

УДК 004.738

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОСТРОЕНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Н.С. Мальцева, А. Д. Зубова, И. Н. Марышева

Астраханский государственный технический университет

В статье описывается концепция сенсорных сетей, реализация которой стала возможной в результате сочетания микроэлектромеханических систем, беспроводной связи и цифровой электроники. Изучены задачи и потенциал сенсорных сетей, проведён обзор факторов, влияющих на их развитие. Такие сети в настоящее время используются во многих промышленных и пользовательских приложениях, таких как мониторинг и контроль процессов, показатели состояния здоровья, мониторинг качества воды и даже предотвращение стихийных бедствий. Беспроводную сенсорную сеть можно использовать в труднодоступных районах, где они могут оставаться в течение многих лет (мониторинг окружающей среды) без необходимости замены источников питания. Они могут контролировать действия нарушителей охраняемого объекта. Также рассматривается архитектура построения сенсорных сетей, разрабатываются алгоритмы и протоколы для каждого игрока архитектуры. В статье рассматривается реализация сенсорных сетей.

Ключевые слова: *беспроводная сенсорная сеть, проектирование, архитектура сети, топология сети, сенсорный узел.*

ANALYSIS OF THE METHODS OF BUILDING WIRELESS TOUCH NETWORKS

N. S. MALTSEVA, A.D. Zubova, I.N. Marysheva

Astrakhan State Technical University

The article describes the concept of sensor networks, the implementation of which became possible as a result of the combination of microelectromechanical systems, wireless communication and digital electronics. Tasks and potential of sensor networks are studied, the review of the factors influencing their development is carried out. Such networks are now used in many industrial and user applications, such as process monitoring and control, health indicators, water quality monitoring and even disaster prevention. WSN can be used in hard-to-reach areas where they can stay for many years (environmental monitoring) without the need to replace power supplies. They can control the actions of violators of the protected object. We also consider the architecture of building sensor networks, developed algorithms and protocols for each player architecture. The article deals with the implementation of sensor networks.

Keywords: *wireless sensor network, design, network architecture, network topology, sensor node.*

Введение. Последние достижения в области микроэлектроники беспроводной связи позволили создать недорогие, многофункциональные моты (узлы), «связывающие» друг с другом. Сенсорные сети, основанные на совместной работе большого количества небольших узлов, состоят из модулей сбора и обработки данных, передатчика.

Беспроводная сенсорная сеть (WSN) относится к группе пространственно-распределенных и специализированных сетей на основе датчиков для мониторинга и записи физических условий окружающей среды и организации собранных данных в одном узле. С помощью сенсоров (датчиков) измеряют такие условия окружающей среды, как: температура, звук, загрязнение, влажность, ветер.

Более современные сети являются двунаправленными, что также позволяет контролировать активность датчиков [1]. Развитие беспроводных сенсорных сетей было продиктовано военными целями, такими как наблюдение за полем боя.

Сегодня такие сети используются во многих промышленных и пользовательских приложениях, таких как мониторинг и контроль процессов, показатели здоровья, мониторинг качества воды и даже предотвращение стихийных бедствий.

Сенсорные сети могут состоять из различных типов датчиков, таких как сейсмические, датчики магнитного поля, тепловые, инфракрасные, акустические, которые способны проводить различные измерения условий окружающей среды, динамических характеристик [2].

Датчики могут использоваться для непрерывного мониторинга, обнаружения и идентификации событий. Они классифицируются по основным направлениям: применение в военной промышленности, экологические исследования, здравоохранение, коммерческое применение. Сенсорные узлы могут отличаться по размеру, стоимости. Цена сенсорных узлов также варьируется от нескольких сотен долларов, в зависимости от сложности построения каждого узла. Ограничения по размеру и стоимости на узлах датчиков приводят к соответствующим ограничениям ресурсов, таких как энергия, память, скорость вычислений и пропускная способность сети. Топология WSN может варьироваться от простой звездной сети до усовершенствованной беспроводной ячеистой сети.

Зависимость функционирования сети от ее топологии

Одним из весомых факторов, влияющих на свойства сети, является её топология, т.е. способ и архитектура расположения узлов относительно друг друга в зоне обслуживания [3]. Определение целей использования сети является

ся одной из решающих особенностей её построения. Анализ задач, для решения которых создаётся сеть, является вторым немаловажным критерием, так как область применения сенсорных сетей очень обширна, от медицинских приборов до мониторинга окружающей среды. Исходя из этого, не может быть сделан выбор одной универсальной топологии.

Перед началом проектирования и строительства сети необходимо учесть следующие показатели эффективности:

1) производительность и пропускная способность;

2) надежность сети передачи данных;
3) способность к реконфигурации при необходимости реструктуризации и оптимизации существующей сети.

Пропускную способность можно представить в двух вариантах: максимальном количестве бит, которые пропускает сеть в определённую единицу времени, либо количестве пакетов, переданных сетью. Данные параметры не связаны между собой и, как правило, могут дать комплексную картину производительности сети. В таблицу 1 вынесены характеристики основных показателей эффективности.

Таблица 1

Характеристики основных показателей эффективности

Производительность	Надёжность	Реконфигурация
Основной характеристикой производительности сети является время реакции. Это определённый интервал времени между запросом пользователя и получением ответа на этот запрос	Характеризует ее свойство выполнять функции, сохраняя значения установленных показателей качества в заданных условиях технической эксплуатации. Этот параметр отражает влияние на работоспособность сети главным образом внутренних факторов – различных отказов телекоммуникационного оборудования	Реконфигурация сети обычно связана с необходимостью увеличить протяженность сети, возрастанием трафика в сети, увеличением надежности сети

На канальном уровне в стандарте IEEE 802.15.4 [4, 5] приведены общие рекомендации по построению топологии сети. Сети могут быть одноранговыми P2P (peer — to-peer, P2P-peer toequal) или иметь топологию «звезда» (рис. 1). Одноранговые сети имеют децентрализованное управление. В основном эти сети работают без выделенных серверов, и каждая точка (peer) является как клиентом, так и сервером. Основное преимущество заключается в том, что такая организация позволяет сохранять работоспособность сети при любом количестве и любом сочетании доступных узлов.

На основе топологии P2P [6] формируются произвольные линии связей, ограниченные только расстоянием между парами узлов. Имея

это в виду, существуют различные варианты топологической структуры BSS, в частности «дерево» кластеров – структура, в которой узлы, будучи «листьями дерева», связаны только с одним полнофункциональным устройством (т.е. устройством, которое может выполнять функции как координатора, так и узла), а большинство узлов в сети являются полнофункциональными устройствами.

Возможна также топология ячеистой сети на основе кластерных «деревьев» с локальным координатором для каждого кластера и содержащая координатора глобальной сети [7]. Исходя из вышесказанного, основные моменты вынесены в таблицу 2, чтобы облегчить визуальное восприятие.

Таблица 2

Топологии сенсорных сетей связи

Точка-точка	Звезда	Дерево (кластерная топология)
В топологии «точка – точка» каждое устройство может обмениваться данными с любым другим в пределах, ограниченных радиоканалом. Каждое устройство связано с несколькими соседними, и данные передаются по наиболее удобному маршруту	При использовании топологии «звезда» связь устанавливается между оконечными узлами и координатором. Каждое устройство связывается напрямую со шлюзом (координатором)	Иерархическая сеть может быть реализована в виде кластерного дерева. Оконечные устройства подключаются к узлу, осуществляющему роль маршрутизатора, который, в свою очередь, имеет подключение к координатору. Предполагается наличие корневого, родительских и дочерних узлов

Сенсорная сеть состоит из трёх основных компонентов: сенсорного узла, маршрутизатора и шлюза (координатора).

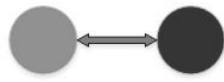
1. Узел датчика работает от батареи и отправляет измеренные данные на шлюз. Сенсорный узел разделён на два основных компонента: плата связи и сенсорная плата. Функции платы связи: беспроводная связь, управление питанием, планирование измерений и интерфейс сенсорной платы. Плата датчика различна для каждого типа датчика. Его функция – считывать показания датчики и передавать данные измере-

ний в унифицированном формате на плату связи. Разделение датчиков от остальной части WSN позволяет добавлять новые датчики в сеть без изменений в оборудовании и программного обеспечения остальной части сети. Кроме того, разделение учитывает независимое развитие беспроводной сети и датчиков.

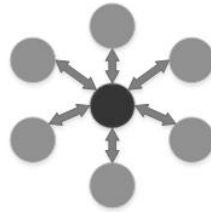
2. Узел маршрутизатора может передавать данные от узлов датчиков к шлюзу.

3. Шлюз получает данные от сенсорных узлов и пересылает это через мобильную сеть (GPRS) к веб-серверу.

Топология «точка - точка»



Топология «звезда»



Кластерная топология

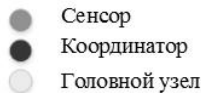
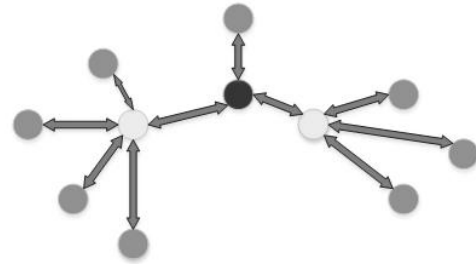


Рис. 1. Топологии сенсорных сетей

Топология сети является основным фактором при выборе технологии физического и канального уровней, а также протоколов организации сети. Стоит подчеркнуть, что расположение узлов в пространстве или на объекте зависит в первую очередь от назначения сети. Например, если датчики «прикреплены» к некоторым объектам обслуживаемой структуры, например, к контролируемым или управляемым объектам, то их расположение определяется, во-первых, размещением этих объектов, а также способом размещения некоторых узлов, выполняющих вспомогательные функции. При «прикреплении» к объектам структуры, их размещение можно считать детерминированным, при котором известны координаты узлов и расстояния между ними. При рассмотрении сети с фиксированными (неподвижными) узлами, в зависимости от её назначения, распределение узлов в зоне обслуживания может быть выполнено различными способами. При этом могут решаться такие задачи как покрытие некоторой области или областей в зоне обслуживания зонами действия сенсорных устройств, входящих в состав узлов сети, обеспечение связности сети и её надежности. В общем случае, размещение узлов можно рассматривать как случайное.

В реальной сети при детерминированном (определенном) размещении узлов невозможно обеспечить абсолютную точность их установки [8], поэтому данный случай не противоречит предположению о случайном характере их размещения. При привязке узлов к пользователям, например, распределение индивидуальных устройств, аналогичных по размещению терминалам сетей подвижной связи, определяется распределением пользователей (абонентов). При привязке к вещам, окружающим человека, распределение узлов в пространстве определя-

ется распределением этих вещей. Топология самоорганизующейся беспроводной сети в значительной степени влияет на основные показатели ее функционирования, которыми являются доступность и время доставки сообщения (данных) [9, 10]. Как правило, понятие доступности рассматривается как возможность предоставления услуги.

Типы WSN (беспроводные сенсорные сети)

Можно также выделить несколько типов беспроводных сенсорных сетей.

В зависимости от среды типы сетей выбираются так, чтобы их можно было развертывать под водой, землёй, на земле и т.д. Различные типы WSN включают в себя:

- 1) наземные WSN;
- 2) подземные WSN;
- 3) подводные WSN;
- 4) мультимедийные WSN;
- 5) мобильные WSN.

1. Наземные WSN

Наземные WSN способны эффективно связываться с базовыми станциями и состоят из сотен или тысяч узлов беспроводных датчиков, развернутых неструктурированным (специальным) или структурированным (предварительно запланированным) способом. В неструктурированном режиме узлы датчика случайным образом распределяются в пределах целевой области, которая выпадает из фиксированной плоскости. Предварительно запланированный или структурированный режим учитывает оптимальное размещение, размещение сетки и 2D, 3D модели размещения.

В этой WSN ёмкость аккумулятора ограничена; однако батарея оснащена солнечными элементами в качестве вторичного источника питания. Энергосбережение этих WSN достигается за счет использования операций с низким



рабочим циклом, минимизации задержек, оптимальной маршрутизации и так далее [11, 12].

2. Подземные WSN

Подземные беспроводные сенсорные сети дороже наземных с точки зрения развертывания, обслуживания, стоимости оборудования и тщательного планирования. Сети WSN состоят из нескольких сенсорных узлов, которые скрыты в земле для мониторинга подземных условий. Для передачи информации от узлов датчиков к базовой станции дополнительные узлы приемника расположены над землей.

Подземные беспроводные сенсорные сети, развернутые в земле, трудно перезарядить. Аккумуляторные узлы датчика, оснащенные ограниченным зарядом аккумулятора, сложно перезарядить. В дополнение к этому подземная среда делает беспроводную связь ненадежной из-за высокого уровня затухания и потери сигнала.

3. Подводные WSN

Более 70 % Земли занято водой. Эти сети состоят из ряда сенсорных узлов и транспортных средств, развернутых под водой. Автономные подводные аппараты используются для сбора данных с этих сенсорных узлов. Проблемой подводной связи является длительная задержка распространения, а также пропускная способность и отказ датчиков.

Подводные WSN оснащены ограниченным аккумулятором, который нельзя заряжать или заменять [13]. Проблема энергосбережения для подводных сетей WSN включает разработку методов подводной связи и сетей.

4. Мультимедийные WSN

Беспроводные сенсорные сети Multimedia были предложены для отслеживания и мониторинга событий в виде мультимедиа, таких как изображения, видео и аудио. Эти сети состоят из недорогих сенсорных узлов, оборудованных микрофонами и камерами. Эти узлы связаны друг с другом по беспроводному соединению для сжатия данных, поиска и корреляции данных.

Проблемы с мультимедийным WSN включают в себя высокое энергопотребление, высокие требования к пропускной способности, методы обработки данных и сжатия. В дополнение к этому, мультимедийный контент требует высокой пропускной способности, чтобы контент доставлялся правильно и быстро.

5. Мобильные WSN

Эти сети состоят из набора сенсорных узлов, которые могут перемещаться самостоятельно и могут взаимодействовать с физической средой. Мобильные узлы имеют возможность вычислять смысл и общаться.

Мобильные беспроводные сенсорные сети гораздо более универсальны, чем статические сенсорные сети. Преимущества WSN по сравнению со статическими беспроводными сенсор-

ными сетями включают улучшенное и улучшенное покрытие, лучшую энергоэффективность, превосходную пропускную способность канала и т. д.

Область применения сенсорной сети

Беспроводные сенсорные сети могут применяться для мониторинга и контроля различных сред – от военных до гражданских, и во многих научных и технических областях. Также эта технология охватывает множество областей жизни человека, таких как медицина, технология химического машиностроения и машиностроения, обнаружение лесных пожаров, оползней, мониторинг загрязнения воздуха и предотвращение стихийных бедствий [14].

Мониторинг территории

Зональный мониторинг является распространенным применением сенсорной сети. В области мониторинга WSN развернут в регионе, где необходимо отслеживать какое-то явление. Военным примером является использование датчиков для обнаружения вторжения противника; гражданский пример – геозоны газовых или нефтепроводов.

Мониторинг здравоохранения

Существует несколько типов сенсорных сетей для медицинских применений: имплантируемые, носимые и встроенные в окружающую среду. Имплантируемые медицинские устройства – это те, которые вводятся в организм человека. Носимые устройства используются на поверхности тела человека или в непосредственной близости от пользователя. Встроенные в среду системы используют датчики, содержащиеся в окружающей среде. Возможные применения включают измерение положения тела, местонахождение людей, общий мониторинг больных пациентов в больницах и дома. Устройства, встроенные в среду, отслеживают физическое состояние человека для непрерывной диагностики состояния здоровья, используя в качестве входных данных данные от сети глубинных камер, измерительного дна или других подобных устройств. Сети области тела могут собирать информацию о здоровье человека, его физической форме и расходах энергии. В приложениях здравоохранения первостепенное значение имеет конфиденциальность и подлинность пользовательских данных [15]. Особенно из-за интеграции сенсорных сетей с IoT (Интернет Вещей) аутентификация пользователя становится более сложной.

Окружающая среда / Зондирование Земли

Существует множество приложений для мониторинга параметров окружающей среды, примеры которых приведены ниже. Они разделяют дополнительные проблемы суровых условий и снижения энергопотребления.

Мониторинг загрязнения воздуха

Беспроводные сенсорные сети были развернуты в нескольких городах (Стокгольм, Лондон и Брисбен) для мониторинга концентрации опасных газов для граждан. Они могут использовать преимущества специальных беспроводных линий связи, а не проводных установок, что также делает их более мобильными для тестирования показаний в различных областях.

Обнаружение лесных пожаров

Сеть сенсорных узлов может быть установлена в лесу, чтобы определять, когда начался пожар. Узлы могут быть оснащены датчиками для измерения температуры, влажности и газов, которые образуются в результате пожара на деревьях или в растительности. Раннее обнаружение имеет решающее значение для успешного действия пожарных; благодаря беспроводным сенсорным сетям пожарная команда сможет узнать, когда начался пожар и как он распространяется.

Обнаружение оползня

Система обнаружения оползней использует беспроводную сенсорную сеть для обнаружения незначительных движений почвы и изменений в различных параметрах, которые могут произойти до или во время оползня. Благодаря собранному данным можно узнать о приближающемся возникновении оползней задолго до того, как это произойдет.

Мониторинг качества воды

Мониторинг качества воды включает анализ свойств воды в плотинах, реках, озерах и океанах, а также запасов подземных вод. Использование беспроводных распределенных датчиков позволяет создавать более точную карту состояния воды и обеспечивает постоянное развертывание станций мониторинга в труднодоступных местах без необходимости ручного извлечения данных.

Предотвращение стихийных бедствий

Беспроводные сенсорные сети могут быть эффективными в предотвращении неблагоприятных последствий стихийных бедствий, таких как наводнения. Беспроводные узлы были успешно развернуты в реках, где изменения уровня воды должны контролироваться в режиме реального времени.

Мониторинг состояния машины

Беспроводные сенсорные сети были разработаны для технического обслуживания оборудования (СВМ), поскольку они обеспечивают значительную экономию средств и предоставляют новые функциональные возможности.

Беспроводные датчики могут быть размещены в местах, труднодоступных или недосягаемых с помощью проводной системы, таких

как вращающиеся механизмы и неуправляемые транспортные средства.

Мониторинг ЦОД (Центр обработки данных)

Из-за высокой плотности серверных стоек в центре обработки данных часто возникают проблемы с кабелями и IP-адресами. Чтобы решить эту проблему, все больше и больше стоек оснащаются беспроводными датчиками температуры для контроля температуры впуска и выпуска стоек. Поскольку ASHRAE рекомендует использовать до шести датчиков температуры на стойку, беспроводная температурная технология с ячейками дает преимущество по сравнению с традиционными кабельными датчиками.

Регистрация данных

Беспроводные сенсорные сети также используются для сбора данных для мониторинга экологической информации. Это может быть так же просто, как мониторинг температуры в холодильнике или уровня воды в переливных баках на атомных электростанциях. Затем статистическая информация может быть использована для демонстрации работы систем. Преимущество WSN по сравнению с обычными регистраторами заключается в том, что возможен «живой» поток данных.

Мониторинг воды / сточных вод

Мониторинг качества и уровня воды включает в себя множество мероприятий, таких как проверка качества подземных или поверхностных вод и обеспечение водной инфраструктуры страны на благо людей и животных. Может использоваться для защиты от потери воды.

Структурный мониторинг здоровья

Беспроводные сенсорные сети могут использоваться для мониторинга состояния гражданской инфраструктуры и связанных с ней геофизических процессов вблизи реального времени и в течение длительных периодов путем регистрации данных с использованием соответствующих датчиков.

Вывод

На сегодняшний день технология беспроводных сенсорных сетей, является единственной беспроводной технологией, с помощью которой можно решить проблему контроля и управления, критичную к требованиям к сроку службы батарей устройств, их надежности, автоматической или полуавтоматической конфигурации каждого из них, возможности простого добавления или удаления устройства из сети, распространения сигналов через стены и потолки при низкой стоимости системы. А технология ретрансляции коротковолновой радиосвязи 802.15.4 / ZigBee, известная как «сенсорные сети», является одним из современных направлений развития самоорганизующихся отказоустойчивых распределенных

систем промышленного мониторинга и управления ресурсами и процессами.

Применение WSN многочисленно и разнообразно. Они использованы в коммерчески и промышленных системах для того чтобы контролировать данные которые трудны или дороги контролировать используя связанные проволокой

датчики. WSN можно использовать в труднодоступных районах, где они могут оставаться в течение многих лет (мониторинг окружающей среды) без необходимости замены источников питания. Они могут контролировать действия нарушителей охраняемого объекта.

Список литературы

1. Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В., Кучерявый Е. А. Самоорганизующиеся сети. СПб.: Любавич, 2011. 312 с.
2. Recommendation Y. 2060. Overview of Internet of Things. ITU-T, Geneva. February 2012.
3. Development of a node-positioning algorithm for wireless sensor networks in 3D Space / I. Grishin, R. Kiricheck, D. Okuneva, M. Falin // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICTACT). 2016. P. 279–282.
4. IEEE 802.15.4 Specification (2006) [SS95552].
5. Kwak, K. S. An Overview of IEEE 802.15.6 Standard // 3rd International Symposium, Applied Science in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL): Proceedings, 7–10 November, Rome, Italy, 2010. P. 1–6.
6. Gaidamaka Yu. Mathematical Modeling and Performance Analysis of P2P Streaming Networks // INTHITEN (Internet of Things and its Enablers): Proceedings, St. Petersburg, 3–4 June. 2013. P. 69–81.
7. Салим А. Разработка алгоритмов выбора головного узла в кластерных беспроводных сетях. СПб., 2010. 25 с.
8. Динь Ч. З., Киричек Ч. З., Парамонов А. И., Кучерявый А. Е. Имитационная модель инсталляции сенсоров сквадрокоптерана заданной территории // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 2 (10). С. 93–100.
9. ITU-T Requirements for support of ubiquitous sensor network (USN) applications and services in the NGN environment. Recommendation Y. 2221 (01/10).
10. ITU-T Sensor control networks and related applications in a next generation network environment. Recommendation Y.2222 (04/13).
11. Zekri M., Jouaber B., Zeghlache D. A review on mobility management and vertical handover solutions over heterogeneous wireless networks // Computer Communications. 2012. Vol. 35. P. 2055–2068.
12. Zahran A. H. Signal threshold adaptation for vertical handoff in heterogeneous wireless networks // Mob.Netw.Appl. 2006. Vol. 11. P. 625–640.
13. Wang L., Ranjan R. Processing Distributed Internet of Things Data in Clouds // IEEE Cloud Computing. 2015. Vol. 2, № 1. P. 76–80.
14. Willinger W. Traffic Modeling for High-Speed Networks: Theory versus Practice. Institute for Mathematics and Its Applications. 1995. Vol. 71. 395 p.
15. Yanpei C., Wang T. X., Katz H. R. Energy efficient Ethernet encodings // 33rd IEEE Conference on Local Computer Networks, 2008. IEEE, 2008. P. 122–129.

© А. Ю. Курдюк, С. В. Устюгов, Д. П. Дисяев

Ссылка для цитирования:

Мальцева Н.С., Зубова А. Д., Марышева И. Н. Анализ способов построения беспроводных сенсорных сетей // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2018. № 2 (24). С. 31–36.

УДК 621 314(075)

ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

И. Х. Сиддиков, М. Т. Махсудов, И. М. Хонттураев, М. А. Анарбаев

Ташкентский университет информационных технологий

В настоящее время расширение возможностей передачи электроэнергии потребует усовершенствования управления сетью передач электроэнергии. Такая реорганизация направлена на создание открытого рынка, где альтернативные источники энергии географически отдаленных мест могут легко быть проданы потребителям в любой точке мира. Традиционно электрическая сеть передачи электроэнергии строилась как система односторонней передачи электроэнергии. Она состояла из одной или нескольких очень мощных источников, связанных с потребителями энергии. Переход к новым видам источников электроэнергии и появление новых интеллектуальных устройств контроля и управления, требуют нового подхода - электроэнергия может идти и от потребителей, т.е. в обратную сторону, как фактор, определяющий при проектировании и функционировании систем электроснабжения.

Ключевые слова: электроэнергия, источники энергии, система электроснабжения, электрическая сеть, управление, контроль, умные электрические сети.

ELEMENTS AND CONTROL AND CONTROL DEVICES INTELLIGENT ELECTRICAL NETWORKS OF ELECTRICAL SUPPLY SYSTEMS

I. Kh. Siddikov, M. T. Makhsudov, I. M. Khonturaev, M. A. Anarbaev

Tashkent University of Information Technologies

In the meantime, expanding the power transmission capabilities will require improvements in the management of the power transmission network. Such a reorganization is aimed at creating an open electricity market, where alternative energy sources of geographically remote locations can easily be sold to consumers anywhere in the world. Classically, electric power transmission network was built as a one-way power transmission system. It consisted of one or several very powerful sources related to energy consumers. The transition to new types of energy sources, especially renewable ones, and emergence of new intelligent control and