

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(Национальный исследовательский университет)  
Высшая школа «Электроники и компьютерных наук»  
Кафедра «Инфокоммуникационные технологии»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой ИКТ

\_\_\_\_\_ С.Н. Даровских

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020г.

**Нательные сенсорные сети: обзор принципов организации  
и функционирования**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

ЮУрГУ - Д 11.03.02.2020.411.00 ПЗ (ВКР)

Руководитель работы  
Новиков В.В. \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020г.

Автор работы  
студент группы КЭ-411  
ФИО Баженов А.Н.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020г.

Нормоконтролер  
Спицына В.Д. \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020г.

Челябинск  
2020

## РЕФЕРАТ

Баженов А. Н. Нателные сенсорные сети: обзор принципов организации и функционирования – Челябинск: ЮУрГУ, ВШЭКН, 2020, 14 илл., 44 с. – Библиографический список – 7 наименований, 2 плаката формата А1.

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрены нателные сенсорные сети, представлена их топология и архитектура, физический уровень и инфраструктура.

В работе также рассмотрены стандарты и требования к нателным сенсорным сетям.

					<i>ЮУрГУ-Д. 11.03.02.2020.411.00 ПЗ ВКР</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Баженов А.Н</i>				<i>Нателные сенсорные сети: обзор принципов организации и функционирования</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Новиков В.В</i>						3	45
<i>Реценз.</i>						<i>ЮУрГУ, кафедра ИКТ</i>		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Спицина В.Д</i>							
<i>Утверд.</i>	<i>Даровских С.Н</i>							

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 Нателные сенсорные сети: История, архитектура, принципы.....	7
1.1 Понятие БНСС.....	7
1.2 Архитектура и топология.....	10
1.3 БНСС инфраструктура.....	14
1.4 Физический уровень.....	15
2 СШП радиосвязь БНСС.....	19
2.1 Хаотическая СШП радиосвязь для БНСС.....	19
2.2 Компоненты сверхширокополосной БНСС.....	24
2.3 Экспериментальная СШП сеть для медицинских приложений.....	26
3 Нателные сенсорные сети: стандарты и требования безопасности.....	33
3.1 Стандартизация.....	33
3.2 Требования к беспроводным нателным сенсорным сетям в стандарте IEEE 802.15.6.....	35
3.3 Требования безопасности к БНСС.....	36
4 Применение БНСС.....	40
Заключение.....	43
Библиографический список.....	44

## ВВЕДЕНИЕ

В современной медицине наблюдается проблема автоматизации процесса мониторинга показателей физического состояния пациентов, проходящих лечение в стационаре. Решение данного вопроса значительно улучшит состояния больных и облегчит работу медицинского персонала. О необходимости внедрения устройств автономного наблюдения, говорят и данные федеральной службы государственной статистики России [8]. По их сведениям, за 2018 год, сердечно-сосудистые заболевания стали причиной около 25 процентов всех смертей у наблюдавшихся пациентов. Исследование показало, что будь у врачей способ автономной ранней диагностики состояния пациента, 70 процентам из списка можно было бы помочь. Систематический метод наблюдения ведущих показателей организма позволит выявлять и анализировать аналогичные ситуации. На сегодняшний день непрерывный мониторинг состояния пациента ведется лишь в отделении интенсивной терапии.

Разработка беспроводных нательных сенсорных сетей (БНСС) призвана решить данную проблему.

В работе рассматривается принцип организации и функционирования БНСС. В первом разделе проанализированы архитектура, топология, инфраструктура и физический уровень БНСС. Во втором разделе рассмотрена структура сверхширокополосной БНСС. В третьем разделе изучен стандарт IEEE 802.15.6, а также требования безопасности к БНСС. Четвертый раздел посвящен практическому применению БНСС.

В БНСС виден потенциал для осуществления революции в грядущих оздоровительных технологиях. БНСС опирается на стандарт IEEE 802.15.6 и поддерживает широкий спектр приложений медицинской и немедицинской электроники.

# **1 Нателные сенсорные сети: История, архитектура, принципы организации**

## **1.1 Понятие БНСС**

На базе стандарта IEEE 802.15.6 беспроводная нателная сенсорная сеть БНСС или wireless body area network WBAN это взаимодействующая, посредством беспроводной связи, между собой и координирующим узлом сеть сенсорных узлов. Устройства БНСС могут находиться в близости от человека, располагаться на человеческом теле или же вовсе имплантируются в тело. Сеть из таких устройств, обслуживается с разными приоритетами и передаются на различных скоростях. Каждое устройство работает на своей собственной частоте, так как все устройства имеют отдельный физический уровень.

Сеть БНСС различает персональные устройства, актуаторные и сенсорные узлы.

Беспроводной сенсорный узел реагирует на конкретный, заданных физический или химический процесс, и, после обработки полученных данных, передает их посредством беспроводной связи. Сенсорный узел содержит несколько компонентов, такие как: датчик, источник питания, непосредственно процессор, память, а также передатчик или приемопередатчик.

Беспроводной актуаторный узел воздействует непосредственно на организм посредством взаимодействия с авторизованным пользователем (врачом например), также устройство способно, на основе обработки полученных данных, действовать автономно. Составляющие актуаторного узла это сам актуатор, процессор, приемопередатчик, память и блок питания.

Беспроводное персональное устройство передающее, посредством дисплея, внешнего шлюза или привода, полученную от датчиков и актуаторов информацию авторизованному пользователю. Составляющие персонального устройства: приемопередатчик, память, процессор и блок питания. Некоторые

реализации персональных устройств оснащены возможностью подключения смартфона.

БНСС характеризуются следующими особенностями:

-низкая мощность передачи данных с целью обеспечения совместимости с другим медицинским оборудованием и для снижения энергопотребления;

-низкая стоимость, небольшая сложность и небольшой размер для размещения на и в теле человека.

-высокая скорость передачи данных обеспечивает необходимые параметры качества обслуживания;

Датчики и актуаторы могут иметь не только медицинское назначение.

Примеры датчиков и актуаторов в БНСС показаны на рисунке 1.

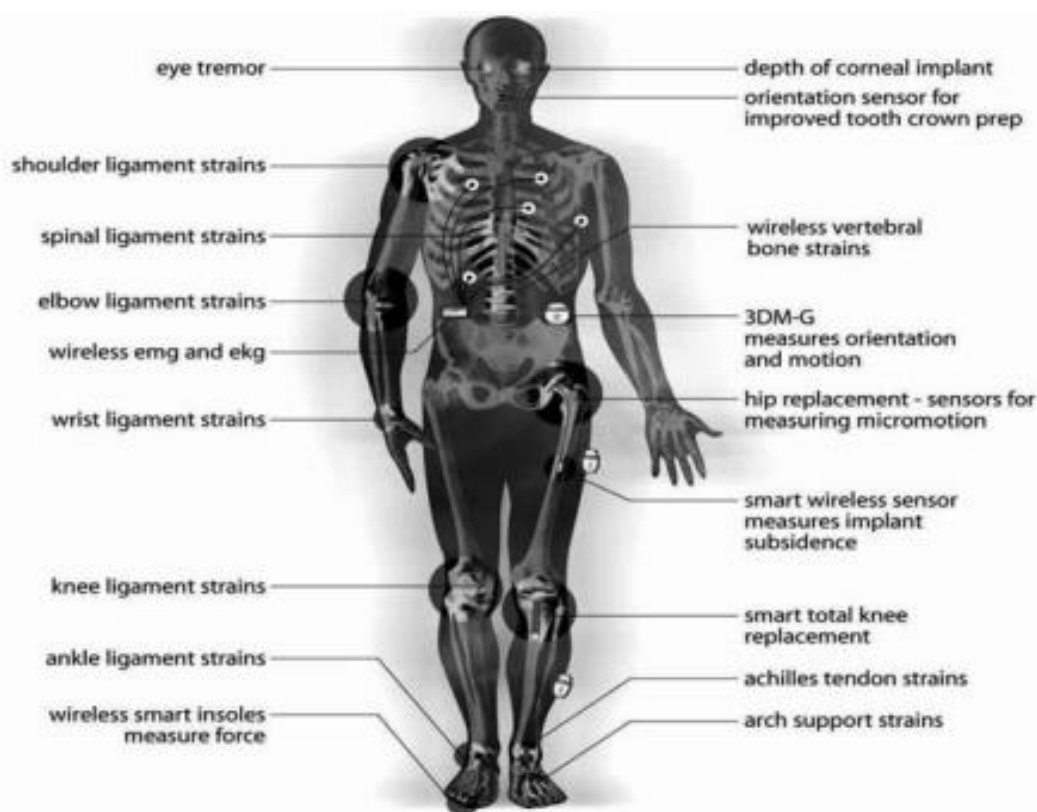


Рисунок 1 – Размещение сенсорных узлов на и в теле человека

На рисунке 1 приведено размещение сенсорных узлов в соответствии со стандартом IEEE 802.15.6, где:

-eye tremor – сенсорные узлы измерения тремора глаз;

- shoulder ligament strains – нагрузка на связки плеча;
- elbow ligament strains – нагрузка на связки локтевого сустава;
- wireless emg and ekg – электромиография, т.е. регистрация электрической активности мышц, электрокардиограммы;

- spinal ligament strains – нагрузка на мышцы спины;
- wrist ligament strains – нагрузка на связки в запястье;
- knee ligament strains – нагрузка на связки в коленном суставе;
- ankle ligament strains – нагрузка на связки в лодыжке;

Кроме того, в состав сенсорных узлов включены:

- wireless smart insoles measure force – умные стельки для измерения силы;
- depth of corneal implant – сенсор измерения глубины расположения импланта роговицы;

- orientation sensor for improved tooth crown prep – ориентация для коронки зуба;

- 3DM-G measures orientation and motion – гироскопические датчики для измерения перемещения и ориентации в трехмерном пространстве;

- hip replacement sensor for measuring micromotion – измерение микро перемещений в эндопротезе тазобедренного сустава;

- smart wireless sensor measures implant subsidence – измерения имплантов;

- smart total knee replacement – умный эндопротез коленного сустава;

- ahilles tendon strains – измерение нагрузки на ахиллово сухожилие;

- arch support strains – подъем ступни;

БНСС предоставляют возможность длительного удаленного наблюдения за пациентом, не ограничивая его подвижность.

Первые разработки в беспроводных нательных сенсорных сетях были начаты в 90-х годах разными группами, работающими в МИТ (Массачусетский технологический институт). Первоначальная цель состояла в том, чтобы объединить информационные устройства, размещенные на человеческом теле. Исследователи планировали воспользоваться электрическим полем, распознающее

расположение тела человека, посредством чего могла возникнуть вероятность модуляции электрического поля, позволяющая передавать информацию со всего тела.

## 1.2 Архитектура и топология БНСС

Модель и архитектура БНСС изображена на рисунке 2. В состав БНСС входит координатор, сенсорный узел, реагирующий на определенный химический процесс, и каналы связи, что передают информацию посредством беспроводной сети, а затем Интернета в центры наблюдения и управления.

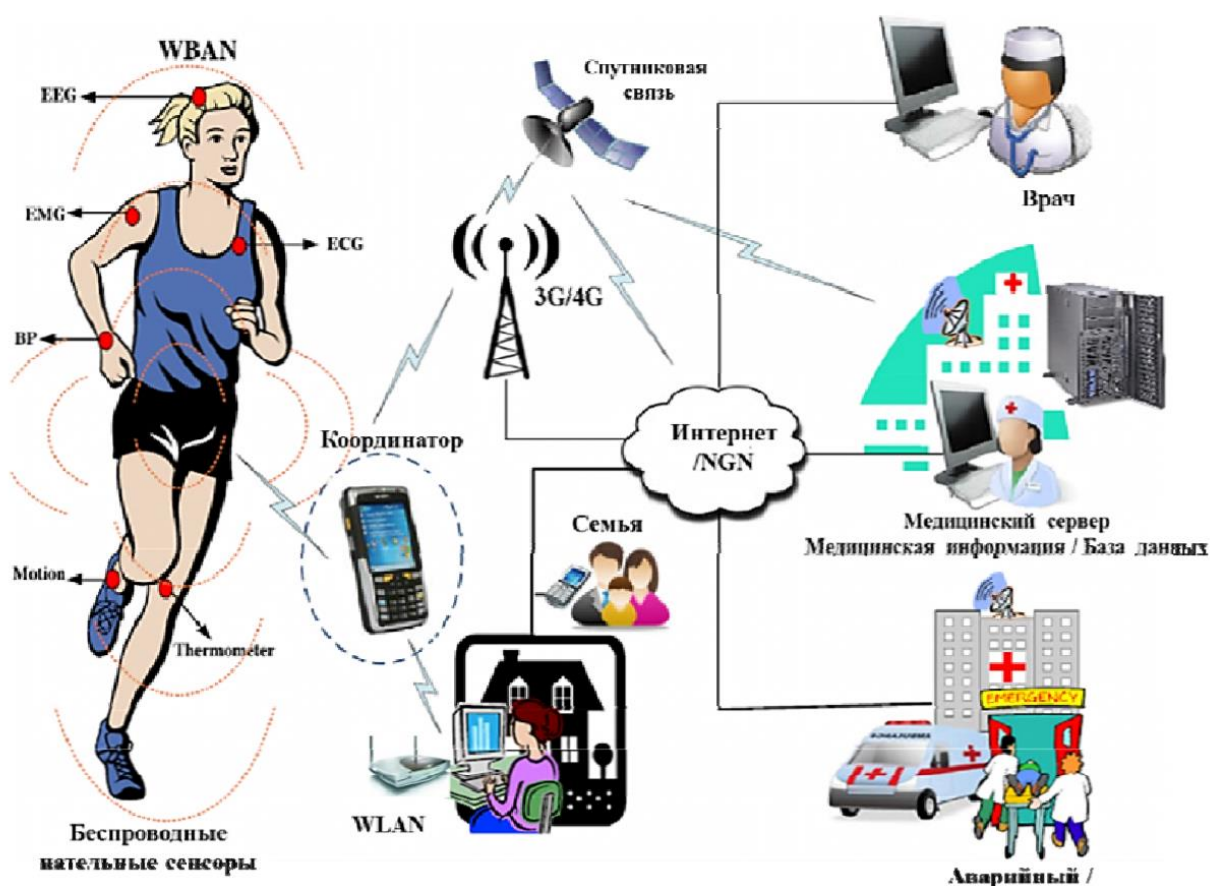


Рисунок 2 – Архитектура БНСС

Узлы в сети БНСС классифицируются следующим образом:

Координатор осуществляет взаимосвязь БНСС с другой БНСС, а также со шлюзом внешнего мира, с пунктом управления и наблюдения. Остальные узлы БНСС могут связываться посредством координатора.



Сенсоры БНСС, предназначены для внутренних и внешних измерений определенных параметров вокруг, на теле человека и внутри него. Существуют такие типы сенсоров, которые могут использоваться в наручных часах, терминалах и в прочих мобильных устройствах, что позволяют осуществлять беспроводное наблюдение за человеком в любой момент времени даже за пределами больницы.

Различные типы датчиков крепятся к одежде, имплантируются под кожу или размещаются на теле. Пациенту не требуется физическое присутствие в больнице для регулярного диагностического обследования, если они оснащены узлами БНСС.

При проектировании сетей БНСС основной упор делается на энергоэффективность, низкое потребление узлов. Сети БНСС поддерживают топологию звезда с высокой степенью масштабируемости. Топология сети представлена на рисунке 3.

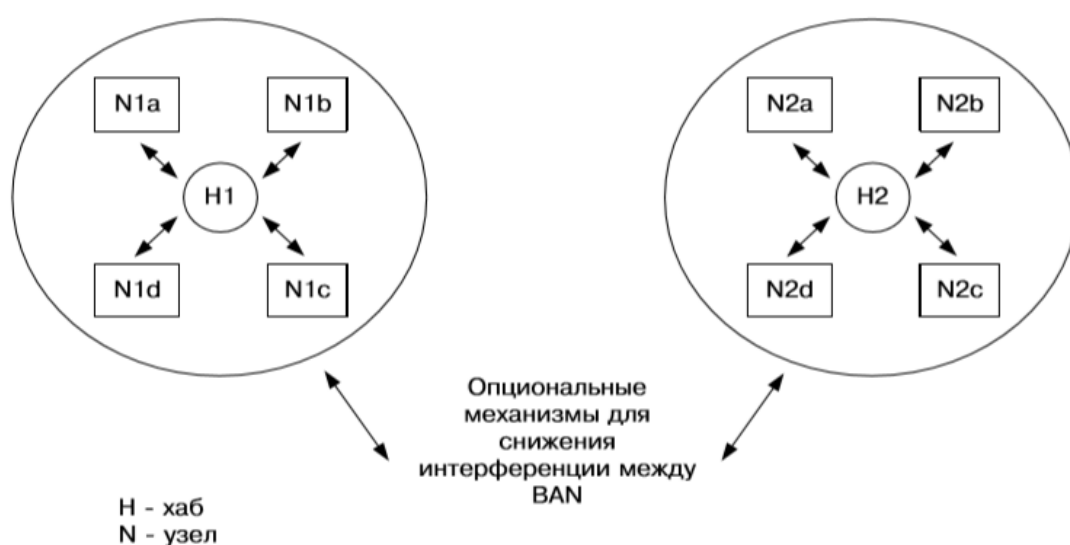


Рисунок 3 – Топология сетей БНСС

Для сетей БНСС, базирующихся на стандарте IEEE802.15.6 должны выполняться следующие требования к масштабируемости и устойчивости:

- скорость передачи данных от нескольких кбит/с до нескольких Мбит/с;
- поддержка до 256 устройств;

- взаимодействие с другими сетями БНСС;
- поддержка механизмов защиты передаваемых данных;
- гарантированные пределы задержек;
- гарантированная полоса пропускания;

Рабочая группа IEEE 802.15.6 изучила работу БНСС в одношаговом (one-hop) и двушаговом режимах (two-hop) топологии 'звезда' с узлом в центре звезды, расположенным на туловище человека. В этом случае рассматриваются два типа передачи данных: передача от координатора к устройству и передача от устройства к координатору. Взаимодействие реализуется в режиме маяка и в режиме без маяка.

В режиме маяка координатор сети является узлом в центре топологии 'звезда', контролирует взаимодействие сетевых узлов. Он передает периодические маяковые радиосигналы, для определения начала и конца супер-кадра, а также для синхронизации устройств. Режим маяка именуется рабочим циклом системы и определяется пользователем, опираясь на стандарт БНСС.

В режиме без маяка сетевой узел передает информацию координатору и при необходимости использует доступ с контролем к несущей и предотвращением коллизий. В то же время узлы БНСС опрашивают координатора на предмет приема данных. Координатор не может постоянно общаться с узлами, узлы должны ждать, пока они не будут приглашены для взаимодействия с координатором.

Рассмотрим две основные топологии построения БНСС. В первой из них используется передача информации за один шаг (one-hop), а во второй – за множество шагов (multi-hops). БНСС можно классифицировать в соответствии с используемой топологией.

Звездная топология (One-hop). В архитектуре звезда датчик должен расходовать достаточно энергии для передачи сигнала, поскольку координатор может располагаться достаточно далеко. Таким образом, жизненный цикл датчиков уменьшается, и каждый датчик, кроме того, может создавать помехи другим датчикам в своей рабочей области. Заметим, что при перемещении человека есть

вероятность возникновения неисправности, а значит сообщение датчиков с координатором может прекратиться. В системе БНСС, базирующей на топологии ‘звезда’ всю важную информацию датчики передают непосредственно координатору. Стоит упомянуть, что топология ‘звезда’ это наименее надежная топология, из-за того что для сенсорного узла существует один единственный способ передачи информации координатору.

Кластерная топология (multi-hops). Как можно было догадаться, датчик передает сигнал на соседний датчик, из-за чего мощность передачи и зона передачи достаточно малы. Из этого следует, что жизненный цикл сенсорного узла можно увеличить. Если передача данных не удалась во время прямой связи между сенсорным узлом и координатором, сенсорный узел может воспользоваться соседним сенсорным узлом, связанным с координатором, для передачи информации. В стандарте IEEE 802.15.6 топология two-hops рассматривается как кластерная. Принятые сенсорными узлами в кластере пакеты данных посылаются к головному узлу, который передает эти пакеты координатору. Таким образом, в кластерной топологии сенсорный узел может передавать сигнал своему головному узлу или, если необходимо, головному узлу соседнего кластера вместо координатора. Поскольку все сенсорные узлы датчиков собирают и передают пакеты данных координатору через головной узел кластера, вероятная мощность передачи всех узлов датчика уменьшается, а вот пропускная способность, вероятно, возрастает.

Для кластеризации БНСС используется метод нечеткой логики. В качестве радио модели мы используем типовую модель для БНСС:

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx-elec}(k) + E_{Tx-amp}(k, d) \quad (1)$$

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx-elec} \cdot k + E_{Tx-amp} \cdot k \cdot d^2 \quad (2)$$

$$E_{Rx}(k) = E_{Rx-elec}(k) + E_{Rx}(k) \quad (3)$$

$$E_{Rx}(k) = E_{Rx-elec} \cdot k \quad (4)$$

где  $E_{Tx}$  – энергия, затрачиваемая на передачу;

$E_{Rx}$  – энергия, потребляемая на приеме;

$E_{Tx-elec}$  и  $E_{Rx-elec}$  – энергии, требуемая для работы электронной схемы передатчика и приемника.

$E_{amp}$  – энергия, необходимая для усилителя;

$k$  – размер пакета;

$d$  – расстояние между передатчиком и приемником.

Формирование кластера происходит следующим образом: сенсорное поле делится на 2 логические области (первая область 0-100 см, вторая 100...200 см). В каждом раунде выбор головного узла кластера основан на методе нечеткой логики. Далее, расстояние между сенсорными и головным узлами в каждом кластере рассчитывается по формуле:

$$d(S_i, C_j) = \sum_{i=1}^m \sqrt{(S_i - C_j)^2}, \quad (5)$$

где  $S_i$  – сенсорный узел  $i$  в кластере ( $i=1, \dots, m$ );

$C_j$  – головной узел  $j$  кластера ( $j=1, \dots, k$ ).

Расстояние между координатором и головным узлом вычисляется на основании формулы:

$$d(\text{Coordinator}, CH) = \sqrt{(X_{CH} - X_{coord})^2 + (Y_{CH} - Y_{coord})^2}, \quad (6)$$

где  $X_{CH}$  и  $X_{coord}$  – координата головного узла и координатора по оси  $x$ ;

$Y_{CH}$  и  $Y_{coord}$  – координата головного узла и координатора по оси  $y$ .

### 1.3 БНСС инфраструктура

Беспроводная нательная сенсорная сеть включает в себя узлы, обеспечивающие непрерывный процесс мониторинга жизненно важной информации о состоянии здоровья пациента, данная информация помогает в диагностике и дальнейших рекомендациях. Трафик БНСС разделяется на аварийный, нормальный и трафик по запросу.

Действия координатора или запрос к доступу авторизованного пользователя определяет трафик по запросу. Он в свою очередь подразумевает линейный

и дискретный трафика. При хирургических событиях требуется использование линейного трафика. Дискретный трафик используется для ситуаций, когда доступ к информации нужен время от времени.

В момент, когда узлы, во время работы преодолевают установленный порог, требуется немедленное решение, и в дело вступает аварийный трафик. Данный трафик не генерируется регулярными промежутками времени, поэтому, чаще всего, непредсказуем.

При отсутствии критических событий используется нормальный трафик. Данный режим характеризуется ненавязчивым наблюдением и мониторингом болевой пациента. Нормальные данные собираются и обрабатываются координатором. Координатор включает в себя побудочную цепь, основное радио, функцию моста, и все они связаны с интерфейсом данных. Для адаптации к аварийному трафику используется побудочная цепь. Функция моста используется для установления логической связи между различными узлами, работающими в разных частотных диапазонах.

#### 1.4 Физический уровень

В большинстве случаев БНСС пользуются не инженеры, а все же медицинский персонал и сами пациенты. Следовательно, сеть должна уметь настраиваться и поддерживать себя самостоятельно. То есть, при размещении датчика при пациенте, он должен без внешнего вмешательства подключаться к сети и определить маршруты для передачи данных. Нюанс самоорганизации включает в себя проблему адресации узлов, что решается либо настройкой непосредственно во время установки сети либо установкой адреса при производстве (MAC-адрес). Для получения обновлений сеть должна иметь возможность перенастройки. При сбое маршрута, должен быть создан резервный. Устройства могут располагаться по всему телу, поэтому точное местоположение устройства зависит только от приложения. Ввиду возможного возникновения разногласий, в связи с лучшим

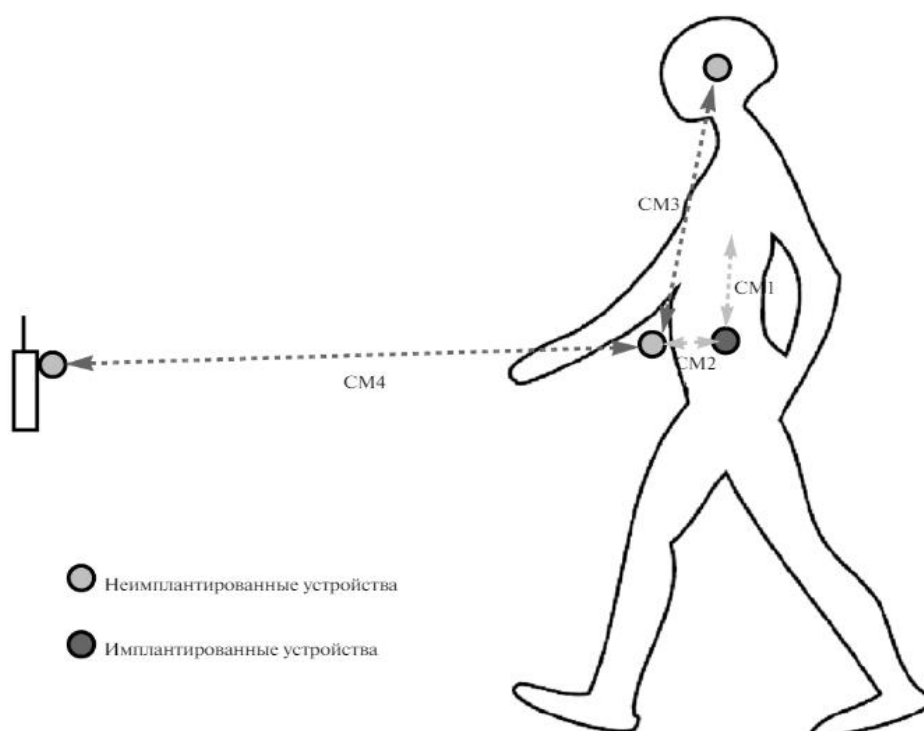
размещением некоторых датчиков, интерпретация полученных данных может не совпадать.

В БНСС различают всего три типа узлов: имплантированные, поверхностные и внешние.

Имплантированные узлы размещаются внутри человеческого тела.

Поверхностные узлы размещаются на поверхности тела пациента, так же могут устанавливаться на расстоянии до двух сантиметров. Внешние узлы размещаются на расстоянии до пяти метров от человека и не соприкасаются с ним.

Типы узлов представлены на рисунке 4.



CM1 – линия связи между имплантированными узлами,  
CM2 – линия связи между имплантированным узлом и узлом на поверхности тела,  
CM3 – линия связи между узлами на поверхности тела,  
CM4 – линия связи между внешним узлом и узлом на поверхности тела

Рисунок 4 – Типы узлов БНСС

Для совместимости с имплантированными и нательными датчиками узлы изначально разрабатывается как устройство малых размеров, что делает БНСС удобными в повседневности.

Количество узлов в БНСС ограничено задачей сети; предположительно оно будет находиться в диапазоне 20...50.

За счет того, что при связи датчиков учитывается не прямое расстояние между ними, а минимальная длина дуги на поверхности тела, существует возможность рассматривать поверхностные огибающие волны для связи между приемными и передающими узлами на поверхности тела. Для внешнего узла, где датчики могут располагаться до пяти метров друг от друга, учитывается длина прямой линии связи.

Неоднородность приложений БНСС не позволяет назвать определенную скорость передачи данных.

Скорость передачи данных для типовых устройств БНСС указаны в таблице 1. Данные показывают, что скорости невелики. Тем не менее, в БНСС часто бывает, что задействуются сразу несколько датчиков одновременно (сенсоры ЭКГ и ЭМГ или несколько датчиков движения), в таком случае, рассматривается суммарная скорость передачи, которая достигает уже нескольких Мбит/с. Такая скорость передачи данных выше чем у большинства имеющихся беспроводных технологий, работающих на малых мощностях.

Таблица 1 – Скорость и разрядность типовых узлов БНСС

Типы узлов	Полоса частот	Скорость передачи	Число разрядов АЦП датчика
Датчик движения	0...500 Гц	35 бит/с	12 бит
Температура	0...1 Гц	120 бит/с	8 бит
Контролирование глюкозы	0...50 Гц	1600 бит/с	16 бит
Насыщение крови	0...1 Гц	16 кбит/с	8 бит
ЭЭГ	0...150 Гц	44 кбит/с	12 бит
ЭМГ	0...10 кГц	320 кбит/с	16 бит
ЭКГ (6 электродов)	100...1000 Гц	71 кбит/с	12 бит
ЭКГ (12 электродов)	100...500 Гц	288 кбит/с	12 бит
Искусственная сечатка	-	50...700 кбит/с	-
Звук	-	1 Мбит/с	-
Голос	-	50...100 кбит/с	-

Вероятность ошибки на бит BER (Bit Error Rate) определяет надежность передачи данных. Она преобразуется в PER (Packet Error Rate) или вероятность

числа потерянных пакетов данных. В соответствии с изменением скорости передачи меняется и требуемая надежность медицинских устройств. Приложения, работающие на низких скоростях, обрабатывают более высокие значения BER (например,  $10^{-4}$ ), устройства с более высокими скоростями передачи требуют более низкие BER (например,  $10^{-8} \dots 10^{-10}$ ). Требуемые значения BER также зависят от критичности данных.

Для размещенных на теле устройств, национальными и международными правилами, определяется ограничение максимальной мощности излучения. В Европе, предел максимальной мощности медицинских устройств составляет 25 мкВт;

Однако, для имплантированных датчиков, учитывая потери в организме, допускаются более высокие значения мощности излучения.

При разработке БНСС рассматривается четыре варианта:

- поверхность тела – поверхность тела при наличии прямой линии связи;
- поверхность тела – поверхность тела» при отсутствии прямой линии связи;
- поверхность тела – внешний узел- при наличии прямой линии связи;
- поверхность тела – внешний узел при отсутствии прямой линии связи.

Физический уровень БНСС работает в нижней или верхней полосе частот. Полосы разделяются каналом шириной 499,2 МГц. В нижней полосе содержится три канала. Второй канал с центральной частотой 3999,3 МГц считается основным. Верхняя полоса содержит восемь каналов, где седьмой канал имеет центральную частоту 7987,2 МГц и считается основным, остальные каналы считаются необязательными. Типовое БНСС устройство должно поддерживать по крайней мере один из основных каналов. Приемопередатчик БНСС должен иметь низкую сложность реализации и генерировать сигнал того же уровня мощности, который используется в диапазоне MICS (Medical Implant Communication Service).



## 2 СШП радиосвязь в БНСС

### 2.1 Хаотическая СШП радиосвязь в БНСС

Разработка стандарта IEEE 802.15.6 для персональных бытовых и медицинских сенсорных сетей было направлено на решение следующих проблем, присущих узкополосным сигналам:

а) увеличение полосы пропускания БНСС до 1-10 Мбит / с;

Недостаточная пропускная способность может быть причиной нестабильной работы сети.

б) обеспечение электромагнитной совместимости БНСС с электронным оборудованием специальных отделений поликлиник;

Сверхширокополосные СШП устройства, излучают сигнал, спектральная плотность которого составляет менее 10<sup>-3</sup> от спектральной плотности сигналов, излучаемых узкополосными устройствами. Такой уровень излучения соответствует рекомендациям стандарта IEEE802.15.6.

в) увеличение надежности связи в сравнении с узкополосными сетями;

Ожидается, что при пакетной передаче данных и длине пакетов менее 1 Кбит будет теряться не более 1 процента пакетов.

г) упрощение структуры сети и алгоритма ее работы;

д) снижение энергопотребления сетевых компонентов.

При одинаковой средней скорости передачи энергопотребление СШП устройств в 3-5 раз меньше, чем у узкополосных систем.

В стандарте IEEE 802.15.6 в качестве носителей информации используются импульсы с линейной частотой модуляции, хаотические и короткие импульсы.

Хаотические импульсы, как эффективный носитель информации для беспроводной связи, впервые были предложены в Институте радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН в 2000 году. В 2007 году хаотические радиоимпульсы были признаны международным научно-техническим

сообществом. Стандарт IEEE 802.15.6 для БНСС, это второй стандарт, использующий прямую беспроводную передачу данных в качестве основного решения.

На основе хаотических радиоимпульсов разработано несколько вариантов СШП-приемопередатчиков, что дает возможность сопоставления требований стандарта БНСС IEEE 802.15.6 с реальными устройствами. Для сравнения возьмем приемопередатчик ППС-43.

Прямохаотический СШП-приемопередатчик ППС-43 передает данные в режиме точка-точка. Варианты использования ППС-43: режим оконечного устройства, режим повторителя и режим базовой станции. Приемопередатчик ППС-43 может обрабатывать передачу аналогового сигнала через цифровые интерфейсы, за счет интегрированной сенсорной платы. Физический уровень устройства соответствует стандарту IEEE 802.15.4a. Структура ППС-43 представлена на рисунке 5.



Рисунок 5 – Структурная схема приемопередатчика ППС-43

Структура приемопередатчика условно делится на цифровую и радиочастотную части.

В радиочастотную часть входит приемник, передатчик и СВЧ-ключ. Работа ППС-43 осуществляется в полудуплексном режиме. Во время передачи данных выход передатчика коммутируется с входом антенны за счет СВЧ-ключа. Во время приема данных коммутируются вход приемника с выходом антенны передатчика. Таким образом, СВЧ-ключ осуществляет развязку между приемником и генератором.

Приемник состоит из малошумящего усилителя и логарифмического детектора. С помощью малошумящего усилителя (20 дБ) и логарифмического детектора с динамическим диапазоном 50 дБ и чувствительностью 50 дБм, регулируется усиление входного сигнала.

Программируемая логическая интегральная схема ПЛИС отвечает за управление ключом. Кроме этого, ПЛИС также обрабатывает, полученные от приемника импульсы, и генерирует для передатчика импульсы нужной длины и скважности. ПЛИС используется только в работе с цифровыми сигналами, поэтому требуется компаратор, чтобы преобразовать аналоговые импульсы в цифровые.

Цифроаналоговый преобразователь ЦАП, задает пороговое напряжение компаратора и управляется микроконтроллером.

Микроконтроллер координирует всю работу приемопередатчика ППС-43. Он управляет ЦАП, переключает режимы приема и передачи данных с режимом ожидания, также микроконтроллер хранит данные, необходимые для работы приемопередатчика в сети и для связи с внешними устройствами.

При разработке данного приемопередатчика удалось решить вопрос энергосбережения, ведь требованиям БНСС соответствуют лишь СШН устройства, способные к продолжительной работе без замены источника питания.

Максимального энергосбережения удалось добиться посредством работы ППС-43 в нескольких режимах:

- режим глубокого сна;
- спящий режим;
- режим приема данных от внешнего источника данных и излучения сигнала в окружающее пространство.
- режим приема сигнала из внешнего пространства и передачи информации на внешнее устройство.

Активный режим приемопередатчика потребляет примерно в 100 раз больше, чем в спящем режиме. Режиму глубокого сна требуется в 20 раз меньше энергии, чем спящему режиму, но ему требуется больше времени для перехода в

активный режим, чем спящему. Поэтому, если интервал бездействия устройства короткий, используется спящий режим, режим глубокого сна используют при более длительных периодах бездействия. Внешний вид ППС-43 представлен на рисунке 6.

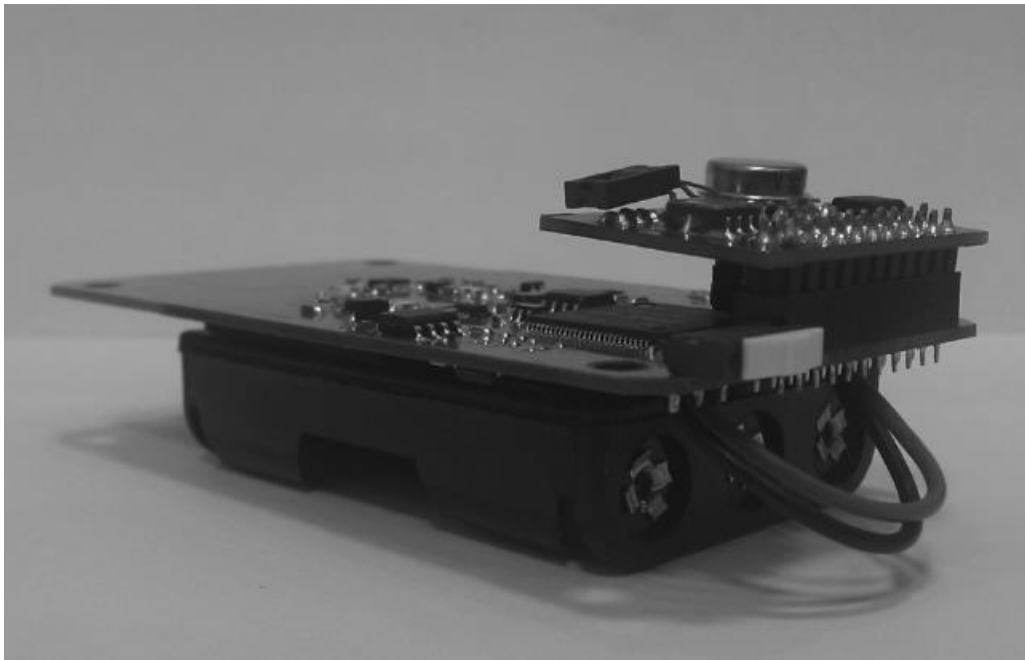


Рисунок 6 – Плата с датчиками, подключенная к приемопередатчику ППС-43

Работу ППС-43 в БНСС контролируют схемы статической маршрутизации с использованием алгоритмов самоорганизации. Статическая маршрутизация используется структура пакетов данных. Перед установкой, в память устройства идентификаторы соседних устройств, записываются в память ППС-43 вручную, непосредственно пользователем перед установкой, эти идентификаторы обеспечивают надежный маршрут для передачи информации. Алгоритм самоорганизации содержит следующие основные этапы:

- а) пробуждение приемопередатчика из состояния глубокого сна;
- б) обнаружение приемопередатчика и установление возможных связей между ними;
- в) расчет маршрута до выбранного узла сети;
- г) перевод не используемых приемопередатчиков в состояние глубокого сна.

Спектр мощности СШП-сигнала, излучаемого передатчиком, показан на рисунке 7.

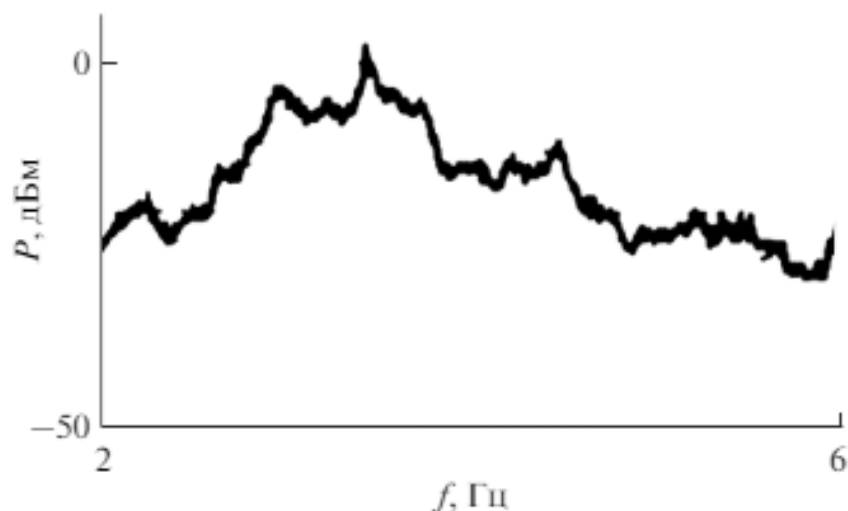


Рисунок 7 – Спектр мощности  $P$ , излучаемой  
приемопередатчиком ППС-43

В таблице 2 приведены основные технические характеристики приемопередатчика ППС-43.

Таблица 2 – основные технические характеристики ППС-43.

Характеристики приемопередатчика	ППС-43
Поддерживаемые приложения	Освещение, промышленная автоматика, домашние, медицинские и др.
Дальность	5-30 м в помещении
Скорость передачи данных	1 кбит/с - 6Мбит/с
Потребляемая мощность в зависимости от скорости передачи	0.09 мВт - спящий режим; 27 мкВт - 256 кбит/с; 70 мВт - 1024 кбит/с;
Излучаемая мощность в зависимости от скорости передачи	200 мкВт - 256 кбит/с; 800 мкВт - 1024 кбит/с;
Размер сети	До 65000 узлов
Безопасность, комфортность по биологическим параметрам	При пониженном уровне мощности (дальность до 5 м)
Полоса выходного сигнала	3-4,5 ГГц
Чувствительность приемника	-70 дБм
Мощность излучения в импульсе	13 дБм
Напряжение питания	4,5 В

На основе сравнения данных требований стандарта IEEE 802.15.6 с характеристиками типового приемопередающего модуля ZigBee установлено, что

характеристики ППС-43, работающий в диапазоне 3-5 ГГц, в качестве носителя информации хаотических радиоимпульсов намного ближе к требуемым характеристикам, рекомендованных стандартом, чем типичные характеристики устройств ZigBee. Не доставит проблемы и уменьшению мощности излучения ППС-43 на 10-13 дБ для полного соответствия требуемым характеристикам стандарта IEEE 802.15.6.

## 2.2 Компоненты сверхширокополосной БНСС

Основные элементы сверхширокополосной БНСС:

- сенсорный узел – устройство, состоящее из датчика и приемопередатчика.
- ретранслятор – приемопередатчик, принимающий и передающий пакет из радиоэфира.
- базовая станция – приемопередатчик, подключенный к компьютеру. Осуществляет сбор данных в сети.
- приемопередатчик – используется в качестве сенсорного узла, ретранслятора или в качестве базовой станции.
- подключаемые датчики – датчики температуры, влажности и освещенности, цифровой акселерометр. Данные с сенсорной платы для каждого датчика снимают с частотой 1 ГГц.

Примеры топологий сенсорной сети, используемых в БНСС, отображены на рисунке 8.

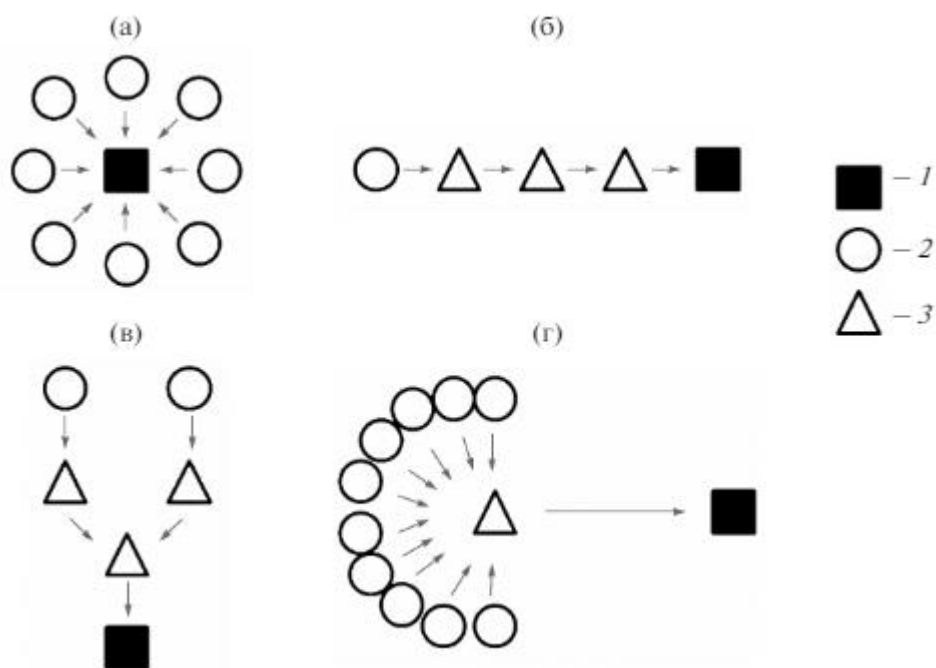


Рисунок 8 – Пример топологий СШП БНСС

На рисунке 8

а – топология звезда;

б – топология цепочка;

в – топология дерево;

г – топология гибрид звезды и цепочки;

1 – базовая станция;

2 – сенсорный узел;

3 – ретранслятор.

Если несколько сенсоров подключены к разным приемопередатчикам (например, когда в одной палате размещено несколько наблюдаемых пациентов), получение данных осуществляется посредством топологии «звезда».

Топология «цепочка» используется при необходимости передавать данные вдоль коридоров или в длинных комнатах.

В случае необходимости сбора данных от нескольких наблюдаемых пациентов, размещенных в разных отделениях больницы, используется топология «дерево».

Алгоритм сбора и передачи данных осуществляется посредством работы микроконтроллера. Он оцифровывает, полученный с датчика, аналоговый сигнал на установленной частоте, посредством управления встроенным АЦП. Затем он сохраняет отчет и формирует пакет данных для отправки.

Передача данных в БНСС происходит следующим образом. Сенсорный узел периодически отправляет пакеты данных в эфир. В области радиовидимости сенсорного узла, расположен ретрансляционный узел, что принимает эти пакеты, после чего устройство, получившее сигнал, проверяет контрольную сумму, и в случае успешной проверки, обработка пакета продолжается.

На узлах ретранслятора размещены таблицы разрешенных адресов, во избежание высокого трафика. Пакет не передается, если адрес его отправителя не содержится в этой таблице. Каждая ретрансляция сопровождается добавлением в пакет адреса отправителя.

При достижении пакетом данных базовой станции, в нем содержится информация о всем пройденном маршруте. Для предупреждения повторной отправки пакета одним и тем же ретранслятором более одного раза, в ретрансляторе сохраняются номера пакетов и номера отправителя.

### 2.3 Экспериментальная СШП сеть для медицинских приложений

В диссертации [1], для проверки СШП хаотических приемопередатчиков в реалиях медицинских учреждений проведена серия экспериментов с основными вариантами топологии сети. Данные эксперименты были нацелены в первую очередь на проверку работоспособности и оценки эффективности предложенного подхода. Испытания были проведены в помещениях «Института радиотехники и электроники В.А. Котельникова РАН».



1) Данный эксперимент изучал возможность передачи данных из нескольких помещений. При эксперименте сенсорные узлы, принимающие данные, были размещены в двух разных помещениях, а базовую станцию разместили вне зоны прямой видимости узлов. Топология сети выглядела как «дерево с двумя ветвями» (рисунок 8в).

В данном эксперименте потребовалось использование двух сенсорных узлов (У1, У2), трех ретрансляторов (У3, У4, У5) и одной базовой станции (У6). Источником данных всех экспериментов были выбраны датчики температуры. Схема эксперимента представлена на рисунке 9. «Данные с сенсорного узла У1 были передавались на ретранслятор У3, после чего попадали на ретранслятор У5, и затем принимались базовой станцией У6. Аналогично передавались данные от сенсорного узла У2, расположенного в коридоре: данные через ретранслятор У4 попадали на ретранслятор У5, после чего их принимала базовая станция. После обработки и визуального представления, на компьютере появлялись данные от сенсорных узлов У1 и У2».

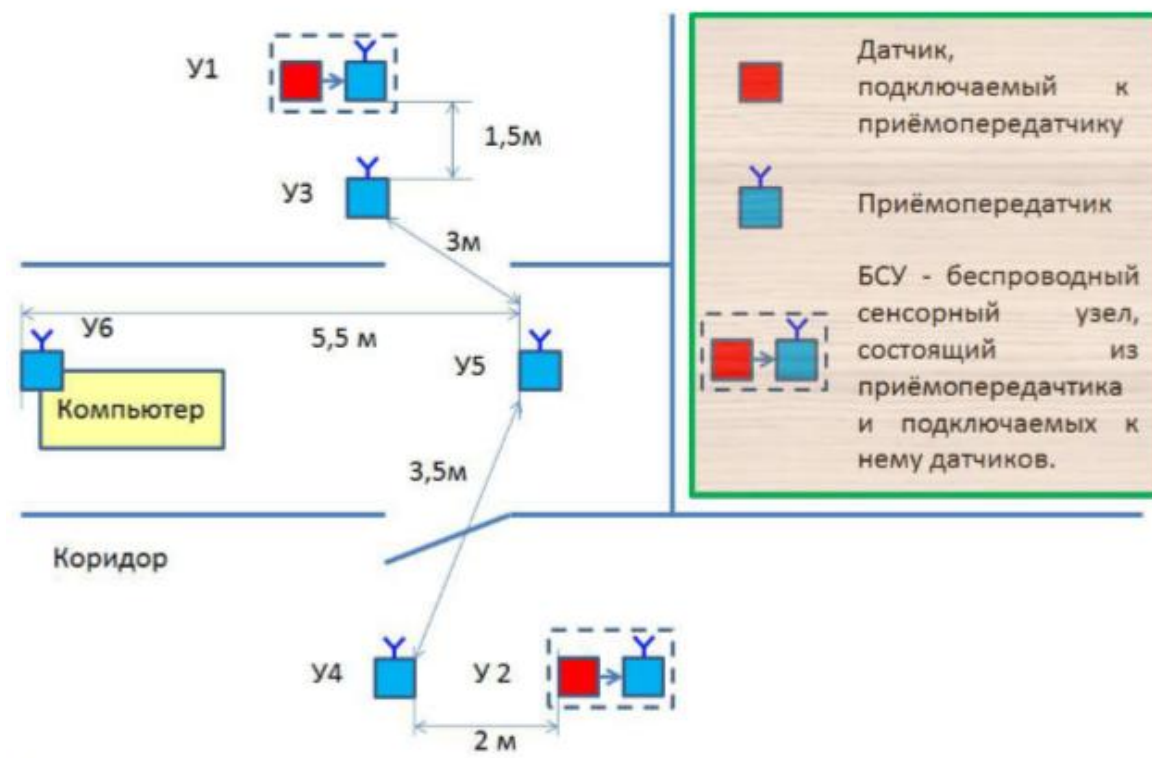


Рисунок 9 – Схема расположения узлов сети при сборе и передаче данных из двух помещений

В специальной программе «Центр управления БНСС» («Wireless sensor network control center») осуществлялась компьютерная обработка и визуализация данных. Интерфейс программы в процессе работы сети представлен на рисунке 10.

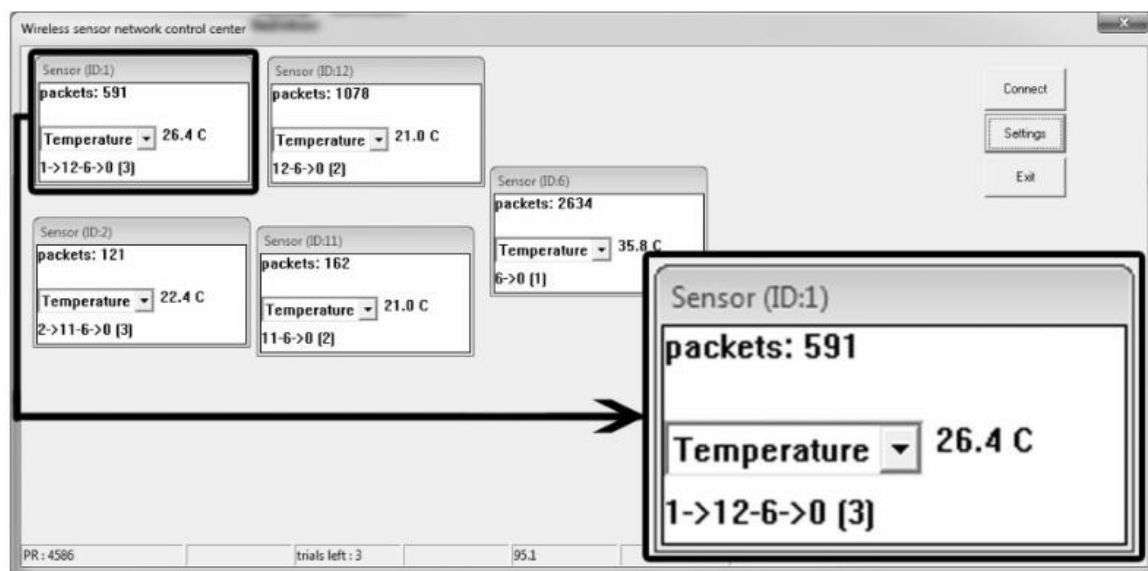


Рисунок 10 – Интерфейс программы  
«Wireless sensor network control center»

Номер устройства-отправителя отображается в окнах, количество которых соответствует сумме числа сенсоров и ретрансляторов, также в них видно число принятых пакетов, данные и их маршрут доставки. На рисунке 10, по маршрутам с двумя ретрансляторами, данные поступали от обоих сенсорных узлов У1 и У2 (ID:1 и ID:2).

В эксперименте со сверхширокополосными БНСС в топологии типа «дерево» при независимом от сенсорных узлов снятии данных коллизия из-за столкновения пакетов не наблюдалась.

2) Эксперимент по передаче данных от нескольких сенсорных узлов. В эксперименте изучалась передача информации от нескольких сенсорных узлов на ретранслятор одновременно, после чего данные отправлялись на базовую

станцию. Топология сети представляла собой гибрид топологий «звезда» и «цепочка» (рисунок 8г).

В ходе эксперимента использовалось 10 сенсорных узлов (У1-У10), ретранслятор (У11) и базовая станция (У12). Все сенсорные узлы сети работали в асинхронном режиме, отправляя данные один раз в секунду.

Опыт показал стабильную работу системы в данной топологии и асинхронном режиме.

Теоретические оценки показали возможность увеличения количества сенсорных узлов в десять раз минимум при сохранении стабильного функционирования сети.

3) Эксперимент по передаче данных от движущегося сенсорного узла. Данный эксперимент изучает работу СШП БНСС в случае передачи данных от мобильного сенсорного узла, что движется вдоль цепочки ретрансляторов. Данные с этого узла передаются на ближайший ретранслятор (рисунок 11). Эксперимент моделирует ситуацию перемещения пациента с датчиком по коридору медицинского учреждения.



Рисунок 11 – Расположение приемопередатчиков в эксперименте с изменяемой топологией сети

В ходе экспериментов использовались: сенсорный блок (У1), три ретранслятора (У2, У3, У4) и базовая станция (У5).

«Данные от подвижного сенсорного узла У1, расположенного на передвижной тумбе, поступали на тот ретранслятор, в области которого находился в данный момент узел У1, после чего передавались на следующий в цепочке ретранслятор, находящийся ближе к базовой станции У5 и т.д.» [1]. Серия ретрансляций заканчивается получением базовой станцией переданных данных.

В отличие от предыдущих экспериментов, топология сети динамически изменялась в зависимости от положения сенсорного узла (рисунок 12).

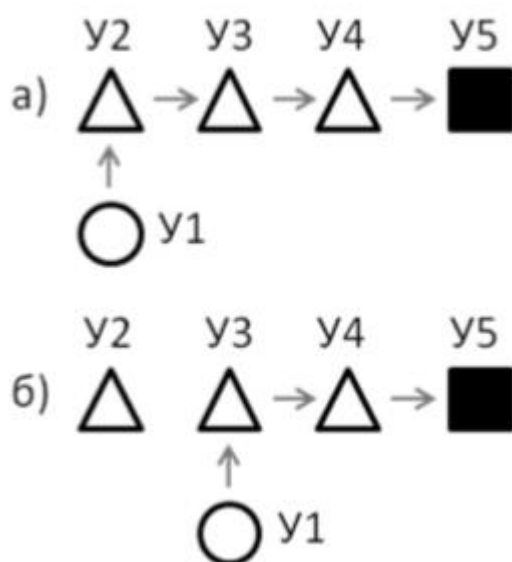


Рисунок 12 - Топология сети в эксперименте с подвижным сенсорным узлом

Положение узлов сети в начале эксперимента, когда данные проходят через три ретранслятора (а) и позже, когда данные проходят через два ретранслятора (б).

Сперва тумба с узлом У1 располагалась вблизи ретранслятора У2. Данные с узла передавались по маршруту, проходящему через ретрансляторы У2, У3 и У4 (рисунок 12а). После чего узел У1 перемещался в направлении У3 и У4 (рисунок 12б).

Таким образом, опытным путем было установлено, что движение сенсорного узла не нарушает передачу данных, они продолжают непрерывно поступать на базовую станцию.

Датчики в медицинских учреждениях бывают весьма требовательны к пропускной способности сети. Например, использование множества датчиков для снятия ЭКГ одновременно, перегружает сеть. К тому же, для обеспечения качественного восстановления кривых ЭКГ на базовой станции, предъявляются высокие требования к надежности передачи данных.

#### 4) Эксперимент по передаче данных от пульсометра.

Разработано экспериментальное оборудование для реализации фрагментов медицинской сети, с которым была проведена серия экспериментов. Была использована сенсорная плата, которая включает аналоговые датчики температуры, влажности и освещенности, цифровой акселерометр и монитор сердечного ритма, который позволяет измерять частоту сердечных сокращений пациента и определять тип пульсовой волны. Внешний вид пульсометра представлен на рисунке 13. Он оснащен двумя электродами, подключающимися к запястью или грудной клетке в области сердца.

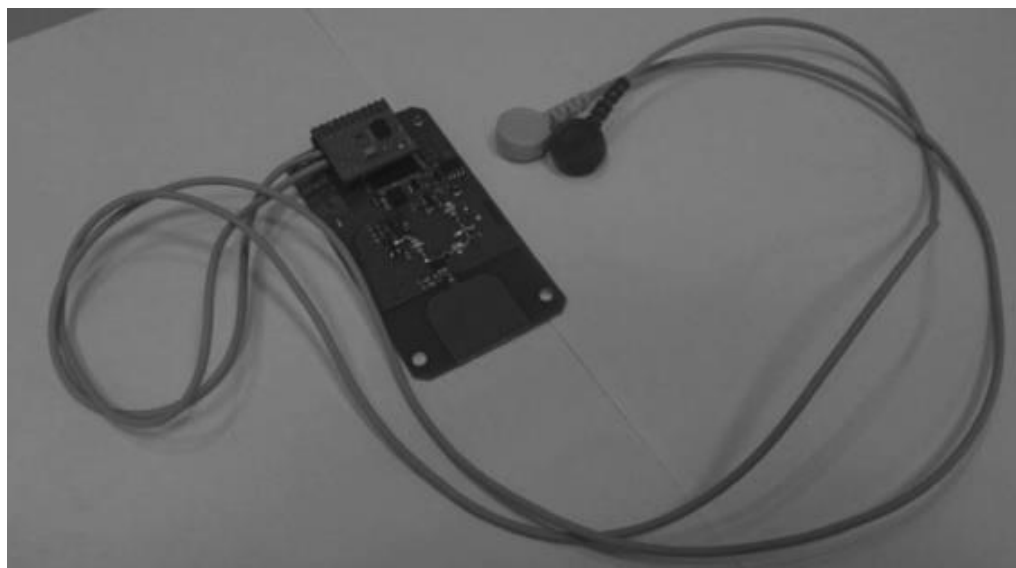


Рисунок 13 – Пульсометр, подключенный к плате приемопередатчика

Аналоговый сигнал на выходе пульсометра формируется при напряжении от 0 до 3,3В, затем он поступает на АЦП микроконтроллера приемопередатчика.

Частота сбора данных на АЦП составляет 200 отсчетов в секунду, каждый отсчет занимает 2 байта данных. Скорость передачи данных пульсометра составила 3200 бит/с. Данные от пульсометра по беспроводной СШП сети были переданы на ПК, где в реальном времени был построен график пульсовой волны, который изображен на рисунке 14.

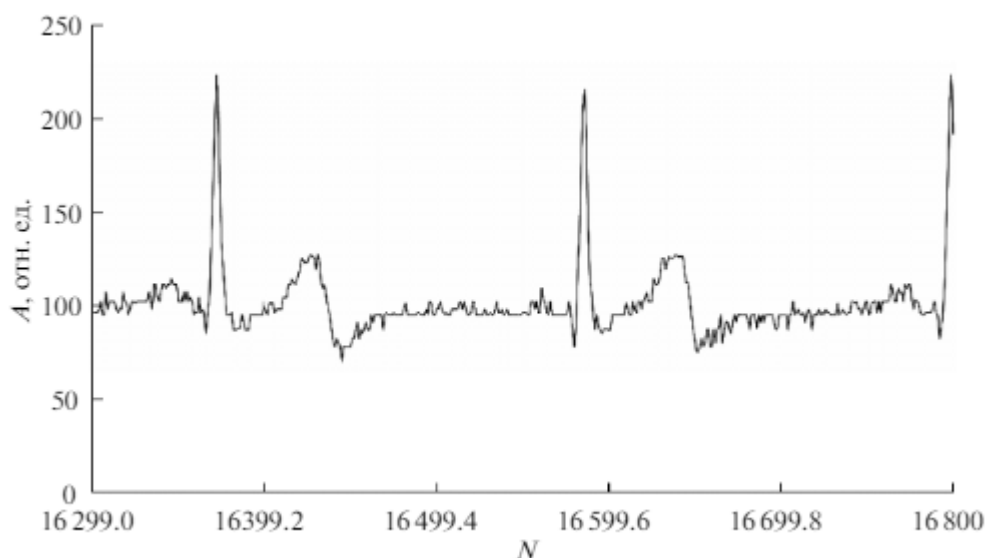


Рисунок 14 – График пульсовой волны

Эксперимент показал, что данные с пульсометра были переданы правильно и с необходимой скоростью. Потеря информации не превысила 1 процент. Оценки показывают, что при работе сети в синхронном режиме можно подключить около 250 каналов передачи ЭКГ. Это более чем на порядок превышает возможности узкополосных сенсорных систем на базе ZigBee.

Результаты показывают, что сенсорные сети на основе хаотических радиоимпульсов СШП могут эффективно использоваться для решения задач автоматизации мониторинга пациентов в медицинских учреждениях, включая передачу большого объема данных.

### 3 Нателные сенсорные сети: стандарты и протоколы безопасности

#### 3.1 Стандарта IEEE 802.15.6

На сегодняшний день, в беспроводной связи широко используется и применяется не только стандарт IEEE 802.15.6. Наиболее используемые IEEE 802.11 (WLAN – Wireless Local Area Network), IEEE 802.15 (WPAN – Wireless personal area network), который включает в себя стандарты IEEE 802.15.1 (Bluetooth) и IEEE 802.15.4 (ZigBee). В 2010 году исследовательской группой был опубликован черновой вариант IEEE 802.15.6. 29 февраля 2012 года была опубликована окончательно принятая версия стандарта. Рассмотрим его концепцию, на основе разработанных, в процессе создания стандарта, документов.

Необходимость разработки нового стандарта становится ясна при сравнении характеристик БНСС предыдущих стандартов с новым.

Стандарт IEEE 802.11 - это группа стандартов для локальных беспроводных сетей (WLAN или Wi-Fi). Он содержит различные модификации, такие как IEEE 802.11 /a / b / g / n. WLAN используется в портативных устройствах или стационарных компьютерах посредством беспроводной связи. Дело в том, что во время разработки стандарта, не уделялось должного внимания вопросам энергосбережения, ограничению сложности и программного обеспечения. вследствие чего данная группа стандартов не пригодна для решения задач БНСС.

Группа стандартов IEEE 802.15 используется при коротких расстояниях передачи, в основном в беспроводных персональных сетях (WPAN). Они ориентированы на низкое энергопотребление и невысокую сложность. Этот стандарт содержит IEEE 802.15.1 (Bluetooth), IEEE 802.15.4 (ZigBee) и IEEE 802.15.4a. Указанные стандарты применяются и в медицине и даже разработаны их медицинские варианты. Однако, получены принципиальные отличия при сравнении их характеристик с требованиями БНСС.

Рассмотрим систему ZigBee. Устройства ZigBee требуют меньшего энергопотребления чем устройства Bluetooth, поэтому продолжительность их работы выше. Приложения Bluetooth требуют относительно высоких скоростей для передачи данных, ZigBee же работает на более низких скоростях. И даже к сети устройства ZigBee подключаются быстрее. Но их функциональная

недостаточность оголяется при сравнении характеристик стандарта БНСС и ZigBee (см. Таблицу 3).

Таблица 3 – Сравнение основных характеристик стандартов IEEE 802.15.6 и IEEE 802.15.4

Характеристики стандартов	Стандарт IEEE 802.15.6	Стандарт IEEE 802.15.4
Поддерживаемые приложения	Медицинские, игровые, развлекательные, спортивные и др.	Домашние, освещение, промышленная автоматизация и др.
Дальность	2 - 5м в помещении	10 - 100 м в свободном пространстве, 5 - 30 м в помещении
Скорость передачи данных	1 кбит/с - 10 Мбит/с	20, 40, 250 кбит/с
Потребляемая мощность	0,01 мВт - спящий режим, 40 мВт - активный режим при скорости передачи 500 Кбит/с	135 - 150 мВт при скорости 250 бит/с
Излучаемая мощность	25 мкВт (-16 дБм)	1 мВт (0 дБм)
Размер сети	Умеренный, до 256 узлов	Большой, до 65000 узлов
Безопасность, комфортность по биологическим параметрам	Да	Нет

Из сравнения стандартов БНСС и ZigBee видно, что для работы им требуется различная среда. Устройства стандарта IEEE 802.15.6 применяются на более коротких расстояниях, скорость передачи у них выше, Энергопотребление в режиме ожидания мало, а мощность излучения при эксплуатации ниже, чем у устройств стандарта IEEE 802.15.4.

Таким образом ZigBee значительно уступает БНСС в производительности и длительности автономной работы. Стандарт IEEE 802.15.6 не нуждается в больших размерах сети, и поскольку организм человека является рабочей средой БНСС, обязательно соответствие биологическим параметрам и требованиям безопасности. Излучаемая мощность устройств стандарта IEEE 802.15.6 значительно ниже устройств Bluetooth и ZigBee, что соответствует медицинским требованиям.

«Беспроводные нательные сети стандарта IEEE802.15.6 являются системами радиосвязи малого радиуса действия, предназначенными для работы в окрестности или внутри тела человека (но не ограничивающимися этим). Они используют существующие ISM-полосы частот, нелицензируемую полосу частот для сверхширокополосной (СПШ) связи, а также полосы частот, принятые



национальными медицинскими и/или регулируемыми органами». В БНСС необходимы низкое потребление, поддержка качества услуг и скорость передачи до 10 Мбит/с для обеспечения отсутствия помех другим устройствам.

### 3.2 Требования к беспроводным нателным сенсорным сетям в стандарте IEEE 802.15.6

Согласно стандарту IEEE 802.15.6 в БНСС должны быть соблюдены следующие требования к масштабируемости и жизнеспособности сетей:

- каналы БНСС должны поддерживать скорости передачи от 10 Кбит/с до 10 Мбит/с.

- узлы должны быть способны удаляться и добавляться к сети меньше чем за 3 секунды.

- каждая сеть БНСС должна поддерживать до 256 узлов.

- узлы должны обеспечивать надежную коммуникации, даже при передвижении человека. Хотя некоторое снижение пропускной способности приемлемо, информация не должна быть потеряна из-за нестабильности состояния канала.

- узлы на и внутри тела пациента должны быть способны к сосуществованию.

- БНСС должны уметь работать в гетерогенной среде, где сети различных стандартов взаимодействуют между собой, чтобы получить информацию.

- все устройства должны быть способны передавать данные на 0,1 мВт (минус 10 дБм), а максимальная излучаемая мощность передачи должна быть 1 мВт (0 дБм). Это соответствует удельному коэффициенту поглощения (SAR) федеральной комиссии по связи 1.6 Вт/кг в 1 г ткани тела.

- БНСС может включать технологию UWB – это технология сверхширокополосной беспроводной связи на небольших расстояниях при небольшом энергопотреблении, а также технологии с узкополосной передачей, для охвата различных сред и поддержания высоких скоростей передачи данных.

- использование механизмов энергосбережения, для работы БНСС в среде с ограничениями по электропитанию.

- установленная пропускная способность и сосуществование с другими БНСС.

### 3.3 Требования безопасности к БНСС

Основные и незаменимые компоненты БНСС это конфиденциальность физиологических и неврологических данных и безопасность. Эти компоненты гарантируют надежное хранение и передачу, доступных лишь установленным лицам, данных. Ключевыми требованиями являются конфиденциальность, целостность и доступность данных. На протяжении всего жизненного цикла устройств, и даже после утилизации, эти свойства должны сохраняться.

**Конфиденциальность:** доступ к информации об устройствах системы должен быть доступен только авторизованным организациям, прошедшим аутентификацию в системе (идентификация объектов, взаимодействующих с устройствами, должна поддаваться проверке). Данные должны быть конфиденциальными как при хранении, так и во время передачи.

**Целостность:** данные, информация об устройствах системы не должны быть изменены посторонними лицами. Система также должна соответствовать аутентификации источника данных. Источник любых полученных данных поддается проверке.

Целостность данных обеспечивает предотвращение несанкционированного изменения, во время хранения или передачи. Любые несанкционированные изменения данных должны быть обнаружены и обезврежены перед их использованием, соответствующие лица должны быть предупреждены. Это может быть достигнуто за счет протоколов аутентификации данных.

**Доступность:** данные, а также информация об устройствах и системные устройства должны быть доступны только по запросу уполномоченных лиц.

Доступность обеспечивает доступ к правильным данным только авторизованным пользователям. Ведь неспособность получить эти данные может повлечь за собой угрозу для жизни пациента. Любой обмен информацией с устройствами или людьми, необходимо аутентифицировать. Всё это, в совокупности, обеспечивает здоровье пациента от злоумышленников.

Таким образом, хранящиеся в распределительном порядке в узлах БНСС, данные должны безопасно передаваться через интернет к центральному серверу, в случае приема пациента как в больнице, так и в не пределов. Скрытность должна быть под контролем; также, данные всегда должны быть актуальны и доступны врачу, ведь это вопрос своевременности диагностики заболеваний и их лечения. Дополнительно, базовые требования безопасности и конфиденциальностью должны соответствовать следующим требованиям:

- личная конфиденциальность устройства: посторонние лица не должны быть в состоянии определить, что у пациента есть БНСС.

- конфиденциальность устройства: если конфиденциальность существования устройства невозможна, посторонние лица не должны быть в состоянии определить, какой тип БНСС используется.

- индивидуальная идентификация конкретного устройства: посторонние лица не должны получить возможность на определение идентификатора датчика БНСС.

- журнал измерений и защиты конфиденциальности: посторонние лица не должны иметь возможность на определение частной телеметрии и доступа к сохраненным данным пациента.

- персональная конфиденциальность пользователя: посторонние лица не должны использовать свойства БНСС для идентификации лечащегося пациента.

- отслеживание: физический уровень (контроль аналоговых датчиков или сопоставление отпечатка пальца) должен быть недоступен неавторизованным объектам и пользователям для отслеживания или определения местоположения пациента.

-контроль доступа: так как система предоставляет разные права доступа для разных пользователей (пациенты, врачи, вспомогательный персонал, аптеки и страховые агентства), тип и объем данных, доступных различным заинтересованным сторонам, следует четко контролировать.

-обновление данных: злоумышленник может воспользоваться хранившимися данными. Важно обеспечить отправку данных в том порядке, в котором они были созданы. Существует два типа свежести данных: слабая свежесть, которая гарантирует упорядочение частичных данных, но не гарантирует задержку и сильную свежесть, которая гарантирует упорядочение данных, а также задержку. Некоторые приложения, такие как мониторинг артериального давления, могут хорошо работать с низкой свежестью, в то время как синхронизация требует сильной свежести, например, когда контроллер передает сигнал.

-масштабируемость: по мере роста сети и увеличения числа пользователей система должна масштабироваться без неоправданной задержки. Это необходимо для контроля вычислительных и накладных расходов хранилища. Оно не должно быть ресурсоемким для реализации доступа, также издержки управление должны быть под контролем.

-гибкость: при смене пациентом больницы или врача, можно будет легко перенести центральные серверы и элементы управления доступа. В случае крайней необходимости, врачи, которые раньше не видели пациента, должны немедленно получить разрешение. Система также обрабатывает обстоятельства, когда пациент находится в бессознательном состоянии или психически неспособен контролировать работу БНСС.

-подотчетность: отправитель сообщения не должен впоследствии отрицать, что он отправил сообщение, и этот факт должен проверяться независимо третьей стороной, не знающей о содержании оспариваемого сообщения.

-безопасное распределение ключей: для обеспечения шифрования и дешифрования важной информации, контроллер должен иметь возможность выполнять безопасную ассоциацию и диссоциацию узлов [11].

Безопасность в БНСС является одним из наиболее важных вопросов.

Существуют несколько видов реализаций криптографии с симметричным ключом. Криптография с открытым ключом обеспечивает более высокий уровень безопасности при высоких энергозатратах.

Необходимы дополнительные исследования, чтобы поднять безопасность и конфиденциальность БНСС на новый уровень, и необходимо изучить эффективные схемы аутентификации, в соответствии с чертами лица пользователя и сигналами ЭЭГ пациента. Для пациентов без сознания необходим определенный метод, основанный на биометрии и аутентификации на основе физиологических сигналов.

#### 4 Применение БНСС

БНСС успешно развиваются в нескольких направлениях, включая удаленную диагностику состояния пациента, интерактивные игры, спортивные и военные применения.

Датчики внутри тела также производят мониторинг и программу изменений для ЭКС (имплантируемый электрокардиостимулятор - прибор, предназначенный для изменения ритма сердца) и ИКД (имплантируемый кардиовертер-дефибриллятор – устройство, которое автоматически распознает и проводит антиаритмическую терапию большинства тахиаритмий сердца), реабилитацию движения конечностей и контроль за функциями мочевого пузыря [9]. Медицинские применения БНСС на теле человека включают в себя мониторинг ЭКГ (электрокардиограмма – электрическая активность сердечной мышцы), давления крови, температуры и дыхания.

Устройства БНСС помогают в обнаружение рака, что по-прежнему остается одной из опасностей для жизни человека. Изучая данные Национального центра статистики здравоохранения, обнаружено что в 1999 году у 9 миллионов жителей США была диагностирована онкология. Миниатюрные датчики,

интегрированные в БНСС, способны обнаруживать онкологию на ранних стадиях болезни без применения биопсии.

Выявлением нарушений сердечного ритма в автономном режиме и без обратной связи до сих пор занимались холтеровские мониторы. Обнаружение переходных аномалий, при таком подходе, затруднено. Большинство сердечных заболеваний вызваны эпизодическими аномалиями, а не непрерывными, и не могут быть точно предсказаны (волны перехода в кровяном давлении, вызванные эпизоды ишемии миокарда или мерцательная аритмия). БНСС является ключевой технологией предотвращения возникновения инфаркта миокарда, наблюдения эпизодических событий и может использоваться для амбулаторного мониторинга здоровья.

Миллионы людей, страдающих астмой, могут получить необходимую помощь с применением БНСС, благодаря мониторингу количества аллергенов в воздухе. Разработано устройство, отслеживающее факторы окружающей среды с функцией обратной связи, для предупреждения пациента и врачей об аллергенах в воздухе.

Искусственная сетчатка. Чипы с протезом сетчатки могут быть имплантированы в человеческий глаз, что помогает пациенту с нарушением зрения, а незрячему видеть на адекватном уровне.

Для получения более наглядного примера работы БНСС в медицине, подробно рассмотрим работу ИКД.

Имплантируемый дефибриллятор имеет небольшие габариты - не больше пейджера - и вживляется под кожу верхней части грудной клетки. ИКД состоит из титанового корпуса, в котором располагаются микросхема и батарея. ИКД стимулирует сердце, когда оно останавливается или неритмично сокращается, либо сокращается слишком медленно. Также ИКД определяет электрическую активность сердца, при этом кардиостимулятор не посылает электрические импульсы т.е. не стимулирует сердце, если определяет, что сердце сокращается самостоятельно.

ИКД состоит из:

-батарея, которая снабжает электрической энергией имплантируемый дефибриллятор. Маленькая герметичная литиевая батарея служит много лет. Когда батарея истощается, ИКД полностью заменяется.

-микросхема – трансформирует энергию батареи в слабые электрические импульсы, которые не ощущаются пациентом. Микросхема контролирует продолжительность и мощность электрической энергии, затрачиваемой для импульса.

-коннекторный блок – прозрачный блок из пластика в верхней части ИКД, служит для соединения электродов и кардиостимулятора.

Имплантируемый дефибриллятор через вены соединяется с сердцем посредством специальных электродов. Электроды крепятся в полости правого предсердия и в полости правого желудочка. В зависимости от вида ИКД (однокамерный, двухкамерный, трехкамерный) каждый электрод имеет свои конструктивные особенности и предназначен для стимуляции одной из камер сердца.

Контакт электрода с сердцем осуществляется через металлическую головку на конце провода. С помощью нее стимулятор мониторит электрическую активность сердца и посылает электрические импульсы (стимулирует) только тогда, когда они требуются сердцу.

Получение информации из кардиостимулятора осуществляется через программатор. Программатор - это специальный компьютер, через который врач наблюдает за работой ИКД и, если необходимо, изменяет его настройки.

Ниже подробнее рассмотрены некоторые немедицинские применения.

В области охраны и безопасности благодаря таким устройствам может осуществляться дистанционное наблюдение и контроль, обнаружение опасных веществ, профилирование.

В области здоровья - отслеживание качества сна, стрессовых показателей, пульса, веса, получение дистанционных рекомендаций от врачей.

В области связи — обеспечение связи, доступ к мультимедиа, использование социальных сетей.

В области повседневных задач — планирование задач, оптимизация обучения, дополнение реальности, передача данных в режиме реального времени.

В области спорта и фитнеса - отслеживание физической активности, наблюдение за физиологическими показателями, мониторинг и управление целями, передача данных геолокации.

В военной сфере – отслеживание местоположения и состояния солдат во время выполнения боевых задач. Контроль уровня усталости. В этом случае солдаты должны иметь секретный канал связи для предотвращения засад [10].



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Последние достижения в области электроники позволяют создавать беспроводные нательные сенсорные сети для различных медицинских и немедицинских целей. Чтобы упорядочить разработку и применение таких сетей, был создан новый стандарт беспроводной персональной связи IEEE 802.15.6.

Важная роль в новом стандарте отводится беспроводной сверхширокополосной связи на основе хаотических радиоимпульсов.

Развитие беспроводных нательных сенсорных сетей открывает перспективы для медицинских и фармацевтических разработок. Поскольку основной целью БНСС является восприятие и передача полезной информации, специалисты Intel разрабатывают методологию объединения датчиков с объектами, за которые они отвечают, а также изучают возможность создания приемопередатчиков – сенсорных устройств, которые способны влиять на ситуацию, а не просто записывать ее состояние. БНСС очевидно, полезны и для немедицинских применений. Однако на сегодняшний день БНСС используется не так активно, как хотелось бы. Сеть уязвима в отказоустойчивости. DoS (отказ в обслуживании) уменьшает или исключает способность сети выполнять ожидаемую функцию. Основываются протоколы БНСС на многоуровневой архитектуре, которая может снизить эффективности сети, но повысить ее надежность. Обсуждаются типы DoS-атак, типичные для каждого уровня, и приемлемые методы защиты. Таким образом, уже сегодня, несмотря на несовершенство, беспроводные нательные сенсорные сети находят применения в медицине и некоторых других направлениях.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыжов А.И. Сверхширокополосные беспроводные сенсорные сети медицинского назначения на основе хаотических радиоимпульсов // дис. ... канд. физ.-мат. наук / А.И. Рыжов – М., 2015. – 134 с.
2. Дмитриев А.С., Лазарев В.А., Герасимов М.И., Рыжов А.И. Сверхширокополосные беспроводные нательные сенсорные сети // Радиотехника и электроника, 2013, Т. 58, № 12, с. 1160-1170.
3. Гольдштейн Б.С., Кучерявый А.Е. Сети связи пост-NGN // БХВ-Петербург. 2014. С 94-116.
4. Аль-Наггар Я.М. Кластеризация в беспроводных нательных сенсорных сетях // Информационные технологии и телекоммуникации, 2015, СПб. № 19
5. Меркурьев Р. О. Оценка безопасности нательной компьютерной сети // Международный студенческий вестник. – 2018. - № 3-2;
6. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Part 15.6: Wireless Body Area Networks. N.Y. :IEEE, 2012.
7. Кузьмин, Л.В., Дмитриев, А.С., Юркин В.Ю. Сверхширокополосные Беспроводные сенсорные сети на основе хаотических радиоимпульсов // Прикладная нелинейная динамика. 2009. Т. 17. №4. С. 90-104.
8. Федеральная служба государственной статистики России. - <https://rosinfostat.ru/smertnost/#i-5>
9. Связь RF и несколько протоколов доступа в сети датчиков для тела / Сана Улла, Генри Хиггинс – Международный журнал по технологии цифрового контента и его приложениям, 2008. – с. 9-16
10. Инструменты для публикации и обмена информацией – <http://docplayer.ru/>
11. Исследование беспроводных нательных сетей / Бенуа Латр, Барт Брем, Ингрид Моерман, Крис Блондия // Беспроводная сеть. - 2011. – с. 1-18

