

Емельянов Алексей Константинович

Emelyanov Aleksey Konstantinovich

Экономический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова

Faculty of Economics, Moscow State University

Аспирант / postgraduate student

E-Mail: msk-expert@mail.ru

08.00.05 – Экономика народного хозяйства

05.02.22- Организация производства

Пути повышения энергоэффективности подсистемы базовых станций сетей сотовой связи

Energy saving for cellular network base station subsystem

Аннотация: Одной из приоритетных задач для операторов сотовой связи является повышение энергоэффективности подсистемы базовых станций. Хотя энергопотребление отдельной базовой станции невелико и составляет в среднем 3-7 кВт, затраты на энергоснабжение составляют 50-60% от всех операционных затрат, связанных с эксплуатацией станции. Подсистема базовых станций насчитывает тысячи базовых станций, поэтому снижение энергозатрат открывает значительные возможности для снижения себестоимости связи.

The Abstract: Reduction of base station subsystem energy consumption is an important challenge for the mobile network operators. Mean energy consumption of the typical base station varies between 3 and 7 kW. So 50-60 percents of the plant operating expenditures are comprised of electricity cost. Since base station subsystem includes thousands of base stations, then application of energy saving may cause significant expenses reduction. Two approaches are considered: the main and auxiliary equipment upgrade and the use of alternative energy sources.

Ключевые слова: Энергосбережение, сотовая связь, обзор, использование альтернативных источников энергии, энергосберегающие технологии.

Keywords: Energy saving, mobile, cellular network, review, alternative energy applications, energy-efficient technology.

В настоящее время уровень фактического проникновения сотовой связи среди взрослого населения России близок к 100%, т.е. этап экстенсивного развития (т.е. развития за счет быстрого роста абонентской базы) завершен. Дальнейшее развитие рынка сотовой связи происходит за счет расширения пакета услуг (в первую очередь, за счет услуг передачи данных) и снижения их стоимости. В отдельное направление выделяется обеспечение сотовой связи на территориях с малой плотностью населения, вдоль автотрасс и железных дорог.

В таких условиях важной задачей становится снижение операционных затрат на эксплуатацию сети, в которых наиболее значительная часть приходится на электроснабжение (40-50% от общих затрат на эксплуатацию системы базовых станций [5]). Для базовых станций, размещенных в труднодоступных и удаленных местах, доля этих затрат еще выше, т.к. требуется либо строить протяженные линии электропередач, либо использовать автономные источники энергии (обычно дизельные генераторы).

В данной работе проводится обзор различных подходов к повышению энергоэффективности подсистемы базовых станций. В первой части описывается общая структура затрат и специфика работы базовых станций, во второй — приведены различные способы снижения энергопотребления.

1. Структура затрат в подсистеме сотовой связи

Затраты, связанные с эксплуатацией базовых станций, делятся на 3 группы: затраты на эксплуатацию оборудования БС, затраты на эксплуатацию антенно-мачтовых сооружений, затраты на эксплуатацию линий связи. В каждой из групп можно выделить затраты на проведение регламентных и аварийных работ и затраты на расходные материалы и снабжение энергией.

Регламентные работы как правило производятся с частотой 1-2 раза в год. Они включают в себя осмотр и оценку состояния различных элементов системы, плановые замены изнашивающихся элементов (например, фильтров климатической системы и аккумуляторных батарей). Регламентные работы на вышках базовых станций требуют разрешения на верхолазные работы.

Аварийно-ремонтные работы производятся по мере необходимости. Как правило на сроки исполнения таких работ накладываются достаточно жесткие ограничения (несколько часов), что требует поддерживать готовность аварийных бригад круглосуточно. Современные средства автоматизации позволяют дистанционно проводить мониторинг работы базовых станций и диагностику их оборудования, что значительно облегчает работу обслуживающего персонала.

Типовая структура операционных затрат на эксплуатацию одной базовой станции (без учета обслуживания линий связи и антенно-мачтовых сооружений) приведена в таблице. Более половины затрат приходится на энергоснабжение, примерно треть энергии расходуется вспомогательными системами (охлаждение и питание).

(а) Структура операционных затрат на эксплуатацию базовой станции		
Статья затрат	затраты, евро/год	доля, %
программное обеспечение	626	18
кондиционеры	192	6
система питания	385	11
электропитание	1944	56
прочие затраты	315	10
(б) Структура энергопотребления базовой станции		
Оборудование	доля, %	
приемопередатчики и цифровое оборудование	62	
система охлаждения	25	
система питания	11	
прочее	2	

Таблица: Операционные затраты на обслуживание базовой станции (а). Энергопотребление оборудования типовой базовой станции [24, стр. 148], [23] (б).

При размещении базовых станций в городах или вблизи населенных пунктов проблем с организацией энергоснабжения обычно не возникает, т.к. существует возможность подключения к местной электрической сети. В случае, если подключение к электрической сети по какой-либо причине невозможно или слишком затратно (например, требуется построить протяженную линию электропередач), используются автономные источники питания. Обычно таким источником является *дизель-генераторная установка (ДГУ)*. В этом случае объем и частота регламентных работ значительно возрастают: требуется постоянный подвоз топлива и проверка состояния генератора.

На суммарное энергопотребление базовой станции влияет множество факторов. В [24] приведены результаты исследования энергопотребления 95 базовых станций в Италии. Среднегодовое энергопотребление одной станции составило 35300 кВтч, что соответствует средней мощности примерно в 4 кВт. При этом среднее энергопотребление базовых станций стандарта UMTS (примерно 3 кВт) несколько ниже, чем для стандарта GSM (4.5 кВт), что обусловлено различной выходной мощностью передатчиков.

Энергопотребление конкретной базовой станции сильно зависит от состава оборудования. Грубо базовую станцию можно представить следующим образом: в помещении (контейнере) на стойках располагается основное оборудование станции (радиомодули, цифровые модули и т.п.), его нормальная работа обеспечивается вспомогательным оборудованием: системой питания (включающей также блок бесперебойного питания с аккумуляторами) и система климат-контроля. В зависимости от числа радиомодулей максимальное энергопотребление базовой станции стандарта GSM составляет от 2-3 кВт (1 радиомодуль) до 5-6 кВт (6 радиомодулей) [4], [24, рис. 4]. Имеет место так называемый “каскадный эффект” энергосбережения: например, при сокращении энергопотребления основного оборудования уменьшается тепловыделение, что вызывает уменьшение энергозатрат на охлаждение, в результате снижаются требования к системе питания и емкости аккумуляторов. Т.е. снижение энергопотребления основного оборудования на 1 Вт ведет к снижению потребления на уровне всей системы на более значительную величину.

Энергопотребление базовой станции зависит также от ряда внешних факторов. Колебания температуры наружного воздуха приводят к изменению нагрузки на систему охлаждения. Амплитуда колебаний энергопотребления при этом соответствует мощности кондиционера, входящего в систему охлаждения (от 0.8 до 2 кВт). Пик энергопотребления приходится на солнечные летние дни. Система энергоснабжения должна обеспечивать необходимый запас мощности для прохождения этого пика. Энергопотребление слабо зависит от способа размещения станции (контейнер, помещение) [24]. В случае современных станций, оборудованных системами энергосбережения, потребляемая мощность зависит также от числа активных абонентов, подробно вопрос рассмотрен в [23].

2. Современные тенденции повышения энергоэффективности подсистемы базовых станций

Выделяются два основных, хотя и тесно взаимосвязанных, направления: снижение энергопотребления базовой станции и использование альтернативных источников электроэнергии. По мере снижения энергопотребления базовой станции, применение альтернативных источников энергии становится все более оправданным, однако в целом ниша их применения остается сильно ограничена.

2.1. Снижение энергопотребления базовой станции

Выделяется несколько путей снижения энергопотребления [10, 24, 23].

Обновление устаревшего оборудования. Электронное оборудование постоянно совершенствуется, современные базовые станции обладают меньшим энергопотреблением за счет лучшей оптимизации работы передатчиков, совершенствования цифровых модулей и т.п. При этом совершенствование происходит как на уровне элементарной базы (например, использование специально разработанных усилителей с меньшими потерями энергии, переход к цифровой обработке сигналов и т.п.), так и за счет совершенствования алгоритмов работы оборудования (совершенствование схем подавления помех, распределения доступных частот и т.п.) [23]. Например, в стандартах четвертого поколения предусмотрена возможность варьировать ширину используемого спектра под конкретный уровень нагрузки и шума. Совершенствуется и вспомогательное оборудование. Так, например, КПД современных блоков питания доходит до 95% по сравнению с 80% для более старых модификаций, интерес представляет использование энергосберегающих ламп для обозначения вышек базовых станций.

Системы динамического энергосбережения (Dynamic Energy Saving, Power Saving Mode). Эта технология позволяет отключать или переводить в режим энергосбережения неиспользуемые модули базовых станций. Система динамического энергосбережения может работать на разных уровнях: отключение радиоблоков или отдельных модулей БС, отключение частот, отдельных услуг [13]. Системы сотовой связи проектируются исходя из максимальной плотности абонентов, на основе которой определяется необходимая емкость базовых станций (число радиоблоков). Поэтому, если в зависимости от времени суток число активных абонентов претерпевает сильные изменения, емкость базовых станций в течение некоторых периодов времени не используется полностью. Системы динамического энергосбережения позволяют отключать неиспользуемые радиоблоки, что снижает суточное энергопотребление на 10–15% в зависимости от условий работы станции [24]. Наибольший эффект такие системы энергосбережения дают ночью, в то время как днем постоянная активность абонентов не позволяет активировать соответствующие функции.

В случае территорий с малой плотностью абонентов системы динамического энергосбережения не дают существенного эффекта, т.к. из-за необходимости сохранения покрытия передатчики не могут быть отключены.

Производители базовых станций как правило предлагают опции динамического энергосбережения как некий дополнительный функционал, активируемый при помощи программного обеспечения.

Дальнейшее развитие подхода динамического энергосбережения — отключение части базовых станций (при наличии избыточного покрытия) [27]. В этом случае система энергосбережения работает уже на уровне участка сети сотовой связи. Применение данного подхода возможно только на территориях с избыточным покрытием, т.к. иначе часть местности выпадет из зоны покрытия сети. Как правило такая избыточность возникает естественным образом, когда емкость сети в местах скопления абонентов наращивается за счет размещения дополнительных базовых станций.

Избыточность можно запланировать изначально, проектируя гетерогенную сеть (сеть, состоящую из сот разного радиуса, например, образующих двухуровневое покрытие: из макросот и из микросот). Микросоты потенциально обладают меньшим энергопотреблением, т.к. затухание радиосигнала для них существенно выше. Однако оценки [25] показывают, что такой подход не дает существенных преимуществ. Второй путь к созданию искусственной избыточности состоит в использовании ретрансляторов [27, 12, 11]. Он будет рассмотрен

подробнее ниже.

Выносные радиоблоки и распределенные антенные системы. Потребление базовой станции можно снизить за счет использования выносных радиоблоков и распределённых антенных систем (Distributed Antenna Systems, DAS) [24], [8], [10]. Выносные радиоблоки устанавливаются на вышке непосредственно рядом с антеннами, остальное оборудование размещается у основания вышки. При такой компоновке значительно уменьшается длина линий радиопередач (фидеров), что снижает их стоимость и уменьшает потери при передаче радиосигнала к антенне. Т.к. радиоблоки вынесены за пределы контейнера базовой станции, снижается нагрузка на систему охлаждения. Большинство производителей базовых станций в настоящее время предлагают решения на основе выносных модулей.

В случае использования распределенной антенной системы вместо традиционных секторальных антенн используются выносные узлы DAS, располагаемые так, чтобы обеспечить нужное покрытие. Распределенная антенная система может строиться на основе фидеров и пассивных разделителей сигнала или на основе активных повторителей сигнала (репитеров). Такие системы часто применяются для обеспечения связи в метрополитене, в крупных торговых центрах. Дальнейшее развитие этой системы заключается в замене узлов DAS выносными радиоблоками с антенной. В этом случае мы имеем дело уже с распределенной базовой станцией.

В результате применения этого подхода уменьшается расстояние до абонента, что позволяет снизить выходную мощность передатчика. При этом возникает значительный каскадный эффект: снижение выходной мощности передатчика на 1 Вт может дать до 28 Вт суммарной экономии энергии [26]. В случае распределенной системы за счет ресурсов одной базовой станции можно покрыть большую территорию. Однако реальные значения экономии оценить трудно.

Дальнейшее идеологическое развитие этого подхода связано с использованием ретрансляторов (relay). Ретранслятор принимает радиосигнал, усиливает его и переизлучает снова. При использовании традиционных ретрансляторов (репитеров) сигнал переизлучается на той же несущей частоте, что приводит к опасности самовозбуждения и сильно усложняет процедуру установки. Существуют модификации ретрансляторов, где эта проблема решается выбором других частотных или временных каналов в рамках диапазона GSM [12], однако в этом случае происходит дополнительный отбор емкости радиоканала GSM, и усложняется устройство ретранслятора (требуется декодировать и обрабатывать полученные сигналы). В [6] предлагается концепция ретрансляторов с переносом емкости. Связь между ретранслятором и базовой станцией осуществляется по радиорелейной линии на частоте вне диапазона частот GSM, при этом снимается проблема самовозбуждения при сохранении простоты устройства ретранслятора (нет необходимости декодировать сигнал).

Рассмотрим структуру сети с переносом емкости подробнее [6]. Цифровой блок базовой станции позволяет подключить несколько приемопередатчиков для обслуживания разных частот и секторов связи. Такое решение позволяет варьировать емкость базовой станции. При развертывании сети на основе ретрансляторов с переносом емкости на вышке базовой станции размещаются только два приемопередатчика (минимально необходимое число для покрытия всех направлений), вместо остальных приемопередатчиков через радиорелейную линию подключаются ретрансляторы, размещенные на других вышках и мачтах. В результате ретрансляторы получают полную функциональность базовой станции, но при этом не требуют для своего размещения полной инфраструктуры базовой станции.

Ретранслятор существенно проще, чем оборудование базовой станции, он может

устанавливаться на облегченной вышке, не требует линий оптоволоконной связи, обладает пониженным энергопотреблением. Ретрансляторы сети с переносом емкости не осуществляют обработку сигналов сотовой связи, поэтому могут применяться не только для развертывания сетей стандарта GSM. Сеть с ретрансляцией может гибко подстраиваться к особенностям территории. Существует возможность широко варьировать число ретрансляторов на вышках, в зависимости от плотности абонентов (при этом число ретрансляторов, подключенных к одной базовой станции, все же остается ограниченным возможностью цифрового блока). Для обеспечения максимальной площади покрытия хорошо подходит стандартное сотовое размещение: вокруг базовой станции размещаются шесть вышек с ретрансляторами. Для обеспечения связи вдоль линейных объектов (автодороги, железные дороги) вышки следует размещать последовательно.

Данный подход дает существенные преимущества на территориях с малой плотностью абонентов (все обслуживаемое оборудование концентрируется в основном на опорных базовых станциях, эффективно используется их емкость и т.д.)

В работах [27, 12, 11], ретрансляторы рассматриваются как средство создания избыточного покрытия, позволяющего эффективно применить технологию динамического отключения базовых станций. Для соединения ретрансляторов с опорной базовой станцией предлагается использовать либо проводные линии связи, либо часть каналов диапазона GSM. Основная идея состоит в том, что в случае малой нагрузки часть базовых станций отключается, а связь на их территории обеспечивается за счет ретрансляторов и емкости оставшихся станций. В случае высокой нагрузки те же ретрансляторы используются для перераспределения ее между базовыми станциями. Дополнительный эффект дает сокращение расстояния между антенной и абонентом. Математическое моделирование (на достаточно упрощенной модели) показывает возможность существенного (порядка 40%) снижения энергопотребления в подобной системе [12] в моменты низкой загруженности сети (например, ночью). Более подробный анализ проведен в [22]. На настоящий момент описанные технологии использования ретрансляторов относятся к перспективным и ожидают внедрения и испытания на реальных объектах.

Совершенствование вспомогательных систем. Вспомогательное оборудование базовой станции включает систему охлаждения и систему питания. Типовая система охлаждения базовой станции построена на основе кондиционера — обычно бытовой сплит-системы. Наиболее чувствительным к температуре оборудованием, размещенным внутри контейнера, являются аккумуляторы источника бесперебойного питания. Они представляют собой герметичные свинцовые батареи, срок службы и емкость которых сильно зависят от температуры. Поэтому от системы охлаждения требуется поддержание температуры порядка +18–23°C. В то же время остальное оборудование базовой станции может работать в более широком диапазоне температур.

Пути снижения энергопотребления несколько. Можно повысить максимально допустимую температуру внутри контейнера (в ущерб сроку службы батарей). Согласно отчету компании Vodafone Portugal за 2008 г. такое решение позволяет экономить примерно 2750 кВт ч в год на каждой базовой станции (т.е. примерно 7-8% от общего энергопотребления).

Еще одно распространенное решение заключается в использовании естественного охлаждения [2;3]. Этот подход особенно эффективен в случае “достаточно холодного” климата, когда большую часть года температура воздуха снаружи контейнера ниже, чем максимально допустимая температура внутри контейнера. Энергопотребление такой системы при температуре наружного воздуха 5°C примерно в 6 раз ниже, чем типовой сплит-системы эквивалентной холодопроизводительности [4]. Обычно устанавливают комплексную систему,

состоящую из вентилятора охлаждения внешним воздухом и сплит-системы, причем кондиционер включается только, если естественного охлаждения оказывается недостаточно. Так на БС оператора сотовой связи “Енисейтелеком” наработка кондиционера в составе подобной системы составила 2.6 % от общего времени работы за 2 года. Например, такой комплексной системой является FlexiBox компании Dantherm.

Дальнейшим развитием подобных систем охлаждения является использование индивидуальной системы охлаждения для аккумуляторных батарей [4, 2]. Такая система требует интеграции с системой охлаждения контейнера, но требования на диапазон температур в контейнере БС снижаются без ущерба к сроку службы и емкости аккумулятора. В [2] на графике энергопотребления видно, как при росте температуры вне контейнера энергопотребление системы с естественным охлаждением вырастает скачком, когда температура вне контейнера превышает 18°C, с уровня порядка 200 Вт до 800-900 Вт (за счет включения кондиционера), в то время как энергопотребление системы с индивидуальным охлаждением аккумуляторной батареи начинает рост только в районе 28°C.

Указанные методы не позволяют существенно снизить энергопотребление при высоких температурах воздуха, т.к. в этих случаях для поддержания нужной температуры неизбежно требуется включение кондиционера. Радикальным решением является переход от аккумуляторных батарей к топливным элементам [3]. Топливный элемент представляет собой устройство, напрямую преобразующие химическую энергию в электрическую. В современных топливных элементах в качестве реагентов обычно используется водород и атмосферный кислород. Для обеспечения бесперебойной работы БС мощностью 2 кВт в течение суток потребуется 7 стандартных 40 л баллонов водорода [3]. При этом по сравнению с потерей емкости аккумуляторов утечки водорода пренебрежительно малы, дозаправка необходима только после длительной работы без внешнего источника энергии. Топливные элементы устойчиво работают в диапазоне температур от -30 до 60 °С, что позволяет полностью исключить активное охлаждение. Определенные сложности может вызвать снабжение такой системы водородом. Для продления срока службы топливных элементов требуется чистый водород, доступный в основном, только в крупных областных центрах. Положительный опыт применения топливных элементов на объектах связи есть у США и Нигерии, тестировали подобные системы и российские операторы.

2.2. Использование альтернативных источников энергии

Альтернативный источник энергии — способ, устройство или сооружение, позволяющее получать электрическую энергию (или другой требуемый вид энергии) из энергии возобновляемых или практически неисчерпаемых природных ресурсов и явлений и заменяющее собой традиционные источники энергии. Соответственно, альтернативная энергетика включает различные группы технологий: солнечная энергетика (солнечные коллекторы, фотоэлектрические элементы), ветроэнергетика, нетрадиционная гидроэнергетика (микро ГЭС, приливные ГЭС и т.д.), биотопливо, геотермальная энергетика. В последнее десятилетие альтернативной энергетике уделяется много внимания, многие страны имеют проекты развития альтернативной энергетики. При этом себестоимость получаемой энергии, зачастую не позволяет напрямую конкурировать с традиционной энергетикой. (Причины: малая пространственная плотность энергии, непостоянный во времени выход энергии, географические привязки).

Ситуация меняется при необходимости организовать электроснабжение удаленных маломощных потребителей. При этом для подключения таких потребителей к сети требуется строить длинные низковольтные линии электропередач, что увеличивает потери при передаче энергии и приводит к дополнительным затратам. Так, например, в США многие фермерские

хозяйства не подключены к общим энергетическим сетям по этой причине [9]. “Критическая” длина низковольтной ЛЭП равна примерно 10 км.

Применение альтернативных источников энергии в системе энергоснабжения базовой станции обладает определенной спецификой. Во-первых, выдаваемая мощность должна находиться в диапазоне 2–5 кВт в зависимости от состава оборудования станции. Во-вторых, система энергоснабжения должна быть способна длительное время работать без участия человека и требовать минимального обслуживания, и, наконец, местоположение станции не может привязываться к положению источника энергии. Эти требования оставляют только три группы технологий альтернативной энергетики: фотоэлектрические элементы (солнечные батареи), ветрогенераторы и микроГЭС (ограниченное применение) [9]. Разберем подробнее эти направления.

МикроГЭС. Обычно микрогидроэлектростанциями (микроГЭС) называют гидроэлектростанции мощности не превышающей 100 кВт. Основная проблема использования микроГЭС состоит в необходимости локализации потребителя вблизи рек, что ограничивает применимость такой технологии. С другой стороны, ГЭС является надежным источником энергии, малоподверженным дневным и сезонным колебаниям мощности, способным полностью удовлетворить потребность базовой станции в энергии с минимальными затратами. В настоящий момент подобные системы достаточно успешно используются на объектах сельского хозяйства [1]. Хотя имеется достаточный выбор оборудования для микроГЭС (существует около десятка только российских производителей такого оборудования: научно-техническое объединение “ИНСЭТ”, НПО “РАНД”, АО “ТЯЖМАШ”, ООО “МАГИ-Э” и др.), как правило, для установки каждой из них требуется проводить индивидуальное проектирование и, возможно, проведение работ по созданию гидротехнических сооружений [7, гл. 1].

Ветровые энергетические установки. В отличие от микроГЭС ветрогенераторы (ветроэлектрические установки, ВЭУ) выпускаются серийно (преимущественно зарубежными производителями). Основная сложность использования ветрогенераторов состоит в непостоянстве выдаваемой ими мощности. Более того, ветрогенераторы могут работать только, если сила ветра находится в определенном диапазоне [9]. Непостоянство компенсируется за счет использования аккумуляторной батареи или иного (дополнительного) источника энергии. Следует отметить, что аккумуляторная батарея должна удовлетворять повышенным требованиям к числу циклов перезарядки. При этом даже, если ветрогенератор обладает достаточным запасом мощности, все равно обычно требуется установка дополнительного источника энергии (обычно дизель-генераторной установки, ДГУ). Указанные факторы вызывают сложности при проектировании энергоустановки, т.к. оптимальные значения установленной мощности, емкость аккумуляторов, мощность и запас топлива ДГУ зависят от климатических факторов, анализ которых требует дополнительных усилий [10]. Отдельной инженерной задачей является также установка отдельных мачт для ветрогенераторов.

Фотоэлектрические элементы. Как и в случае с ветрогенераторами, эффективность использования солнечных панелей сильно зависит от погодных условий. В облачные дни поток солнечного излучения уменьшается многократно (плотность потока энергии солнечного излучения у входа в атмосферу 1360 Вт/м², однако у поверхности Земли в облачные дни она падает до 100 Вт/м² и ниже). Выдаваемая мощность подвержена суточным и сезонным колебаниям. В высоких широтах сезонные колебания увеличиваются, что еще больше затрудняет применение фотоэлектрических элементов. Последняя проблема частично решается за счет установки оборудования для слежения за солнцем, но это усложняет конструкцию системы. Проблемы вызываемые колебаниями выдаваемой мощности решаются

тем же способом, что и в случае использования ветрогенератора. Следует отметить, что пик мощности солнечных панелей совпадает с пиком потребления энергии системой охлаждения БС. Существует много различных типов солнечных панелей: многослойные и однослойные на основе арсенида галлия, на основе монокристаллического и поликристаллического кремния, тонкопленочные СФЭТ (приведены в порядке убывания КПД и стоимости). Срок службы солнечных панелей ограничен временем деградации фотоэлементов (около 20-30 лет). Из особенностей использования солнечных панелей следует отметить также необходимость выделения значительных площадей для их размещения. Так, в [24] проводились эксперименты с использованием солнечных панелей для энергоснабжения БС: установка с кремниевыми панелями площадью 20 м² позволила получить только 2640 кВтч в год, т.е. приблизительно 7% от требуемого объема энергии. Для автономной системы с ветрогенератором и солнечными панелями оценочная площадь составляет 50-60 м². В [9] проведен анализ, дающий схожие площади солнечных панелей, для увеличения КПД предлагается использовать концентраторы и устройства слежения за солнцем.

Совместное использование ветроустановок и фотоэлектрических элементов. В такой системе оборудование компенсации колебаний мощности делается общим, а сами колебания сглаживаются. Оптимальное соотношение установленных мощностей ветрогенератора и солнечных панелей зависит от климатических условий. С целью преодолеть указанные недостатки ветрогенераторов и солнечных панелей производители систем автономного энергоснабжения предлагают унифицированные модульные системы, включающие ветрогенераторы, фотоэлектрические элементы, дизельный генератор, аккумуляторные батареи и систему управления, распределяющую нагрузку оптимальным образом и предоставляющую возможность дистанционного управления и мониторинга. Варьируя состав модулей такой системы и их мощность можно добиться оптимальных параметров для конкретных условий. Унификация удешевляет систему и упрощает ее установку. Примером подобной системы является RenE компании Delta, Renewable Energy BTS Power System компании Emerson, решения компании NAPS.

Особенностью указанных технологий альтернативной энергетики являются существенные капитальные затраты, однако это компенсируется меньшими операционными затратами. Поэтому анализ реальной себестоимости энергии, получаемой при помощи альтернативных источников, и оценка экономии даваемой их внедрением в систему энергоснабжения базовых станций усложняются. Для целей оценки эффективности решений на основе альтернативных источников энергии разработаны специальные модели и программное обеспечение, например, HOMER [19 ,21 ,15]. Использование таких моделей позволяет оценить себестоимость энергии, получаемой при помощи гибридной системы, и ее зависимость от климатических условий, состава гибридной системы, цен на энергоносители, что позволяет выбрать оптимальное решение для конкретного случая. Однако наличие подобных средств не исключает риски, связанные с неправильной оценкой параметров системы, не снимает необходимость проведения анализа климатических факторов и создания служб по обслуживанию соответствующих установок.

Проблеме использования альтернативных источников энергии для снабжения объектов сетей сотовой связи уделяется достаточно много внимания. В частности, GSM Association в 2008 г. запустила программу “Green Power for Mobile” [18]. Основной целью программы является поиск оптимального решения для энергоснабжения базовых станций не подключенных к электрической сети. Основное внимание уделяется развивающимся странам, где зачастую местные энергетические сети оказываются ненадежными, а источники альтернативной энергии достаточно доступны (страны Африки, Индия и т.п.) [17 ,16]. GSM Association регулярно публикует отчеты и рекомендации по использованию альтернативных источников энергии в различных развивающихся странах.

Например, в целях сохранения работоспособности системы связи в случае чрезвычайных ситуаций японская компания “DoCoMo” использует для электроснабжения базовых станций различные возобновляемые источники энергии [14]. Схожие технологии внедряются индийскими телекоммуникационными компаниями. Проблема состоит в неразвитости местной электрической сети, из-за чего многие базовые станции долгое время (а иногда и постоянно) вынуждены работать на дизельном топливе. В результате ежегодно расходуется более 2 млрд. тонн дизельного топлива. Для обеспечения станций энергией будет использовано гибридное решение RenE компании “Delta”. Предполагается, что таким способом удастся сократить затраты на электроснабжение вдвое [20].

Подобные проекты существуют и на территории СНГ, так “МТС-Украина” запустила проект, согласно которому часть базовых станций будет частично переведена на питание от ветрогенераторов. Предполагается использовать турбины Exel-R компании “Bergey WindPower” установленной мощностью 7,5 кВт. Проблемы применения альтернативных источников энергии на объектах телекоммуникаций в России рассматриваются, например, в [2,9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бастрон А., Коровайкин Н., Костюченко Л. Электроснабжение летней дойки от микрогэс // Сборник тезисов докладов первого международного научно-технического конгресса “Энергетика в глобальном мире”, 16-18 июня 2010 г., Россия, Красноярск. — 2010. — Р. 58–59.
2. Бураков Е., Вишневецкий Е. П. Поддержание микроклимата на базовых станциях сотовой связи. какая система эффективнее? // ИКС. — 2011. — № 09. — С. 70. — URL: <http://www.iksmedia.ru/search/3928655.html>.
3. Вишневецкий Е. П., Салин М. Фрикулинг и топливные элементы для телекома // ИКС. — 2009. — № 5. — С. 77. — URL: <http://www.iksmedia.ru/issue/2009/5/2670200.html>.
4. Вишневецкий Е. П., Салин М. Естественное охлаждение на базовых станциях // ИКС. — 2011. — № 04. — С. 85. — URL: <http://www.iksmedia.ru/issue/2011/4/3720471.html>.
5. Годовой отчет ОАО «МТС». — 2012.
6. Громаков Ю. А., Шевцов В. А. Способ сотовой связи // Телекоммуникационные технологии. — 2007. — № 5. — С. 20–25.
7. Куликова Л. Основы использования возобновляемых источников энергии. — URL: <http://ecoclub.nsu.ru/altenergy/common/common2.shtm> (дата обращения: 06.06.2013).
8. Мисар П. Как Ite повлияет на инфраструктуру сети и энергопотребление базовых станций // ИКС. — 2011. — № 09. — С. 79. — URL: www.iksmedia.ru/issue/2011/9/3928664.html.
9. О комплектовании базовых станций сотовой связи системами автономного электрообеспечения : Отчет о НИР / ООО НПО “ПланЭКО” ; Еxecutor: В. Н. Миханюк, Б. П. Коробко, И. Е. Марончук et al. : 2007.
10. Уруваев Д. . Энергосберегающие технологии на практике. — 2012. — URL: <http://habrahabr.ru/company/beeline/blog/154423> (дата обращения: 06.06.2013).

11. Alam A. S., Dooley L. S., Poulton A. S. Energy efficient relay-assisted cellular network model using base station switching // IEEE Global Telecommunications (GLOBECOM 2012): 2nd International Workshop on Multicell Cooperation, 3-7 December 2012, Anaheim (California), USA. — 2012.
12. Bosch A. F. DYNAMIC BASE STATION ENERGY SAVING WITH RELAYS : Research/Master Thesis / Anna Ferrer Bosch ; UPC - Tsinghua University. — 2011. — URL: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/10991/1/PFC.pdf>.
13. Dimming cellular networks / D. Tripper, A. Rezgui, P. Krishnamurthy, P. Pacharintankul // Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), Pittsburgh, PA, USA, 6-10 December 2010. — 2010. — P. 1–6.
14. Docomo to test "green"base stations during summer. — 2013. — URL: <http://www.ecoseed.org/technology/16284-docomo-to-test-green-base-stations-during-summer> (online; accessed: 15.06.2013).
15. Using homer software, nrel's micropower optimization model, to explore the role of gen-sets in small solar power systems : Technical Report / National Renewable Energy Laboratory ; Executor: T. Gilver, P. Lilienthal : 2005. — TP-710-36774.
16. Green power for mobile bi-annual report july 2012 : Report / GSM Association : 2012. — URL: http://www.gsma.com/mobilefordevelopment/wp-content/uploads/2012/07/GPM-Bi-annual-Report_Jul-2012_Final.pdf.
17. Green power for mobile bi-annual report july 2013 : Report / GSM Association : 2013. — URL: http://www.gsma.com/mobilefordevelopment/wp-content/uploads/2013/07/GPM-Bi-annual-Report_July13.pdf.
18. Green power for mobile overview, gsma. — 2013. — URL: <http://www.gsma.com/mobilefordevelopment/programmes/green-power-for-mobile/programme-overview> (online; accessed: 25.06.2013).
19. Homer renewable energy software, distribution power design support. — 2005. — URL: <http://homerenergy.com/software.html> (online; accessed: 25.06.2013).
20. Indian telcos reduced their electricity bill by 50% using delta's rene solution. — URL: <http://www.deltapowersolutions.com/en/tps/success-stories-indian-telcos-reduced-their-electricity-bill-by-50-percent-using-deltas-rene-solution.php> (online; accessed: 15.06.2013).
21. Lambert T., Gilman P., P. L. Micropower system modeling with homer // ntegration of Alternative Sources of Energy, Farret FA, Simoes MG, John Wiley & Sons, December 2005. — 2005.
22. Lee D., Zhou S., Niu Z. Multi-hop relay network for base station energy saving and its performance evaluation // IEEE Globecom 2011. — 2011.
23. Lorincz J., Garma T., Petrovic G. Measurements and modelling of base station power consumption under real traffic loads // Sensors. — 2012. — no. 12. — P. 4281–4310.
24. Lubritto C. Telecommunication power system: energy saving, renewable sources and environmental monitoring // Trends in Telecommunications Technologies. — InTech, 2010. — P. 145–164.
25. Power consumption modeling of different base station types in heterogeneous cellular networks / Oliver Arnold, Fred Richter1, Gerhard Fettweis1, Oliver Blume // Future Network and MobileSummit 2010 Conference Proceedings. — 2011.

26. Roy S. N. Energy logic: A road map to reducing energy consumption in telecommunications networks // Proceedings of INTELEC, San Diego (CA), September 2008, IEEE, San Diego. — 2008. — P. 90–98.
27. Toward dynamic energy-efficient operation of cellular network infrastructure / Eunsung Oh, Bhaskar Krishnamachari, Xin Liu, Zhisheng Niu // IEEE Communications Magazine. — 2011. — Vol. 49, no. 6. — P. 56–61.

Рецензент: Кочикян В.П., профессор кафедры "Экономики инноваций" экономического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова, доктор экономических наук.