**Беспроводные персональные сети** ([англ.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) *Wireless personal area network, WPAN*) — сети, стандарт которых разработан рабочей группой [IEEE 802.15](https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15).

WPAN применяются для связи различных устройств, включая компьютерную, бытовую и оргтехнику, средства связи и т. д. [Физический](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%83%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D1%8C) и [канальный](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%83%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D1%8C) уровни регламентируются[[*уточнить*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D0%BA%D0%B8%D0%BF%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D1%8F%3A%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8)] стандартом [IEEE 802.15.4](https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4). Радиус действия WPAN составляет от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров. WPAN используется как для объединения отдельных устройств между собой, так и для связи их с сетями более высокого уровня, например, глобальной сетью интернет.

WPAN может быть развёрнута с использованием различных сетевых технологий, например: [Bluetooth](https://ru.wikipedia.org/wiki/Bluetooth%22%20%5Co%20%22Bluetooth), [ZigBee](https://ru.wikipedia.org/wiki/ZigBee%22%20%5Co%20%22ZigBee), [6loWPAN](https://ru.wikipedia.org/wiki/6loWPAN) и другими.

**UWB** ([англ.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) *Ultra-Wide Band*, сверхширокая [полоса](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D1%81%D0%B0_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82)) — это [беспроводная технология](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8) [связи](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D1%8C_%28%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0%29) на малых расстояниях при низких затратах энергии, использующая в качестве [несущей](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D1%81%D1%83%D1%89%D0%B8%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB) сверхширокополосные сигналы с крайне низкой [спектральной плотностью мощности](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%BC%D0%BE%D1%89%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8).

Для безлицензионного использования [сверхширокополосных сигналов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D1%88%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D1%81%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8B) в Российской Федерации выделены диапазоны от 2,85—10,6 ГГц[[1]](https://ru.wikipedia.org/wiki/UWB#cite_note-1), в США 3,1—10,6 ГГц[[2]](https://ru.wikipedia.org/wiki/UWB#cite_note-2), в Евросоюзе 6—8 ГГц[[3]](https://ru.wikipedia.org/wiki/UWB#cite_note-EC_mask-3). При этом спектральная плотность мощности СШП приемопередатчика при работе в помещении не должна превышать −47…−45 [дБм](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%91%D0%BC%22%20%5Co%20%22%D0%94%D0%91%D0%BC)/[МГц](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%93%D1%86) (−41,3 дБм/МГц в США и Евросоюзе).

Использование сверхширокой полосы частот (не менее 500 МГц) позволяет UWB достичь скорости передачи до 480 Мбит/с на расстоянии до 3 м. На расстояниях до 10 м технология позволяет достичь лишь 110 Мбит/с.

В 2018 году был создан UWB Alliance[[4]](https://ru.wikipedia.org/wiki/UWB%22%20%5Cl%20%22cite_note-4) с целью развития технологии сверхширокой полосы и создания стандарта [IEEE 802.15.4](https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4)

**IEEE 802.15.4** — стандарт, который определяет физический слой и управление доступом к среде для беспроводных персональных сетей с низким уровнем скорости. Стандарт поддерживается рабочей группой [IEEE 802.15](https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15). Аппаратура, построенная на базе данного стандарта, относится к устройствам малого радиуса действия. Является базовой основой для протоколов [ZigBee](https://ru.wikipedia.org/wiki/ZigBee%22%20%5Co%20%22ZigBee), [WirelessHART](https://ru.wikipedia.org/wiki/WirelessHART%22%20%5Co%20%22WirelessHART), [MiWi](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=MiWi&action=edit&redlink=1" \o "MiWi (страница отсутствует)), [ISA100.11](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=ISA100.11&action=edit&redlink=1), [Thread](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Thread(%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BB)&action=edit&redlink=1" \o "Thread(сетевой протокол) (страница отсутствует)), каждый из которых, в свою очередь, предлагает решение для построения сетей посредством постройки верхних слоёв, которые не регламентируются стандартом. В качестве альтернативы он может быть использован совместно со стандартом [6LoWPAN](https://ru.wikipedia.org/wiki/6LoWPAN) и стандартными протоколами Интернета для построения встроенного беспроводного Интернета.

Цель стандарта IEEE 802.15 — предложить нижние слои основания сети для сетей типа беспроводных персональных сетей, ориентированных на низкую стоимость, низкую скорость повсеместной связи между устройствами (по контрасту с многими более конечно-ориентированных на пользователя сетями, как например [Wi-Fi](https://ru.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi%22%20%5Co%20%22Wi-Fi)). Акцент делается на очень низкой стоимости связи с ближайшими устройствами, совсем без (или с небольшой) базовой структурой, с целью эксплуатации на доселе небывалом низком уровне энергии.

Основной предел приёма определяется эквивалентной изотропно-излучаемой мощностью (ЭИИМ) радиоустройства со скоростью передачи 250 кбит/с. В России возможно использование радиоустройств без получения отдельных разрешений ГКРЧ на использование радиочастот, а также на безлицензионный ввоз устройств с максимальной ЭИИМ - 100мВт. Компромиссы возможны в пользу более радикально встраиваемых устройств с ещё более низкой потребностью в энергии, путём определения не одного, а нескольких физических уровней. Первоначально были определены низкие скорости передачи в 20 и 40 кбит/с, скорость в 100 кбит/с была добавлена в текущем перевыпуске.

Ещё более низкие скорости передачи могут быть рассмотрены с результирующим эффектом снижения энергопотребления. Как уже упоминалось, главной отличительной особенностью стандарта 802.15.4 среди беспроводных персональных сетей является низкая стоимость производства и расходов по эксплуатации, простота технологии.

В ряду важнейших функций находятся обеспечение работы в режиме реального времени посредством сохранения временных слотов, предотвращение одновременного доступа и комплексная поддержка защиты сетей. Устройства также включают функции управления расходом энергии, такие как качество соединений и детектирование энергии. Совместимые со стандартом 802.15.4 устройства могут использовать одну из трёх возможных частотных полос для работы

Архитектура протокола[

Устройства разработаны с целью взаимодействовать друг с другом посредством понятийной простой беспроводной сети. Определение слоёв сети основано на [сетевой модели OSI](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C_OSI), хотя только нижние слои определены в стандарте, взаимодействие с верхними слоями предусматривается, с возможным использованием подуровня управления логической связью, допуская МАС сквозь подуровень сходимости. Реализованные устройства могут полагаться на внешние устройства или быть просто встроены как самостоятельно функционирующие устройства.

**Физический слой**[

Физический слой, в конечном счете, предоставляет услуги передачи данных, также как и интерфейс организации управления физическим слоем и обеспечивает базу данных информации соответствующей персональной сети. Таким образом физический слой управляет трансиверной радиостанцией и выполняет выбор каналов и энергии и сигнальные функции управления. Он действует в одной из трёх возможных нелицензируемых радиочастотных полосах.

* 868.0-868.6 МГц: Европа, разрешается один канал связи (2003, 2006)
* 902—928 МГц: Северная Америка свыше десяти каналов (2003), расширено до тридцати (2006)
* 2400—2483.5 МГц: используется во всём мире свыше шестнадцати каналов (2003, 2006) (В том числе и в России)

Первоначальная версия 2003 стандарта определяет два физических слоя, основанных на [широкополосной модуляции с прямым расширением спектра](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%88%D0%B8%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B0_%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BC_%D0%BF%D1%80%D1%8F%D0%BC%D0%BE%D0%B9_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8), один работает на полосе 868/915 МГц со скоростью передачи в 20 и 40 кбит/с, а другой на полосе 2450 МГц со скоростью 250 кбит/с.

Перевыпуск 2006 повышает максимальные скорости передачи данных на частотах 868/915 МГц, также придавая им скорости в 100 и 250 кбит/с. Кроме того, он идёт дальше, определяя четыре физических уровня в зависимости от метода модуляции. Три из них сохраняют подход широкополосной модуляции, в диапазоне 868/915 МГц используется как двоичная так и квадратурная [фазовая манипуляция](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D1%8F#%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%B4%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%84%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D1%8F) (последняя выглядит более оптимальной) в диапазоне 2450 МГц, с помощью последнего. Как альтернатива, оптимальный слой на частоте 868/915 МГц определяется используя комбинацию двоичного кодирования и амплитудной манипуляции (таким образом, на основе параллельного, а не последовательного расширения спектра). Возможно динамическое переключение между поддерживаемыми слоями 868/915 МГц.

Кроме этих трёх диапазонов IEEE 802.15.4c исследовательская группа IEEE 802.15.4c принимает во внимание недавно открытые диапазоны 314—316 МГц, 430—434 МГц, и 779—787 МГц в Китае, в то время как целевая группа IEEE 802.15.4d определяет поправку к существующему стандарту 802.15.4-2006 чтобы поддерживать новый диапазон 950-956 МГц в Японии. Первые поправки к стандарту, внесённые этими группами были выпущены в апреле 2009.

В августе 2007 IEEE 802.15.4a расширила четыре физических слоя доступных в ранней версии 2006 до шести, включая один физический слой, использующий последовательную радио-технологию для высокоскоростной передачи данных Ultra-wideband (UWB) и другую, использующую частотное расширение спектра (CSS). Физический слой UWB выделен частотами в трёх диапазонах: ниже 1 ГГц, между 3 и 5 ГГц, и между 6 и 10 ГГц. На физический слой CSS выделен спектр в полосе 2450 МГц диапазона ISM.

В апреле 2009 стандарты IEEE 802.15.4c и IEEE 802.15.4d расширили доступные физические слои добавив несколько слоёв, один из добавочных для частоты 780 МГц используя [квадратурную фазовую манипуляцию](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%B4%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%84%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D1%8F) (Quadrature phase-shift keying, QPSK) или фазовую манипуляцию более высоких порядков ([M-PSK](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=M-PSK&action=edit&redlink=1)), другую для частоты 950 МГц, используя [гауссовскую частотную манипуляцию](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%93%D0%B0%D1%83%D1%81%D1%81%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D1%8F&action=edit&redlink=1" \o "Гауссовская частотная манипуляция (страница отсутствует)) (Gaussian frequency-shift keying, GFSK) или [двоичную фазовую манипуляцию](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B2%D0%BE%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%84%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D1%8F) (Binary phase-shift keying, BPSK).

**Слой MAC**

Слой механизма доступа (Media Access Control, МАС) осуществляет передачу фрагментов данных структуры МАС посредством использования физического канала. Кроме информационных услуг он предлагает управление интерфейсом и сам по себе управляет размещением маячков на каналах. Он также контролирует проверку фрагментов структуры, гарантирует множественный доступ с разделением по времени и управляет связями узлов. Наконец он предлагает точки-ловушки для услуг безопасности.

**Высшие слои**

Стандарт не определяет другие более высокие слои и совместимость промежуточных слоёв. Существуют спецификации, такие как ZigBee, построенные на данном стандарте для того, чтобы предлагать интегральные решения. Стеки [операционной системы] TinyOS также используют некоторые виды аппаратного обеспечения IEEE 802.15.4.

Модель сети[

**Типы узлов**

Стандарт определяет два типа узлов сети Первый — полнофункциональное устройство (FFD - Full-Function Device). Оно может служить как координатор персональных сетей, так же может функционировать в качестве общего узла. Он реализует общую модель связи, которая позволяет переговариваться с другими устройствами, также может передавать дальше сообщения, в этом случае он называется координатором (координатор PAN, когда он отвечает за всю сеть).

Другой — устройства с облегчёнными функциями (RFD - Reduced-Function Device). Определение означает чрезвычайно простые устройства с очень скромным ресурсом и требованиями к сети, в связи с этим они могут только связываться с полнофункциональными устройствами и никогда не могут действовать в качестве координаторов.

**Топологии**

Сети могут быть одноранговыми (P2P, peer-to-peer, point-to-point), либо иметь топологию «звезда». Однако, любая сеть должна иметь по крайней мере один FFD, который будет работать как координатор сети. Таким образом, сети формируются из групп устройств, разделённых соответствующей дистанцией. Каждое устройство имеет 64-битный идентификатор, в некоторых случаях может использоваться 16-битный идентификатор внутри ограниченной области. Таким образом, внутри каждой персональной сети (англ. PAN, personal area network), для соединения будут использоваться краткие идентификаторы.

Одноранговые сети (P2P) могут формировать произвольные структуры соединений и их расширения ограничены только дистанцией между каждой парой узлов. Они призваны служить в качестве основы для беспроводных самоорганизующихся сетей, способных к самоуправлению и организации. Так как стандарт не определяет сетевой уровень, маршрутизация не поддерживается напрямую, но такой дополнительный уровень может осуществить поддержку сетей с ретрансляторами.

Также могут быть добавлены дополнительные топологические ограничения: например, дерево кластеров – структура, в которой RFD может быть связанным только с одним FFD единовременно, таким образом, RFD являются исключительно листьями дерева, а большинство узлов являются FFD. Также возможна ситуация ячеистой топологии сети, чьи узлы являются сетями кластерных деревьев с локальным координатором для каждого кластера, помимо глобального координатора.

Ещё поддерживается более структурированная топология «звезда», где координатор сети обязательно должен быть центральным узлом. Такая сеть может возникнуть, когда FFD решает создать свою собственную персональную сеть (PAN) и объявить себя её координатором, после чего выбирается уникальный идентификатор для PAN. После этого другие устройства могут присоединиться к сети, которая полностью независима от других сетей с топологией «звезда».