта технология более эффективна в отношении использования полосы пропускания, чем оптическая коммутация каналов, так как значения времени установки существенно сокращаются по сравнению с оптической коммутацией каналов. Кроме того, по сравнению с сетью оптической коммутации пакетов она существенно снижает количество операций по обработке и энергопотреблению базовой сети [b-Peng]. Проблема данной технологии заключается в том, что ее сетевые рабочие характеристики подвержены влиянию механизма компоновки пачек данных.

### **7.4.2 Технические аспекты маршрутизации и трафика на основе потребления энергии**

Данная технология, используя технические аспекты маршрутизации/трафика, преднамеренно управляет маршрутом трафика для минимизации энергопотребления во всей сети. В этой технологии могут использоваться некоторые виды обработки трафика, в частности агрегирование трафика, маршрутизация по нескольким трассам и сетевое кодирование. Данная технология предполагает, что спящий режим или функции ALR/DVS, описанные в разделе 7.3, доступны в сетевых узлах. Если функция спящего режима доступна, то эта технология агрегирует трафик по ограниченному набору маршрутов и позволяет незадействованным узлам или линиям связи работать в спящем режиме и экономить неиспользованную энергию. Если функция ALR/DVS доступна, то данная технология распределяет трафик по множественным маршрутам таким образом, что каждый узел обрабатывает минимальный объем трафика и устанавливает скорость передачи информации по каналу связи или

напряжение на адекватном уровне, что позволяет сэкономить неиспользованную энергию. Проблема этой технологии заключается в способе обработки динамических характеристик трафика.

Если функция сетевого кодирования доступна, то данная технология снижает объем передачи пакетных данных путем кодирования отдельных пакетов в кодированный пакет на промежуточных сетевых узлах. Следовательно, она способствует экономии потребляемой энергии [b-Nagajothy]. Эта технология может иметь решающее значение в беспроводных сетях датчиков.

#### **7.4.3 Облегченный протокол**

Данная технология изучает использование протокола в сочетании с протоколами на других уровнях и оптимизирует его использование для облегчения общей обработки протокола в сети. Эта технология включает процедуру упрощения определенного сетевого протокола. Как правило, существует два подхода к решению вопроса. Один из них заключается в передаче трафика данных на нижних уровнях, что в целом является более простым и облегченным методом. Это может быть применимо к выделенной области, например к базовой сети. Другой подход заключается в упрощении протокола или его использования. Первый подход включает коммутацию с использованием меток, в частности многопротокольную коммутацию с использованием меток (MPLS), которая выполняется на уровне IP. Второй подход включает конвергенцию путем расширения функциональных возможностей IP от сети доступа до ее промежуточных линий, чтобы использовать построение сетей, полностью основанных на IP, в качестве общей платформы [b-ATIS]. Этот подход также включает модифицированный протокол TCP, который совершенствует алгоритм ретрансляции, а также управление и предоставление протокола беспроводных пунктов доступа (CAPWAP), снижающего накладные расходы на сигнализацию для беспроводной локальной сети (WLAN) [b-IETF CAPWAP]. Данная технология может сократить количество излишних функций сетевых узлов, что в свою очередь способствует энергосбережению.

#### **7.4.4 Составление графика передач**

Данная технология направлена на уменьшение количества буферных запоминающих устройств, которые должны эксплуатироваться или внедряться на сетевых узлах. Она контролирует количество и выбор времени передачи пакетов таким образом, чтобы можно было свести к минимуму время ожидания выходных данных на каждом узле и, следовательно, работать с меньшим количеством буферов, экономя при этом энергию. Проблема данной технологии заключается в том, что коэффициент потери пакетов ухудшается в том случае, если при помощи управления не удастся соблюдать расчетную буферную емкость. Если происходит сбой в составлении графика передач, то на узел приходит несколько пакетов, часть из которых могут не соответствовать расчетной буферной емкости. Следовательно, для того чтобы избежать потери пакетов, могут потребоваться дополнительные сетевые ресурсы вне узла назначения для выполнения графика передач. Отличие от ограничения скорости (раздел 7.3.8) состоит в том, что метод ограничения скорости работает в узле автономно, уменьшая максимальный объем входящего трафика, а метод составления графика передач работает совместно в нескольких узлах и управляет выбором времени передачи каждого пакета во избежание перегрузки внутри сети.

#### **7.4.5 Сеть доставки контента (CDN)**

Оптимизированная сеть разработана специально для доставки контента. Оптимизированная сеть CDN может экономить энергию, поскольку имеет доступ к серверу, который находится ближе, чем исходный сервер. Таким образом, в этой сети возможна экономия ресурсов, относящихся к полосе пропускания и расстоянию, и, как следствие, экономия энергии [b-Klein]. Проблема рассматриваемой технологии та же, что и у кэш-сервера, т. е. при небольшом коэффициенте успешности поиска в базах данных эта технология не столь эффективна.

#### **7.4.6 Смещение пиков трафика**

Данная технология осуществляет, насколько это возможно, сдвиг по времени передач пикового трафика. Она снижает максимальный объем размещаемого трафика, а затем сокращает суммарное потребление мощности, которое зависит от максимального трафика. Один из конкретных методов заключается в заблаговременном размещении популярного контента на основных кэш-серверах вне времени пиковой нагрузки.



#### 7.4.7 Проектирование малых ячеек

Данная технология заключается в использовании ячеек меньшего размера (микроячеек, пикоячеек и фемтоячеек) в тех местах, где высок спрос на услуги подвижной связи, в частности в деловых районах города, торговых центрах, аэропортах, университетских городках и крупных офисах для разгрузки трафика макроячеек. При использовании любых ячеек очевидно, что малая ячейка нуждается в меньшей мощности для передачи трафика данных по сравнению с макроячейкой, так как потеря мощности в беспроводном канале связи пропорциональна расстоянию распространения  $d^\alpha$ , где  $\alpha$  – показатель степени потерь на трассе, и таким образом может быть сэкономлена энергия для передачи радиосигнала. Однако если принимаются в расчет статическая мощность, мощность в цепи, мощность охлаждения узла, а также мощность передачи, то проектирование малых ячеек не всегда эффективно с точки зрения экономии энергии [b-Chen-a]. Поэтому наиболее энергоэффективной в данном случае является комбинация макроячеек и микроячеек с учетом практического измерения потребления мощности для оптимального планирования ячеек. Кроме того, технологии проектирования малых ячеек, как правило, реализуются в компактных базовых приемопередающих станциях (BTS), описанных в разделе 7.3.9, при этом макро-BTS формируют наложенные сотовые сети [b-SCELL][b-INST].

Кроме того, проектирование малых ячеек обладает потенциальным преимуществом, так как обеспечивает более точную и динамичную регулировку функционирования базовой станции с учетом ее окружения, чем большие ячейки. Что касается регулировки, то при проектировании малых ячеек могут использоваться энергоэффективные алгоритмы, в числе которых отключение в зависимости от покрытия, которое позволяет базовой станции обнаруживать существующее территориальное покрытие с помощью других станций и отключаться, включение спящего режима в зависимости от трафика, при котором при помощи анализа несущих обнаруживается работающее пользовательское оборудование (UE), а также временное отключение бездействующих малых ячеек [b-Claussen]. Одним из примеров являются фемтоячейки – небольшие маломощные и недорогие базовые станции, обслуживающие жилые зоны в домах. Из-за малого радиуса действия фемтоячейки могут обладать лучшим покрытием услуг голосовой связи и передачи данных внутри помещений, существенно снижают мощность передачи, продлевают срок службы батарей телефонов и обеспечивают более высокое отношение сигнала к помехам и шуму [b-Badic]. Снижение энергопотребления более подробно рассматривается в [b-Grant].

#### 7.4.8 Планирование сетей с учетом потребления энергии

Данная технология связана с проектированием и планированием в масштабах сети применительно как к проводным, так и к беспроводным сетям. До настоящего времени при сетевом планировании, как правило, учитывались рабочие характеристики и надежность, а повышению энергоэффективности и снижению воздействия на окружающую среду уделялось мало внимания. Эти факторы необходимо принимать во внимание при сетевом планировании. С этой целью следует собирать различные данные, в частности отчеты по энергопотреблению, а также традиционную информацию, такую как отчеты о сбоях в работе сети (например, количество случаев потерь, длительность периодов сбоя в работе).

Планирование сетей с учетом потребления энергии состоит из двух частей: статической и динамической. Статическая часть эффективна на этапе предварительной работы (проектирования сети). Для минимизации суммарного энергопотребления необходимо построить физическую сеть и сформировать принципы маршрутизации, при условии что будет включена предварительная оценка максимального объема трафика. С другой стороны, динамическая часть является эффективной на этапе эксплуатации. Для минимизации суммарного энергопотребления необходимо изменить маршрут существующего потока трафика или распределить новый дополнительный поток трафика, при условии что будет включен существующий измеренный трафик и новый трафик по запросу. Оба подхода имеют большое значение для энергосбережения в сети. Согласно [b-Chabarek] планирование сетей с учетом потребления энергии может способствовать достижению существенного энергосбережения. Одним из примеров динамического сетевого планирования в беспроводных сетях может служить изменение размера ячейки, при котором размер ячейки адаптируется в соответствии с колебаниями нагрузки трафика и требованиями пользователей. Данный метод может использоваться для распределения нагрузки путем передачи нагрузки от ячейки с большой нагрузкой к ячейкам с небольшой нагрузкой. Энергосбережение может быть достигнуто при помощи изменения размера ячейки вплоть до нуля, при котором нагрузка на трафик будет достаточно небольшой [b-Zhisheng].

## **8 Рассмотрение вопросов энергосбережения**

В первую очередь целевая область для энергосбережения описывается в разделе 8.1. Далее при этих предварительных условиях приводятся некоторые соображения в отношении направления, которое следует выбрать для реализации энергосбережения, исходя из сущности технологий, перечисленных в предыдущих разделах.

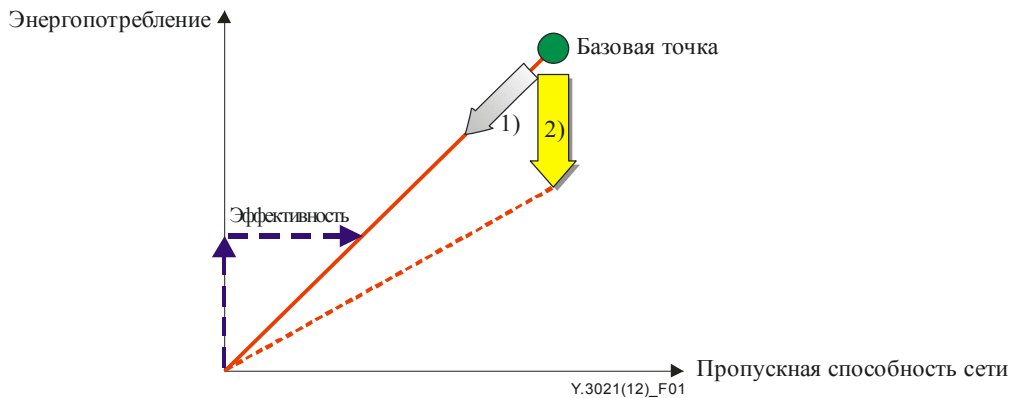
### **8.1 Целевая область настоящей Рекомендации**

- Экологически чистые будущие сети или будущие сети в помощь экологии  
В настоящей Рекомендации рассматриваются экологически чистые будущие сети (раздел 6.1).
- Этапы срока службы  
В настоящей Рекомендации особое внимание уделяется этапу использования (раздел 6.2).  
Данный этап включает предэксплуатационный и эксплуатационный этапы. Предэксплуатационный этап решает статический вопрос о том, как минимизировать объем сетевых ресурсов, подготовленных для заданной потребности в трафике при проектировке сети. Этап эксплуатации решает динамический вопрос о том, как можно использовать меньший объем сетевых ресурсов в соответствии с объемом трафика в заданный момент в процессе эксплуатации сети.
- Уровни технологий  
В настоящей Рекомендации рассматриваются три уровня технологий (уровни устройств, оборудования и сети).  
Каждая из технологий не является обособленной и работает совместно с другими технологиями на различных уровнях. Задача заключается в том, чтобы найти всеобъемлющее решение, в котором применяются все уровни технологий.
- Классификация методов энергосбережения  
В настоящей Рекомендации особое внимание обращается на технические методы.  
Существуют разнообразные методы, каждый из которых имеет собственный подход к решению задачи. Одни методы являются техническими, другие – нетехническими. Типичным примером нетехнического метода является законодательное регулирование, при котором каждой из заранее определенных групп пользователей выделяется индивидуальное время пользования сетями. Как технические, так и нетехнические методы имеют большое значение, но поскольку настоящая Рекомендация является техническим документом, то в ней в основном рассматриваются технические методы.

### **8.2 Принципы энергосбережения**

Принципы энергосбережения могут быть извлечены из самой сути технологий, перечисленных в предыдущих разделах. Эти принципы, описанные в разделах 8.2.1 и 8.2.2, будут полезны при рассмотрении соответствующей комбинации технологий для получения максимального экономического результата.

- Снижение требуемой пропускной способности сети (раздел 8.2.1):
  - уменьшение объема трафика для всей сети (раздел 8.2.1.1);
  - сдвиг трафика в часы пик, что позволяет снизить максимальную пропускную способность (раздел 8.2.1.2).
- Повышение энергоэффективности сетей (раздел 8.2.2):
  - управление работой устройств и/или оборудования в соответствии с динамикой трафика (раздел 8.2.2.1);
  - пересылка трафика при меньшей потребляемой мощности (раздел 8.2.2.2).



**Рисунок 1 – Энергопотребление в зависимости от пропускной способности сети**

## 8.2.1 Снижение требуемой пропускной способности сети

Данный подход основан на объеме трафика. Если объем трафика снижается, то необходимые сетевые ресурсы и пропускная способность также уменьшаются и, как следствие, снижается энергопотребление. Этот эффект изображен на рисунке 1 для раскрытия сути данного подхода.

### 8.2.1.1 Уменьшение объема трафика для всей сети

Этот подход является статическим. Он нацелен на снижение объема трафика, подлежащего пересылке устройствами или оборудованием. В качестве примера можно привести предоставление кэша на входе сети (т. е. ближе к пользователю), что позволяет сократить объем соответствующих сетевых ресурсов для контента, к которому осуществляется частый доступ.

### 8.2.1.2 Смещение трафика в часы пиковой нагрузки

Сдвиг трафика в часы пиковой нагрузки позволяет снизить максимальную пропускную способность. Это – динамический подход. Часть энергопотребления устройств или оборудования в первую очередь зависит от максимального объема трафика, который может быть размещен. Таким образом, при сокращении объема размещаемого трафика соответственно будет снижаться энергопотребление. Задачей является смещение данных по времени и урезание пикового трафика. Одним из примеров является планирование заданий, позволяющее заранее размещать популярный контент на кэш-серверах недалеко от пользователей в часы наименьшей нагрузки.

## 8.2.2 Повышение энергоэффективности сетей

В данном подходе рассматривается энергоэффективность сети, при этом предполагается, что требуемая пропускная способность сети остается неизменной. Этот эффект показан на рисунке 1 в качестве принципа сокращения энергопотребления. Данный подход требует обсуждения архитектурных аспектов на различных уровнях. Энергоэффективность сети в большинстве случаев может быть определена как пропускная способность сети, деленная на потребляемую мощность, то есть бит в секунду/ватт, и определяется здесь для пропускной способности сети, которая эквивалентна максимальной пропускной способности. Таким образом, если можно было бы повысить энергоэффективность сети при помощи некоторых методов, в частности усовершенствования устройств, например микротехнологий LSI на базе закона Мура, общее энергопотребление снизилось бы пропорционально этим улучшениям.

### 8.2.2.1 Управление работой устройств и/или оборудования в соответствии с динамикой трафика

Этот подход является динамическим. Существующие сетевые устройства или оборудование, как правило, работают при полной пропускной способности и на полной скорости независимо от колебаний трафика. Данный подход заключается в управлении работой устройств или оборудования в соответствии с колебаниями трафика. Одним из примеров может служить управление спящим режимом.

### **8.2.2.2 Пересылка трафика с меньшим потреблением мощности**

Этот подход является статическим. В настоящее время передача данных обычно производится по сложным многоуровневым протоколам. Целью данного метода является передача данных по упрощенному механизму с использованием более низких уровней, облегченных протоколов и так далее. Одним из примеров является оптическая сеть с меньшим применением электрического компонента.

Один из вопросов, требующих тщательного рассмотрения, – это целевой объект (т. е. услуга, оборудование) и период времени для измерения энергоэффективности сети. Как описано в разделе 3.2.2, эффективность определяется как пропускная способность передачи данных сети, деленная на потребляемую мощность (как правило, в бит/с/Вт). Проблема заключается в том, что скорость в бит/с сильно зависит от характера услуги (услуг), которая изменяется со временем, что приводит к различиям в значениях бит/с/Вт. Следовательно, необходимо надлежащим образом выбирать объект и период времени для измерения эффективности с учетом характерных особенностей услуги, пользователя (например, сквозной слуги или отдельной подсети) и т. д.

В разделах 8.3 и 8.4 обсуждаются подходы, более подробно описанные в разделах 8.2.1 и 8.2.2, и приводятся практические примеры использования различных технологий.

### **8.3 Управление работой устройств и/или оборудования в соответствии с динамикой трафика**

Технологии, основанные на динамике трафика, включают управление спящим режимом и динамическое изменение напряжения (DVS). Управление спящим режимом способствует энергосбережению путем перевода устройства в спящий режим, если оно не используется, а метод DVS заключается в снижении пропускной способности при пересылке трафика таких устройств как центральный процессор, сетевые карты и сетевые интерфейсные карты (NIC) в случае небольшого объема трафика. Эти технологии позволяют сэкономить больше энергии, если многие из узлов сети находятся в спящем режиме или у них снижено напряжение питания. По этой причине методы управления спящим режимом и DVS эффективны, если они применимы к сетям, для которых характерно большое количество устройств, возможно, для обеспечения широкой зоны покрытия, высокой потребности в трафике в часы пик при малом среднем объеме трафика и, следовательно, при низких коэффициентах использования устройств. Одна из проблем управления спящим режимом, как отмечено в разделе 7.3.1, касается метода обработки небольшого управляющего трафика, в частности сведений о маршрутизации. Одним из возможных методов решения этой проблемы является использование прокси-сервера. С другой стороны, одна из проблем метода DVS заключается в способе обработки трафика, состоящего из пачек данных. Это показано в разделе 7.3.2.

С точки зрения динамики интернет-трафик характеризуется динамической изменчивостью во времени и пространстве. Энергопотребление маршрутизаторов, с другой стороны, почти не зависит от мгновенного объема пересылаемого трафика. Соответственно перевод маршрутизаторов в спящий режим, когда в них не поступает трафик, обеспечивает возможность энергосбережения. Однако в существующей ситуации трафик распределяется для пересылки в сеть в соответствии с трассами, предварительно заданными протоколами маршрутизации или другими методами. Это означает, что трафик поступает в каждый маршрутизатор, даже если общий объем трафика невелик, в связи с чем необходимо, чтобы каждый маршрутизатор был включен постоянно. Таким образом, уточняется техническая задача – как управлять трассами трафика в сетях таким образом, чтобы маршрутизаторы могли переходить в спящий режим.

### **8.4 Пересылка трафика с меньшим потреблением мощности**

Технологии, нацеленные на снижение энергопотребления, включают использование микротехнологии LSI и оптического сетевого узла. Использование микротехнологий LSI позволяет снизить напряжение возбуждения и открывает перспективы для энергосбережения. Использование оптического сетевого узла значительно увеличивает возможности транспортировки и существенно повышает энергоэффективность сети, хотя и требует агрегирования трафика в качестве необходимого условия для обеспечения максимальной потенциальной пропускной способности. До настоящего времени эти технологии на уровне устройств в целях энергосбережения поддерживались напрямую.

Между тем технологии на уровне оборудования и сетей, как правило, не позиционируются как средства выполнения подобных задач, но обладают потенциалом для энергосбережения в будущем.

С точки зрения технологии пересылки данных IP-сети, такие как интернет, используют пакетную коммутацию. Тем самым достигается эффективное размещение нескольких приложений за счет применения статистического мультиплексирования. Другой стороной этой проблемы является тот факт, что дальнейшее увеличение скорости и пропускной способности линий передачи в будущем потребует применения для буферизации и маршрутизации специальных типов памяти с улучшенными функциональными характеристиками. Они обладают высокой скоростью, высокой емкостью и, следовательно, высоким потреблением мощности (например, статическое ЗУ с произвольным доступом (SRAM) и ассоциативное запоминающее устройство (CAM)). Однако для трафика видеосигналов, увеличение объема которого ожидается в будущем, характерна непрерывная генерация информации в одном направлении, тогда как сеанс, относящийся к видеотрафику, не изменяется, и принятие решений по маршрутизации должно происходить только по принципу "от сеанса к сеансу". Данная характеристика может устранить необходимость в устройстве CAM, которое изначально было предназначено для маршрутизации каждого пакета в отдельности и подходило для неоднородного трафика. Если исключить подобные устройства, потребляющие большую мощность, то появится техническая возможность сэкономить значительный объем энергии. Соответственно, одной из технических задач является создание нового механизма пересылки данных, не требующего применения подобных дорогостоящих видов памяти.

## 8.5 Классификация отдельных технологий

Отдельные технологии классифицируются на основе уровня их применения и метода, как показано в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация технологий

Уровень технологий	Снижение пропускной способности (раздел 8.2.1)		Повышение энергоэффективности (раздел 8.2.2)	
	Сокращение объема трафика (раздел 8.2.1.1)	Сдвиг пиковой нагрузки (раздел 8.2.1.2)	Динамическое управление (раздел 8.2.2.1)	Уменьшение потребляемой мощности (раздел 8.2.2.2)
Устройство			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Многоядерный CPU</li> <li>– Управление тактовыми сигналами</li> <li>– Виртуальная память с учетом мощности</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Микротехнологии LSI</li> <li>– Усовершенствованный усилитель мощности</li> </ul>
Оборудование	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Кэш-сервер</li> <li>– Фильтрация</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Сервер "извинений"</li> <li>– Ограничение скорости</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Управление спящим режимом</li> <li>– ALR/DVS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Оптический узел</li> <li>– Тепловой расчет</li> <li>– Компактные BTS</li> <li>– Технологии "умных" антенн</li> <li>– Ретрансляционная станция</li> </ul>
Сеть	<ul style="list-style-type: none"> <li>– CDN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Смещение пиков трафика</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Технические аспекты маршрутизации/трафика</li> <li>– Планирование сетей с учетом потребления энергии (динамическое)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Коммутация каналов/пачек данных</li> <li>– Облегченный протокол</li> <li>– Составление графика передачи</li> <li>– Проектирование малых ячеек</li> <li>– Планирование сетей с учетом потребления энергии (статическое)</li> </ul>

Все перечисленные энергосберегающие технологии являются полезными и демонстрируют возможности энергосбережения, которые должны поддерживаться сетями. Тем не менее имеет место значительное различие между трудностями, возникающими при достижении этой цели и в процессе сокращения потребляемой энергии. Для принятия решения о том, какие из технологий должны быть обязательными для будущих сетей, а какие – необязательными, необходимо проведение дополнительных исследований. Данный вопрос выходит за рамки настоящей Рекомендации. Предполагается, что все описанные технологии являются необязательными.

## **9 Возможные функции и их взаимодействие**

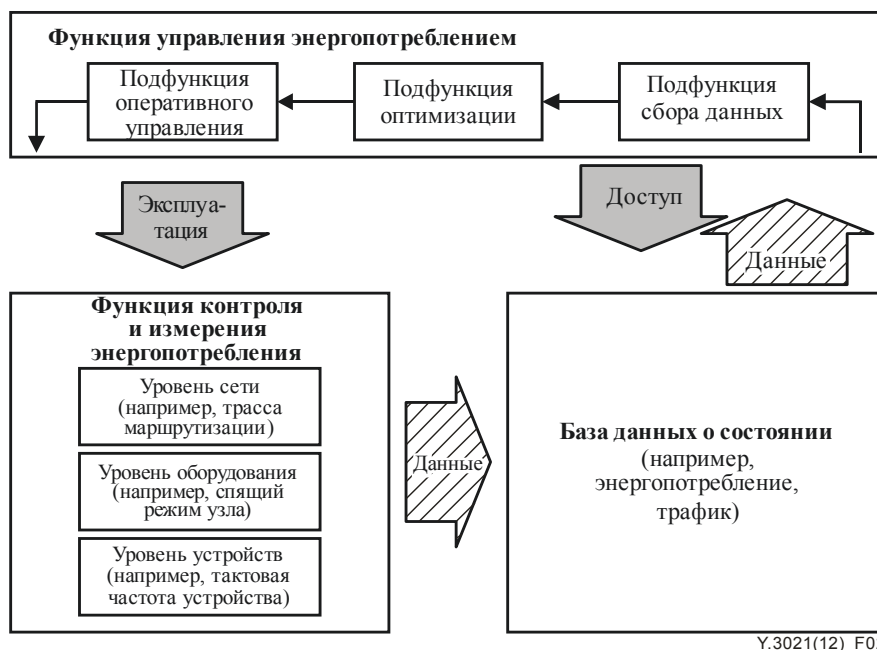
### **9.1 Возможные функции**

Как ранее обсуждалось в разделе 8 "Рассмотрение вопросов энергосбережения", экономия энергии внутри сетей имеет как статическую, так и динамическую составляющую. Что касается статической составляющей, задача энергосбережения внутри сетей включает оценку способов построения сетей на базе маломощных устройств, оборудования и технологий сетевого уровня на предэксплуатационном этапе (проектирования сети), а также сокращение до минимума суммарного энергопотребления для предварительно запланированного максимального объема трафика. Что касается динамической составляющей, задача энергосбережения внутри сетей включает оценку способов адаптации работы устройств, оборудования и технологий сетевого уровня в соответствии с изменяющимся фактическим объемом трафика на этапе эксплуатации, а также сокращение до минимума суммарного энергопотребления в соответствии с этой динамикой.

Для отражения статической составляющей в энергосбережении должны быть задействованы технологии трех уровней, описанные в виде процессов управления энергопотреблением на этапе построения сети. Чтобы отразить динамическую составляющую, в энергосбережении обычно должен задействоваться процесс управления, предполагающий сбор информации о текущих состояниях, ее анализ и выполнение наиболее целесообразных действий для обеспечения оптимального режима эксплуатации. Процессы управления могут быть определены на всех уровнях технологий: уровнях устройств, оборудования и сетей. Процессы управления могут существовать в каждом сетевом узле или на сервере управления сетью, контролирующем отдельное оборудование сети. Очевидно, что энергосбережение в масштабах сети требует взаимодействия между различными уровнями управления. Помимо указанных процессов для управления необходимо наличие базы данных, которая содержит информацию, касающуюся энергопотребления.

Ниже приведены возможные функции, которые в общем случае могут быть применимы к любой технологии энергосбережения. На рисунке 2 отобразены эти функции, включая базу данных, а также их взаимодействие.

- Функция контроля и измерения энергопотребления выполняет управляющие действия, направленные на сокращение энергопотребления, как это определено функцией управления энергопотреблением, а также получает информацию о состоянии по результатам измерения. Данная функция подразделяется на технологии уровней устройств, оборудования и сети.
- Функция управления энергопотреблением собирает основную информацию, рассчитывает оптимальные параметры эксплуатации и отправляет оперативные команды для функции контроля энергопотребления и функции измерения энергопотребления. Включает в себя три подфункции: подфункцию сбора данных, подфункцию оптимизации и подфункцию оперативного управления.
- База данных о состоянии – это база данных, которая собирает основную информацию о текущем режиме работы, полученную от функции контроля и измерения энергопотребления. Выдает набор данных о состоянии, в частности данные об энергопотреблении и объеме трафика.



**Рисунок 2 – Возможные функции**

Рисунок 2 представляет собой логическую схему. Расположение функций и базы данных в основном не зависит от конкретного оборудования.

### 9.1.1 Функция контроля и измерения энергопотребления

Функция контроля и измерения энергопотребления включает контрольный процесс и процесс измерения.

В качестве контрольного процесса функция контроля и измерения энергопотребления содержит набор разнообразных энергосберегающих технологий, описанных в разделе 7. Они подразделяются на технологии уровней устройств, оборудования и сети. Примерами для каждого уровня служат изменения тактовой частоты устройства, переход узла в спящий режим и изменения трассы маршрутизации, как показано на рисунке 2. Данная функция непосредственно связана с энергопотреблением и регулируется функцией управления энергопотреблением.

Кроме того, каждый уровень включает как статические, так и динамические технологии. Статическая технология сама по себе является отдельной технологией энергосбережения и не подвержена воздействию внешних функций. Примерами могут служить микротехнологии LSI и тепловой расчет. Динамическая технология управляется входными данными внешних функций. Примерами являются переход узла в спящий режим работы и маршрутизация на основе энергопотребления. При использовании статических технологий энергопотребление рассчитывается на предэксплуатационном этапе (проектирование сети) и является постоянным. В отличие от этого при использовании динамических технологий энергопотребление контролируется и оптимизируется на этапе эксплуатации. В структуре, изображенной на рисунке 2, функция контроля и измерения энергопотребления используется как на статическом, так и на динамическом этапах. На статическом (предэксплуатационном) этапе функция контроля и измерения энергопотребления формируется с использованием технологий трех уровней, не взаимодействуя с другими функциями. На динамическом (эксплуатационном) этапе функция контроля и измерения энергопотребления взаимодействует с другими функциями.

В качестве процесса измерения функция контроля и измерения энергопотребления содержит набор разнообразных энергоизмерительных технологий, которые на каждом уровне могут быть соотнесены с технологиями контроля энергопотребления. Эти технологии также подразделяются на технологии уровней устройств, оборудования и сети. Примерами измерения на каждом уровне являются частота, продолжительность спящего режима и использование линий связи.

Кроме того, если необходимо изменение параметров и метода измерения в соответствии с решением функции управления энергопотреблением, то функция контроля и измерения энергопотребления регулируется функцией управления энергопотреблением. Она помещает информацию о состоянии по результатам измерения в базу данных о состоянии. Параметры и метод измерений различаются в зависимости от типа технологий управления энергопотреблением, применяемых в данном узле или сети.

### 9.1.2 Функция управления энергопотреблением

Функция управления энергопотреблением получает доступ к базе данных о состоянии и управляет функцией контроля и измерения энергопотребления для минимизации суммарного энергопотребления. Она включает следующие три подфункции.

**Подфункция сбора данных** собирает необходимую информацию о состоянии сетевых узлов из базы данных о состоянии.

**Подфункция оптимизации** принимает решения о том, какие операции управления и на каком узле должны выполняться в целях минимизации суммарного энергопотребления.

**Подфункция оперативного управления** отправляет запрос на выполнение операций в адрес функции контроля и измерения энергопотребления сетевого узла.

### 9.1.3 База данных о состоянии

База данных о состоянии представляет собой базу данных, которая включает набор информации о состоянии, предназначенной для определения таких характеристик сетевого узла, как энергопотребление и трафик.

## 9.2 Модели комбинаций функций

Модели комбинаций нескольких функций, которые определяются описанной выше структурой, изображены на рисунке 3. На этом рисунке показаны три модели. Чем более широко распространяется применяемая модель, тем больше ожидается преимуществ от глобальной оптимизации и комбинации с локальной оптимизацией. На рисунке сплошная линия отображает поток сигнализации (операция/контроль/доступ), а пунктирной линией показан поток данных.

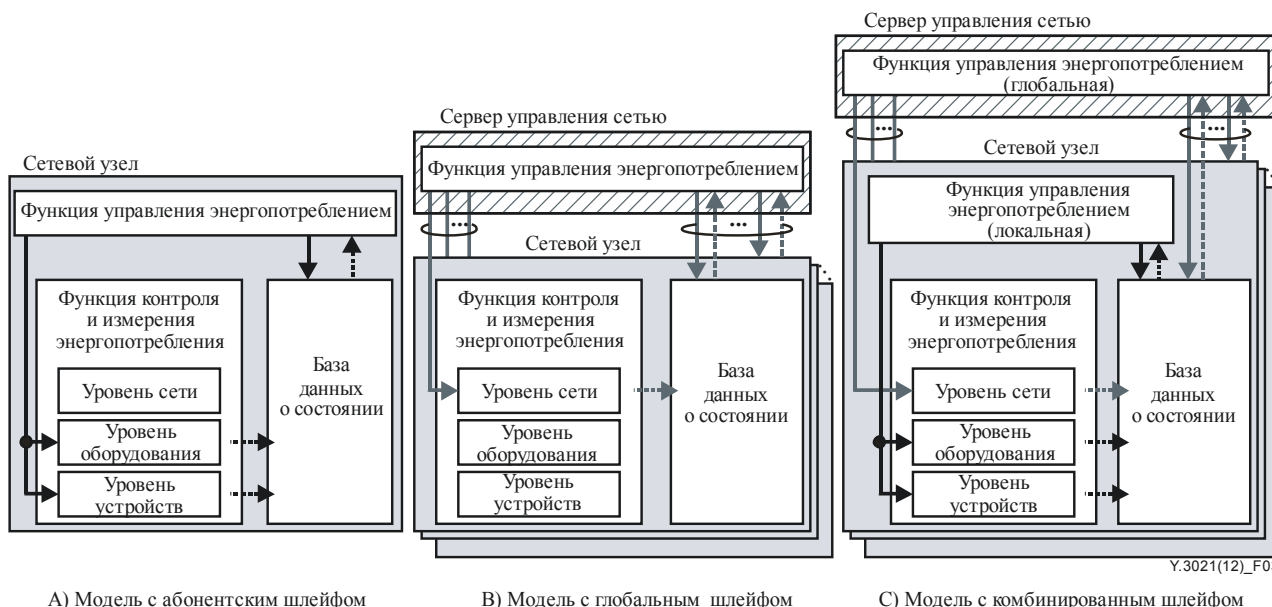


Рисунок 3 – Модели комбинаций энергосберегающих функций



**(А) Модель с абонентским шлейфом.** Как правило, эта модель реализуется на одном сетевом узле, таком как маршрутизатор или коммутатор. В одном узле существуют две основные функции и база данных. Абонентский шлейф управления замыкается в узле. Функция управления энергопотреблением выдает оперативные команды для функции контроля и измерения энергопотребления на уровне оборудования и устройств, поскольку данные уровни реализованы в одном узле. Данный шлейф предназначен для самооптимизации в каждом узле.

Типичным примером для этой модели может служить управление тактовой частотой устройства в зависимости от объема трафика.

**(В) Модель с глобальным шлейфом.** Как правило, реализуется на нескольких сетевых узлах и одном сервере управления сетью. Функция контроля и измерения энергопотребления и база данных о состоянии существуют в каждом сетевом узле, а функция управления энергопотреблением существует в сервере управления сетью. Глобальный шлейф управления расширяется до соответствующих узлов и сервера. Функция управления энергосбережением выдает оперативные команды для сетевого уровня функции контроля и измерения энергопотребления, так как данный уровень реализуется на нескольких узлах. Для данного шлейфа предполагается, что сервер управления сетью подключается к нескольким узлам и работает с ними в централизованном порядке.

Типичным примером такого шлейфа является преднамеренная маршрутизация, которая назначает маршрут с наименьшим потреблением энергии.

**(С) Модель с комбинированным шлейфом.** Как правило, эта модель реализуется на нескольких сетевых узлах и одном сервере управления сетью. Функция контроля и измерения энергопотребления и база данных о состоянии существуют в каждом сетевом узле, а функция управления энергопотреблением существует в сетевом узле и сервере управления сетью. Два вида функций управления энергопотреблением – глобальный и локальный – формируют два комбинированных шлейфа управления. Комбинированный шлейф управления, который включает абонентский шлейф и глобальный шлейф, действует среди них. Локальная функция управления энергопотреблением выдает оперативные команды для функции контроля и измерения энергопотребления на уровнях оборудования и устройств, поскольку данные уровни реализованы в одном узле. Глобальная функция управления энергопотреблением выдает оперативные команды для функции контроля и измерения энергопотребления на сетевом уровне, поскольку данный уровень распространяется среди нескольких узлов. В данной модели сервер управления сетью подключается к нескольким узлам и работает с ними в централизованном порядке, и каждый узел выполняет самооптимизацию на распределенной основе.

Типичным примером данной модели является маршрутизация на основе энергопотребления, в которой глобальный шлейф производит агрегирование маршрутов трафика, а абонентский шлейф переводит узел в спящий режим при отсутствии трафика.

## **10 Анализ влияния энергосберегающих технологий**

В данном разделе анализируется влияние энергосберегающих технологий в рамках сетей, особенно на аспекты рабочих характеристик. Во-первых, анализ выполняется в отношении влияния на сетевые рабочие характеристики, при этом задействованы исключительно энергосберегающие технологии (раздел 10.1). Затем выполняется анализ в отношении влияния энергосберегающих технологий на предоставление услуг путем оценки энергопотребления, при этом энергосберегающие технологии реализуются вместе с предоставлением новых услуг (раздел 10.2).

### **10.1 Влияние на рабочие характеристики сети**

Внедрение энергосберегающих технологий может изменять такие аспекты рабочих характеристик сети, как качество обслуживания, а также влиять на обеспечение безопасности.

С одной стороны, энергосберегающие технологии могут использовать дополнительные ресурсы или процессы. С другой стороны, энергосберегающие технологии могут снижать уровень использования ненужных ресурсов во времени и в пространстве, что позволяет задействовать минимальный объем ресурсов, например минимальное количество оборудования или минимальную полосу пропускания. В обоих случаях рабочие характеристики сети могут быть снижены и могут вызывать увеличение задержек, перегрузку, разрыв соединений и так далее. Например, технология спящего режима может

сократить энергопотребление. Но если выход из спящего режима отнимает много времени, то задержка соединения может увеличиться. Соответственно, необходимо избегать ухудшения рабочих характеристик сети или обеспечить попадание ухудшений в допустимый диапазон, который обычно определяется SLA (соглашением об уровне обслуживания). Это означает, что энергосберегающие технологии реализуются как компромисс между энергосбережением и ухудшением рабочих характеристик сети. Однако установление возможных допустимых уровней ухудшения зависит от предлагаемых приложениями услуг или от систем сети. Например, для обычной услуги электронной почты может быть допустима задержка в несколько секунд. Таким образом, влияние рабочих характеристик сети должно идентифицироваться и контролироваться, с тем чтобы определить, допустимо ли данное ухудшение услуг и попадает ли оно в приемлемый диапазон.

Следовательно, энергосберегающие технологии следует применять в том случае, если ухудшение рабочих характеристик сети, которое вызывается внедрением энергосберегающих технологий, попадает в приемлемый диапазон для конкретных услуг.

Эти влияния можно уточнить при помощи соотношений Шеннона по пропускной способности канала, таких как:

- эффективность развертывания в зависимости от энергоэффективности;
- полоса пропускания в зависимости от мощности только при заданной скорости передачи данных;
- задержка в зависимости от мощности;
- эффективность использования спектра в зависимости от энергоэффективности только для заданной имеющейся полосы пропускания.

Эти соотношения обратно пропорциональны на этапах сетевого планирования, эксплуатации и управления [b-Chen-b][b-Li]. Эти компромиссные соотношения должны быть учтены, если необходимо добиться энергосбережения при гарантированном качестве обслуживания.

## 10.2 Влияние на предоставление услуг

Предоставление новой услуги, которая обычно требует дополнительных потенциальных возможностей и ресурсов, может привести к увеличению энергопотребления. Внедрение энергосберегающих технологий совместно с предоставлением услуг может смягчить такого рода увеличение энергопотребления.

При предоставлении новых услуг увеличивается необходимый объем трафика и требуются дополнительные ресурсы. Соответственно суммарное энергопотребление, как и следует ожидать, увеличивается. Однако если энергосберегающие технологии внедряются одновременно с предоставлением услуг, суммарное энергопотребление может быть ниже, чем без данных технологий. Например, в обычной сотовой сети с применением макроячеек целесообразно в городских условиях устанавливать компактные базовые станции с малыми ячейками или ретрансляционную станцию, так что требования трафика к числу пользователей могут быть соблюдены с использованием меньшей мощности. Это означает, что энергосберегающие технологии могут компенсировать рост энергопотребления и повысить эффективность. Таким образом, при предоставлении новых услуг следует тщательно оценить выгоду от применения энергосберегающих технологий. Если внедряются еще более сложные энергосберегающие технологии, то может появиться вероятность сокращения энергопотребления до уровня, когда такое сокращение превысит объем увеличения из-за дополнительного трафика и ресурсов, а также может снизиться суммарное энергопотребление. В любом случае предоставление услуг следует осуществлять, соблюдая принцип, при котором увеличение электропотребления остается в допустимых пределах.

Следовательно, при предоставлении услуг энергосберегающие технологии должны применяться таким образом, чтобы увеличение энергопотребления, которое является результатом одновременного предоставления нескольких услуг, оставалось в допустимых пределах для соблюдения требований отдельных услуг (например, задержки, потери и т. д.).

## 11 Требования высокого уровня

Энергосбережение внутри сетей позволяет при помощи потенциальных возможностей сетей и надлежащих технических мер снизить энергопотребление этих сетей по сравнению с соответствующими сетями. Рекомендуется обеспечивать поддержку следующих пунктов.

### 1) Принципы (раздел 8.2)

- В целях энергосбережения внутри сетей рекомендуется сокращать объем трафика, пересылаемого устройствами или оборудованием.
- В целях энергосбережения внутри сетей рекомендуется сдвигать объем трафика в пиковое время, что позволяет снизить максимальную пропускную способность.
- В целях энергосбережения внутри сетей рекомендуется управлять работой устройств/оборудования в соответствии с колебаниями трафика.
- В целях энергосбережения внутри сетей рекомендуется пересылать трафик с меньшим потреблением мощности путем передачи данных по упрощенному механизму.

### 2) Функции (раздел 9.1)

- В целях энергосбережения внутри сетей рекомендуется поддерживать функцию контроля и измерения энергопотребления, функцию управления энергопотреблением и базу данных о состоянии.
- Функции контроля и измерения энергопотребления рекомендуется выполнять управляющие действия по сокращению энергопотребления, заданные функцией управления энергопотреблением, а также выполнять измерение энергопотребления. Рекомендуется, чтобы задействовались технологии на уровне устройств, оборудования и сетей.
- Функции управления энергопотреблением рекомендуется собирать основную информацию, рассчитывать оптимальный режим работы и выдавать оперативные команды для функции контроля и измерения энергопотребления. Рекомендуется, чтобы были включены подфункция сбора данных, подфункция оптимизации и подфункция оперативного управления.
- Для базы данных о состоянии рекомендуется собирать основную информацию о текущем режиме работы, полученную от функции контроля и измерения энергопотребления, такую как энергопотребление и трафик.

### 3) Влияние на рабочие характеристики (раздел 10)

- При внедрении энергосберегающих технологий рекомендуется применять их таким образом, чтобы ухудшение рабочих характеристик сети (вызванное внедрением данных технологий) не выходило за допустимые для рассматриваемых услуг пределы.
- При предоставлении услуг рекомендуется применять энергосберегающие технологии таким образом, чтобы увеличение энергопотребления, которое является результатом одновременного предоставления нескольких услуг, не выходило за допустимые пределы в целях соблюдения требований отдельных услуг (например, задержки, потери и т. д.).

## 12 Вопросы охраны окружающей среды

В настоящей Рекомендации приведен обзор будущих энергосберегающих технологий, относящихся к сетям, а также анализ результатов их внедрения, которые способствуют энергосбережению внутри сетей в будущем.

## 13 Вопросы безопасности

В настоящей Рекомендации энергосберегающие технологии обсуждаются на различных уровнях, например на уровнях устройств, оборудования и сетей. Заданы циклические взаимодействия между ключевыми функциями для определения структуры энергосбережения при строительстве и эксплуатации сетей.

Что касается статических технологий, они не должны создавать какие-либо дополнительные риски безопасности, поскольку никак не взаимодействуют с внешними функциями. Однако что касается динамических технологий, то учитывая, что они управляются внешними функциями, могут возникать проблемы с безопасностью. Такого рода риски в плане безопасности необходимо принимать во внимание для того, чтобы уменьшить потенциальные угрозы безопасности при внедрении энергосберегающих технологий.

Циклические взаимодействия между ключевыми функциями должны учитывать методы поддержания устойчивой работы, что является общей проблемой для механизмов, основанных на петлевой обратной связи. Поскольку этот риск зависит от эксплуатационных параметров циклических взаимодействий, то такие параметры должны быть тщательно отобраны. При внедрении каждой конкретной системы следует рассматривать дополнительные аспекты.

Поскольку некоторые технологии предусматривают приостановку процедур, например спящего режима, время ответа на запросы пользователей может отличаться от требуемого для нормальной работы. В настоящей Рекомендации отмечается, что ухудшение рабочих характеристик не должно выходить за допустимые пределы, особенно это касается общественной безопасности и электросвязи в чрезвычайных ситуациях.

## Библиография

- [b-МСЭ-Т G.992.3] Рекомендация МСЭ-Т G.992.3 (2009 г.), *Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии 2 (ADSL2)*.
- [b-МСЭ-Т G.992.5] Рекомендация МСЭ-Т G.992.5 (2009 г.), *Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии (ADSL) – ADSL2 с расширенной полосой (ADSL2plus)*.
- [b-МСЭ-Т G.997.1] Рекомендация МСЭ-Т G.997.1 (2009 г.), *Управление на физическом уровне для приемопередатчиков цифровой абонентской линии (ЦАЛ)*.
- [b-ATIS] ATIS 2010, *ATIS Report on wireless network energy efficiency*.
- [b-IETF RFC 5412] IETF RFC 5412 (2010), *Lightweight access point protocol*.
- [b-BBFORUM] Broadband forum TR-202 (2010), *ADSL2/ADSL2plus low-power mode guidelines*, issue 1.
- [b-IEEE P802.3az] IEEE P802.3az Energy efficient Ethernet Task Force.  
<<http://www.ieee802.org/3/az/index.html>>
- [b-IETF CAPWAP] IETF CAPWAP Working Group  
<<http://www.ietf.org/html.charters/capwap-charter.html>>
- [b-Badic] Badic, B. et al. (2009), *Energy efficient access architectures for green radio: large versus small cell size deployment*, *Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2009-Fall)*, IEEE, April, pp. 1-5.
- [b-Baliga] Baliga, J. et al. (2007), *Photonic switching and the energy bottleneck*, *IEEE Photonics in Switching*, August, pp. 125-126.
- [b-Chabarek] Chabarek, J. et al. (2008), *Power awareness in network design and routing*, *INFOCOM 2008*, IEE, April, pp. 457-465.
- [b-Chen-a] Chen, Y. et al. (2010), *Characterizing energy efficiency and deployment efficiency relations for green architecture design*, IEEE, International Conference on Communications Workshops (ICC).
- [b-Chen-b] Chen, Y. et al. (2011), *Fundamental trade-offs on green wireless networks*, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 49, No. 6, pp. 30-37.
- [b-Claussen] Claussen, H., Ashraf, I. and L.T.W. Ho (2010), *Dynamic idle mode procedures for femtocells*, *Bell Labs Technical Journal*, Vol. 15, No. 2, pp. 95-116.
- [b-Cui] Cui, S., Goldsmith, A.J., and Bahai, A. (2004), *Energy-efficiency of MIMO and cooperative MIMO techniques in sensor networks*, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 22, No. 6, pp. 1089-1098.
- [b-ESTAR1] ENERGY STAR (2008), *Computer specification Version 5.0*.  
<[http://www.energystar.gov/ia/partners/prod\\_development/revisions/downloads/downloads/computer/Version5.0\\_Computer\\_Spec.pdf?ef97-3c22](http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/revisions/downloads/downloads/computer/Version5.0_Computer_Spec.pdf?ef97-3c22)>
- [b-Fettweis] Fettweis, G. and Zimmermann, E. (2008), *ICT energy consumption – trends and challenge*, International symposium on wireless personal multimedia communications (WPMC), pp. 2006-2009.
- [b-Fili] Senza Fili Consulting (2010), *Compact base stations: a new step in the evolution of base station design*.  
<[http://www.senza-fili.com/downloads/SenzaFili\\_CompactBTS.pdf](http://www.senza-fili.com/downloads/SenzaFili_CompactBTS.pdf)>
- [b-GeSI] GeSI (2008), *Smart 2020 report*, Global e-Sustainability Initiative (GeSI).
- [b-Grant] Grant, P. (2010), *Green Radio Techniques for Improved Wireless Basestation Design*, IEEE.

- [b-Huang] Huang, H., Pillai, P., and Shin, K.G. (2003), *Design and implementation of power-aware virtual memory*, usenix.org.
- [b-INST] In-Stat, *Small Cell Base Stations Vital to 4G Deployments*.  
<<http://www.instat.com/newmk.asp?ID=2810&SourceID=00000652000000000000>>
- [b-Kim] Kim, Y., et al. (2010), *Analysis of energy consumption in packet burst switching networks*, 9th International Conference on Optical Internet (COIN), July, pp. 1-3.
- [b-Klein] Klein, T. *Next-Generation Energy Efficient Networks: Overview of the GreenTouch Consortium*, GreenTouch Consortium.  
<<http://www.greentouch.org/index.php?page=member-projects>>
- [b-Li] Li, G.Y. et al. (2011), *Energy-efficient wireless communications: tutorial, survey, and open issues*, Wireless Communications, IEEE, Vol. 18, No. 6, pp. 28-35.
- [b-Nagajothy] Nagajothy, M. and Radha, S. (2009), *Network lifetime enhancement in wireless sensor network using network coding*, International Conference on Control, Automation, Communication and Energy Conservation, INCACEC, June, pp. 1-4.
- [b-NICC ND1424] NICC ND 1424 (2008), *Guidelines on DSL power saving models and non-stationary noise in metallic access networks*.
- [b-Peng] Peng, S. et al. (2010), *Burst switching for energy efficiency in optical networks*, 2010 Conference on (OFC/NFOEC) Optical Fiber Communication (OFC), collocated National Fiber Optic Engineers Conference, March, pp. 1-3.
- [b-SCELL] Octasic, *Small cell basestations*.  
<[http://www.octasic.com/en/applications/wireless/small\\_cell.php](http://www.octasic.com/en/applications/wireless/small_cell.php)>
- [b-Zhisheng] Zhisheng, N. et al. (2010), *Cell zooming for cost-efficient green cellular networks*, *Communications Magazine*, IEEE, Vol. 48, No. 11, pp. 74-79.







## СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

Серия А	Организация работы МСЭ-Т
Серия D	Общие принципы тарификации
Серия E	Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы
Серия F	Нетелефонные службы электросвязи
Серия G	Системы и среда передачи, цифровые системы и сети
Серия H	Аудиовизуальные и мультимедийные системы
Серия I	Цифровая сеть с интеграцией служб
Серия J	Кабельные сети и передача сигналов телевизионных и звуковых программ и других мультимедийных сигналов
Серия K	Защита от помех
Серия L	Конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейно-кабельных сооружений
Серия M	Управление электросвязью, включая СУЭ и техническое обслуживание сетей
Серия N	Техническое обслуживание: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ
Серия O	Требования к измерительной аппаратуре
Серия P	Оконечное оборудование, субъективные и объективные методы оценки
Серия Q	Коммутация и сигнализация
Серия R	Телеграфная передача
Серия S	Оконечное оборудование для телеграфных служб
Серия T	Оконечное оборудование для телематических служб
Серия U	Телеграфная коммутация
Серия V	Передача данных по телефонной сети
Серия X	Сети передачи данных, взаимосвязь открытых систем и безопасность
<b>Серия Y</b>	<b>Глобальная информационная инфраструктура, аспекты протокола Интернет и сети последующих поколений</b>
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи